



WHZ Westsächsische
Hochschule Zwickau
Hochschule für Mobilität



Diplomarbeit

Ermittlung aussagefähiger EES-Werte mittels Klassenschätzung

eingereicht an der
Fakultät Kraftfahrzeugtechnik der
Westsächsischen Hochschule Zwickau
Zur Erlangung des akademischen Grades eines

Diplomingenieurs (FH)

vorgelegt von: cand. ing.

Schraps, Tom

geb. am: 10.02.2002

Studiengang: Kraftfahrzeugtechnik
Studienschwerpunkt: Instandhaltung und Unfallanalyse

Ausgegeben von:	Prof. Dr. Klaus-Dieter Brösdorf
Erstbetreuer:	Prof. Dr. Klaus-Dieter Brösdorf
Zweitbetreuer:	Prof. Dr.-Ing. Lutz Nagel
Betrieblicher Betreuer:	Dipl.-Ing. Uwe Klose
Auftraggeber:	Deutscher Kraftfahrzeug-Überwachungs-Verein (DEKRA)

Autorenreferat

Diese Diplomarbeit untersucht die Anwendbarkeit der Klassenschätzung zur Bestimmung der energieäquivalenten Geschwindigkeit (EES) in der Unfallanalyse. Ziel der Untersuchung ist es, mithilfe definierter Klassenintervalle aussagefähige EES-Werte zu ermitteln und deren Ergebnisse mit der Methode Expertenschätzung zu vergleichen. Derzeit wird das Verfahren der Klassenschätzung in der Unfallanalyse noch nicht angewendet.

Im Rahmen der Arbeit werden zunächst die bisher verwendeten Methoden zur EES-Bestimmung vorgestellt. Anschließend werden die theoretischen Grundlagen der Klassenschätzung erläutert und die entwickelte Klasseneinteilung der Geschwindigkeitsintervalle dargestellt. Zur praktischen Untersuchung wurden fünf reale Unfallfälle analysiert und die Ergebnisse der Klassenschätzung mit den Ergebnissen der Expertenschätzung statistisch verglichen.

Die Auswertung zeigt, dass die Klassenschätzung grundsätzlich vergleichbare Ergebnisse zur Expertenschätzung liefert. Eine eindeutige Verbesserung oder Verschlechterung der EES-Wert-Ermittlung konnte jedoch anhand der untersuchten fünf Fälle nicht festgestellt werden. Für eine belastbare Bewertung der Methode sind weitere Untersuchungen mit einer größeren Anzahl an Fallbeispielen erforderlich.

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit in allen Teilen selbstständig angefertigt und keine anderen als die in der Arbeit angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe und, dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form in noch keiner anderen Prüfung vorgelegen hat. Mir ist bewusst, dass ich Autor/in der vorliegenden Arbeit bin und volle Verantwortung für den Text trage. Ich erkläre, dass ich wörtlich oder sinngemäß aus anderen Werken – dazu gehören auch Internetquellen – übernommene Inhalte als solche kenntlich gemacht und die entsprechenden Quellen angegeben habe. Mir ist bewusst, dass meine Arbeit auf Plagiate überprüft werden kann. Mir ist bekannt, dass es sich bei der Abgabe eines Plagiats um ein schweres akademisches Fehlverhalten handelt und dass Täuschungen nach der für mich gültigen Prüfungsordnung geahndet werden. Zusätzlich versichere ich, dass ich auf künstlicher Intelligenz (KI) basierende Werkzeuge nur in Absprache mit den Prüfern verwendet habe. Dabei stand meine eigene geistige Leistung im Vordergrund, und ich habe jederzeit den Prozess steuernd bearbeitet. Diese Werkzeuge habe ich im Quellenverzeichnis in der Rubrik „Übersicht verwendeter Hilfsmittel“ mit ihrem Produktnamen und einer Übersicht des im Rahmen dieser Prüfungs-/Studienarbeit genutzten Funktionsumfangs unter Angabe der Textstelle in der Arbeit vollständig aufgeführt. Ich versichere, dass ich keine KI-basierten Tools verwendet habe, deren Nutzung die Prüfer explizit schriftlich ausgeschlossen haben. Ich bin mir bewusst, dass die Verwendung von Texten oder anderen Inhalten und Produkten, die durch KI-basierte Tools generiert wurden, keine Garantie für deren Qualität darstellt. Ich verantworte die Übernahme jeglicher von mir verwendeter maschinell generierter Passagen vollumfänglich selbst und trage die Verantwortung für eventuell durch die KI generierte fehlerhafte oder verzerrte Inhalte, fehlerhafte Referenzen, Verstöße gegen das Datenschutz- und Urheberrecht oder Plagiate.

Plauen, 01.04.2026



Tom Schrap

Inhalt

I	Verzeichnis der Bilder.....	I
II	Verzeichnis der Tabellen.....	IV
III	Verzeichnis der Formeln.....	VI
IV	Verzeichnis der Abkürzungen.....	VIII
1	Einleitung	1
2	Einführung Unfallrekonstruktion	2
2.1	Der Verkehrsunfall.....	2
2.2	Die Verkehrsunfallrekonstruktion	2
2.3	Die Unfallphasen.....	2
2.4	EES-Wert und die Kollisionsphase.....	3
3	EES.....	4
3.1	Einführung EBS und EES	4
3.2	Definition des EES-Wertes.....	5
3.3	Grundlagen der Bestimmung von EES-Werten.....	6
3.4	Stoßzahl.....	8
3.5	GIDAS-Datenbank	9
4	Methoden zur Ermittlung des EES-Wertes.....	11
4.1	Allgemeiner Überblick	11
4.1.1	Faustformel	11
4.1.2	Energierastermethode	14
4.1.4	Expertenschätzung	23
4.1.5	Kollisionsversuche und visueller Vergleich	27
4.1.6	3D-EES-Modell	31
4.1.7	FE-Simulation	35
4.1.8	EES-CNN.....	39
5	Klassenschätzung	41
5.1	Definition einer Schätzung	41
5.2	Theorie der Klassenschätzung.....	41
5.3	Klassenschätzung zur Bestimmung von EES-Werten.....	41
5.4	Klasseneinstufung.....	43
5.5	Durchführung und Ablauf	43
5.6	Fallbeispiele	44

5.7	Begriffsdefinitionen.....	47
5.7.1	Mittelwert	47
5.7.2	Median	48
5.7.3	Standardabweichung einer Stichprobe	48
5.7.4	Spannweite	48
5.7.5	Kastengrafik.....	49
6	Auswertung der Klassenschätzung für Fall 1 bis 5.....	52
6.1	Median	53
6.2	Standardabweichung	54
6.3	Spannweite	55
6.4	Zusammenfassung der Ergebnisse Fall 1 bis Fall 5	55
6.5	Interpretation der Kastengrafiken für Fall 1 bis Fall 5.....	56
6.5.1	Kastengrafik Fall 1 – Fahrzeug A und Fahrzeug B.....	57
6.5.2	Kastengrafik Fall 2 – Fahrzeug A.....	59
6.5.3	Kastengrafik Fall 3 – Fahrzeug A und Fahrzeug B.....	60
6.5.4	Kastengrafik Fall 4 – Fahrzeug A und Fahrzeug B.....	63
6.5.5	Kastengrafik Fall 5 – Fahrzeug A und Fahrzeug B.....	65
7	Auswertung der Fragebögen zur Klassenschätzung	68
8	Fazit zur Klassenschätzung	70
9	Schlussfolgerung und Ausblick.....	73
10	Verzeichnis der Literatur	75
10	Anhang	78

I Verzeichnis der Bilder

Bild	Titel	Seite
1	Logo der Westsächsischen Hochschule Zwickau	Deckblatt
2	DEKRA Logo	Deckblatt
3	Vollplastischer Anstoß gegen eine starre und unendlich schwere Barriere	4
4	Stoßwagenversuche Heck- und Seitenaufprall	8
5	Vergleich des Deformationsverhaltens von rostgeschwächten und nicht rostgeschwächten Fahrzeugen	12
6	Energieraster einer Fahrzeugfront	14
7	Problematik beim Schätzen der Deformationslinie anhand von Fotomaterial	17
8	Auswahl eines Vergleichsfahrzeugs in der Crash3-Datenbank im Simulationsprogramm PC-Crash	18
9	Eingabemaske der Deformationstiefen über verschiedene Stützstellen im Crash3-Modul	20
10	Ausgabemaske des Crash3-Moduls	21
11	Benutzeroberfläche zum Einstellen von Fahrzeugkollisionen auf ReconData für eine EES-Schätzung durch Experten	23
12	Benutzeroberfläche für eine EES-Bewertungsanfrage auf ReconData	24
13	Ergebnisoberfläche der EES-Bewertungsanfrage auf ReconData	24
14	3D EES-Fahrzeugmodell	32
15	Verschiedene Fahrzeugtypen im PC-Programm calculateEES	34
16	Farbige Darstellung der Elementspannung und Knotenverschiebung einer Anhängerkupplung	37
17	EES-CNN Fotoeingabe und EES-Estimation (EES-Schätzung)	39
18	Heatmap-Overlay des Unfallfahrzeugs	40
19	Toleranzbereiche bei guter und schlechter Qualität der objektiven Daten	42
20	Allgemeiner Aufbau einer Kastengrafik	49
21	Kastengrafik - Verteilung der Daten	50
22	Median der EES-Werte von Expertenschätzung und Klassenschätzung	53
23	Standardabweichung der EES-Werte von Expertenschätzung und Klassenschätzung	54

24	Spannweite der EES-Werte von Expertenschätzung und Klassenschätzung	55
25	Kastengrafik der EES-Werte Fall 1 – Fahrzeug A	57
26	Kastengrafik der EES-Werte Fall 1 – Fahrzeug B	58
27	Kastengrafik der EES-Werte Fall 2 – Fahrzeug A	59
28	Kastengrafik der EES-Werte Fall 3 – Fahrzeug A	60
29	Kastengrafik der EES-Werte Fall 3 – Fahrzeug B	61
30	Kastengrafik der EES-Werte Fall 4 – Fahrzeug A	63
31	Kastengrafik der EES-Werte Fall 4 – Fahrzeug B	64
32	Kastengrafik der EES-Werte Fall 5 – Fahrzeug A	65
33	Kastengrafik der EES-Werte Fall 5 – Fahrzeug B	66
34	Erster Teil der Fotodokumentation der Unfallfahrzeuge Fall 1	78
35	Zweiter Teil der Fotodokumentation der Unfallfahrzeuge der Fall 1	79
36	ReconData-Ergebnis der EES-Expertenschätzung des Falls 1	80
37	Fotodokumentation des Unfallfahrzeugs Fall 2	81
38	ReconData-Ergebnis der EES-Expertenschätzung des Falls 2	82
39	Fotodokumentation der Unfallfahrzeuge Fall 3	83
40	ReconData-Ergebnis der EES-Expertenschätzung des Falls 3	84
41	Fotodokumentation der Unfallfahrzeuge Fall 4	85
42	ReconData-Ergebnis der EES-Expertenschätzung des Falls 4	86
43	Fotodokumentation der Unfallfahrzeuge Fall 5	87
44	ReconData-Ergebnis der EES-Expertenschätzung des Falls 5	88
45	Aufgabenstellung der Teilnehmer für die Klassenschätzung Fall 1, Fall 3, Fall 4 und Fall 5	89
46	Aufgabenstellung der Teilnehmer für die Klassenschätzung Fall 2	89
47	Fragebogen der Teilnehmer für die Klassenschätzung	92
48	Ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer eins	93
49	Ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer zwei	94
50	Ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer drei	95
51	Ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer vier	96
52	Ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer fünf	97
53	Ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer sechs	98
54	Ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer sieben	99
55	Ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer acht	100
56	Ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer neun	101

57	Ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer zehn	102
58	Ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer 11	103
59	Ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer 12	104
60	Ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer 13	105
61	Ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer 14	106
62	Ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer 15	107
63	Ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer 16	108
64	Ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer 17	109
65	Ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer 18	110
66	Ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer 20	111
67	Ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer 21	112
68	Ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer 22	113
69	Ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer 23	114
70	Ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer 24	115
71	Ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer 25	116
72	Ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer 26	117
73	Ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer 27	118
74	Ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer 28	119
75	Ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer 29	120
76	Ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer 30	121
77	Ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer 31	122
78	Ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer 32	123

II Verzeichnis der Tabellen

Tabelle	Titel	Seite
1	Vor- und Nachteile der Faustformel	13
2	Vor- und Nachteile der Energierastermethode	16
3	Vor- und Nachteile der Crash3-Methode	22
4	Randbedingungen zur Anwendbarkeit der Methode: Expertenschätzung	26
5	Vor- und Nachteile der Expertenschätzung	27
6	Übertragbarkeit von Crashtestergebnissen auf einen Untersu- chungsfall	29
7	Randbedingungen zur Anwendbarkeit der Methode: Visueller Vergleich	30
8	Vor- und Nachteile des visuellen Vergleichs	31
9	Auswählbare Fahrzeugklassen im 3D-EES-Modell	33
10	Vor- und Nachteile des 3D-EES-Modells	35
11	Vor- und Nachteile der FE-Methode	38
12	Vor- und Nachteile des EES-CNN	40
13	Klasseneinstufung für den Geschwindigkeitsbereich 1 km/h bis 82 km/h	43
14	Übersicht der Fallbeispiele	45
15	Berechnungen der EES-Werte aus Expertenschätzung und Klas- senschätzung im Vergleich	52
16	Abgegebene Stimmen der Teilnehmer im Fragebogen	68
17	Vergleich der Klassenschätzung mit der Expertenschätzung Fall 1 bis Fall 5	70
18	Anzahl der Teilnehmer bei Expertenschätzung und Klassenschät- zung	71
19	Daten der Unfallfahrzeuge Fall 1	78
20	Daten des Unfallfahrzeugs Fall 2	81
21	Daten der Unfallfahrzeuge Fall 3	83
22	Daten der Unfallfahrzeuge Fall 4	85
23	Daten der Unfallfahrzeuge Fall 5	87
24	Schätzklassen der Teilnehmer für die Klassenschätzung Fall 1 bis Fall 5	90

25	Fahrzeugdaten der Klassenschätzung für die Teilnehmer Fall 1	90
26	Fahrzeugdaten der Klassenschätzung für die Teilnehmer Fall 2	91
27	Fahrzeugdaten der Klassenschätzung für die Teilnehmer Fall 3	91
28	Fahrzeugdaten der Klassenschätzung für die Teilnehmer Fall 4	91
29	Fahrzeugdaten der Klassenschätzung für die Teilnehmer Fall 5	91

III Verzeichnis der Formeln

Kurzzeichen	Einheit	Beschreibung
A	m^2	Fläche
B	kN/m^2	Wert, bis zu dem keine Deformation eintritt
E_{Def}	J	Deformationsenergie
E_{Kin}	J	Kinetische Energie
E'_{Kin}	J	Kinetische Energie am Ende der Kollision
EBS	km/h	Equivalent Barrier Speed
EES	km/h	Energy Equivalent Speed
EES_{max}	km/h	maximale EES-Wert der Schätzungsmethode
EES_{Median}	km/h	Median der EES-Schätzungen
EES_{min}	km/h	minimale EES-Wert der Schätzungsmethode
$EES_{Mittelwert}$	km/h	Mittelwert der EES-Schätzungen
$EES_{Obergrenze}$	km/h	Obergrenze der EES-Schätzungen
$EES_{Standardabweichung}$	km/h	Standardabweichung der EES-Schätzungen
F	N	Kraft
IQR	km/h	Interquartilsabstand
k	-	Stoßzahl
m	kg	Masse
n	-	Anzahl der Datenwerte
p	-	p-Quantil
p	Pa	Druck
$p_{Energie}$	%	Prozentuale Energiedifferenz
$Q1$	km/h	Erstes Quartil
$Q2$	km/h	Zweites Quantil/ Median
$Q3$	km/h	Drittes Quartil

S	kN/m	Struktursteifigkeit
s	m	Weg
s	km/h	Standardabweichung einer Stichprobe
s^2	$(km/h)^2$	Varianz einer Stichprobe
s_{def}	m	Deformationsweg
v	m/s	Geschwindigkeit
v'	m/s	Geschwindigkeit nach der Kollision
Δv	m/s	Kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung
ΔV	m^3	Volumenunterschied
W_{Def}	J	Deformationsarbeit
$\bar{x}$	km/h	Mittelwert
x_{Med}	km/h	Median

IV Verzeichnis der Abkürzungen

Abkürzung	Bedeutung
2D	Zweidimensional
3D	Dreidimensional
AGU	Arbeitsgruppe für Unfallmechanik Zürich
AXA-Winterthur	Datenbank mit über 350 Auffahrunfall-Crash-Tests
BAST	Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen
CTS	crashtest-service
EBS	Equivalent Barrier Speed
EES	Energy Equivalent Speed
E-Mail	electronic mail
Euro NCAP	European New Car Assessment Programme
FAT	Forschungsvereinigung Automobiltechnik
FE	Finite Elemente
ff	fortfolgende
FH	Fachhochschule
GIDAS	German In-Depth Accident Study
IIHS	Insurance Institute for Highway Safety
IQR	Interquartile Range
k-Faktor	Stoßzahl oder auch Elastizitätsfaktor
LKW	Lastkraftwagen
max	maximal
min	minimal
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration
TU	Technische Universität
US	United States
USA	United States of America
Voxel	Volumetric Pixel

Vorwort

Diese Diplomarbeit beschäftigt sich mit dem Thema Ermittlung aussagefähiger EES-Werte mittels Klassenschätzung.

Die Auseinandersetzung mit diesem Thema weckt besonderes Interesse im Bereich der Unfallanalyse und vor allem an den verschiedenen Möglichkeiten der Ermittlung von EES-Werten mit dem Fokus auf eine mögliche Weiterentwicklung der aktuellen Expertenschätzung. Durch die Definition der Klassenschätzung kann eine neue Betrachtungsweise zur Bestimmung von EES-Werten untersucht werden.

Diese Arbeit gliedert sich in neun Kapitel, in denen die aktuellen Methoden zur Ermittlung des EES-Wertes kurz beschrieben und die Vor- und Nachteile der einzelnen Methoden aufgezeigt werden. Im weiteren Verlauf wird der Begriff Klassenschätzung eingeordnet und der Grundgedanke dahinter erklärt. Es folgen die theoretischen Grundlagen der Klassenschätzung und die praktische Analyse dieser an ausgewählten Beispielen. In der Auswertung wird die Anwendbarkeit der Klassenschätzung untersucht und die Ergebnisse mit der aktuellen Methode Expertenschätzung verglichen.

An dieser Stelle soll aufrichtiger Dank an Herrn Prof. Dr. Klaus-Dieter Brösdorf, Herrn Dipl.-Ing. Uwe Klose, Herrn Prof. Dr.-Ing. Lutz Nagel und Dr. Andreas Moser ausgesprochen werden, die während des gesamten Schreibprozesses unterstützend zur Seite standen. Ihre wertvollen Anregungen und konstruktiven Rückmeldungen haben maßgeblich zu Arbeitsprozess beigetragen. Besonders hervorzuheben ist die Zeit, die alle Beteiligten investiert haben, um Fragen zu beantworten und bei der Vertiefung der Thematik sowie bei der Entwicklung und praktischen Untersuchung der Klassenschätzung mitzuwirken.

Ebenso gilt der Dank der Familie, die in dieser intensiven Phase unterstützend zur Seite stand. Ihre Ermutigung und Geduld haben den Arbeitsprozess wesentlich erleichtert. Ohne diesen Rückhalt und die fortwährende Motivation wäre die Erstellung dieser Diplomarbeit in der vorliegenden Form nicht möglich gewesen.

Vielen Dank an alle für Ihre Unterstützung!

1 Einleitung

In der Unfallrekonstruktion ist die Kollisionsanalyse von zentraler Bedeutung, um so den Unfallhergang und die daraus resultierenden Schäden und Deformationen zu bewerten. Es kann von dem plastisch bleibenden Deformationsprofil auf das Deformationsvolumen geschlossen werden. Durch die Bewertung des Deformationsvolumens können Rückschlüsse auf die Deformationsenergie gezogen werden, die zu einem bestimmten Schadenverlauf notwendig sind. BURG et al. [3] S. 297

Über die Deformationsenergie kann einem Schaden eine bestimmte energieäquivalente Geschwindigkeit, ein EES-Wert, zugeordnet werden. Durch diesen Wert können Schäden klassifiziert und verglichen werden. BURG et al. [3] S. 349

Für die Kollisionsanalyse ist es wichtig, den EES-Wert richtig einzugrenzen und nachvollziehbar zu belegen. HUGEMANN [4] S. 254

Es gibt unterschiedliche Verfahren, um den EES-Wert zu ermitteln. Die verschiedenen Methoden weisen unterschiedliche Anwendungsmerkmale auf, welche für ein qualitativ hochwertiges Ergebnis beachtet werden müssen. Die verschiedenen Methoden zur Bestimmung des EES-Wertes bringen sowohl Vorteile als auch Nachteile mit sich.

Im Hauptteil dieser Arbeit soll die Methode der Expertenschätzung weiterentwickelt werden, um so genauere Schätzungen zu erzielen und die Bestimmung des EES-Wertes präziser zu machen. Die modifizierte Expertenschätzung wird durch die Klassenschätzung, also die Vorgabe von verschiedenen Klassen, erweitert. Die Experten schätzen somit in vorgegebenen Klassen den EES-Wert an verschiedenen realen Beispielen.

Ziel dieser Diplomarbeit ist es aussagefähige EES-Werte mithilfe der Klassenschätzung zu ermitteln. Es wird untersucht, wie sich die Schätzung des EES-Werts durch die Vorgabe von Klassen verbessern lässt und welche Klasseneinteilungen sinnvoll sind.

Dabei soll die Expertenschätzung durch die Modifizierung an Validität gewinnen und mögliche Fehler bei der Ermittlung des EES-Wertes minimieren.

2 Einführung Unfallrekonstruktion

2.1 Der Verkehrsunfall

Ein Verkehrsunfall bezeichnet ein unerwartetes Ereignis, das von mindestens einer der beteiligten Parteien nicht beabsichtigt ist und in direktem Zusammenhang mit dem öffentlichen Straßenverkehr und seinen Risiken steht. Dieses Ereignis führt zu einem gewissen Grad an Sach- und/oder Personenschäden. [5]

2.2 Die Verkehrsunfallrekonstruktion

Durch eine Rekonstruktion soll ein Ereignis, welches in der Vergangenheit liegt, nachvollzogen werden. Die Rekonstruktion besteht aus dem Vorgang und dessen Ergebnis. [6] Es werden Untersuchungen zur Anstoßkonfiguration, zum Kollisionsort sowie zur Anstoßkonstellation, zu den Geschwindigkeiten und Bewegungsabläufen und zu den Vermeidbarkeiten vorgenommen. BRÖSDORF [7] S. 66

2.3 Die Unfallphasen

Für die Unfallrekonstruktion ist es wichtig, den Verkehrsunfall in verschiedene Phasen einzuteilen. Dabei gibt es zwei Modelle, einmal das einfache Phasenmodell und zum anderen das erweiterte Phasenmodell. BRÖSDORF [7] S. 74 bis 78

Einfaches Phasenmodell:

- Einlaufphase
- Kollisionsphase
- Auslaufphase

Erweitertes Phasenmodell:

- Vorphase
- Einlaufphase
- Kollisionsphase
- Auslaufphase
- Nachphase

2.4 EES-Wert und die Kollisionsphase

Der EES-Wert ist für die Kollisionsphase eines Verkehrsunfalls von Bedeutung. In dieser Phase wird die kinetische Energie des Fahrzeugs in Deformationsenergie und in die Energie der Auslaufbewegung umgewandelt. Der EES-Wert beschreibt die Geschwindigkeit, mit der ein Fahrzeug gegen ein starres Hindernis fahren müsste, um eine vergleichbare Verformung wie im realen Unfall zu erhalten. Durch den EES-Wert kann die schwere der Kollision bewertet und die Deformationsarbeit des Fahrzeuges beschrieben werden. HUGEMANN et al. [4] S. 249

Der EES-Wert dient als Maß für die plastische Verformung eines Fahrzeugs und hilft somit bei der Rekonstruktion der Kollisionsgeschwindigkeit, mit dem das Fahrzeug in der Kollisionsphase verunfallt ist. So kann der Sachverständige aus dem Schadenbild Rückschlüsse auf die Energie schließen, die während der Kollisionsphase umgewandelt wurde. Durch den EES-Wert kann die Geschwindigkeitsänderung in der Kollisionsphase bestimmt werden. BRÖSDORF [8]

Für die Kollisionsanalyse sind die Kontrollgrößen: Struktursteifigkeiten, Deformationen und die EES-Werte von wesentlicher Bedeutung. BRÖSDORF [7] S. 109

3 EES

3.1 Einführung EBS und EES

Der Begriff EBS, auch equivalent barrier speed, wurde 1968 von MACKAY eingeführt, um Deformationen von Fahrzeugen in Realunfallsituationen mit den Deformationen in Crash-Tests vergleichen zu können. BURG et al. [3] S. 348

Der EBS-Wert gibt die Anprallgeschwindigkeit gegen eine starre undeformierbare Barriere an, bei der die gleiche Beschädigung wie am zu untersuchenden Unfallfahrzeug entsteht. Es wird davon ausgegangen, dass die gesamte kinetische Energie vor der Kollision in Deformationsenergie umgewandelt wird. Bei realen Kollisionen wird jedoch nur ein Teil der kinetischen Energie in bleibende plastische Deformation umgewandelt. Durch die Elastizität des Fahrzeugs verfügt dies auch nach dem Anprall gegen eine starre Barriere über eine kinetische Restenergie, welche durch die elastische Rückverformung des Fahrzeugs zurückgewonnen wird. BURG et al. [3] S. 348

Aus dieser Betrachtung folgt, dass der EBS-Wert nur für den Fall eines vollplastischen Anpralls des Fahrzeugs gegen eine starre, unendlich schwere und undeformierbare Barriere dem EES-Wert entspricht. BURG et al. [3] S. 349



Bild 3: Vollplastischer Anstoß gegen eine starre und unendlich schwere Barriere [9] S.185
 Beim vollplastischen Stoß würde das Fahrzeug an der Barriere zum Stillstand kommen. Für den geraden zentralen Stoß kann der EES-Wert durch einen vorgegebenen k-Wert (Elastizitätswert) aus dem EBS-Wert berechnet werden. BURG et al. [3] S. 349 Dieser k-Wert wird in Kapitel 3.4 näher erläutert.

Durch die Annahme des vollplastischen Anpralls würde die kinetische Energie vor dem Zusammenstoß der Deformationsenergie entsprechen. Diesen Zusammenhang beschreibt die Gleichung (1). [7]. S. 118

$$E_{Kin} = E_{Def} \quad (1)$$

3.2 Definition des EES-Wertes

Die EES – energy equivalent speed – oder zu Deutsch: energieäquivalente Geschwindigkeit wurde 1980 von BURG und ZEIDLER geprägt. [10]

Der EES-Wert beschreibt die Deformationsenergie als kinetische Energie des Fahrzeugs und berücksichtigt nur die plastisch bleibende Deformation des Fahrzeugs. Über den EES-Wert wird die Deformationsenergie leichter quantifizierbar. BRÖSDORF [7] S. 114

Der EES-Wert ist einer der wesentlichen Kontrollgrößen in der Unfallrekonstruktion und beschreibt die Testgeschwindigkeit, mit der ein Crashfahrzeug gegen ein ideal nicht deformierbares sowie nicht verschiebbares Hindernis mit unendlicher Masse stoßen muss, um vergleichbare Schäden zu erzeugen, wie diese an dem am Kollisionsgeschehen beteiligten Fahrzeug festzustellen sind. BRÖSDORF [7] S. 114

Der EES-Wert ist ein Geschwindigkeitswert in der Einheit km/h. Die Einführung des EES-Wertes dient im Grunde dazu, die Deformationsenergie quantifizierbar zu machen. BURG et al. [3] S. 349

BURG und ZEIDLER definierten die EES als eine Geschwindigkeitsangabe, die stellvertretend für die am Fahrzeug verrichtete Verformungsarbeit steht. [10] Dies ist in Gleichung (2) [3] S. 349 dargestellt.

$$W_{Def} = E_{Def} = \frac{m}{2} \cdot EES^2 \quad (2)$$

Die vorhandene kinetische Energie unmittelbar vor der Kollision kann mit der Gleichung (3) beschrieben werden. [11] S. 4

$$E_{Kin} = \frac{m}{2} \cdot v^2 \quad (3)$$

Unter der Annahme des vollplastischen Verformungsverhaltens, also der dauerhaften, irreversiblen Verformung, würde sich aus den Gleichungen (1), (2) und (3) die Gleichung (4) ergeben. [11] S. 4

$$\frac{m}{2} \cdot v^2 = \frac{m}{2} \cdot EES^2 \quad (4)$$

Aus dieser vollplastischen Betrachtung folgt, dass die Geschwindigkeit unmittelbar vor der Kollision dem EES-Wert entspricht. Dies beschreibt Gleichung (5). [11] S. 4

$$v = EES \quad (5)$$

Da sich Fahrzeuge jedoch nicht vollplastisch, sondern eher teilelastisch verhalten, wird nur ein Teil der Energie vor der Kollision in Deformationsenergie umgewandelt. Andere Energieanteile wie die elastische Rückverformung der Deformationsstelle und die Auslaufbewegungen des Fahrzeugs werden als kinetische Restenergie bezeichnet. BURG et al. [3] S. 348

Dies wird durch die Gleichungen (6) und (7) beschreiben. [11] S. 4

Dabei steht v' für die Geschwindigkeit unmittelbar nach dem Zusammenprall, mit der das Fahrzeug von der Barriere zurückprallt.

$$E_{Kin} = E_{Def} + E'_{Kin} \quad (6)$$

$$E'_{Kin} = \frac{m}{2} \cdot v'^2 \quad (7)$$

$$\frac{m}{2} \cdot v^2 = \frac{m}{2} \cdot EES^2 + \frac{m}{2} \cdot v'^2 \quad (8)$$

$$v = \sqrt{EES^2 + v'^2} \quad (9)$$

Setzt man in Gleichung (6) die Gleichungen (2), (3) und (7) ein, so ergibt sich Gleichung (8). Nach dem Kürzen der konstanten Massen aus (8) ergibt sich somit die Gleichung (9). Um auf die Kollisionsgeschwindigkeit aus Gleichung (9) schließen zu können, muss eine Betrachtung der Deformationsenergie und des EES-Wertes erfolgen. [11] S. 4 ff.

Bei der Betrachtung von Realunfällen werden laut KASANICKY et al. im Durchschnitt 70 % der kinetischen Energie in Deformationsenergie umgewandelt. Daraus folgt, dass der EES-Wert bei der Bewertung und Betrachtung von Kollisionen eine hohe Bedeutung hat und es wird auch ein relativ großer Energieteil in z.B. Reibarbeit, Auslaufbewegung und Scherung umgewandelt. GÖRTZ et al. [9] S. 185

3.3 Grundlagen der Bestimmung von EES-Werten

Zur Bestimmung von EES-Werten wird die im Unfall umgesetzte Deformationsenergie abgeschätzt.

Nach JOHANNSEN stellt die einfachste Kollisionsform zur Ermittlung des EES-Werts einen idealisierten plastischen Anprall eines Fahrzeugs gegen eine starre nicht deformierbare Barriere mit unendlicher Masse dar. In diesem Fall wandelt sich die gesamte kinetische Energie des Fahrzeuges vor der Kollision in Deformationsenergie um. [12] Diese Crashtests werden durchgeführt, um einen Vergleich mit den realen Unfällen vornehmen zu können.

Wenn ein EES-Wert bestimmt wird, indem ein Fahrzeug bei einer vollüberdeckten Kollision gegen eine starre undeformierbare Barriere gefahren wird, dann kann der EES-Wert eines Untersuchungsfalls anschaulich verglichen und ggf. übertragen werden, falls eine Übereinstimmung der Beschädigungen vorliegt. Dies gilt auch für Kollisionsversuche, z.B. Stoßwagenversuche im Heck- und Seitenbereich, siehe Bild 4. Bei denen sind beide Kollisionspartner zwar beweglich, aber einer davon ist annähernd unverformbar. KAMPA [13] S. 250

Auch Barriereanpralltests mit einer Überdeckung von z.B. 40 % können für eine EES-Bewertung verwendet werden. Dabei ist es wichtig, dass das Fahrzeug nicht abgleitet oder sich abdreht. KAMPA [13] S. 250

Wenn übereinstimmende und vergleichbare Crashtests für eine EES-Bewertung vorhanden sind, ist jedoch stets eine Betrachtung der Bezugsmassen notwendig. Somit können Fahrzeuge über ähnliche Beschädigungen verfügen, aber trotzdem unterschiedliche Beladungszustände aufweisen. Dies führt dazu, dass nicht die EES-Werte vergleichbar sind, sondern eher die Deformationsenergie. HUGEMANN [4] S. 255

Schwieriger ist der Vergleich von Stößen mit geringer Überdeckung, bei denen es zu Materialversagen kommen kann, sodass der Kraftaustausch noch während der Kompressionsphase abbricht. Dies führt dazu, dass sich das Material so stark verformt, dass die Kollisionspartner in der Kontaktzone aneinander abgleiten. HUGEMANN [4] S. 251

Dies gilt ebenfalls für die EES-Bewertung von Streif- und Gleitstößen. Auch ist die Bewertung eines EES-Wertes bei Deformation im Bereich der Lenkung und Achse nicht mit der notwendigen Genauigkeit abschätzbar. Beim Unterfahren ändert sich auch der Stoßverlauf. Dabei werden weniger struktursteiße Fahrzeugteile beschädigt und es entsteht mehr plastische Deformation als beim idealen zentralen Stoß. [11] S. 5

Wenn deformierbare Barrieren im Crashtest verwendet werden, weist HUGEMANN darauf hin, dass ein Mittelklassefahrzeug, welches mit 64 km/h und einer Überdeckung von 40 % gegen eine Barriere prallt, das komplette Energieabsorptionsvermögen der Barriere ausnutzt und bis auf die Rückwand durchschlägt. Daraus folgt, dass die Barriere etwa 40 % der kinetischen Energie absorbiert und das Fahrzeug einen ähnlichen EES aufweist wie beim 30-mph-Wandanprall, was einer Geschwindigkeit von ca. 48 km/h entspricht. HUGEMANN [4] S. 256

Durch diese Betrachtungen wird deutlich, dass die Basis für eine gute EES-Bewertung der Crashtest darstellt. Die richtige Interpretation und die korrekte Übertragung auf den entsprechenden Untersuchungsfall ist die Aufgabe des Sachverständigen.

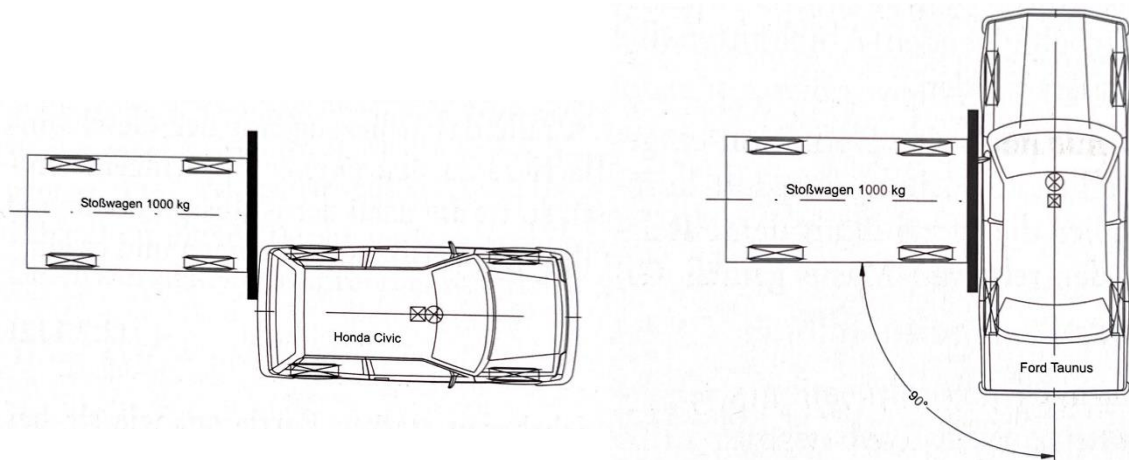


Bild 4: Stoßwagenversuche Heck- und Seitenaufprall [13] S. 250

3.4 Stoßzahl

Die Stoßzahl, auch k-Faktor oder Elastizitätsfaktor genannt, ist eine zentrale Größe, welche in der Unfallrekonstruktion zur Analyse von Fahrzeugkollisionen verwendet wird. Sie kann theoretische Werte zwischen null und eins annehmen. Dabei entspricht $k = 0$ einem vollkommenen plastischen und $k = 1$ einem vollkommenen elastischen Stoß. Bei Auffahrkollisionen sind Werte zwischen $k = 0,1$ und $k = 0,5$ üblich. Bei sehr geringen Geschwindigkeiten kann k auch größer 0,5 sein und falls sehr weiche Strukturen bei sehr hohen Geschwindigkeiten aufeinandertreffen, kann k auch Werte unter 0,1 annehmen. GRUNDLER et al. [14] S. 289

Der Elastizitätsfaktor beruht auf den Erfahrungen, die bei Crash-Tests gewonnen wurden. In einer Datenbank der AXA-Winterthur sind über 350 Auffahrunfall-Crash-Tests enthalten. Aus dieser Datenbank geht hervor, dass der Bremszustand und die Überdeckung den Elastizitätsfaktor hauptsächlich beeinflussen. Ebenfalls ist wesentlich, ob der Kraftaustausch direkt zwischen den Fahrzeugen erfolgt oder ob es zu einem Unterfahren kam. Das Fahrzeugalter beeinflusst auch den k-Faktor. GRUNDLER et al. [14] S. 289

Dies kann ein Grund sein, dass Energieraster älterer Fahrzeuge nicht für aktuelle EES-Bewertungen zu nutzen sind, da sich die Struktursteifigkeit durch Alterung und Reparatur ändert. Des Weiteren sind neuere Fahrzeuge struktursteifer als ältere. Und damit ändert sich der Zusammenhang zwischen Stoßzahl und Überdeckung etwas. GRUNDLER et al. [14] S. 292

Die Stoßzahl k wird als Quotient der Impulsänderungen in der Kompressionsphase und Restitutionsphase definiert. Dadurch beschreibt k das Verhältnis der elastischen und plastischen Anteile einer Kollision. GRUNDLER et al. [14] S. 289

Der Elastizitätsfaktor variiert zwischen unterschiedlichen Fahrzeugmodellen und auch innerhalb einer Baureihe kann dieser verschieden sein. [11] S. 33

Neben den praktischen Erfahrungen durch die Auswertung von Crashtest-Daten kann der Elastizitätsfaktor auch mathematisch berechnet werden, siehe Gleichung (10). BURG et al. [3] S. 343

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

Die Stoßzahl k oder eine Stoßpunktlösegeschwindigkeit ermöglichen es, den EES-Wert aus der EBS präzise bestimmen zu können. Bei der Berechnung ist zu beachten, dass durch die Modellannahme eine mittlere Karosseriesteifigkeit für den gesamten Deformationsbereich aus Versuchsdaten mit voller Überdeckung ermittelt wurde. Im jeweiligen Anwendungsfall ist zu überprüfen, ob diese Struktursteifigkeit mit der des am Unfallfahrzeug deformierten Bereichs vergleichbar ist. Bei sehr kleinen Überdeckungen oder dem Fall eines schiefwinkligen Anstoßes kann es notwendig sein, dass die ermittelten Struktursteifigkeiten korrigiert werden müssen. BURG et al. [3] S. 353

3.5 GIDAS-Datenbank

In dem nachfolgenden Text wird der Begriff GIDAS-Datenbank mehrfach erwähnt. An dieser Stelle soll ein kurzer Einblick gegeben werden, was die GIDAS-Datenbank ist und welche Ziele sie verfolgt.

GIDAS ist die deutsche Studie zur vertieften Verkehrsunfalldatenerhebung. Die Abkürzung GIDAS steht für German In-Depth Accident Study. [15]

Die Datenbank wird generiert aus einer Datenerhebung von realen Verkehrsunfällen als Gemeinschaftsprojekt zwischen der Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen (BASt) und der Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. (FAT). Dabei erfolgt die Datenerhebung an den Standorten Dresden, Hannover und München unter anderem durch die Verkehrsunfallforschung an der TU Dresden GmbH und durch die Medizinische Hochschule Hannover. [15]

Das GIDAS-Projekt begann im Jahr 1999. Dabei ist besonders, dass es sich bei diesem Projekt um eine sehr umfangreiche Datenerhebung handelt. Es ist möglich, dass bis zu 3500 Einzelinformationen pro Verkehrsunfall gesammelt werden. [16]

Das Aufnahmeteam dokumentiert alle relevanten Informationen, wie z.B. Fahrzeugausstattung, Deformation, Schäden, Verletzungen der beteiligten Personen und Gegebenheiten an der Unfallstelle. Im Anschluss wird jeder Unfall mithilfe eines Simulationsprogramms rekonstruiert, ausgewertet und anschließend in die Datenbank eingegeben. Die Datenbank ist nicht öffentlich zugänglich. GÖRTZ et al. [9] S. 190

Dabei erfolgt die Datenerhebung systematisch und anonym durch die jeweiligen Datenerhebungsteams aus den Fachbereichen der Medizin und Fahrzeugtechnik. Seither werden jährlich ca. 2000 Verkehrsunfälle mit Personenschaden dokumentiert und rekonstruiert. [16]

Das Ziel der GIDAS ist es, das deutsche Unfallgeschehen repräsentativ anhand von regionalen, stichprobenartigen Datenerhebungen abzubilden. Dazu soll das Unfallgeschehen mit möglichst vielen, aussagekräftigen und qualitativ hochwertigen Daten pro Unfall beschrieben werden. Diese Analysen bieten dem Gesetzgeber die Möglichkeit, das Unfallgeschehen genau zu beobachten und positive und negative Entwicklungen feststellen zu können. Außerdem liefern die gesammelten Daten wichtige Erkenntnisse für die Unfallforschung. [16]

4 Methoden zur Ermittlung des EES-Wertes

Es können verschiedene Methoden zur Ermittlung des EES-Wertes verwendet werden.

4.1 Allgemeiner Überblick

Aktuell werden folgende Methoden zur näherungsweisen Ermittlung des EES-Wertes verwendet:

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

Im weiteren Verlauf sollen die Methoden und deren Anwendungsweise kurz beschrieben werden. Es gibt im Allgemeinen kein standardisiertes Verfahren, welches sich durchgesetzt hat. GÖRTZ et al. [9] S. 184

4.1.1 Faustformel

Die Faustformel ist in der Praxis eine vereinfachte Methode, um den EES-Wert ohne aufwändige Messungen abschätzen zu können. Sie wurde 1978 durch ZEIDLER geprägt. Der EES-Wert wird näherungsweise per einfachem Zusammenhang zwischen Deformationstiefe und Kollisionsgeschwindigkeit über eine Faustformel geschätzt. Diese besagt, dass mit guter Näherung bei einem vollüberdeckten Wandaufprall als Richtwert ca. 1 cm Verformung einem EES-Wert von 1 km/h entspricht. Der Wert entstand aus der Auswertung unterschiedlicher Crashtests. Dieser Ansatz besitzt einen Gültigkeitsbereich von ca. 10 km/h bis 50 km/h. Die Faustformel ist aufgrund der elastischen Verformung und der unterschiedlichen Struktursteifigkeiten im Bereich unter 10 km/h nicht nutzbar. Bei Kollisionsgeschwindigkeiten über 50 km/h ist die Vorderwagenstruktur meistens so stark belastet, dass ein Strukturversagen der Fahrgastzelle die Folge ist. GÖRTZ et al. [9] S. 186

Die Faustformel kann ausschließlich bei Verformungen am Vorderwagen verwendet werden und ist in Gleichung (17) definiert. GÖRTZ et al. [9] S. 186

$$s_{\text{def}}[\text{cm}] \approx EES \quad (17)$$

Für eine grobe erste Abschätzung des EES-Wertes kann die Faustformel heute noch Anwendung finden.

Das Bild 5 zeigt ein Diagramm zum Vergleich des Deformationsverhaltens zwischen rostgeschwächten und nicht rostgeschwächten Fahrzeugen. Auf der x-Achse ist die Verformung [mm] und auf der y-Achse ist die Geschwindigkeit [km/h] angetragen. Durch den Rost wird die Struktursteifigkeit bei Fahrzeugen verringert. Deshalb verformen sich die rostgeschwächten Fahrzeuge schon bei kleineren Geschwindigkeiten mehr als nicht rostgeschwächte Fahrzeuge. BRÖSDORF [7] S. 121

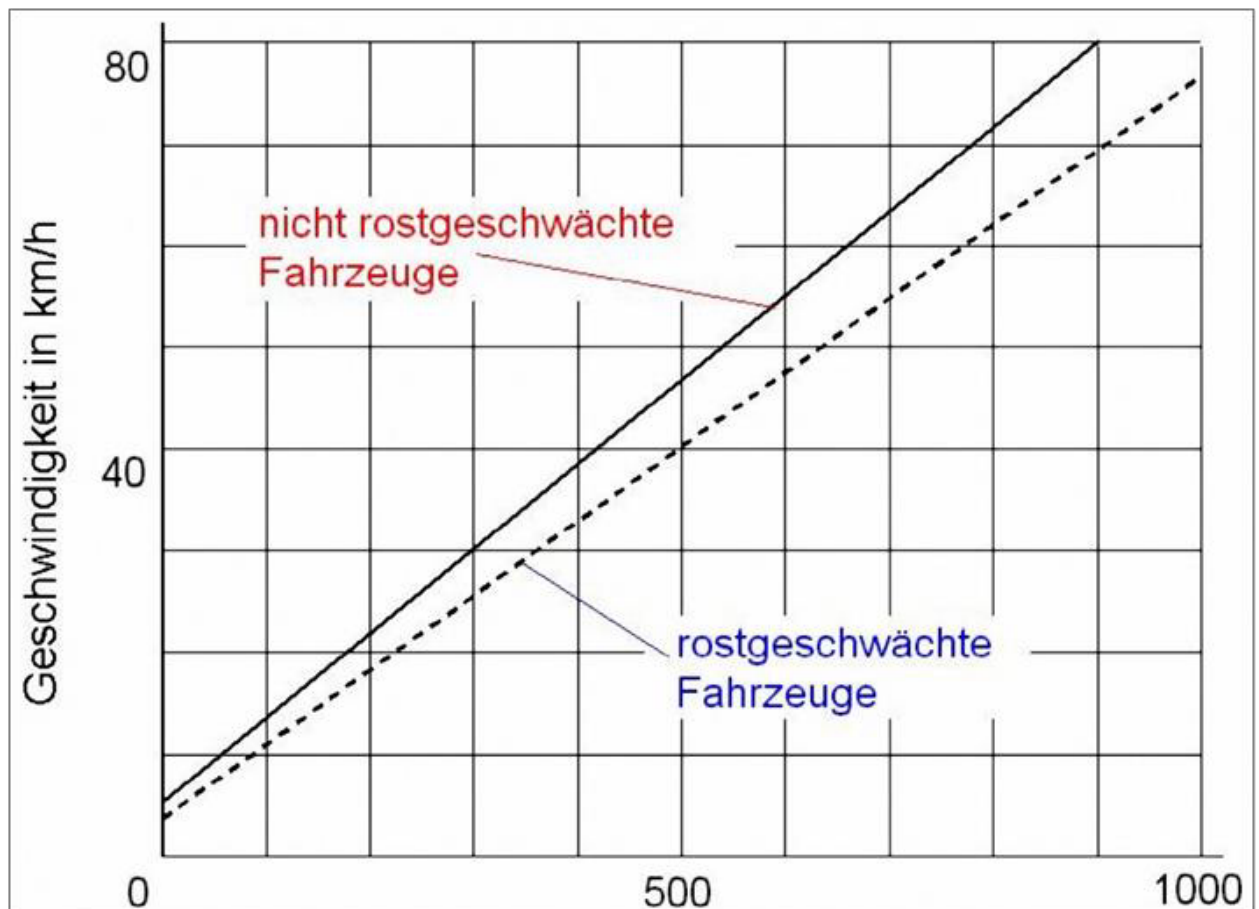


Bild 5: Vergleich des Deformationsverhaltens von rostgeschwächten und nicht rostgeschwächten Fahrzeugen [17], [18]

Die Tabelle 1 fasst die Vor- und Nachteile der Faustformel zusammen.

Tabelle 1: Vor- und Nachteile der Faustformel GÖRTZ et al. [9] S. 186 und S. 220, [11] S. 44 ff.

Vorteile	Nachteile
Sie ermöglicht eine schnelle und grobe Ersteinschätzung des EES-Wertes.	Der ermittelte EES-Wert ist unsicher und nicht für den Qualitätssicherungsprozess geeignet.
Die Faustformel ist einfach anwendbar, da Kraft und Deformationsweg linear verknüpft werden.	Die tatsächliche Struktursteifigkeit kann stark vom gemittelten Struktursteifigkeitswert abweichen. (Das trifft auf den Fall der unterfahrenden Kollisionen zu. Bei dieser können crashabsorbierende Fahrzeugstrukturen nicht oder nur teilweise deformiert werden.)
Sie kann als Orientierungshilfe im Vorderwagenbereich dienen.	Die Faustformel vernachlässigt oft elastische Verformungen und Massenunterschiede zwischen Fahrzeugen, was zu Ungenauigkeiten führt.
-	Die lineare Annahme des Zusammenhangs zwischen Kraft und Deformationsweg ist für moderne Fahrzeuge eine problematische Vereinfachung und führt zu großen Abweichungen.
-	Laut GÖRTZ et al. sollte die Faustformel bei modernen Fahrzeugen nicht angewendet werden, da diese einen nicht linearen Struktursteifigkeitsverlauf besitzen. (Moderne Fahrzeuge haben progressive Deformationsverläufe, durch z.B. Sollbruchstellen und dynamische Veränderung des Crashverhaltens durch Assistenzsysteme.)
-	Die Methode ist nur im Vorderwagenbereich sinnvoll anwendbar, nicht für andere Crashszenarien.

4.1.2 Energierastermethode

Die Energierastermethode basiert auf einer systematischen Zerlegung der deformierten Fahrzeugstruktur in einzelne rechteckige Segmente, welche ein Raster bilden. Dieses Energieraster wird von der zweidimensionalen Draufsicht des Vorderwagens eines Fahrzeugs erstellt, wie in Bild 6 dargestellt. SCHAPER [19]

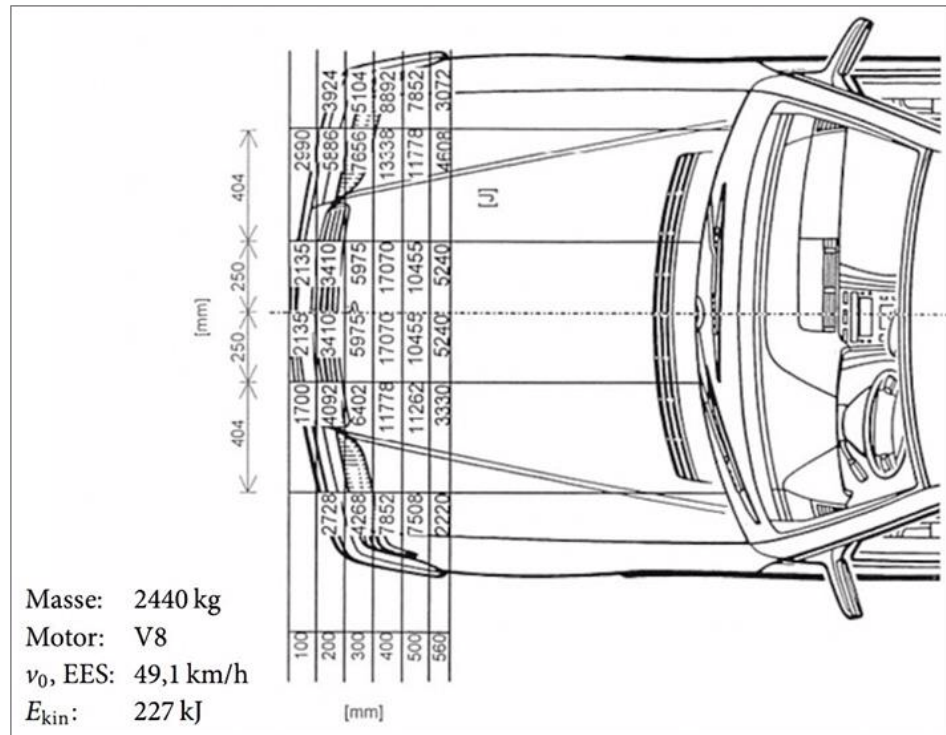


Bild 6: Energieraster einer Fahrzeugfront [12] S. 187

Energieraster können in JOHANNSEN eingesehen werden und variieren je nach Masse, Motorenbauart und Fahrzeugtyp. [12] S. 187 bis 190

Jedem dieser Rechtecke ist ein bestimmter Energiebetrag zugeordnet, den die Struktur in diesem Bereich bei einer Verformung annehmen kann. Die Ermittlung der Energiebeträge innerhalb eines Rechtecks erfolgt nach CHAMPBELL durch stückweise Integration des Flächeninhalts über die Rechtecktiefe und Rechteckbreite. GÖRTZ et al. [9] S. 191

Für jedes der einzelnen Segmente des Energierasters am Versuchs- oder Unfallfahrzeug wird die Eindringtiefe der Verformung gemessen und mit bekannten Energiekennwerten aus Crashtests oder Datenbanken verknüpft. Es wird die Deformationslinie des maximalen Kraftaustauschs ermittelt. Danach wird die ermittelte zweidimensionale Deformationslinie der bleibenden, plastischen Deformation in das Energieraster übertragen, sodass die Energiebeträge der beschädigten Rechtecke aufsummiert werden können. Bei den

Rechtecken, die nur teilweise von der Deformation betroffen sind, werden die Energieanteile anteilig addiert. GÖRTZ et al. [9] S. 191

Durch Summieren der Rasterfelder, die im Deformationsbereich liegen, sowie anteiliges Addieren der Rasterfelder, die sich nur teilweise im Deformationsbereich befinden, kann eine Gesamtdeformationsenergie gebildet werden. Die Summe der Energien kann mit $\sum E_{Def}$ beschrieben werden. GÖRTZ et al. [9] S. 191

Wenn das Energieraster dem Untersuchungsfall gleicht und keine Differenzen bezüglich der Masse, des Modells und des k-Faktors auftreten, kann die Gleichung (11) zur Bestimmung des EES-Wertes verwendet werden. BÄUMLER et al. [20]

$$EES = \sqrt{\frac{2 \cdot \sum E_{Def}}{m}} \quad (11)$$

Der EES-Wert berechnet sich aus der gesamten Deformationsenergie und der Fahrzeugmasse des Testfahrzeugs. Unterschiedliche Fahrzeugmassen und Elastizitäten innerhalb des Materials der Karosseriestrukturen müssen über verschiedene Faktoren berücksichtigt werden. GÖRTZ et al. [9] S. 191

Tabelle 2 fasst die Vor- und Nachteile der Energierastermethode zusammen.

Tabelle 2: Vor- und Nachteile der Energierastermethode GÖRTZ et al. [9] S. 228 bis 229, [11] S. 33 ff.

Vorteile	Nachteile
Es werden gute und schnelle Ergebnisse bei homogener Deformation und kleinen Auslaufbewegungen erzielt.	nur bei passendem Energieraster anwendbar
Es ist eine effiziente EES-Berechnung bei passenden Bedingungen möglich.	Der Anstoßwinkel sollte $\leq 6^\circ$ von der Fahrzeuglängsachse abweichen, sonst sind die Ergebnisse nicht konsistent.
Bei kleinen Auslaufbewegungen eignet sich diese Methode gut.	Auslaufbewegungen, Drehen, Schleudern oder Bremsungen müssen gesondert bewertet werden und sollten gegenüber der translatorischen Bewegung klein sein.
-	Die Bestimmung des Elastizitätsfaktors (Stoßzahl k) ist schwierig und kann zwischen Fahrzeugen und Baureihen variieren.
-	Energieraster älterer Fahrzeuge sind für aktuelle EES-Bewertungen ungeeignet, da die Steifigkeit sich durch Alterung und Reparatur verändert. (Neuere Fahrzeuge sind struktursteifer als ältere. Damit erfolgt eine Änderung des Zusammenhangs zwischen Stoßzahl und Überdeckung.)
-	Es sollte eine möglichst genaue Schätzung oder Messung der Deformation erfolgen, denn eine grobe Schätzung führt zu großen Fehlern, besonders wenn nur Fotomaterial vorliegt.
-	Es ist keine Darstellung der Deformationslinie bei stark differierenden Eindringtiefen (z.B. bei Unterfahrkollisionen) möglich.
-	EES-Bestimmung ist nicht möglich bei komplexen Deformationsverläufen, die eine Interpolation (Schätzung zwischen bekannten Punkten) der Deformationslinie erfordern.

Beim Abschätzen der Deformationslinie anhand von Fotomaterial kann es zu groben Fehlern kommen. Dies untersuchte GÖRTZ et al., indem mehrere Experten anhand von Fotomaterial eine Deformationslinie abschätzen sollten. Dabei variierte die Abschätzung der Deformationslinie sehr stark. Da die Lage der Deformationslinie direkten Einfluss auf die berechnete Deformationsenergie sowie den EES hat, variierten auch diese Werte sehr stark, siehe Bild 7. GÖRTZ et al. [9] S. 228 bis 229

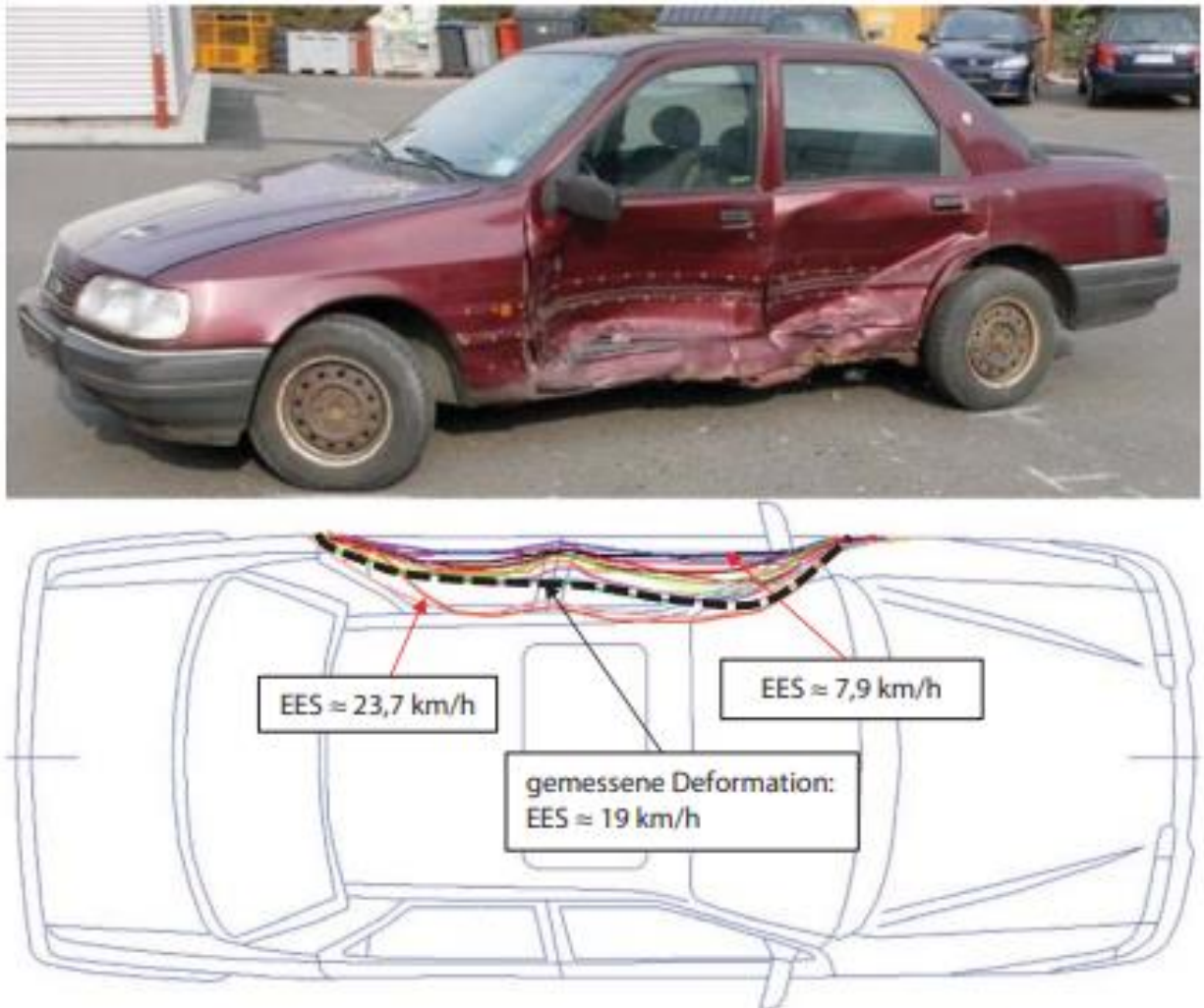


Bild: 7: Problematik beim Schätzen der Deformationslinie anhand von Fotomaterial [17] S. 228

Aus den Untersuchungen wurde deutlich, dass zwischen der geschätzten Deformationslinie und der gemessenen Deformationslinie eine große Abweichung auftreten kann. Des Weiteren kann die Deformationslinie nicht dargestellt werden, wenn es sich um stark differierende Endringtiefen entlang der Fahrzeughochachse handelt. Dies betrifft z.B. den Fall einer Unterfahrkollision. Eine EES-Bestimmung kann bei diesem Beispiel mit der Energierastermethode nicht erfolgen, da auch in diesem Fall eine Interpolation der Deformationslinie erfolgen müsste. GÖRTZ et al. [9] S. 228

4.1.3 Crash3-Methode

Die Crash3-Methode ist ein datenbasiertes Verfahren zur Bestimmung des EES-Wertes. Sie vergleicht reale Unfallverformung mit Crashtestdaten und berechnet daraus die EES, die für die Geschwindigkeitsrekonstruktion genutzt wird. Die Crash3-Methode ist ein Modul, welches in das Simulationsprogramm PC-Crash eingebunden ist. [11] S. 9

In den angloamerikanischen Ländern ist es eine gängige Praxis, die EES-Werte mithilfe von Modulen von Simulationsprogrammen, z.B. der Crash3-Methode, zu bestimmen. Für die Berechnung sind Struktursteifigkeitsdaten für die verschiedenen Fahrzeugmodelle erforderlich, welche wie in Bild 8 zu sehen, von der US-Sicherheitsbehörde für Straßen- und Verkehrssicherheit (NHTSA) innerhalb des Moduls bereitgestellt werden. Da die Sicherheitsanforderungen und gesetzlichen Bestimmungen in den USA von den europäischen Richtlinien abweichen können, können die Bauteil- und Karosseriekonstruktionen in manchen Fahrzeugabschnitten abweichend ausgeführt sein, obwohl es sich um das gleiche Fahrzeug handelt. Für Fahrzeuge, die auf dem europäischen Markt zugelassen sind, sind nur wenige Struktursteifigkeitsdaten in der NHTSA Datenbank vorhanden, so müssen diese geschätzt oder durch Kollisionsversuche ermittelt werden. GÖRTZ et al. [9] S. 191

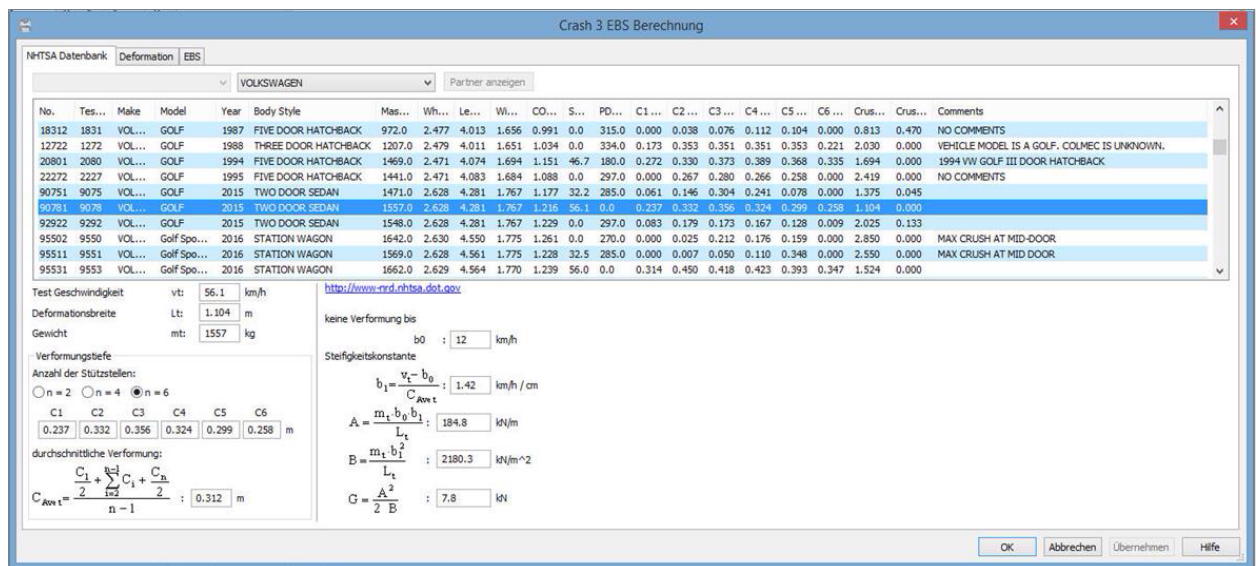


Bild 8: Auswahl eines Vergleichsfahrzeugs in der Crash3-Datenbank im Simulationsprogramm PC-Crash [7] S. 123

Die hinterlegten Daten stammen überwiegend aus dem vollüberdeckten Wandaufprall mit 40 km/h, 56 km/h und dem seitlichen Pfahlanprall mit 32 km/h. GÖRTZ et al. [9] S. 229

Der Nutzer wählt einen Crashtest im Crash3-Modul aus, der mit seinem Anwendungsfall übereinstimmt. Innerhalb des Crash3-Moduls können für den ausgewählten Crashtest

verschiedene Parameter, wie die Testgeschwindigkeit, die Deformationsbreite und die Masse des Testfahrzeuges eingesehen werden. Am Testfahrzeug werden die Deformationstiefen über 12 Stützstellen mit konstantem Abstand vermessen und können in der Eingabemaske ebenfalls eingesehen werden. Aus diesen einzelnen Deformationstiefen wird eine mittlere Deformationstiefe angegeben. Ebenfalls wird eine Anprallgeschwindigkeit angegeben, bis zu der keine bleibende Verformung am Fahrzeug auftritt. Diese ist meist mit 12 km/h vorgegeben. BURG et al. [3] S. 350 ff.

Die Deformation des Unfallfahrzeuges sollte so genau wie möglich vermessen werden. Das am Fahrzeug vorhandene Deformationsprofil wird durch das computergestützte Einzeichnen einer Deformationslinie auf eine zweidimensionale Fläche reduziert. Es ist nicht möglich, eine Betrachtung der Deformation entlang der Hochachse des Fahrzeugs vorzunehmen. GÖRTZ et al. [9] S. 227 bis 228

Die mittlere Struktursteifigkeit S kann mit der Gleichung (12) berechnet werden. BURG et al. [3] S. 351 Dabei wird die Variable B aus dem ausgewählten Fahrzeugmodell aus Bild 8. abgeleitet.

$$S = B \cdot \text{Fahrzeugbreite} \quad (12)$$

Die vermessenen Deformationstiefen werden über Stützstellen in das Crash3-Modul eingebunden. Dabei können mindestens zwei bis zu maximal 12 Stützstellen verwendet werden. Diese Anzahl der Stützstellen wird mit C1 bis C12 dargestellt. Es ist möglich, die Abstände der Stützstellen dabei variabel zu wählen, wie in Bild 9 zu sehen. Der Buchstabe L kennzeichnet den Stützstellenabstand. BURG et al. [3] S. 353

Crash 3 EBS Berechnung

NHTSA Datenbank Deformation EBS

Verformungstiefe

Anzahl der Stützstellen: 12

C1	C2	C3	C4	C5	C6
0	0	0	0	0	0
m					
L1	L2	L3	L4	L5	L6
0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
m					
C7	C8	C9	C10	C11	C12
0	0	0	0	0	0
m					
L7	L8	L9	L10	L11	L12
0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1
m					

OK Abbrechen Übernehmen Hilfe

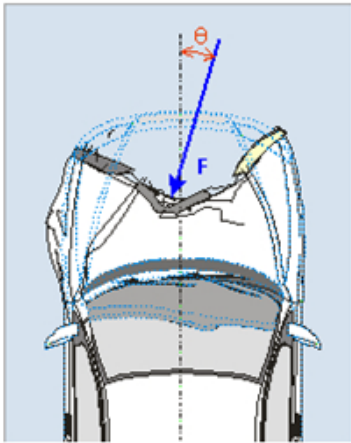
Bild 9: Eingabemaske der Deformationstiefen über verschiedene Stützstellen im Crash3-Modul [7] S. 124

Es ist möglich, die Stoßrichtung in einem gewissen Bereich anzupassen. Diese Anpassung der Stoßrichtung wird in dem Betrag der Deformationsenergie und des EBS-Wertes berücksichtigt. Durch die Vorgabe eines k-Faktors oder einer Stoßpunktlösegeschwindigkeit kann der EES-Wert berechnet werden. Die Berechnung des EES-Wertes unter der Berücksichtigung des k-Faktors erfolgt nach der Gleichung (13). BURG et al. [3] S. 349

$$EES = EBS \cdot \sqrt{1 - k^2} \quad (13)$$

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

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

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

EES: EES: 12 km/h

☒ Restitution (k-Faktor): k: 0

☐ Stoßpunktlösegeschwindigkeit: v: 0 km/h

OK Abbrechen Übernehmen Hilfe

Bild 10: Ausgabemaske des Crash3-Moduls [7] S. 124

In Bild 10 ist die Ausgabemaske des Crash3-Moduls dargestellt. Tabelle 3 fasst die Vor- und Nachteile der Crash3-Methode zusammen.

Tabelle 3: Vor- und Nachteile der Crash3-Methode BURG et al. [3] S. 353, GÖRTZ et al. [9] S. 229, [11] S. 35 ff.

Vorteile	Nachteile
einfache und schnelle EES-Bewertung von Deformationen	EES-Bewertung nur für die Fahrzeugfront, nicht für den Seitenbereich möglich.
hohe Nachvollziehbarkeit und Reproduzierbarkeit des ermittelten EES-Wertes, bei Dokumentation der verwendeten Daten (Vergleichscrashtest, verwendete Massen und Stützstellen, Eindringtiefen)	keine Berücksichtigung unterschiedlicher Struktursteifigkeiten (Linke/rechte Fahrzeugseite, Marktunterschiede) Annahme konstanter mittlerer Struktursteifigkeit, was bei modernen Fahrzeugen oft nicht mehr zutrifft (ab Baujahr 2000)
eingebunden in PC-Crash – Integration in ein etabliertes Unfallrekonstruktionsprogramm	Anwendbarkeit bei moderneren Fahrzeugen nur in einem Geschwindigkeitsbereich zulässig, für den ein identischer Vergleichsversuch eines baugleichen Fahrzeugs mit passenden mittleren Struktursteifigkeitsdaten vorliegt, (sonst Genauigkeit zu gering)
objektive Ergebnisse durch Nutzung standardisierter Crashtests (z.B. NHTSA)	Auch hier kann keine Betrachtung der Deformationslinie in z Richtung erfolgen, Interpolation der Deformationslinie ist unzulässig und führt zu Fehlern.
gut geeignet für homogene frontale Deformationen mit ausreichender Überdeckung und geringer Abweichung von der Längsachse	Fehler beim Schätzen der Deformationslinie (aus Fotomaterial) nicht quantifizierbar, Messung der Deformationstiefe notwendig
-	Sie kann nicht angewendet werden, wenn energieabsorbierende Fahrzeugstrukturen bei einer Kollision nicht beansprucht wurden, z.B. bei Untergleitkollisionen, schiefwinkligen Anstößen oder sehr kleinen Überdeckungen, da Kraftvektorenrichtung und -betrag nicht mit dem zugrunde gelegten Crashtest verglichen werden können.
-	Unterschiedliche Marktauslegungen (z.B. Euro NCAP vs. NHTSA) können zu abweichenden Sicherheitsstrukturen führen, was die Übertragbarkeit erschwert.

4.1.4 Expertenschätzung

Eine weitere Möglichkeit, einen EES-Wert zu bestimmen, ist die Schätzung durch Experten. Dabei wird die Plattform ReconData verwendet. Auf dieser werden Fotos der beschädigten Fahrzeuge und deren technische Randdaten, wie Hersteller, Modell, Masse, Baujahr, Leer- und Unfallmasse, einer Gruppe von Teilnehmern bereitgestellt. [21]

Bild 11: Benutzeroberfläche zum Einstellen von Fahrzeugkollisionen auf ReconData für eine EES-Schätzung durch Experten [21]

Bild 11 stellt die Benutzeroberfläche für das Einstellen einer Kollision dar. Wenn alle notwendigen Angaben getroffen wurden, wird ein Internetlink erzeugt, der den Teilnehmern der Expertenschätzung zugesendet wird. Dieser wird mehreren Experten per E-Mail zugesendet. Bild 12 beschreibt dieses Vorgehen. [22] Die Experten schätzen den EES-Wert aufgrund der eigenen Erfahrungen. Dabei liegt die Toleranzbreite bei erfahrenen Experten bei ca. ± 5 km/h. GÖRTZ et al. [9] S. 186

Die Experten können einen minimalen und einen maximalen EES-Wert für die Kollisionsfahrzeuge angeben. Die geschätzten EES-Werte müssen ganzzahlig sein. Nachdem die geschätzten EES-Werte angegeben wurden, wird automatisch die minimale und maximale Deformationsenergie nach Gleichung (2) berechnet. Diese Deformationsenergie eignet sich als erste Überprüfung des EES-Wertes. Laut GÖRTZ et al. sollte die Deformationsenergie so aufgeteilt werden, dass das schwere Fahrzeug die geringere Deformationsenergie umsetzt. [9] S. 224 Der Grund dafür ist, dass schwere Fahrzeuge strukturelfter als leichtere Fahrzeuge sind, da die Fahrzeuge auf den Wandpralltest ausgelegt sind. GÖRTZ et al. [9] S. 224



EES-Einstufung - Ergebnisse:

	Fahrzeug 1	Fahrzeug 2
Hersteller:	VW	Skoda
Modell:	Golf	Octavia
Baujahr:	2017	2001
Leergewicht [kg]:	1462	1388
ID:	723476	723477

Fragestellung:

EES



Bild 12: Benutzeroberfläche für eine EES-Bewertungsanfrage auf ReconData [22]

Name	EES 1	EES 2	Energieverteilung	
1	17-23	20-25 km/h	45%	55%
2	18-22	24-28 km/h	38%	62%
3	16-20	18-22 km/h	46%	54%
4	18-25	19-28 km/h	47%	53%
5	17-22	23-28 km/h	38%	62%
6	17-22	25-30 km/h	35%	65%
7	10-18	20-30 km/h	25%	75%
8	8-12	22-30 km/h	13%	87%
9	8-11	12-15 km/h	34%	66%
10	13-17	14-18 km/h	48%	52%
Min/Max	8-25	12-30 km/h		
Mittelwert	16.7	22.6 km/h	37%	63%
Median	19.5	25 km/h	39%	61%
Standardabweichung	4.3	4.7 km/h		
Def-Energie Median	21.4	33.5 kJ		
Sigma/Median Energieverhältnis	49	41 %		
Qualitätsindikator				
Verteilung				
Deformationsbereich				

Bild 13: Ergebnisoberfläche der EES-Bewertungsanfrage auf ReconData [23]

Bild 13 stellt ein Ergebnis einer EES-Bewertungsanfrage dar. Es werden die Einzelschätzungen der Experten für die jeweiligen Fahrzeuge und deren entsprechende Energieverteilung angezeigt. Es können die Minima und Maxima des EES-Wertes sowie Mittelwert, Median, Standardabweichung und der Median der Deformationsenergie eingesehen

werden. Außerdem wird das Energieverhältnis gebildet und als Qualitätsindikator farbig dargestellt, siehe Gleichung (20) und (21). Ein Energieverhältnis $\leq 50 \%$ wird mit Grün markiert und gilt als wahrscheinlich sicheres Ergebnis. Wenn sich das Energieverhältnis in einem Bereich zwischen $50 \% \leq 75 \%$ befindet, dann ändert sich die farbige Einstufung in Gelb. Ein Energieverhältnis, welches über 75% liegt, wird mit Rot markiert und gilt als sehr unsicheres Ergebnis. Kollisionen mit nur einem Unfallbeteiligten werden allgemein mit einem gelben oder roten Punkt gekennzeichnet. GÖRTZ et al. [9] S. 222

In [9] S. 222 definieren GÖRTZ et al. die prozentuale Energiedifferenz. Diese steht ebenfalls für die Bewertung der Qualität eines Schätzergebnisses und ist mit Gleichung (18) und (19) dargestellt. Auf der Plattform ReconData wird diese prozentuale Energiedifferenz nicht dargestellt.

$$p_{Energie} = \frac{EES_{Obergrenze}^2 - EES_{Mittelwert}^2}{EES_{Mittelwert}^2} \quad (18)$$

$$EES_{Obergrenze} = EES_{Mittelwert} + EES_{Standardabweichung} \quad (19)$$

In Bild 13 wird das Energieverhältnis angegeben. Dieses dient für die qualitative Bewertung der Schätzergebnisse und wird auf ReconData dargestellt. Dabei wurde für die Berechnung der Median verwendet. Dies ist den Gleichungen (20) und (21) zu entnehmen. [11] S. 27

$$Energieverhältnis = \frac{EES_{Obergrenze}^2 - EES_{Median}^2}{EES_{Median}^2} \quad (20)$$

$$EES_{Obergrenze} = EES_{Median} + EES_{Standardabweichung} \quad (21)$$

Das visuelle Abschätzen des EES-Wertes eines einzelnen Sachverständigen ohne den visuellen Vergleich mit Crashtestergebnissen führt zu fehlerhaftem Abschätzen des EES-Wertes. GÖRTZ et al. [9] S. 186 Untersuchungen zeigen, dass das Schätzen von EES-Werten zu sicheren Ergebnissen führen kann, besonders dann, wenn ein Mittelwert gebildet wird. Durch diesen lassen sich mögliche Ausreißer der Schätzung eliminieren. Der Mittelwert vieler Schätzungen befindet sich nah am realen EES-Wert. GÖRTZ et al. [9] S. 221

Bei den Expertenschätzungen von GÖRTZ et al. waren 30 Experten an der Schätzung beteiligt. Von diesen 30 Expertenschätzungen wurden fünf Ergebnisse herausgefiltert, da diese Schätzungen nicht plausibel waren. Somit ergeben sich 25 schätzende Experten.

Allgemein lässt sich sagen, dass es sinnvoll ist, wenn sich an der Anzahl von ca. 25 schätzenden Experten orientiert wird. GÖRTZ et al. [9] S. 221

Bei der Expertenschätzung können beide Kollisionspartner nicht die gleiche EES haben. Der EES-Wert ist abhängig vom Fahrzeugtyp und der Struktursteifigkeit. Wenn bei der Expertenschätzung der EES-Wert geschätzt wird und nur ein Fahrzeug verunfallt ist, dann wird das Energieverhältnis immer gelb. Es kann nicht grün werden, wenn nur ein Fahrzeug beteiligt ist. BRÖSDORF [7]

In der Tabelle 4 sind die Randbedingungen zur Anwendbarkeit der Expertenschätzungsmethode dargestellt. GÖRTZ et al. [9] S. 225

Tabelle 4: Randbedingungen zur Anwendbarkeit der Methode: Expertenschätzung [9] S. 225

Grün	Gelb	Rot
- EES-Bereich: 10 km/h bis 60 km/h - Energieverhältnis $\leq 50 \%$ - zwei Kollisionsobjekte vorhanden	- EES-Bereich: < 10 km/h und > 60 km/h - Modifikationen erforderlich - Energieverhältnis $\leq 75 \%$ - nur ein Kollisionsobjekt vorhanden	- Motorräder, LKW, Anhänger etc. - Energieverhältnis > 75 %

Die Tabelle 5 fasst die Vor- und Nachteile der Expertenschätzung zusammen.

Tabelle 5: Vor- und Nachteile der Expertenschätzung GÖRTZ et al [9] S. 220 bis 225, [11] S. 45

Vorteile	Nachteile
Kombination mit Methoden: - Mehrere Experten liefern gute Ergebnisse. - Kombination mit weiteren Methoden erhöht die Ergebnisvalidität.	Fehleinschätzungsrisiko: - Selbst erfahrene Experten können Fehler machen. - Unklare Ermittlungsmethoden (z.B. andere Erfahrungswerte, mithilfe von überschlägigen Formeln) führen zu verringerter Genauigkeit.
Datenbasierte Validierung: - GIDAS-Daten zeigen Häufigkeit bei Front-/ Heckkollisionen, dies führt zu besseren Erfahrungswerten bei diesen Stoßrichtungen. In der GIDAS-Datenbank werden die Anstoßrichtungen in 12 Abschnitte eingeteilt.	Limitierte Daten: - Seltene Kollisionstypen können zu Ungenauigkeiten führen. - GIDAS-Daten sind ungleich verteilt (Front/ Heck dominant).
Qualitätsindikatoren: - Prozentuale Energiedifferenz ist objektives Qualitätsmerkmal. - Je besser die Schätzungen übereinstimmen, umso kleiner ist die prozentuale Energiedifferenz.	Praktische Limitationen: - Nutzer von ReconData können bestimmte abweichende Schätzungen nicht eliminieren/ manipulieren.
Unabhängige Schätzungen: - Bei ReconData schätzen Experten unabhängig voneinander. (Es gibt keine Gruppendynamik, jeder schätzt für sich.)	-
Visuelle Validierung: - Der Vergleich einer EES-Expertenschätzung mit dem visuellen Vergleich aus Crashversuchen minimiert Fehleinschätzungen und erhöht die Nachvollziehbarkeit.	Praktische Hürden: - Crashtests, welche mit einem bestimmten Untersuchungsfall übereinstimmen, sind oft nicht verfügbar.

4.1.5 Kollisionsversuche und visueller Vergleich

Kollisionsversuche sind ebenfalls eine Möglichkeit, eine EES-Bestimmung durchzuführen, um einen Vergleich mit dem zu untersuchenden Unfall ziehen zu können. Durch die umfassende Datenlage und Dokumentation stellt der Kollisionsversuch eine objektive Möglichkeit der EES-Bestimmung dar. Durch die genaue Nachvollziehbarkeit der dokumentierten Geschwindigkeiten, Beschleunigungen und der Anstoßkonfiguration kann

eine Übertragbarkeit auf die zu untersuchende Fahrzeugkollision erfolgen. Es ist wichtig, dass der Kollisionsversuch der zu untersuchenden Unfallkonstellation entspricht. Im besten Fall stimmen die Fahrzeuge bzw. die Kollisionsobjekte sowie deren Massen, die Deformationen, Geschwindigkeiten und die Anstoßrichtungen mit dem Untersuchungsfall überein. [11] S. 28

Kollisionsversuche können unterteilt werden in prinzipielle und spezielle Untersuchungen. BRÖSDORF et al. [24] S. 81

Als prinzipielle Kollisionsversuche werden Crashtests beschreiben, die für allgemeine Wissensbeschaffung verwendet werden. Dabei muss der durchzuführende Crashtest nicht unbedingt mit einem zu untersuchenden Einzelfall zusammenhängen. Prinzipielle Untersuchungen dienen dazu, komplexe Unfallvorgänge nachzuvollziehen und erhöhen den Wissensstand. Aus diesem Grund ist es nicht unbedingt nötig, genaue Anstoßkonfigurationen und Umgebungsbedingungen nachzustellen. Jedoch ist die Übertragbarkeit eines prinzipiellen Kollisionsversuchs auf einen zu untersuchenden Einzelfall gegebenenfalls nur bedingt bzw. überhaupt nicht möglich. BRÖSDORF et al. [24] S. 81 bis 83

Die speziellen Kollisionsversuche werden durchgeführt, um einen konkreten Fall nachbilden zu können. Für den speziellen Kollisionsversuch ist es ausschlaggebend, dass die Rahmenbedingungen des Kollisionsversuchs mit dem des Untersuchungsfalls übereinstimmen. Das heißt, es sollten Kollisionsobjekte, Anstoßkonfiguration, Anstoßwinkel, Unfallort und Umgebungsbedingungen dem Untersuchungsfall entsprechen. Sobald von dem speziellen Einzelfall abgewichen wird, hat dies einen großen Einfluss auf das Ergebnis und die Übertragbarkeit des Kollisionsversuchs. BRÖSDORF et al. [24] S. 84

Sobald die Übertragbarkeit des speziellen Kollisionsversuchs nicht mehr gegeben ist, ist eher von einer prinzipiellen Untersuchung auszugehen. BRÖSDORF et al. [24] S. 84 bis 88

Diese durchgeführten Kollisionsversuche werden in der Methode des visuellen Vergleichs zur EES-Ermittlung verwendet, indem sie mit einem Untersuchungsfall verglichen werden. Dazu erfolgt ein optischer Vergleich von Verformungsumfang, Schadenverlauf und Eindringtiefe des Crashtests mit dem zu untersuchenden Fall. So können Aussagen über die aufgenommene Deformationsenergie getroffen werden. Des Weiteren sollten die Fahrzeuge auch hinsichtlich des Modells, Baujahrs und der Masse sowie deren Anstoßkonfigurationen übertragbar sein. Es ist möglich, dass einige Ausgangswerte des Crash- tests auf den Untersuchungsfall angepasst werden müssen. In einigen Fällen könnte es

erforderlich sein, mehrere Kollisionsversuche eines Unfallgeschehens durchzuführen, um bestimmte Parameter der Anstoßkonfiguration genauer bestimmen zu können. GÖRTZ et al. [9] S. 187 bis 189, BRÖSDORF et al. [24] S. 81 bis 84

Dem Sachverständigen stehen für den visuellen Vergleich verschiedene EES-Datenbanken zur Verfügung, z.B. CTS, Euro NCAP, NHTSA, AGU, ReconData oder IIHS. Mithilfe dieser EES-Datenbanken können zufriedenstellende Ergebnisse erzielt werden. GÖRTZ et al. [9] S. 190 Wenn die durchgeführten prinzipiellen oder speziellen Kollisionsversuche einer EES-Datenbank beige-steuert werden können, sind diese für andere Sachverständige von Nutzen und helfen bei der Gutachtenerstellung. GÖRTZ et al. [9] S. 189 bis 190

Um die Übertragbarkeit von Crashtests auf eine Fahrzeugkollision beschreiben zu können, werden in [25] Gleichungen aufgestellt und hergeleitet. So erhält man eine möglichst genaue Berechnung des EES-Wertes. Jedoch müssen bestimmte Annahmen betrachtet werden, wie die Übertragbarkeit der Struktursteifigkeit oder das Masseverhältnis. In Tabelle 6 werden diese Gleichungen zusammenfassend dargestellt und dienen als Leitfa-den für die Bestimmung des EES-Wertes. KALTHOFF et al. [25] S. 48 bis 61

Tabelle 6: Übertragbarkeit von Crashtestergebnissen auf einen Untersuchungsfall [25] S. 61

EES	Masse	Steifigkeit	Verformung	Deformations-energie	EES	Berechnung EES_F
(3.1) Gleiche Fahrzeuge, unterschiedliche Beladung						
	$m_F \neq m_C$	$c_F = c_C$	$s_F = s_C$	$E_F = E_C$	$EES_F \neq EES_C$	$EES_F = \sqrt{\frac{m_C}{m_F}} \cdot EES_C$
(3.2) Unterschiedliche Fahrzeuge, massenproportionale Steifigkeit, lineare / lineare oder nicht lineare / nicht lineare Kennung						
	$m_F \neq m_C$	$c_F \neq c_C$	$s_F = s_C$	$E_F \neq E_C$	$EES_F = EES_C$	$EES_F = EES_C$
Relative- geschwindigkeit	Masse	Steifigkeit	Verformung	Deformations- energie / EES	Gesamtdefor- mationsenergie	Berechnung v_{rel}
(4.1) Gleiche Fahrzeuge, unterschiedliche Beladung						
	$m_{F1} = oder \neq m_{C1}$	$c_{F1} = c_{C1}$	$s_{F1} = s_{C1}$	$E_{F1} = E_{C1}$	$E_{Fges} = E_{Cges}$	$v_{relF} = v_{relC} \cdot \sqrt{\frac{m_{1C} \cdot m_{2C}}{m_{1C} + m_{2C}} \cdot \frac{m_{1F} \cdot m_{2F}}{m_{1F} + m_{2F}}}$
	$m_{F2} = oder \neq m_{C2}$	$c_{F2} = c_{C2}$	$s_{F2} = s_{C2}$	$E_{F2} = E_{C2}$		
(4.2) Unterschiedliche Fahrzeuge, massenproportionale Steifigkeit, lineare / lineare oder nicht lineare / nicht lineare Kennung						
	$m_{F1} = oder \neq m_{C1}$	$c_{F1} = oder \neq c_{C1}$	$s_{F1} = s_{C1}$	$E_{F1} \neq E_{C1}$ $E_{F2} \neq E_{C2}$ $EES_{F1} = EES_{C1}$ $EES_{F2} = EES_{C2}$	$E_{Fges} \neq E_{Cges}$	1. EES-Wert aus Versuch auf Fall übertragen; 2. EES-Wert aus $E_{Defges} \Rightarrow v_{rel}$ berechnen
	$m_{F2} = oder \neq m_{C2}$	$c_{F2} = oder \neq c_{C2}$	$s_{F2} = s_{C2}$			
(4.3) Unterschiedliche Fahrzeuge, massenproportionale Steifigkeit, lineare und nicht lineare Kennung gemischt oder unbekannt						
	$m_{F1} = oder \neq m_{C1}$	$c_{F1} = oder \neq c_{C1}$	$s_{F1} = s_{C1}$	$E_{F1} \neq E_{C1}$ $E_{F2} \neq E_{C2}$ $EES_{F1} \neq EES_{C1}$ $EES_{F2} \neq EES_{C2}$	$E_{Fges} \neq E_{Cges}$	Beide EES-Werte aus Barrieren-Versuchen, $\Rightarrow v_{rel}$ berechnen
	$m_{F2} = oder \neq m_{C2}$	$c_{F2} = oder \neq c_{C2}$	$s_{F2} = s_{C2}$			

Eine Übertragbarkeit von unterschiedlichen Fahrzeugen ist auch möglich, wie in Tabelle 6 unter dem Punkt (3.2) zu sehen. Deshalb sollte in diesem Zusammenhang darauf geachtet werden, dass eine Übertragbarkeit innerhalb der gleichen Fahrzeugklasse stattfindet und auf ein ähnliches Baujahr zwischen Untersuchungsfall und Crashtest geachtet wird. Genauer gesagt, kann eine Übertragbarkeit hergestellt werden, wenn Fahrzeuge auf der gleichen Produktplattform hergestellt wurden. [11] S. 30

Laut GRATZER wollen die Fahrzeughersteller bei der Fahrzeugkonstruktion mindestens die gesetzlichen Vorgaben erfüllen, teilweise bestehen intern sogar noch höhere Anforderungen als die gesetzlich geforderten, um bei Fahrzeugkollisionen bestimmte Verzögerungen für die Fahrzeuginsassen zu erreichen bzw. zu begrenzen. Auf diese Weise kann die Sicherheit der Insassen gewährleistet werden. Dies hat zur Folge, dass Fahrzeuge der gleichen Klasse ähnliche Verformungswege aufweisen. Dies bedeutet im weiteren Sinne, dass schwere Fahrzeuge eine größere Struktursteifigkeit aufweisen müssen als die leichteren Fahrzeuge. GRATZER [26] S. 372

In Tabelle 7 sind die Randbedingungen zur Anwendbarkeit der Methode Visueller Vergleich dargestellt.

Tabelle 7: Randbedingungen zur Anwendbarkeit der Methode: Visueller Vergleich [9] S. 228

Grün	Gelb	Rot
- übereinstimmende Fahrzeugklasse - Massendifferenz $\leq 10 \%$ - Baujahrdifferenz ≤ 5 - Δ Anstoßrichtung 0	- übereinstimmende Fahrzeugklasse - $10 \% < \text{Massendiff.} \leq 25 \%$ - $5 < \text{Baujahrdifferenz} \leq 10$ - $0 < \Delta \text{ Anstoßrichtung} \leq 2$	- abweichende Fahrzeugklasse - Massendifferenz $> 25 \%$ - Baujahrdifferenz > 10 - $\Delta \text{ Anstoßrichtung} > 2$

Die Tabelle 8 fasst die Vor- und Nachteile des visuellen Vergleichs zusammen.

Tabelle 8: Vor- und Nachteile des visuellen Vergleichs GÖRTZ et al. [9] S. 225 bis 227, [11] S. 48

Vorteile	Nachteile
Er ist eine objektive und nachvollziehbare Methode zur EES-Wertermittlung.	Der identische Crashtest zum Untersuchungsfall ist oft nicht verfügbar (wegen großer Variation der Unfallparameter, wie z.B. Variation von Deformation, Eindringtiefe, Struktursteifigkeit, Modell, Masse, Anstoßkonfigurationen, ...). Übertragbarkeit auf ausgewählte Crashtests erfordert vollständige technische Daten (Hersteller, Modell, Baujahr, Masse, ...).
Wenn ein objektiver Crashtest für den visuellen Vergleich verfügbar ist, sollte dieser für die Qualitätssicherung verwendet werden, denn durch den visuellen Vergleich wird eine hohe Objektivität und Nachvollziehbarkeit geschaffen.	Die Durchführung spezieller Crashtests ist zeitintensiv und teuer. Bevor ein spezieller Crashtest aufgrund eines Untersuchungsfall erzeugt wird, sollte eine Hypothese zu den Kollisionsparametern aufgestellt werden. Diese wird dann durch den Vergleich der realen Schadenbilder zwischen Crashtest und Untersuchungsfall bestätigt. Der wirtschaftliche Nutzen ist fraglich, wenn viele unterschiedliche Crashtests nötig wären.
Man kann vergleichbare Fahrzeugkollisionen aus EES-Datenbanken (z.B. in PC-Crash) nutzen.	Es besteht die Gefahr von Fehleinschätzungen und Fehlerfortpflanzungen bei ungenauer Auswahl von Vergleichsversuchen oder EES-Datenbanken. Die Qualität der verwendeten EES-Datenbank und auch der Datenbanken, die bei der Expertenschätzung erzeugt werden, muss kritisch überprüft werden.

4.1.6 3D-EES-Modell

Das 3D EES-Modell ist ein datenbasiertes Verfahren zur Bestimmung von EES-Werten. Es nutzt dreidimensionale Deformationsdaten, Fahrzeugtyp und Stoßrichtung, um auf Basis umfangreicher Referenzdaten aus der GIDAS-Datenbank einen realitätsnahen EES-Wert zu berechnen. ERBSMEHL [27]

Der Grundgedanke bei der Berechnung des EES-Wertes mithilfe eines 3D Modells ist der Volumenunterschied ΔV von einer nicht deformierten Fahrzeugoberfläche im Vergleich zu einer deformierten Fahrzeugoberfläche. GÖRTZ et al. [9] S.193

$$W_{Def} = p \cdot \Delta V \quad (14)$$

Dabei kann aus der Deformationsarbeit in Gleichung (14) die aus einer Kollision resultierende plastische Deformationsenergie berechnet werden. Der Volumenunterschied wird mit ΔV beschrieben und der Druck mit p . Aus der Physik ist bekannt, dass der Druck sich aus der Kraft berechnet, die auf eine definierte Fläche wirkt. Dies wird mit der Gleichung (15) beschrieben. [11] S. 12

$$p = \frac{F}{A} \quad (15)$$

ERBSMEHL entwickelt auf diesem Ansatz und unter Einbeziehung der Energierastermethode ein 3D Energy-Equivalent-Speed-(EES)-Modell für Fahrzeuge, basierend auf Unfalldaten, mit dem der EES-Wert anhand von deformierten Volumenelementen berechnet werden soll. Anders als bei der Energierastermethode werden nicht nur die Flächen summiert, sondern die Volumenelemente. Um die Geometrie des Fahrzeugs abbilden zu können, wird das Fahrzeug durch kleine Volumenelemente beschrieben. Diese Volumetric Pixel werden auch als Voxel bezeichnet. Für diese Verfahren wurden sieben 3D EES-Fahrzeugmodelle erstellt. GÖRTZ et al. [9] S. 193, BREITLAUCH et al. [28] S. 296 ff.

In Bild 14 wird eines der sieben 3D EES-Fahrzeugmodelle dargestellt.

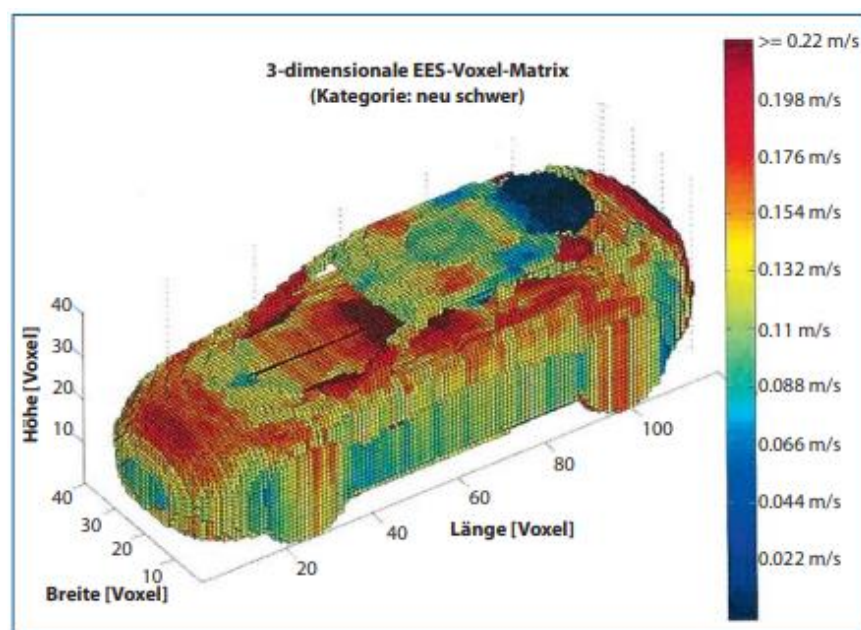


Bild 14: 3D EES-Fahrzeugmodell [9] S. 193

Jedem Voxel (Volumetric Pixel) wurde während der Erstellung des Modells ein auf den verwendeten Unfalldaten basierender, masseunabhängiger EES-Wert mitsamt einer Unsicherheit zugeordnet, der die aufgenommene Deformationsenergie für diesen Bereich des Fahrzeugs beschreibt. BREITLAUCH et al. [28] S. 299

Wenn ein Voxel im Deformationsbereich liegt, wird dieser Wert des Voxels zur Gesamtdeformationsenergie hinzuaddiert. GÖRTZ et al. [9] S. 193 Die Voxel, welche im Deformationsbereich liegen, werden mit Hilfe der Gleichung (16) aufsummiert. [11] S. 12

$$EES = \sqrt{\sum_{i=0}^{def} EES_i^2} \quad (16)$$

Mithilfe des PC-Programms calculateEES kann der EES-Wert bewertet und berechnet werden. Innerhalb dieses Programms kann zwischen sieben verschiedenen Fahrzeugmodellen gewählt werden. Diese sind in Tabelle 9 aufgelistet. [11] S. 13

Tabelle 9: Auswählbare Fahrzeugklassen im 3D-EES-Modell [27]

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

Diese Modelle beschreiben jeweils eine bestimmte Fahrzeugklasse, welche unterschiedliche Struktursteifigkeiten aufweisen. Im Basis-Modell (BASIC) wurden alle verfügbaren Fahrzeugformen vereint und für die Darstellung wird die Fahrzeugoberfläche des VW Golf VI verwendet. Die anderen sechs Fahrzeugklassen werden jeweils durch einen typischen Vertreter dieser Klasse dargestellt, zu sehen in Bild 15. Für die Modellerzeugung der jeweiligen Fahrzeuggruppen wurden die Daten der GIDAS-Datenbank verwendet. In Tabelle 9 wird deutlich, dass je nach Fahrzeugklasse unterschiedliche Datenmengen zur Verfügung stehen. [11] S. 12 ff.

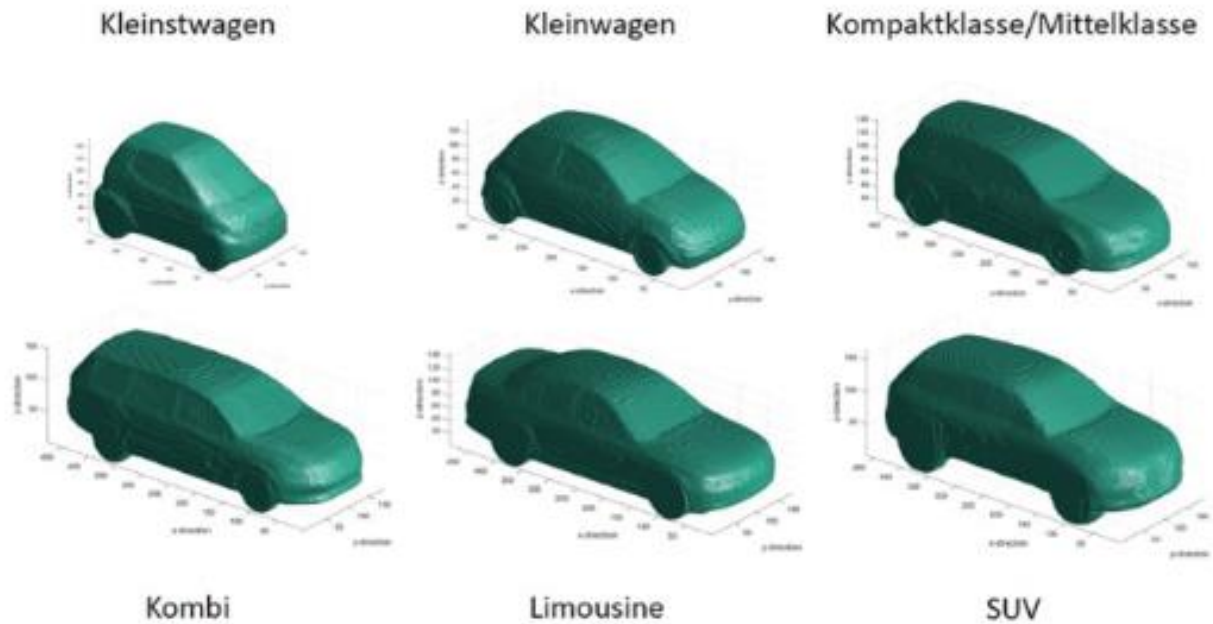


Bild 15: Verschiedene Fahrzeugtypen im PC-Programm calculateEES [28] S. 341

In Bild 15 sind die verschiedenen Fahrzeugmodelle, die in dem PC-Programm calculateEES zur Verfügung stehen, abgebildet. Diese Fahrzeugmodelle stellen verschiedene Fahrzeugklassen dar. Es wird dabei zwischen leichten und schweren Fahrzeugen unterschieden, wobei die Grenze bei 1250 kg liegt. Der Übergang zwischen älteren und neueren Fahrzeugen wird nach BREITLAUCH mit dem Baujahr 1997 definiert. GÖRTZ et al. [9] S. 193, [11] S. 35, BREITLAUCH et al. [28] S. 341

Laut BREITLAUCH et al. werden mit den Fahrzeugklassen, siehe Tabelle 9 und Bild 15, 93 % aller Fahrzeugtypen abgedeckt, welche 2019 in Europa zugelassen wurden. BREITLAUCH et al. [28] S. 341

Das 3D EES-Modell ist ein wissenschaftlich fundiertes, datenbasiertes Verfahren zur objektiven Bestimmung von EES-Werten bei Fahrzeugkollisionen. Es wurde auf dem Grundgedanken des Volumenunterschieds eines nicht deformierten Fahrzeugs im Vergleich zu einem deformierten Fahrzeug und unter Einbeziehung der Energierastermethode entwickelt. GÖRTZ et al. [9] S. 193

Im Vergleich zu dem Crash3-Modell oder der Energierastermethode kann nun auch eine Deformationstiefe in dreidimensionaler Richtung berücksichtigt werden. Diese Deformationsdaten, der Fahrzeugtyp und die Stoßrichtung werden verwendet, um auf Basis umfangreicher Referenzdaten einen realitätsnahen EES-Wert zu berechnen. Auch bei dieser Methode ist von einer visuellen Abschätzung der Deformationstiefe mittels Fotomaterial abzusehen. Das 3D-EES-Modell zeigt Potenzial für präzise Unfallanalysen, setzt jedoch

hochqualitative Eingabedaten und weitere Crashtest-Validierungen voraus, um die Zuverlässigkeit in allen Szenarien zu stärken. [11] S. 38

Die Tabelle 10 fasst die Vor- und Nachteile des 3D-EES-Modells zusammen.

Tabelle 10: Vor- und Nachteile des 3D-EES-Modells GÖRTZ et al. [9] S. 277, [11] S. 38

Vorteile	Nachteile
- 3D Deformationsanalyse: ermöglicht die Betrachtung von Deformationstiefen in drei Richtungen, ohne auf 2D Interpolationen angewiesen zu sein.	- Abhängigkeit von präzisen Vermessungen: Zentimetergenaue Deformationsmessungen sind erforderlich, um hohe Ergebnisqualität zu gewährleisten.
- Schnelle Berechnung: EES-Werte werden in kurzer Zeit generiert und in übersichtlichen Protokollen dokumentiert. (Einbindung in dem Berechnungstool calculateEES).	- Systematische Fehlerrisiken: Das 3D-EES-Modell basiert auf rekonstruierten EES-Werten aus Unfalldatenbanken (z.B. GIDAS), die subjektive Schätzungen enthalten können.
- Objektivität durch Crashtest-Daten: Kombination von Realunfalldaten und standardisierten Crashtest-Daten minimiert subjektive Einflüsse.	- Begrenzte Validierungsdaten: Fehlende Crashtests für seltene Stoßrichtungen können die Genauigkeit beeinträchtigen.
- Fahrzeugklassenbasierte Modelle: Diese berücksichtigen strukturelle Eigenschaften verschiedener Fahrzeugklassen.	- Interpolationsannahmen: Maximale Deformation wird im Mittelpunkt von Zonen angenommen, was bei ungleichmäßigen Deformationen bzw. starken Variationen der Deformationstiefen oder keinen Vermessungsdaten des Unfallfahrzeugs, Ungenauigkeiten verursachen kann.
-	- Modellskalierung: Aktuelle Voxel-Modelle erfassen nicht alle fahrzeugmodell-spezifischen Unterschiede, was zu Verzerrungen der EES führen kann.

4.1.7 FE-Simulation

Die Finite-Elemente-Methode beschreibt das numerische Lösen eines komplexen Differenzialgleichungssystems. Dabei wird das zu untersuchende Objekt in viele kleine, endliche, einfach zu berechnende Elemente unterteilt. Diese sind über Knotenpunkte mit dem jeweils nächsten kleinen Element verbunden. Im Raum ergibt sich aus den vielen kleinen, miteinander verbundenen Elementen das gesamte Bauteil bzw. die vordefinierte Ursprungsgeometrie. Durch die Unterteilung des Körpers kann unter einem vordefinierten Lastfall die vordefinierte Differenzialgleichung für jedes Element gelöst werden und somit

kann eine Gesamtlösung für den gesamten Körper berechnet werden. Die unterschiedlichen Lastfälle eines Körpers können Kontaktkräfte, Deformation sowie die Deformationsenergie, Temperaturen und weitere Belastungen sein. BURG et al. [3] S. 362 bis 365, [11] S. 21 ff.

Für jedes dieser Elemente werden mathematische Modelle und Gleichungen erstellt, die das physikalische Verhalten beschreiben. Die Gesamtheit der Elemente bilden ein Netz, das gemeinsam das Verhalten des gesamten Objekts simuliert. [29]

In dem Simulationsprogramm PC-Crash wird ein explizites Verfahren zur Berechnung von Spannungen, Dehnungen und Verschiebung verwendet. BURG et al. [3] S. 364 Bei einer guten Beschreibung des FE-Modells können relativ genaue Berechnungen der realen Beschleunigungsverläufe und Deformationen erfolgen. Die allgemeinen Berechnungsschritte des expliziten Verfahrens werden in [3] S. 364 bis 365 beschrieben.

BURG et al. schreiben, dass die finiten Elemente eine genaue Beschreibung der Ursprungsgeometrie darstellen müssen. Außerdem sollten physikalische Phänomene innerhalb des Elements beschrieben werden können und ebenfalls sollte eine gültige Lösung über den Gesamtbereich getroffen werden können. BURG et al. [3] S. 365 Um die Ursprungsgeometrie modellieren zu können, werden Schalenelemente wie Dreieck- oder Rechteckflächen verwendet. Jeder dieser Elementtypen besitzt unterschiedliche Freiheitsgrade und ist über Knotenpunkte mit dem jeweils nächsten Elementtyp verbunden. Dabei können diese Knotenpunkte mit der Masse und dem Trägheitsmoment beschrieben werden. Des Weiteren können externe Kräfte, Randbedingungen und Zwangsbedingungen an diesen Knotenpunkten festgelegt werden. Mithilfe der Masse und des Trägheitsmoments können diese Knotenpunkte beschrieben werden. Das Erstellen eines räumlichen Netzes muss mithilfe eines externen Programms durchgeführt werden und kann nach erfolgter geometrischer Beschreibung des Bauteils in das Simulationsprogramm PC-Crash geladen werden. Die Beschreibung des Materials, der Elementeigenschaften sowie der Rand- und Zwangsbedingungen kann über PC-Crash stattfinden. Eine Materialdatenbank innerhalb des Programms ist verfügbar. BURG et al. [3] S. 366 bis 367

Die Ergebnisse einer Berechnung können innerhalb des Simulationsprogramms unterschiedlich visualisiert werden. In Bild 16 ist ein Beispiel dieser Ergebnisdarstellung zu finden. BURG et al. [3] S. 369

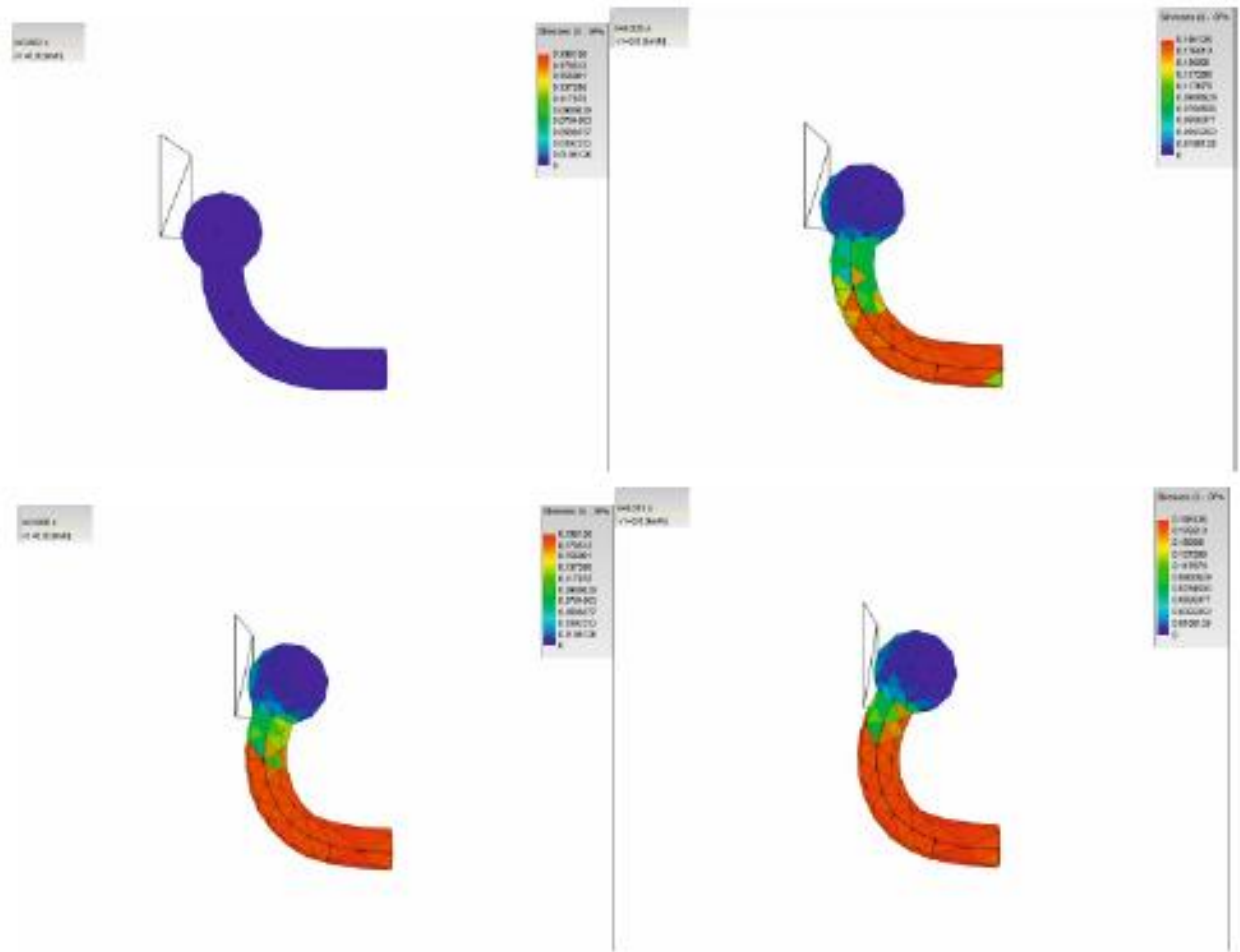


Bild 16: Farbige Darstellung der Elementspannung und Knotenverschiebung einer Anhänger-kupplung [3] S. 369

Durch die farbige Darstellung von Spannung, Dehnung und Verschiebung sowie der Animation des entsprechend belasteten Bauteils kann der Lastfall anschaulicher beschrieben und dargestellt werden. BURG et al. [3] S. 369

Die Tabelle 11 fasst die Vor- und Nachteile der FE-Methode zusammen.

Tabelle 11: Vor- und Nachteile der FE-Methode Görtz et al. [9] S. 229 bis 231, [11] S. 42 ff.

Vorteile	Nachteile
Die Methode führt zu einer hohen Genauigkeit bei der Berechnung von Kollisionsparametern (z.B. durch die Darstellung von Geschwindigkeits-, Beschleunigungsverläufe und Quantifikation der Deformationsenergie).	Erstellung eines FE-Modells ist zeitaufwändig und komplex und erfordert gute Kenntnisse der Methode und umfassendes Wissen zu den Materialparametern. Das Wissen über verschiedene Materialparameter, wie die Steifigkeit unterschiedlicher Bauteile, sind kaum verfügbar. Erstellung eines FE-Modells ohne separates Validierungsverfahren führt zu Verringerung der Genauigkeit.
Es ist eine detaillierte visuelle Darstellung der Deformation und farbige Klassifikation der Spannungen, Dehnungen und Verschiebungen möglich.	Verfügbare Modelle und deren Struktursteifigkeiten korrelieren oft nur unzureichend mit europäischen Fahrzeugen (geringe Modellverfügbarkeit).
-	Übertragbarkeit der Modelle auf reale Fälle ist oft eingeschränkt, insbesondere bei seltenen Fahrzeugmodellen.
Es werden die Versagensspannungen bei genauer Beschreibung des FE-Modells dargestellt.	Es kommt zu starken Varianzen der Struktursteifigkeit und des Deformationsverhaltens bei Anstoßkonfigurationen (z.B. dem vollüberdeckten Heckanprall, dem Side- und Front-Pole-Versuch) zwischen den FE-Modellen.
Die Beschreibung eines Lastfalls ist gut möglich und visualisierbar. Die Deformationen können zeitaufgelöst betrachtet und nachvollzogen werden.	Lange Berechnungszeiten (Stunden bis zu einem Tag, je nach FE-Modell und Rechnerleistung) können vorkommen.
Es sind kostenfreie validierte FE-Modelle (z.B. von National Crash Analysis Center) verfügbar.	FE-Modelle von Automobilherstellern sind meist nicht öffentlich zugänglich.
-	Die FE-Methode ist nur für eine EES-Bewertung sinnvoll, wenn die Übertragbarkeit und die Modellvalidität gewährleistet sind.
-	Die Anwendbarkeit in der Unfallrekonstruktion ist meist auf einen Geschwindigkeitsbereich von 20 km/h bis 70 km/h begrenzt.

4.1.8 EES-CNN

Die Abkürzung CNN steht für Convolutional Neural Network. Dieses KI-Tool schätzt anhand von Fotos eines beschädigten Fahrzeugs den EES-Wert. Das System lernt aus Fotos von Crashfahrzeugen (unterschiedliche Blickwinkel, verschiedene Fahrzeugmodelle, verschiedene Anstoßkonfigurationen), dazugehörigen EES-Werten aus Crashversuchen, Simulationen oder rekonstruierbaren realen Unfällen. [7] S. 140

Die Fotos des Unfallfahrzeugs werden in die Software geladen, siehe Bild 18 linke Seite. Das CNN gibt eine Wahrscheinlichkeitsverteilung über mögliche EES-Werte aus, siehe Bild 17 rechte Seite. Ein Heatmap-Overlay über dem Fahrzeug zeigt, welche Bildbereiche für die EES-Schätzung wichtig waren, siehe Bild 18. Das System erkennt Strukturen und Schadenausprägungen, Knicke und auch die Lage der Crashstrukturen. [7] S. 140

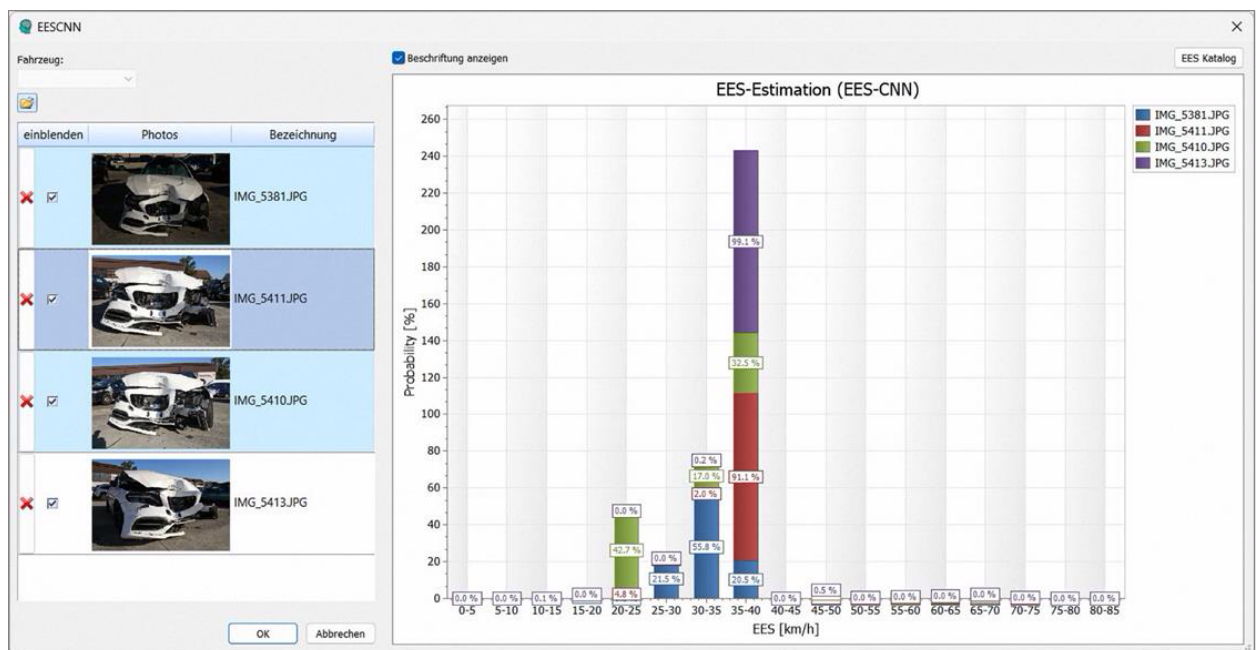


Bild 17: EES-CNN Fotoeingabe und EES-Estimation (EES-Schätzung) [30]

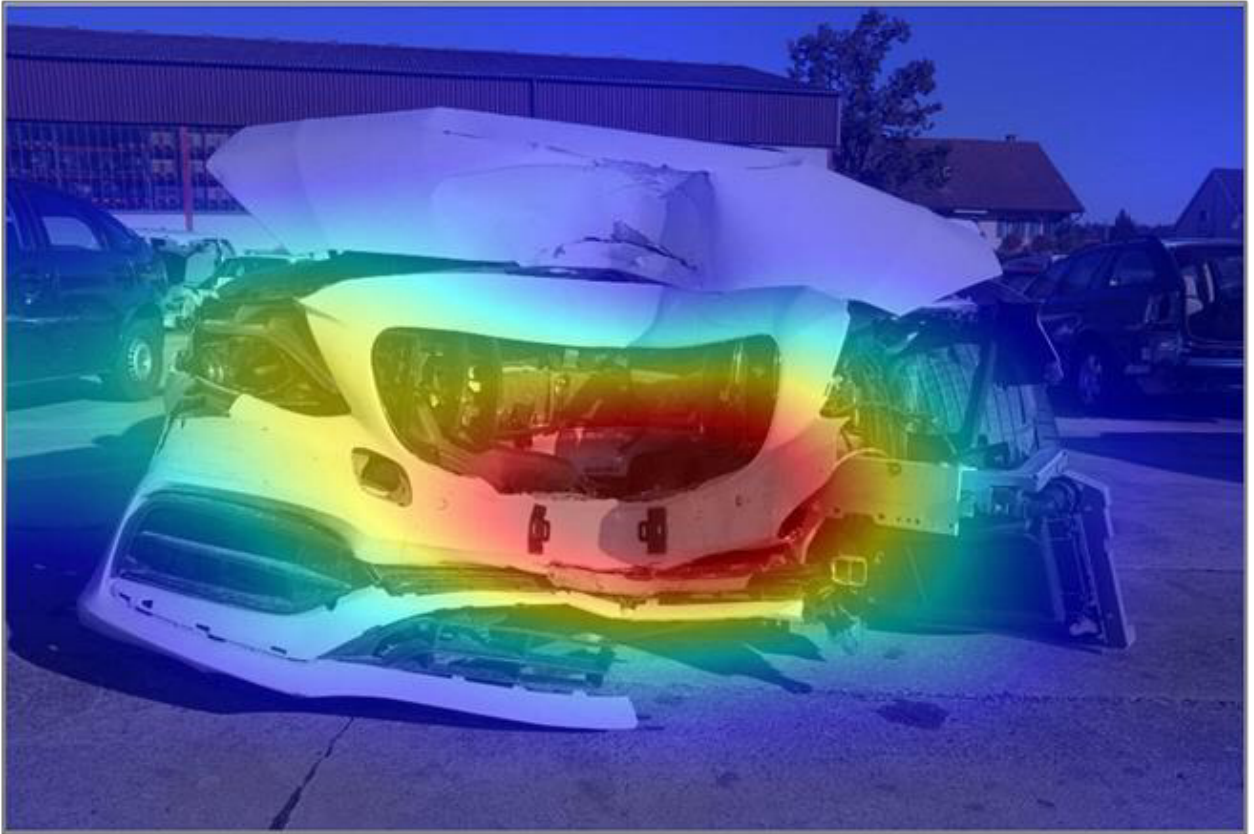


Bild 18: Heatmap-Overlay des Unfallfahrzeugs [30]

Die Tabelle 12 fasst die Vor- und Nachteile des EES-CNN zusammen.

Tabelle 12: Vor- und Nachteile des EES-CNN [7] S. 140 bis 144

Vorteile	Nachteile
- schnelle, automatische EES-Schätzung	- KI kann Fehler machen, Qualität der Schätzung hängt von der Qualität und Richtigkeit der Trainingsdaten ab.
- gute Darstellung durch Heatmap und Wahrscheinlichkeitsdiagramm	- keine Transparenz der Trainingsdaten
- kann auf sehr große Datenmengen zurückgreifen	- Fehlerrisiko bei seltenen oder neuen Fahrzeugmodellen
- in PC-Crash eingebunden	- Abhängig von Bildqualität und Perspektiven (Verdeckte Schäden oder Unterbodenstrukturen werden nicht erfasst.)

5 Klassenschätzung

In diesem Kapitel soll untersucht werden, ob die Klassenschätzung gegenüber der Expertenschätzung methodische und statistische Vorteile bietet.

5.1 Definition einer Schätzung

Eine Schätzung ist eine annähernde Bestimmung einer Größe, die nicht exakt bekannt ist, weil sie entweder nicht direkt messbar ist oder nur unvollständig vorliegt. Eine Schätzung basiert auf Teilinformationen und enthält Unsicherheiten. Wie genau der Schätzwert am wahren Wert liegt, hängt unter anderem von der Qualität des Schätzverfahrens ab. FAHRMEIR et al. [31] S. 336

5.2 Theorie der Klassenschätzung

Eine Klassenschätzung beschreibt die Bestimmung einer Größe, die nicht exakt bekannt ist. Diese Größe wird mithilfe von endlich vielen vorgegebenen Klassenintervallen in eine Klasse eingeordnet. Es erfolgt eine Einteilung des Wertebereich in Klassenintervalle. Für weitere Berechnungen werden alle Werte einer Klasse durch einen repräsentativen Klassenwert, meist die Mitte der jeweiligen Klasse, ersetzt. Durch die Vorgabe von Klassenintervallen werden exakte Einzelwerte zu vorbestimmten Klassen mit begrenzten Intervallen zusammengeführt. SCHADER et al. [32] S. 4, ANDERSON [33]

Der Begriff Klassenschätzung findet in der Unfallanalyse und zur Bestimmung des EES-Wertes noch keine Anwendung.

5.3 Klassenschätzung zur Bestimmung von EES-Werten

Der Gedanke hinter der Klassenschätzung beruht auf der aktuell durchgeführten Expertenschätzungen über die Plattform ReconData. Es soll untersucht werden, ob die bisherige Schätzung des EES-Wertes durch die Vorgabe von Klassen, in denen die Teilnehmer diesen schätzen, verbessert werden kann.

Zur Einteilung der Klassen mit den jeweiligen Klassengrenzen gibt es verschiedene Ansätze. CAMPBELL definiert in [34] den Toleranzbereich für EES-Werte bis ± 8 km/h. JOHANNSEN definiert in [12] den Toleranzbereich für EES-Werte bis ± 5 km/h.

Bei diesen Toleranzbereichen kann es zu Fehlern kommen, denn bei der Annahme von ± 8 km/h würde dies ein Intervall von 0 bis 16 km/h ergeben. Da bei einem vorhandenen

Schaden der EES-Wert nicht 0 sein kann, sind diese starren Grenzen von CAMPBELL und JOHANNSEN nicht mehr aktuell. [7]

Die Einteilung der Intervallgrenzen basiert auf den Toleranzbereichen von BURG et al. [35] Die Klasseneinstufung wird für Kollisionsgeschwindigkeiten von 1 km/h bis 80 km/h vorgenommen. Es wird von einer guten Qualität der objektiven Daten ausgegangen. Deshalb liegt die Toleranz bei ± 3 km/h für den Bereich 0 bis 50 km/h. Bei Geschwindigkeiten größer als 50 km/h liegt die Toleranz daher bei ± 6 %. BURG et al. [35]

Sensitivity on input data using mathematical models for runout and Kudlich/Slibar procedure for collision analysis			
Good quality of objective evidence		Bad quality of objective evidence	
Collision speed	Tolerance	Collision speed	Tolerance
0 to 50 km/h	± 3 km/h	0 to 50 km/h	± 5 km/h
higher 50 km/h	± 6 %	higher 50 km/h	± 10 %

Bild 19: Toleranzbereiche bei guter und schlechter Qualität der objektiven Daten [35]

In Bild 19 werden die Toleranzen für Geschwindigkeiten von 0 bis 50 km/h und über 50 km/h für eine gute Qualität und eine schlechte Qualität der objektiven Daten gegenübergestellt. Wenn die objektiven Daten von guter Qualität sind, liegt die Toleranz bei ± 3 km/h im Bereich 0 bis 50 km/h. Bei Geschwindigkeiten höher 50 km/h liegt die Toleranz bei ± 6 %, wenn eine gute Qualität der objektiven Daten gegeben ist. Bei einer schlechten Qualität der objektiven Daten liegt die Toleranz bei ± 5 km/h bei Kollisionsgeschwindigkeiten von 0 km/h bis 50 km/h. Bei Geschwindigkeiten über 50 km/h beträgt die Toleranz ± 10 %, wenn die objektiven Daten von schlechter Qualität sind. BURG et al. [35]

5.4 Klasseneinstufung

In Tabelle 13 ist die zur Klassenschätzung verwendete Klasseneinstufung zu sehen. Die Intervalleinteilung wurde für den Bereich von 1 km/h bis 82 km/h vorgenommen. Die Intervalllänge für den Bereich 1 km/h bis 51 km/h beträgt 3 km/h. Das heißt die Klassen 1 bis 17 haben eine Länge von 3 km/h. BURG et al. [35]

Für den Bereich 52 km/h bis 82 km/h wird die Intervalllänge durch die Toleranz von $\pm 6\%$ bestimmt. [27] Dadurch berechnet sich eine Intervalllänge von 4 km/h für die Klassen 18 bis 21. Für die Klassen 22 bis 24 ergibt sich durch eine Toleranz von $\pm 6\%$ eine Intervalllänge von 5 km/h. BURG et al. [35]

Die berechneten Intervalllängen wurden immer stark aufgerundet. Wenn in einer Klasse die berechnete Toleranz von zwei Geschwindigkeiten bei beispielsweise 4 km/h lag und die dritte Geschwindigkeit würde eine berechnete Toleranz von 5 km/h ergeben, wird die Toleranz der Klasse und somit die Intervalllänge auf 4 km/h zusammengefasst, weil der Großteil der Geschwindigkeiten eine berechnete Toleranz von 4 km/h fordert.

Es ist sinnvoll für kleine Geschwindigkeiten eine kleine Toleranz und für größere Geschwindigkeiten eine größere Toleranz zu wählen. BURG et al. [35]

Tabelle 13: Klasseneinstufung für den Geschwindigkeitsbereich 1 km/h bis 82 km/h [eigene Darstellung]

Klasse	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
km/h	1...3	4...6	7...9	10...12	13...15	16...18	19...21	22...24	25...27	28...30
Auswahl										

Klasse	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
km/h	31...33	34...36	37...39	40...42	43...45	46...48	49...51	52...55	56...59	60...63
Auswahl										

Klasse	21	22	23	24
km/h	64...67	68...72	73...77	78...82
Auswahl				

5.5 Durchführung und Ablauf

Einem Teilnehmerkreis werden die entsprechenden fünf Fallbeispiele zur Verfügung gestellt, mit der Bitte, sowohl die Klassenschätzung durchzuführen als auch den Fragebogen auszufüllen. Zum Vergleich werden fünf Schätzungen aus ReconData verwendet.

Diese fünf Fallbeispiele werden in Kapitel 5.6 näher beschrieben. Die Teilnehmer bekommen zu jedem der fünf Fälle ein Dokument, in dem die Schätzklassen für ein bzw. zwei Fahrzeuge, die Fahrzeugdaten und die Fotodokumentation der Unfallfahrzeuge zusammengestellt wurde. Die Teilnehmer schätzen die EES-Werte bei den fünf Fallbeispielen mittels Klassenschätzung in der Tabelle 13 dargestellten Klasseneinstufung. Im Anhang in Bild 45 und 46 befindet sich die Aufgabenstellung der Klassenschätzung. Die Schätzklassen sind im Anhang in der Tabelle 24 dargestellt und die Fahrzeugdaten von Fall 1 bis Fall 5 befinden sich in Tabelle 25 bis 29.

Zu jedem der fünf Fallbeispiele wird um die Schätzung des EES-Wertes gebeten. Es muss mindestens eine Klasse und es können maximal zwei benachbarte Klassen pro Unfallfahrzeuge ausgewählt werden. Ebenfalls wurde noch ein Fragebogen an die Teilnehmer geschickt. Dieser ist im Anhang in Bild 47 zu finden.

Es ist darauf hinzuweisen, dass die Teilnehmergruppe an der Expertenschätzung mit der Teilnehmergruppe der Klassenschätzung übereinstimmen kann, dies jedoch nicht zwingend der Fall ist.

5.6 Fallbeispiele

Die Fallbeispiele betreffen ausschließlich PKW-Unfälle. Im weiteren Verlauf werden sie den Ergebnissen der Klassenschätzung gegenübergestellt. In der Tabelle 14 sind die Fahrzeugdaten mit ausgewählten Bildern der Fahrzeuge dargestellt. Weitere Schadenbilder sowie die Ergebnisse und Fahrzeugdaten aus ReconData von der Expertenschätzung sind im Anhang in Bild 34 bis Bild 44 und Tabelle 19 bis 23 zu finden.

Tabelle 14: Übersicht der Fallbeispiele [eigene Darstellung]

Fall/Fahrzeug	Hersteller	Model	Baujahr	Leergewicht [kg]
F1A	Fiat	Stilo	2006	1485
F1B	Audi	A6	2002	1873
F1A			F1B	
				
Fall/Fahrzeug	Hersteller	Model	Baujahr	Leergewicht [kg]
F2A	Opel	Zafira A	2000	1395
F2A				
				
Fall/Fahrzeug	Hersteller	Model	Baujahr	Leergewicht [kg]
F3A	Opel	Zafira A	2002	1437
F3B	Opel	Zafira A	2000	1395
F3A			F3B	



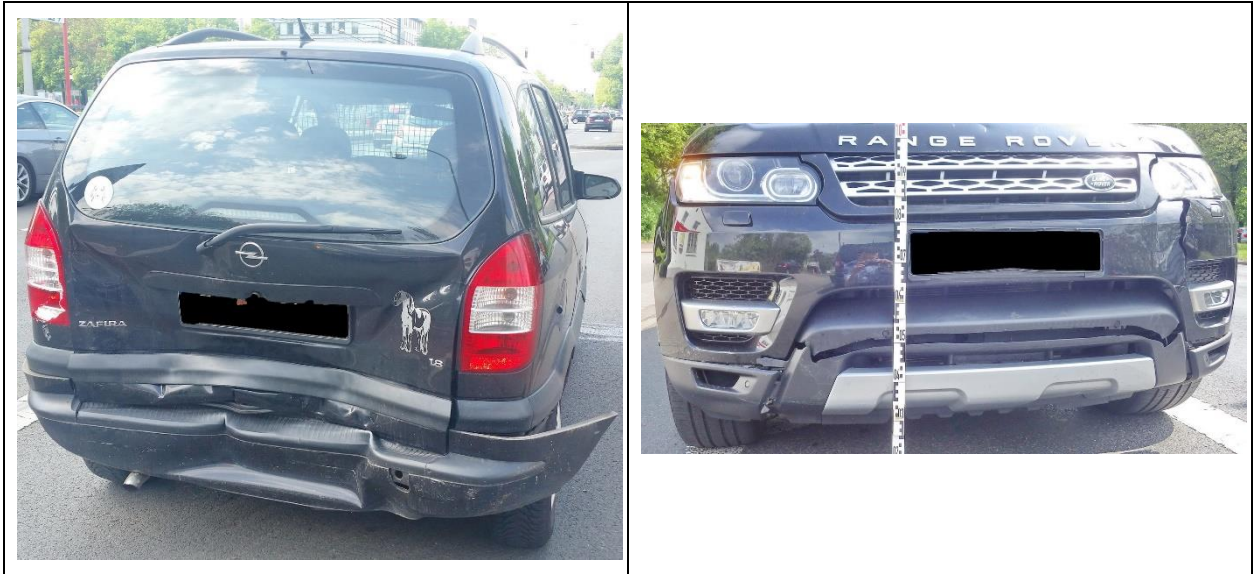
Fall/Fahrzeug	Hersteller	Model	Baujahr	Leergewicht [kg]
F4A	Opel	Zafira A	2002	1418
F4B	Opel	Zafira A	2002	1437

F4A

F4B



Fall/Fahrzeug	Hersteller	Model	Baujahr	Leergewicht [kg]
F5A	Opel	Zafira	2003	1435
F5B	Land Rover	Range Rover	2015	2183
F5A			F5B	



5.7 Begriffsdefinitionen

Nachfolgend werden die für die Auswertung in Kapitel 6 verwendeten mathematischen Begriffe erklärt. Zur Auswertung wurde das Programm Excel verwendet.

5.7.1 Mittelwert

Der Mittelwert berechnet sich nach der Gleichung (22), um viele einzelne Werte zu einem typischen, repräsentativen Wert zusammenzufassen. FAHRMEIR et al. [31] S. 49

$$\text{Mittelwert} = \bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (22)$$

Der Mittelwert der EES-Werte berechnet sich bei der Expertenschätzung für jeden Teilnehmer aus dem abgegebenen minimalen und maximalen ESS-Wert. Aus all diesen Mittelwerten pro Teilnehmer wird ein gesamter Mittelwert für jeden Fall und jedes Fahrzeug bestimmt.

Bei der Klassenschätzung gibt jeder Teilnehmer mindestens eine bis maximal zwei benachbarte Klassen an. So ergibt sich ein minimaler EES-Wert aus dem kleinsten Wert der Klasse bzw. dem kleineren Wert der kleineren Klasse, wenn zwei Klassen ausgewählt wurden. Der maximale EES-Wert ergibt sich aus dem größten Wert der Klasse bzw. dem größeren Wert der größeren Klasse, wenn zwei Klassen ausgewählt wurden. So berechnet sich der Mittelwert der EES-Werte bei der Klassenschätzung für jeden Teilnehmer aus dem minimalen und maximalen EES-Wert. Aus all diesen Mittelwerten pro Teilnehmer wird ein gesamter Mittelwert für jeden Fall und jedes Fahrzeug bestimmt.

5.7.2 Median

Der Median wird für eine ungerade Anzahl an Daten mit der Gleichung (23) und für eine gerade Anzahl an Daten mit der Gleichung (24) berechnet. Der Median wird nicht von Ausreißern verfälscht. FAHRMEIR et al. [31] S. 52

$$\text{Median} = x_{Med} = x_{\left(\frac{n+1}{2}\right)} \text{ für } n \text{ ungerade} \quad (23)$$

$$\text{Median} = x_{Med} = \frac{1}{2} (x_{\left(\frac{n}{2}\right)} + x_{\left(\frac{n}{2}+1\right)}) \text{ für } n \text{ gerade} \quad (24)$$

5.7.3 Standardabweichung einer Stichprobe

Um die Standardabweichung einer Stichprobe mit der Gleichung (26) berechnen zu können, muss erst die Varianz einer Stichprobe mit Gleichung (25) berechnet werden. FAHRMEIR et al. [31] S. 64 ff.

$$\text{Stichprobenvarianz} = s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (25)$$

$$\text{Standardabweichung einer Stichprobe} = s = \sqrt{s^2} \quad (26)$$

5.7.4 Spannweite

Die Spannweite ist in der Statistik das Streuungsmaß, das als Differenz zwischen dem größten und dem kleinsten Wert eines Datensatzes definiert ist. [36]

Die Spannweite ist ein Maß für die Genauigkeit der Teilnehmer. Bei der Expertenschätzung wird ein minimaler EES-Wert EES_{min} und ein maximaler EES-Wert EES_{max} von den einzelnen Teilnehmern abgegeben. Bei der Klassenschätzung werden mindestens eine bis maximal zwei benachbarte Klassen von den Teilnehmern ausgewählt. Der EES_{min} ergibt sich somit aus dem kleinsten Wert der Klasse und der EES_{max} ergibt sich aus dem größten Wert der Klasse. Wenn zwei benachbarte Klassen von einem Teilnehmer gewählt wurden, dann ist EES_{min} der kleinste Wert der kleineren Klasse und EES_{max} ist der größte Wert der größeren Klasse.

Somit ergibt sich von jedem Teilnehmer ein EES_{min} und ein EES_{max} .

Es wird aus diesen Werten der kleinste EES_{min} und der größte EES_{max} von allen Teilnehmern für jeden Fall und für beide Fahrzeuge von Expertenschätzung und Klassenschätzung herausgefiltert.

Um die gesamte Spannweite pro Fall für Expertenschätzung und Klassenschätzung zu berechnen, wird der herausgefilterte maximale EES-Wert minus den herausgefilterten minimalen EES-Wert pro Fall bestimmt, siehe Gleichung (27). [36]

$$(\text{gesamte}) \text{ Spannweite} = EES_{\max} - EES_{\min} \quad (27)$$

Durch die Spannweite kann jeder Teilnehmer die Genauigkeit, also den Bereich, in dem dieser die EES schätzt, bestimmen. Die Spannweite ist anfällig gegenüber Ausreißern. [28]

5.7.5 Kastengrafik

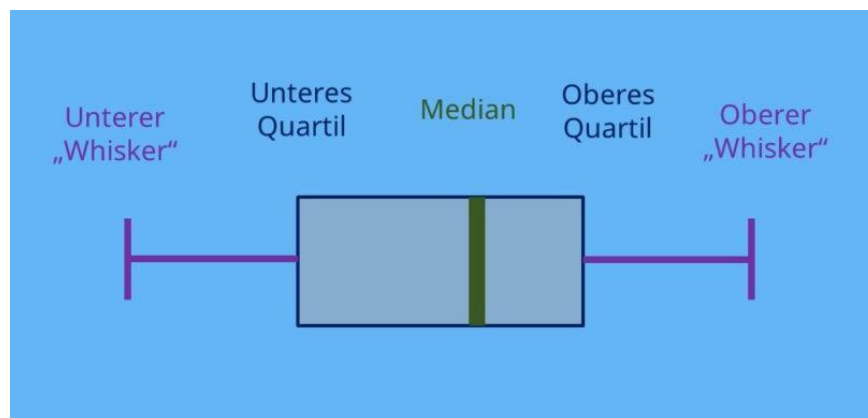


Bild 20: Allgemeiner Aufbau einer Kastengrafik [37]

Der Boxplot oder zu deutsch die Kastengrafik ist ein Diagramm, das die wichtigsten Lage- und Streuungsmaße zusammenfasst. Es werden Minimum, unteres Quartil, Median, oberes Quartil und das Maximum dargestellt, siehe Bild 20. Die Box erstreckt sich vom unteren zum oberen Quartil. An den Enden der Box befinden sich die Whisker oder auch Antennen. Diese beiden Linien verbinden das Rechteck mit dem Minimum bzw. Maximum, also den Werten, welche nicht als Ausreißer gekennzeichnet werden. Der Median wird als vertikaler oder bei anderer Darstellung der Kastengrafik als waagerechter Strich in der Box eingezeichnet. [37]

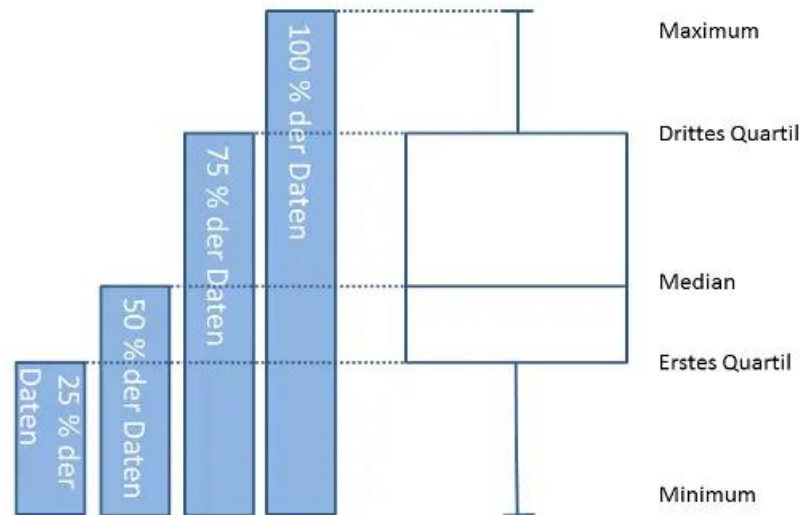


Bild 21: Kastengrafik - Verteilung der Daten [38]

In Bild 21 wird die Verteilung der Daten bei einer Kastengrafik dargestellt. Zwischen dem ersten Quartil und dem dritten Quartil liegen 50 % der Daten. Der Median ist das zweite Quartil und stellt das Zentrum dar. Die Antennen erstrecken sich vom größten zum kleinsten Wert der Daten. [38]

Dieser Quartilsabstand oder auch Interquartilsabstand (IQR) lässt Werte am Anfang und am Ende der Datenreihe weg, um somit Ausreißern zu umgehen. Der Quartilsabstand ist somit nicht anfällig gegenüber Ausreißern und zeigt, wie stark die Daten zwischen dem ersten und dritten Quartil streuen. Der IQR ist somit die Höhe der Box in Bild 21 und die Breite der Box in Bild 20. Weitere Bezeichnungen für den IQR sind auch Kernbereich oder zentraler Bereich. [36]

$$IQR = Q3 - Q1 \quad (28)$$

Der IQR berechnet sich mit Gleichung (28). Dabei ist Q3 das dritte Quartil und Q1 ist das erste Quartil. Der Median ist das zweite Quartil Q2. [36]

Der Unterschied von Quartilen und Quantilen besteht daraus, dass es das Ziel von Quantilen ist, einen Datensatz in Abschnitte einzuteilen. Von einem Quartil spricht man, wenn die sortierte Datenreihe in vier gleich große Klassen aufgeteilt wird. Die Quartile sind Kennzahlen einer bestimmten Stichprobe. [39]

Oftmals werden Quartile unterschiedlich bezeichnet, gemeint ist aber immer dasselbe:

1. Quartil = Q1 = 25 % - Quartil = 0,25 Quartil = $x_{0,25}$ = unteres Quartil = $p = 0,25$
2. Quartil = Q2 = 50 % - Quartil = 0,50 Quartil = $x_{0,50}$ = Median = $p = 0,5$
3. Quartil = Q3 = 75 % - Quartil = 0,75 Quartil = $x_{0,75}$ = oberes Quartil = $p = 0,75$

Das vierte Quartil des Datensatzes deckt nach der Aufteilung die Gesamtheit aller Daten ab. [39]

Um die Quartile berechnen zu können, wird die Gleichung (29) benötigt. Dabei steht n für die Anzahl der Datenwerte und p für das p-Quantil. [39]

$$x_p = \begin{cases} \frac{1}{2}(x_{(np)} + x_{(np+1)}) & \text{falls } n \cdot p \text{ ganzzahlig} \\ x_{(\lfloor np \rfloor + 1)} & \text{falls } n \cdot p \text{ nicht ganzzahlig} \end{cases} \quad (29)$$

Zuerst wird $n \cdot p$ bestimmt, um entweder den oberen Teil oder den unteren Teil der Gleichung (29) zu verwenden. Die nach oben geöffnete Klammer des unteren Teils der Gleichung (29) bedeutet, dass das Ergebnis immer abgerundet werden muss. Dann kann die Stelle des Quartils im Datensatz mit Gleichung (29) bestimmt werden. [39]

Wenn die Antennen der Kastengrafik länger als das eineinhalbfache der Box sind, werden die darüberliegenden Werte als Ausreißer gekennzeichnet. Mit der Gleichung (30) wird zunächst die eineinhalbfache Länge der Box bestimmt. [37]

$$\text{eineinhalbfache Boxlänge} = IQR \cdot 1,5 \quad (30)$$

Mit Hilfe der Gleichung (28) kann der Interquartilsabstand berechnet und in Gleichung (30) eingesetzt werden. Nun kann mit Gleichung (31) und (32) die untere und obere Grenze berechnet werden. Alle Werte, die darunter bzw. darüber liegen, werden in der Kastengrafik als Ausreißer markiert. Die Antennen enden dann bei dem Wert, welcher noch nicht als Ausreißer gilt. [37]

$$\text{untere Grenze} = Q1 - 1,5 \cdot IQR \quad (31)$$

$$\text{obere Grenze} = Q3 + 1,5 \cdot IQR \quad (32)$$

Aufgrund der Menge der Daten wurden die Berechnungen für die Kastengrafiken mit dem Programm Excel vorgenommen.

6 Auswertung der Klassenschätzung für Fall 1 bis 5

Tabelle 15: Berechnungen der EES-Werte aus Expertenschätzung und Klassenschätzung im Vergleich [eigene Darstellung]

Fall/Fahrzeug	F1A	F1B	F2A	F3A	F3B	F4A	F4B	F5A	F5B
Expertenschätzung Median [km/h]	14,5	12,25	50	24,5	25,5	35	36	18,25	12,5
Klassenschätzung Median [km/h]	15,5	11	52	24,5	26	36,5	36,5	15,5	11
Expertenschätzung Standardabweichung [km/h]	4	3,6	8,5	4,6	4,8	7,7	6,9	3,8	3,4
Klassenschätzung Standardabweichung [km/h]	4,2	3,9	7,9	9,4	8,1	10,4	10,7	5,0	5,2
Expertenschätzung Spannweite [km/h]	23	20	49	30	25	41	37	22	17
Klassenschätzung Spannweite [km/h]	23	23	38	53	50	58	62	29	26
Expertenschätzung Mittelwert [km/h]	15,4	13,1	49,7	24,5	25,8	35,8	37,6	18,5	12,6
Klassenschätzung Mittelwert [km/h]	15,4	10,9	52,7	27,9	25,8	38,6	37,3	16,1	12,3
Expertenschätzung min aller Teilnehmer [km/h]	5	5	26	10	15	19	23	8	4
Klassenschätzung min aller Teilnehmer [km/h]	7	1	34	10	1	19	1	1	4
Expertenschätzung max aller Teilnehmer [km/h]	28	25	75	40	40	60	60	30	21
Klassenschätzung max aller Teilnehmer [km/h]	30	24	72	63	51	77	63	30	30

Die Tabelle 15 stellt die Berechnungsergebnisse von Expertenschätzung und Klassenschätzung gegenüber. In der Tabelle 15 sind Abweichungen bezüglich der in ReconData berechneten Median-Werte und der mit Excel berechneten Medianwerte der Expertenschätzung zu erkennen. Für den Median werden die Mittelwerte jedes Teilnehmers benötigt. Diese Mittelwerte sind nicht ganzzahlig. Das Programm ReconData rundet diese Mittelwerte auf ganze Zahlen auf und erhält somit für Fall 1 Fahrzeug B einen Median von 12,5 km/h und für Fall 5 Fahrzeug A einen Median von 18,5 km/h. Das Programm Excel rechnet immer mit den Rohdaten ohne Vorabrundung. Deshalb steht in Tabelle 15 für den Median der Expertenschätzung von Fall 1 Fahrzeug B 12,25 km/h und für den Median von Fall 5 Fahrzeug A 18,25 km/h.

Der repräsentative EES-Wert der jeweiligen Schätzungsmethode pro Fall ergibt sich aus dem Mittelwert $\pm$ der Standardabweichung.

Im Folgenden werden die Fälle 1 bis 5 hinsichtlich Lage- und Streuungsparametern zwischen Expertenschätzung und Klassenschätzung verglichen. Es wird zwischen Fahrzeug A und Fahrzeug B unterschieden.

6.1 Median

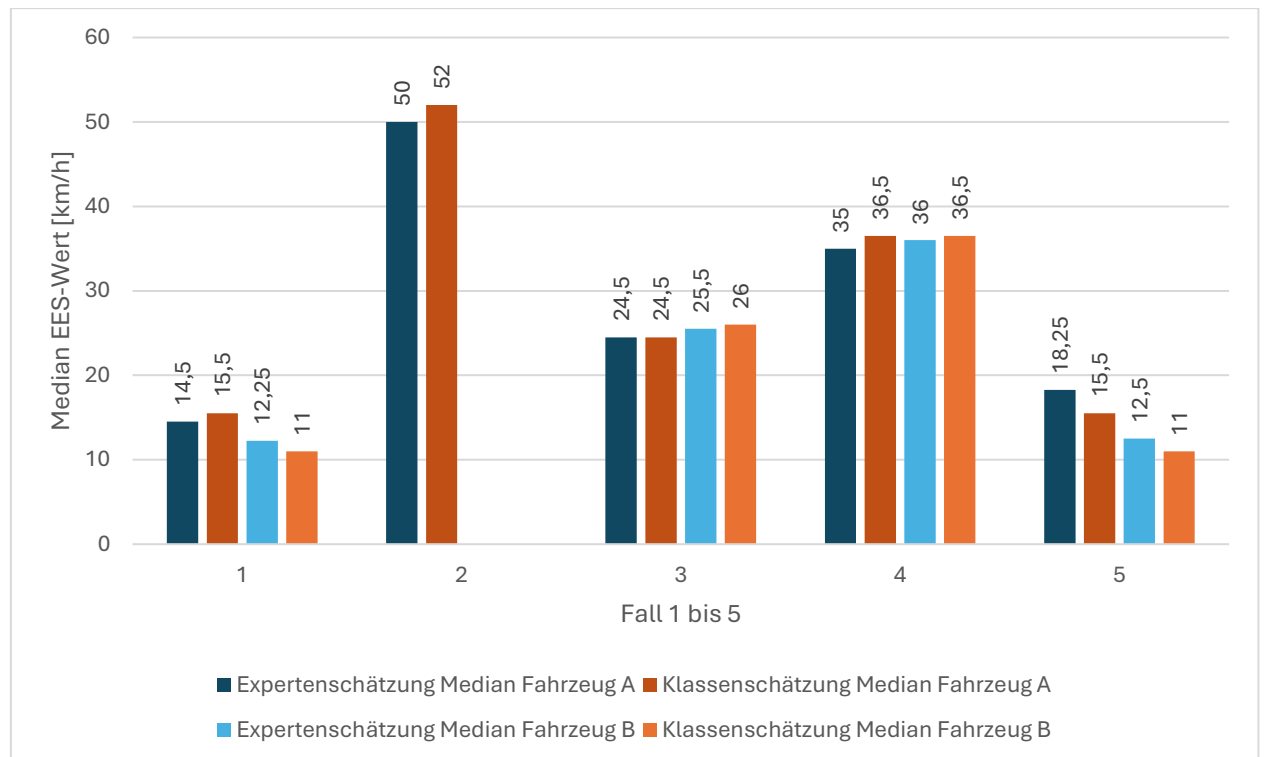


Bild 22: Median der EES-Werte von Expertenschätzung und Klassenschätzung [eigene Darstellung]

Das Balkendiagramm in Bild 22 vergleicht den Median der Expertenschätzung und den Median der Klassenschätzung für Fahrzeug A und Fahrzeug B. Auf der X-Achse sind die Fälle 1 bis 5 abgebildet und auf der Y-Achse wird der Median der EES-Werte in km/h dargestellt. Der Median der Klassenschätzung und der Median der Expertenschätzung liegen in allen fünf Fällen auf einem ähnlichen Niveau, sodass keine großen Abweichungen zwischen beiden Schätzverfahren erkennbar sind.

6.2 Standardabweichung

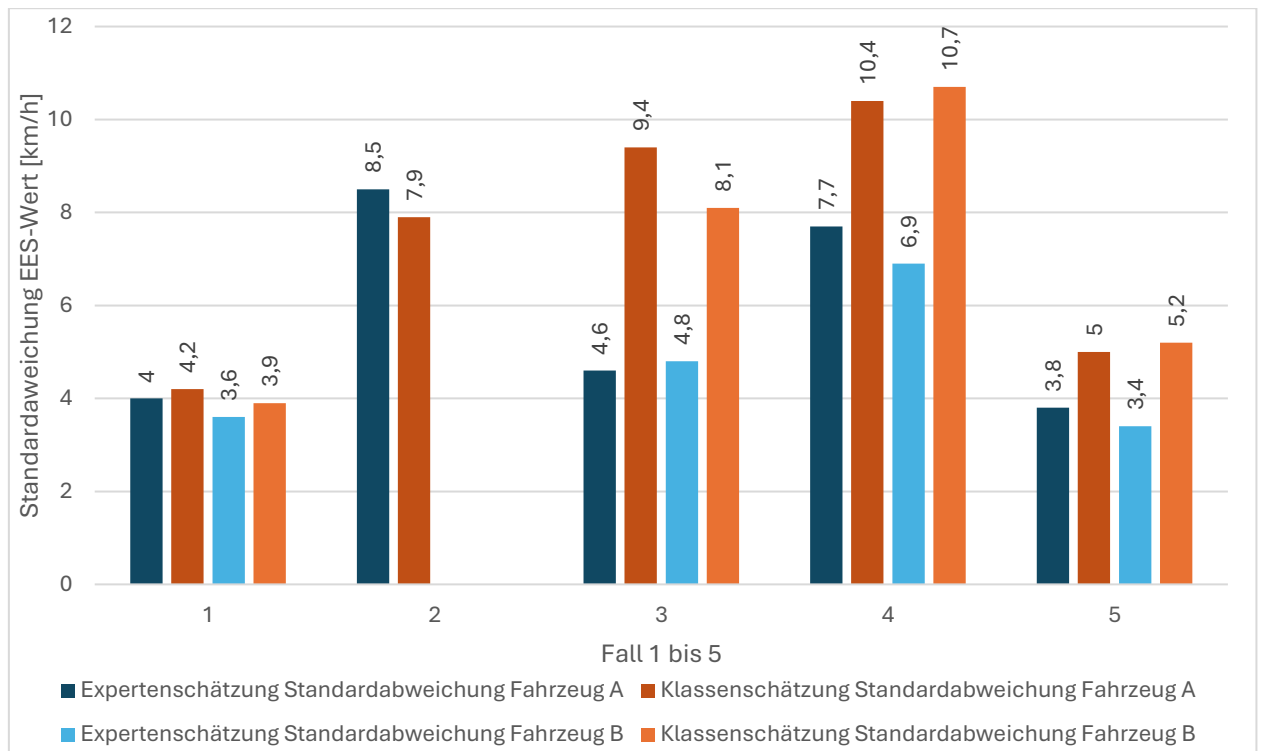


Bild 23: Standardabweichung der EES-Werte von Expertenschätzung und Klassenschätzung [eigene Darstellung]

Das Balkendiagramm in Bild 23 vergleicht die Standardabweichung der Expertenschätzung und die Standardabweichung der Klassenschätzung für Fahrzeug A und Fahrzeug B. Auf der X-Achse sind die Fälle 1 bis 5 abgebildet und auf der Y-Achse wird die Standardabweichung der EES-Werte in km/h dargestellt. Auffällig ist, dass die Klassenschätzung in den meisten Fällen zu einer höheren Standardabweichung der EES-Werte führt. Besonders große Abweichungen treten bei Fall 3 und 4 auf, denn bei diesen Fällen streuen die EES-Werte deutlich stärker bei der Klassenschätzung als bei der Expertenschätzung.

6.3 Spannweite

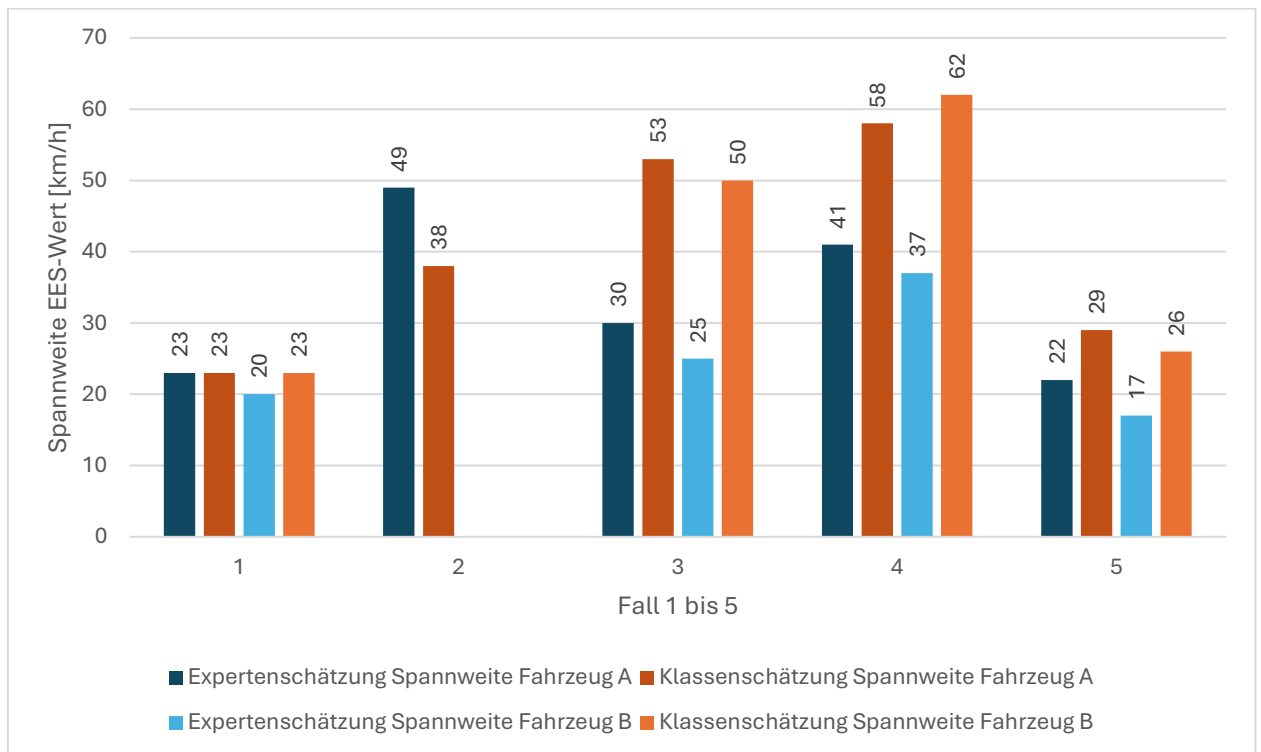


Bild 24: Spannweite der EES-Werte von Expertenschätzung und Klassenschätzung [eigene Darstellung]

Das Balkendiagramm in Bild 24 vergleicht die Spannweite der Expertenschätzung und die Spannweite der Klassenschätzung für Fahrzeug A und Fahrzeug B. Auf der X-Achse sind die Fälle 1 bis 5 abgebildet und auf der Y-Achse wird die Spannweite der EES-Werte in km/h dargestellt. Die Spannweite der EES-Werte ist bei der Klassenschätzung in den meisten Fällen erhöht. Besonders große Abweichungen treten bei Fall 3 und Fall 4 auf.

6.4 Zusammenfassung der Ergebnisse Fall 1 bis Fall 5

Im Fall 1 zeigen sich zwischen Klassenschätzung und Expertenschätzung nur geringe Unterschiede. Für Fahrzeug A sind Median, Standardabweichung und Spannweite nahezu identisch, somit kann von einer gleichwertigen Schätzqualität ausgegangen werden. Für das Fahrzeug B weist die Klassenschätzung eine leicht erhöhte Standardabweichung und Spannweite auf. Dies deutet auf eine geringere Genauigkeit der Teilnehmer bei der Klassenschätzung hin. Insgesamt sind die Abweichungen jedoch gering und methodisch nicht als signifikant einzustufen. Fall 1 spricht eher dafür, dass die Klassenschätzung vergleichbar, aber nicht eindeutig besser als die Expertenschätzung ist.

Im Fall 2 zeigen sich zwischen Klassenschätzung und Expertenschätzung Unterschiede hinsichtlich der Lage- und Streuungsparameter. Während der Median der

Klassenschätzung höher liegt, sind Standardabweichung und Spannweite geringer als bei der Expertenschätzung. Dies deutet darauf hin, dass die Klassenschätzung zwar eine leicht höhere zentrale Tendenz (höherer Median und Mittelwert) aufweist, jedoch insgesamt eine höhere Genauigkeit der Teilnehmer zeigt. Insgesamt lässt sich für Fall 2 festhalten, dass die Klassenschätzung im Vergleich zur Expertenschätzung eine kompaktere Verteilung der EES-Werte aufweist und somit eine geringere Streuung erkennen lässt.

Im Fall 3 zeigen sich zwischen Klassenschätzung und Expertenschätzung deutliche Unterschiede. Während die Medianwerte nur geringfügig oder gar nicht voneinander abweichen, sind Standardabweichung und Spannweite bei beiden Fahrzeugen deutlich erhöht. Dies deutet auf eine insgesamt geringere Genauigkeit der Teilnehmer der Klassenschätzung hin. Insgesamt spricht Fall 3 dafür, dass die Klassenschätzung im Vergleich zur Expertenschätzung eine deutlich höhere Streuung aufweist und somit als weniger präzise einzustufen ist.

Im Fall 4 zeigen sich zwischen Klassenschätzung und Expertenschätzung bei beiden Fahrzeugen erkennbare Unterschiede. Während die Medianwerte nur geringfügig voneinander abweichen, sind Standardabweichung und Spannweite durchgehend höher. Dies weist auf eine insgesamt geringere Genauigkeit der Teilnehmer der Klassenschätzung hin. Insgesamt spricht Fall 4 dafür, dass die Klassenschätzung im Vergleich zur Expertenschätzung eine höhere Streuung aufweist und somit tendenziell als weniger präzise einzustufen ist.

Im Fall 5 zeigen sich zwischen Klassenschätzung und Expertenschätzung bei beiden Fahrzeugen ähnliche Muster. Während die Medianwerte leicht niedriger ausfallen, sind Standardabweichung und Spannweite jeweils erhöht. Dies deutet darauf hin, dass die Klassenschätzung in diesem Fall mit einer etwas geringeren Genauigkeit der Teilnehmer verbunden ist. Insgesamt spricht Fall 5 dafür, dass die Klassenschätzung im Vergleich zur Expertenschätzung eine leicht erhöhte Streuung aufweist und somit tendenziell weniger präzise ist, wobei die Unterschiede in der zentralen Lage gering bleiben.

6.5 Interpretation der Kastengrafiken für Fall 1 bis Fall 5

Die Kastengrafiken visualisieren die Verteilung der Teilnehmerwerte durch Median, Interquartilsabstand sowie durch die Darstellung der Antennen, welche die äußersten nicht als Ausreißer klassifizierten Werte darstellen. Mögliche Ausreißer werden ebenfalls visuell dargestellt.

Durch die grafische Darstellung in einer Kastengrafik wird ersichtlich, ob sich die Unterschiede primär im zentralen Bereich (Interquartilsabstand) oder im Randbereich der Verteilung zeigen. Dadurch lässt sich beurteilen, ob Abweichungen durch allgemein größere Streuung oder durch einzelne extreme Werte verursacht werden.

6.5.1 Kastengrafik Fall 1 – Fahrzeug A und Fahrzeug B

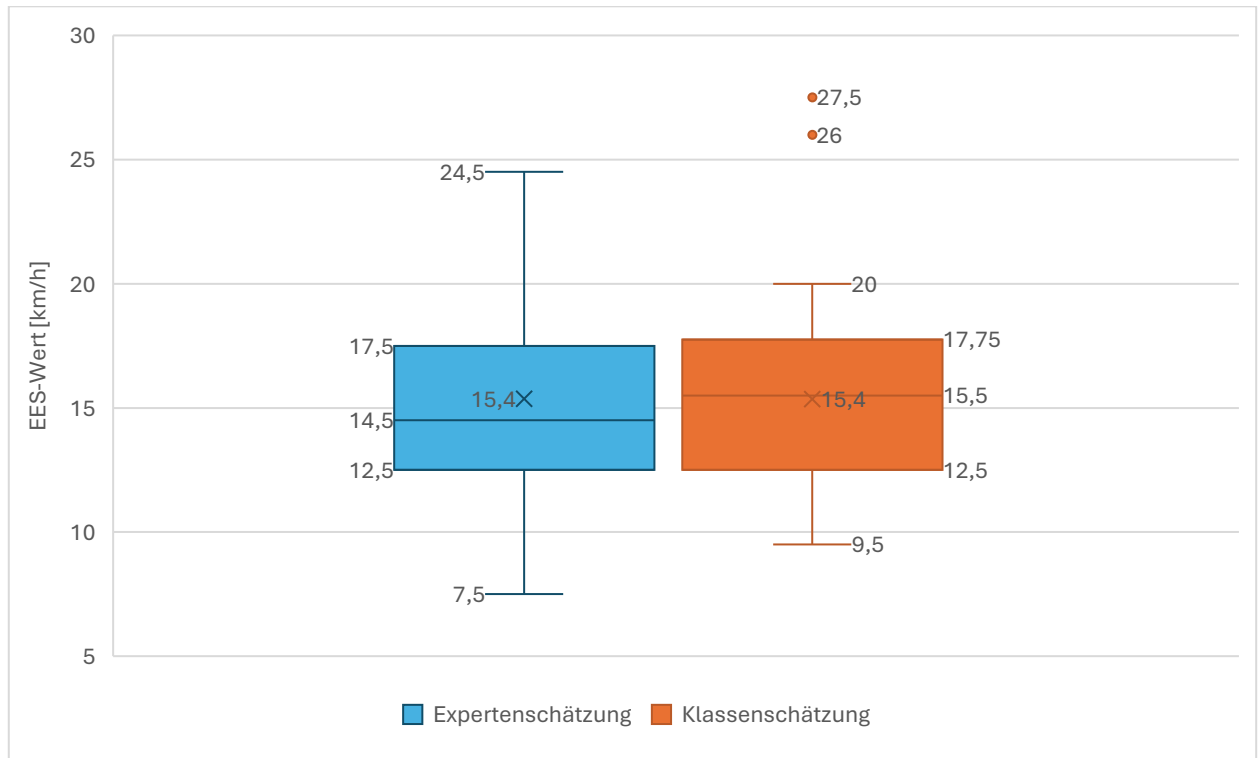


Bild 25: Kastengrafik der EES-Werte Fall 1 – Fahrzeug A [eigene Darstellung]

Die Kastengrafik in Bild 25 zeigt für den Fall 1 – Fahrzeug A für beide Schätzmethoden Median, Mittelwert, Interquartilsabstand, Antennen sowie mögliche Ausreißer. Auf der Y-Achse ist der EES-Wert in km/h angetragen.

Die Boxen bei beiden Schätzungsmethoden sind ungefähr gleich hoch, sodass der Interquartilsabstand etwa identisch ist und die Hälfte der Teilnehmer den EES-Wert bei beiden Schätzungsmethoden ähnlich schätzen. Somit ist die Genauigkeit der Teilnehmer im Kernbereich ähnlich.

Die Antennen der Klassenschätzung sind kürzer, wodurch der typische Wertebereich ohne Ausreißer enger ist und die Streuung im Randbereich geringer ausfällt, was darauf hinweist, dass die Mehrheit der Teilnehmer der Klassenschätzung mit den abgegebenen EES-Werten enger zusammenliegen und es eine höhere Genauigkeit der Teilnehmer im Randbereich bei der Klassenschätzung gibt.

Bei der Klassenschätzung treten zwei als hohe Ausreißer erkannte Werte (26 km/h und 27,5 km/h) auf. Dies bedeutet, dass einzelne Teilnehmer sehr hohe Intervalle angegeben haben, die nicht zu den typischen abgegebenen Intervallen passen.

Die Kastengrafik zeigt für Fall 1 – Fahrzeug A eine sehr ähnliche zentrale Verteilung bei der Schätzmethoden. Der Interquartilsabstand ist nahezu identisch, ebenso der Mittelwert. Die Klassenschätzung weist jedoch einen engeren typischen Randbereich auf, während einzelne hohe Ausreißer die Gesamtspannweite erhöhen.

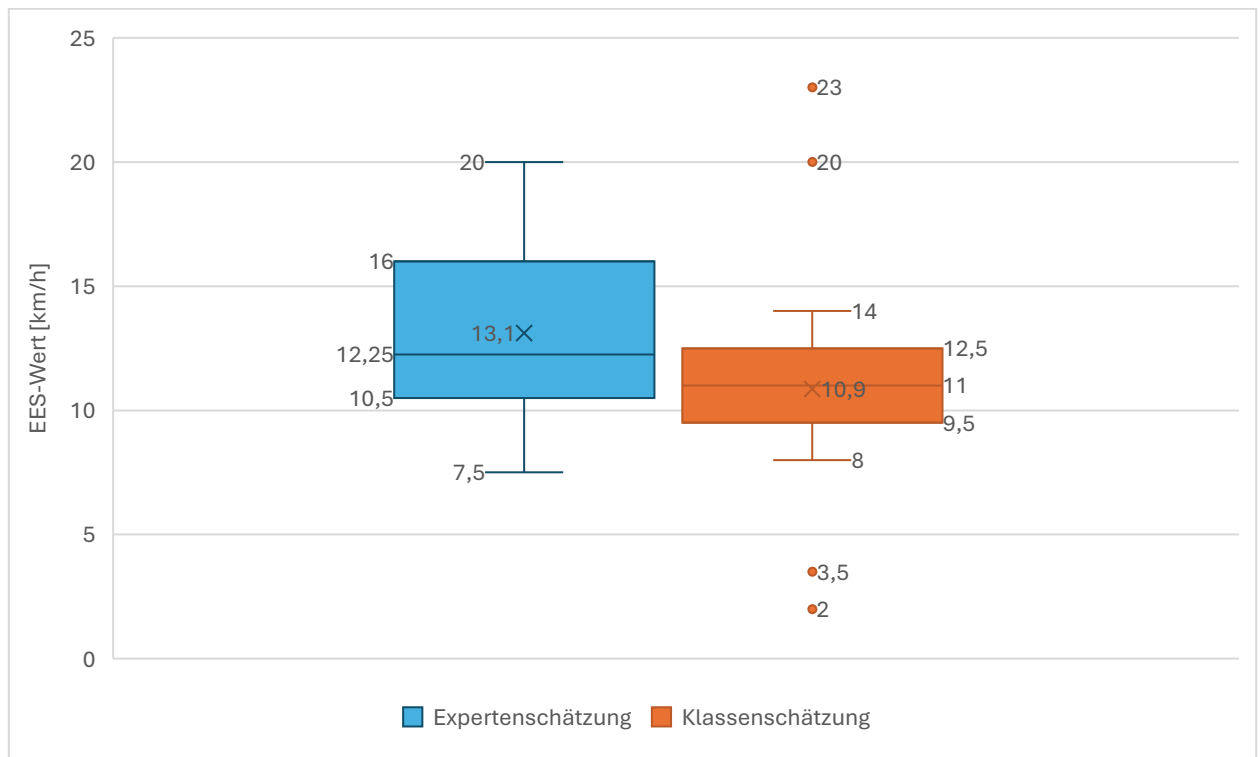


Bild 26: Kastengrafik der EES-Werte Fall 1 – Fahrzeug B [eigene Darstellung]

Die Kastengrafik in Bild 26 zeigt für den Fall 1 Fahrzeug B für beide Schätzmethoden Median, Mittelwert, Interquartilsabstand, Antennen sowie mögliche Ausreißer. Auf der Y-Achse ist der EES-Wert in km/h angetragen.

Die Box der Klassenschätzung ist deutlich kleiner, sodass die Hälfte der Teilnehmer den EES-Wert ähnlicher schätzen und die Einigkeit im Kernbereich höher ist als bei der Expertenschätzung.

Die Antennen der Klassenschätzung sind kürzer, wodurch der typische Wertebereich ohne Ausreißer enger ist und die Streuung im Randbereich geringer ausfällt, was darauf hinweist, dass die Mehrheit der Teilnehmer der Klassenschätzung mit den abgegebenen

EES-Werten enger zusammenliegen und es eine höhere Genauigkeit der Teilnehmer im Randbereich bei der Klassenschätzung gibt.

Bei der Klassenschätzung treten sowohl niedrige (2 km/h und 3,5 km/h) als auch hohe (20 km/h und 23 km/h) Ausreißer auf. Diese Ausreißer bedeuten, dass einzelne Teilnehmer sehr niedrige und sehr hohe Intervalle angegeben haben, welche nicht zu den typischen abgegebenen Intervallen passen.

Die Kastengrafik zeigt für Fall 1 – Fahrzeug B insgesamt eine kompaktere Verteilung im zentralen und typischen Bereich bei der Klassenschätzung bei gleichzeitig vereinzelt Ausreißern, welche die Gesamtspannweite erhöhen.

6.5.2 Kastengrafik Fall 2 – Fahrzeug A

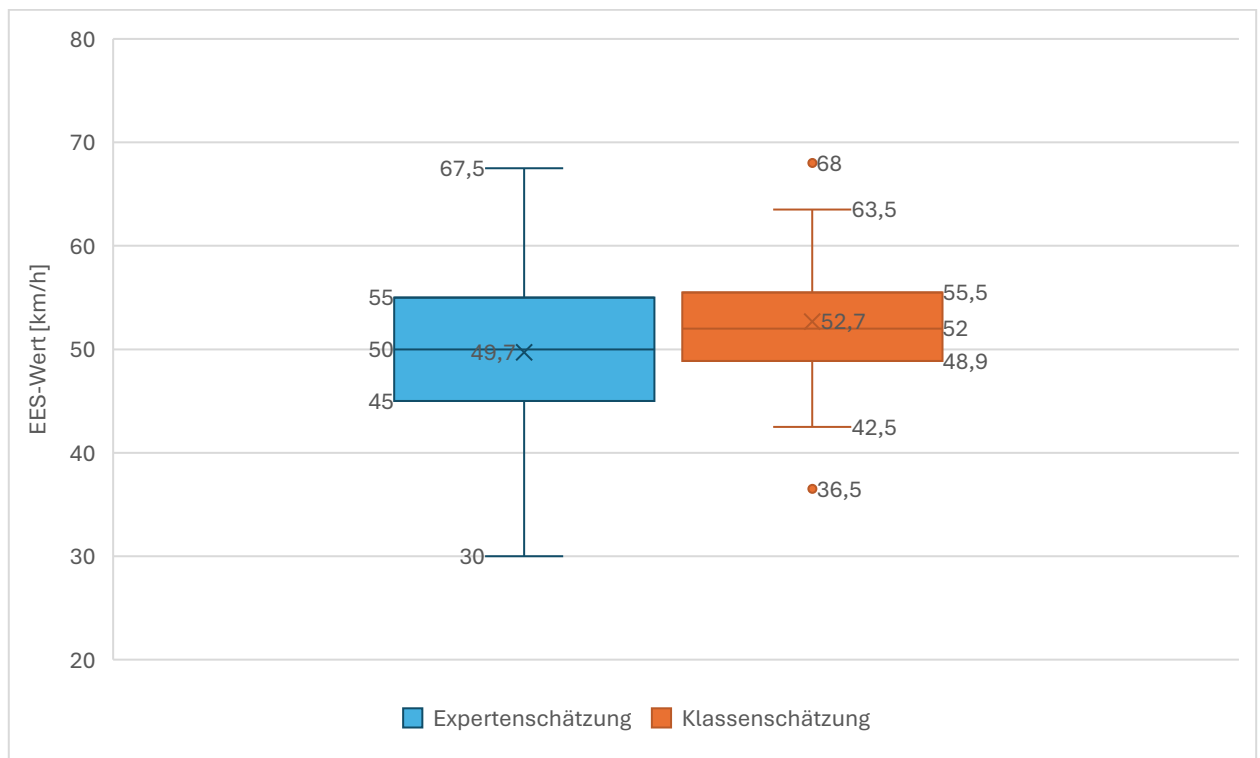


Bild 27: Kastengrafik der EES-Werte Fall 2 – Fahrzeug A [eigene Darstellung]

Die Kastengrafik in Bild 27 zeigt für den Fall 2 Fahrzeug A für beide Schätzmethoden Median, Mittelwert, Interquartilsabstand, Antennen sowie mögliche Ausreißer. Auf der Y-Achse ist der EES-Wert in km/h angetragen.

Die Box der Klassenschätzung ist kleiner als die der Expertenschätzung, sodass die Hälfte der Teilnehmer den EES-Wert ähnlicher schätzen und die Einigkeit im Kernbereich höher ist als bei der Expertenschätzung.

Die Antennen der Klassenschätzung sind kürzer, wodurch der typische Wertebereich ohne Ausreißer enger ist und die Streuung im Randbereich geringer ausfällt, was darauf hinweist, dass die Mehrzahl der Teilnehmer der Klassenschätzung mit den abgegebenen EES-Werten enger zusammenliegen und es eine höhere Genauigkeit der Teilnehmer im Randbereich bei der Klassenschätzung gibt.

Bei der Klassenschätzung treten zwei als Ausreißer erkannte Werte (36,5 km/h und 68 km/h) auf. Diese Ausreißer liegen einmal unterhalb und einmal oberhalb des typischen Wertebereichs. Dies bedeutet, dass einzelne Teilnehmer sehr hohe und sehr niedrige Intervalle angegeben haben, welche nicht zu den typischen abgegebenen Intervallen passen.

Die Kastengrafik zeigt für Fall 2 – Fahrzeug A eine leicht höhere zentrale Lage bei gleichzeitig kompakterer Streuung im Kern- und Randbereich der Klassenschätzung im Vergleich zur Expertenschätzung.

6.5.3 Kastengrafik Fall 3 – Fahrzeug A und Fahrzeug B

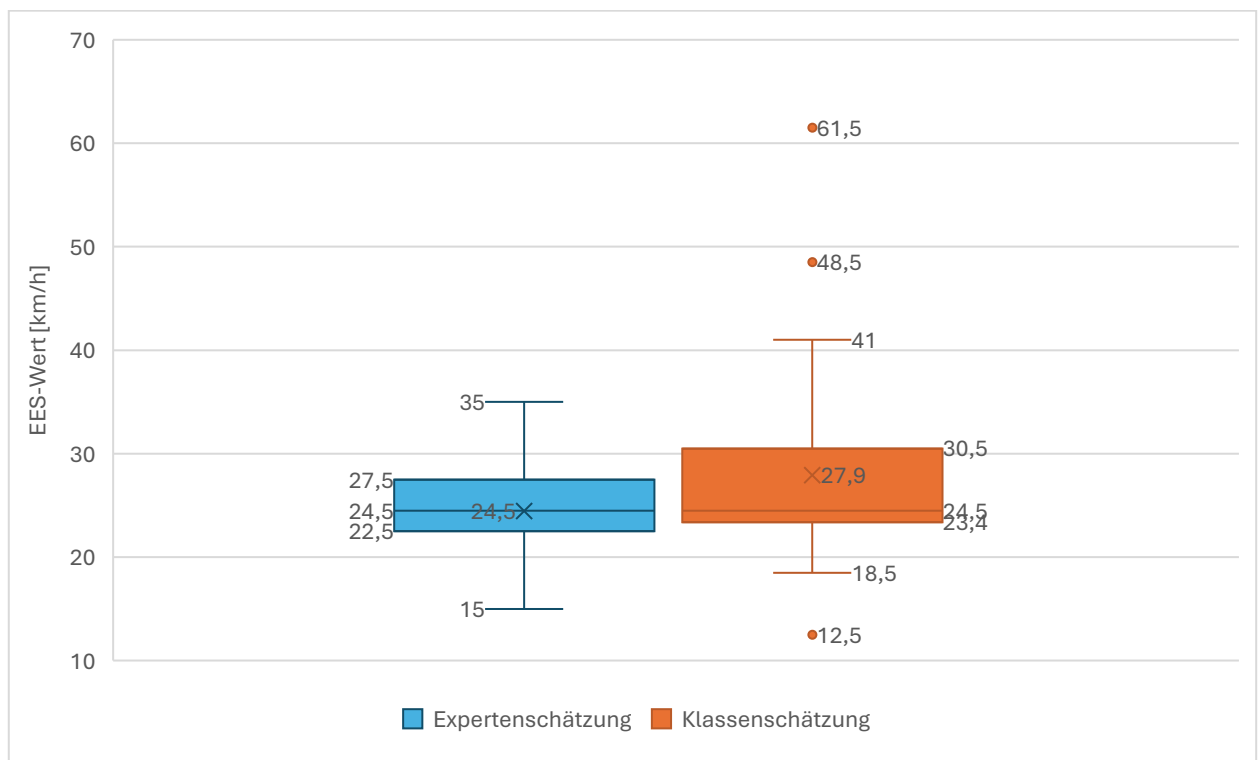


Bild 28: Kastengrafik der EES-Werte Fall 3 – Fahrzeug A [eigene Darstellung]

Die Kastengrafik in Bild 28 zeigt für den Fall 3 Fahrzeug A für beide Schätzmethoden Median, Mittelwert, Interquartilsabstand, Antennen sowie mögliche Ausreißer. Auf der Y-Achse ist der EES-Wert in km/h angetragen.

Der Interquartilsabstand ist bei der Expertenschätzung kleiner, sodass die Hälfte der Teilnehmer den EES-Wert ähnlicher schätzen und die Einigkeit im Kernbereich höher ist als bei der Klassenschätzung.

Die Antennen der Klassenschätzung sind größer, wodurch der typische Wertebereich ohne Ausreißer breiter ist und die Streuung im Randbereich größer ausfällt. Was darauf hinweist, dass die Mehrzahl der Teilnehmer der Expertenschätzung mit den abgegebenen EES-Werten enger zusammenliegen und es eine höhere Genauigkeit der Teilnehmer im Randbereich bei der Expertenschätzung gibt.

Bei der Klassenschätzung treten drei als Ausreißer erkannte Werte (12,5 km/h, 18,5 km/h und 61,5 km/h) auf. Dies bedeutet, dass einzelne Teilnehmer sehr hohe und sehr niedrige Intervalle angegeben haben, welche nicht zu den typischen abgegebenen Intervallen passen.

Die Kastengrafik zeigt für Fall 3 – Fahrzeug A eine identische zentrale Lage beider Methoden, jedoch eine deutlich höhere Streuung bei der Klassenschätzung sowohl im Kernbereich als auch im Randbereich.

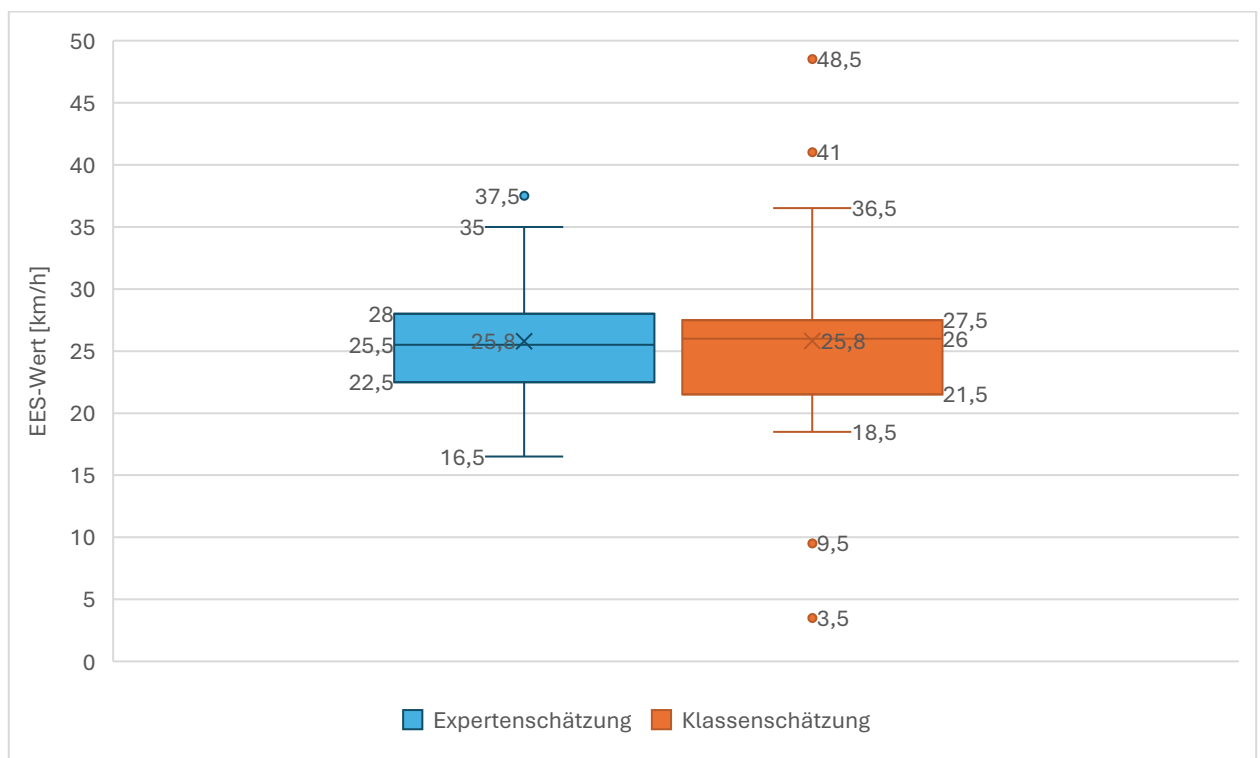


Bild 29: Kastengrafik der EES-Werte Fall 3 – Fahrzeug B [eigene Darstellung]

Die Kastengrafik in Bild 29 zeigt für den Fall 3 Fahrzeug B für beide Schätzmethoden Median, Mittelwert, Interquartilsabstand, Antennen sowie mögliche Ausreißer. Auf der Y-Achse ist der EES-Wert in km/h angetragen.

Die Boxen bei beiden Schätzungsmethoden sind ungefähr gleich hoch, sodass der Interquartilsabstand etwa identisch ist und die Hälfte der Teilnehmer den EES-Wert bei beiden Schätzungsmethoden ähnlich schätzen. Somit ist die Genauigkeit der Teilnehmer im Kernbereich ähnlich.

Die Antennen unterscheiden sich nur geringfügig. Das heißt, der typische Wertebereich, ohne Ausreißer ist bei beiden Schätzungsmethoden ähnlich breit, sodass im Randbereich keine deutliche Streudifferenz erkennbar ist. Die Genauigkeit der Teilnehmer im Randbereich ist bei beiden Schätzungsmethoden ähnlich.

Bei der Klassenschätzung treten vier als Ausreißer erkannte Werte (3,5 km/h, 9,5 km/h, 41 km/h und 48,5 km/h) auf. Bei der Expertenschätzung ist ein einzelner Ausreißer (37,5 km/h) vorhanden. Dies bedeutet, dass einzelne Teilnehmer sehr hohe und sehr niedrige Intervalle angegeben haben, welche nicht zu den typischen abgegebenen Intervallen passen.

Die Kastengrafik zeigt für Fall 3 – Fahrzeug B eine nahezu identische zentrale Verteilung beider Schätzmethoden. Unterschiede ergeben sich vor allem durch mehrere Ausreißer bei der Klassenschätzung, während der typische Randbereich und der zentrale Wertebereich beider Schätzungsmethoden ähnlich bleiben.

6.5.4 Kastengrafik Fall 4 – Fahrzeug A und Fahrzeug B

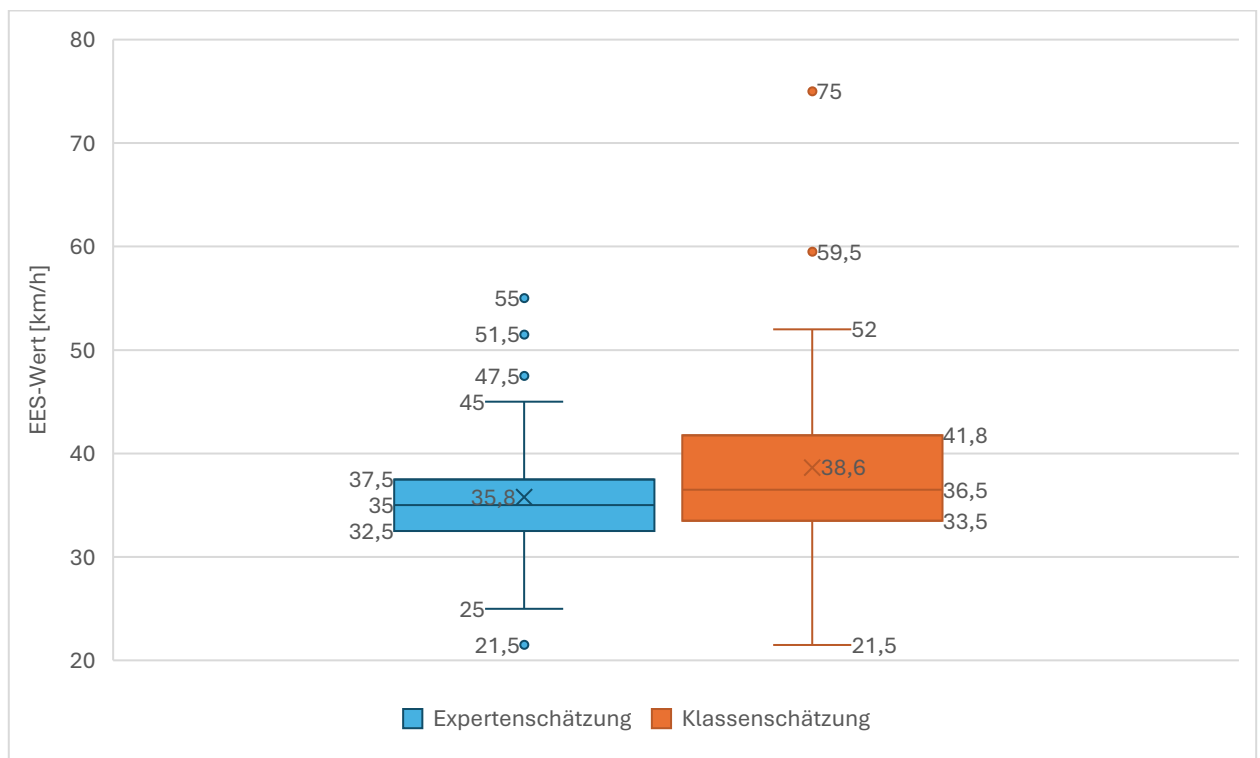


Bild 30: Kastengrafik der EES-Werte Fall 4 – Fahrzeug A [eigene Darstellung]

Die Kastengrafik in Bild 30 zeigt für den Fall 4 Fahrzeug A für beide Schätzmethoden Median, Mittelwert, Interquartilsabstand, Antennen sowie mögliche Ausreißer. Auf der Y-Achse ist der EES-Wert in km/h angetragen.

Der Interquartilsabstand ist bei der Expertenschätzung kleiner, sodass die Hälfte der Teilnehmer den EES-Wert ähnlicher schätzen und die Einigkeit im Kernbereich höher ist als bei der Klassenschätzung.

Die Antennen der Klassenschätzung sind größer, wodurch der typische Wertebereich ohne Ausreißer breiter ist und die Streuung im Randbereich größer ausfällt. Was darauf hinweist, dass die Mehrzahl der Teilnehmer der Expertenschätzung mit den abgegebenen EES-Werten enger zusammenliegen und es eine höhere Genauigkeit der Teilnehmer im Randbereich bei der Expertenschätzung gibt.

Bei beiden Schätzungsmethoden treten Ausreißer auf, wobei die Klassenschätzung sehr hohe Einzelwerte (bis 75 km/h) enthält. Dies bedeutet, dass einzelne Teilnehmer sehr hohe Intervalle bei der Klassenschätzung angegeben haben, welche nicht zu den typischen abgegebenen Intervallen passen.

Die Kastengrafik zeigt für Fall 4 – Fahrzeug A eine größere Streuung und eine leicht höhere zentrale Lage bei der Klassenschätzung im Vergleich zur Expertenschätzung. Insgesamt weist die Klassenschätzung eine geringere Genauigkeit auf.

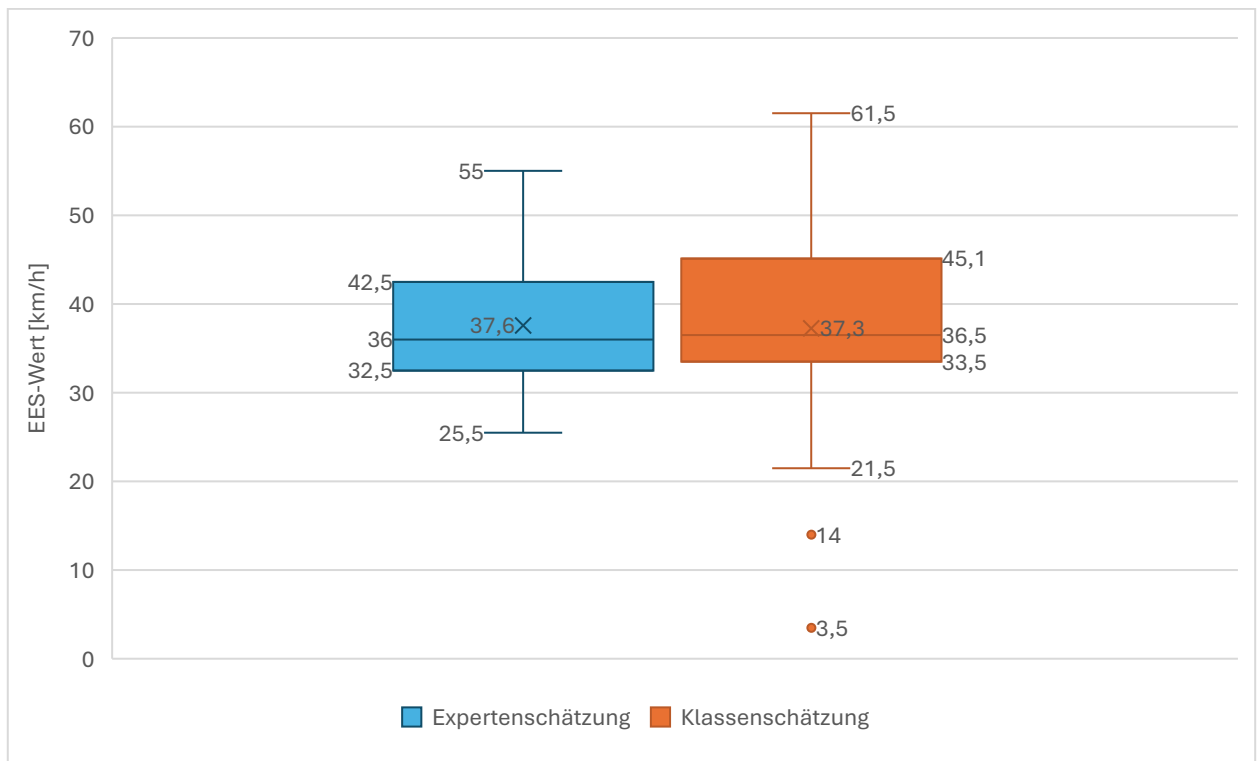


Bild 31: Kastengrafik der EES-Werte Fall 4 – Fahrzeug B [eigene Darstellung]

Die Kastengrafik in Bild 31 zeigt für den Fall 4 Fahrzeug B für beide Schätzmethoden Median, Mittelwert, Interquartilsabstand, Antennen sowie mögliche Ausreißer. Auf der Y-Achse ist der EES-Wert in km/h angetragen.

Der Interquartilsabstand ist bei der Expertenschätzung kleiner, sodass die Hälfte der Teilnehmer den EES-Wert ähnlicher schätzen und die Einigkeit im Kernbereich höher ist als bei der Klassenschätzung.

Die Antennen der Klassenschätzung sind größer, wodurch der typische Wertebereich ohne Ausreißer breiter ist und die Streuung im Randbereich größer ausfällt. Was darauf hinweist, dass die Mehrzahl der Teilnehmer der Expertenschätzung mit den abgegebenen EES-Werten enger zusammenliegen und es eine höhere Genauigkeit der Teilnehmer im Randbereich bei der Expertenschätzung gibt.

Bei der Klassenschätzung treten zwei als Ausreißer erkannte Werte (3,5 km/h und 14 km/h) auf. Dies bedeutet, dass einzelne Teilnehmer sehr niedrige Intervalle angegeben haben, welche nicht zu den typischen abgegebenen Intervallen passen.

Die Kastengrafik zeigt für Fall 4 – Fahrzeug B eine nahezu identische zentrale Lage bei der Schätzmethoden, jedoch eine größere Streuung und geringere Genauigkeit bei der Klassenschätzung im Vergleich zur Expertenschätzung.

6.5.5 Kastengrafik Fall 5 – Fahrzeug A und Fahrzeug B

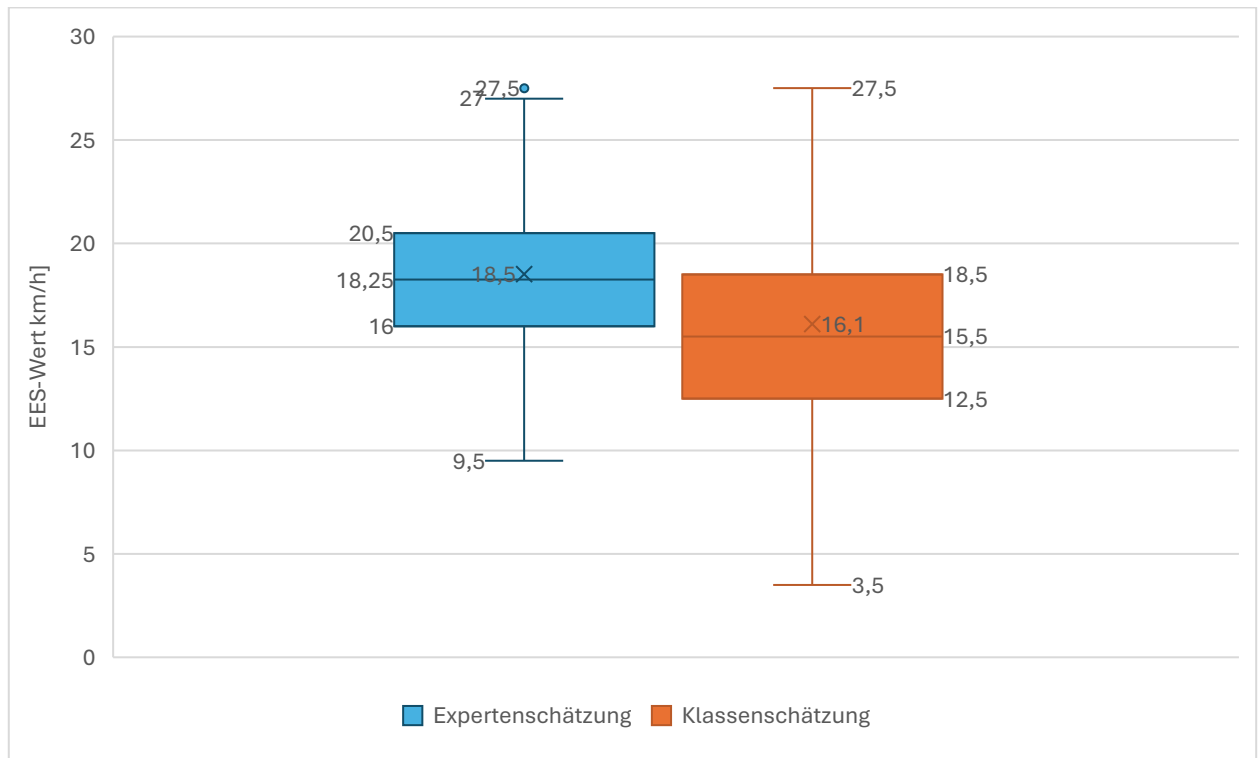


Bild 32: Kastengrafik der EES-Werte Fall 5 – Fahrzeug A [eigene Darstellung]

Die Kastengrafik in Bild 32 zeigt für den Fall 5 Fahrzeug A für beide Schätzmethoden Median, Mittelwert, Interquartilsabstand, Antennen sowie mögliche Ausreißer. Auf der Y-Achse ist der EES-Wert in km/h angetragen.

Der Interquartilsabstand ist bei der Expertenschätzung kleiner, sodass die Hälfte der Teilnehmer den EES-Wert ähnlicher schätzen und die Einigkeit im Kernbereich höher ist als bei der Klassenschätzung.

Die Antennen der Klassenschätzung sind größer, wodurch der typische Wertebereich ohne Ausreißer breiter ist und die Streuung im Randbereich größer ausfällt. Was darauf hinweist, dass die Mehrzahl der Teilnehmer der Expertenschätzung mit den abgegebenen EES-Werten enger zusammenliegen und es eine höhere Genauigkeit der Teilnehmer im Randbereich bei der Expertenschätzung gibt.

Während bei der Expertenschätzung nur ein einzelner hoher Ausreißer (27,5 km/h) vorliegt, zeigt die Klassenschätzung keine Ausreißer.

Die Kastengrafik zeigt für Fall 5 – Fahrzeug A eine niedrigere zentrale Lage sowie eine größere Streuung bei der Klassenschätzung im Vergleich zur Expertenschätzung. Insgesamt weist die Klassenschätzung eine geringere Genauigkeit auf.

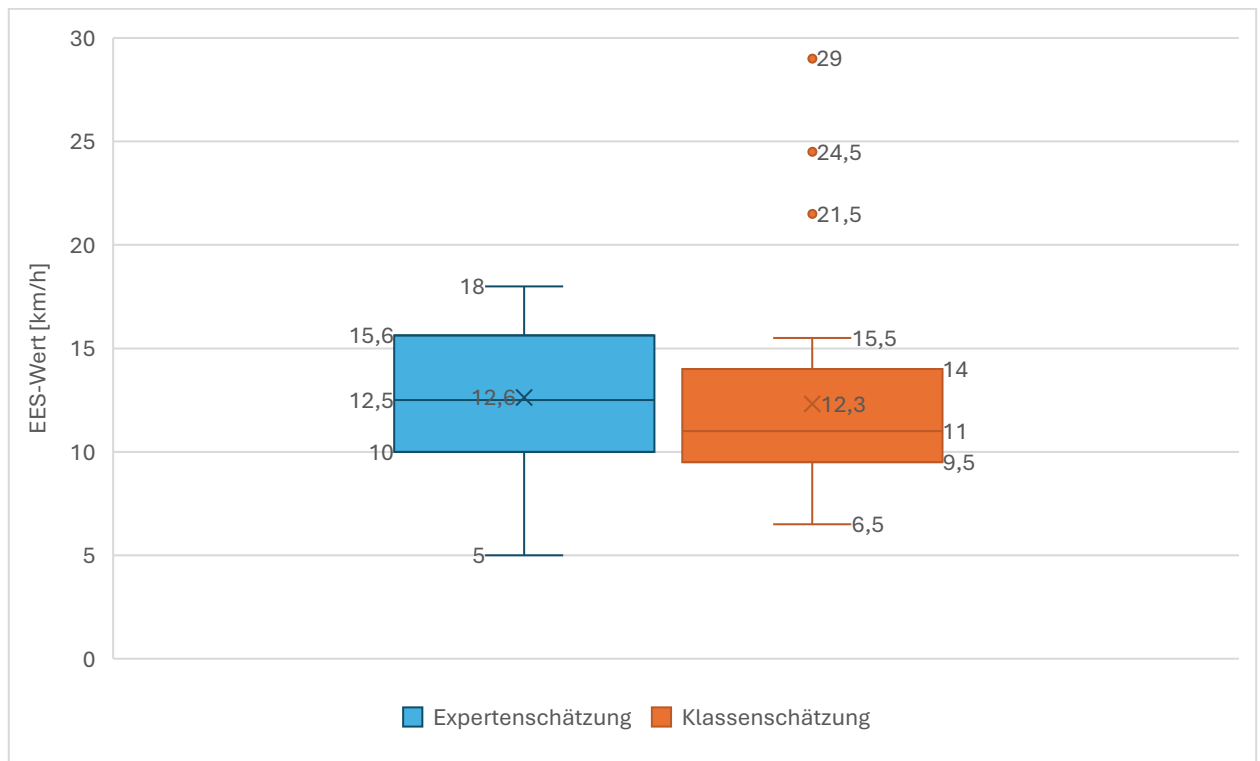


Bild 33: Kastengrafik der EES-Werte Fall 5 – Fahrzeug B [eigene Darstellung]

Die Kastengrafik in Bild 33 zeigt für den Fall 5 Fahrzeug B für beide Schätzmethoden Median, Mittelwert, Interquartilsabstand, Antennen sowie mögliche Ausreißer. Auf der Y-Achse ist der EES-Wert in km/h angetragen.

Der Interquartilsabstand der Klassenschätzung ist kleiner als die der Expertenschätzung, sodass die Hälfte der Teilnehmer den EES-Wert ähnlicher schätzen und die Einigkeit im Kernbereich höher ist als bei der Expertenschätzung.

Die Antennen der Klassenschätzung sind kürzer, wodurch der typische Wertebereich ohne Ausreißer enger ist und die Streuung im Randbereich geringer ausfällt, was darauf hinweist, dass die Mehrzahl der Teilnehmer der Klassenschätzung mit den abgegebenen EES-Werten enger zusammenliegen und es eine höhere Genauigkeit der Teilnehmer im Randbereich bei der Klassenschätzung gibt.

Bei der Klassenschätzung treten drei als hohe Ausreißer erkannte Werte (21,5 km/h, 24,5 km/h und 29 km/h) auf. Dies bedeutet, dass einzelne Teilnehmer sehr hohe Intervalle angegeben haben, welche nicht zu den typischen abgegebenen Intervallen passen.

Die Kastengrafik zeigt für Fall 5 – Fahrzeug B eine leicht niedrigere zentrale Lage bei gleichzeitig kompakterer Verteilung im Kern- und Randbereich der Klassenschätzung.

7 Auswertung der Fragebögen zur Klassenschätzung

Tabelle 16: Abgegebene Stimmen der Teilnehmer im Fragebogen [eigene Darstellung]

Frage	1. Wie leicht fiel Ihnen die Auswahl der Klasse(n)?				
Antwortmöglichkeiten	sehr leicht	leicht	neutral	schwer	sehr schwer
abgegebene Stimmen	-	10	18	3	-

Frage	2. Hatten Sie Schwierigkeiten, sich für einen oder zwei Bereiche zu entscheiden?		
Antwortmöglichkeiten	ja	nein	teilweise
abgegebene Stimmen	2	20	9

Frage	3. Ist diese Methode «Klassenschätzung» für Sie einfacher bzw. schneller?		
Antwortmöglichkeiten	ja	nein	teilweise
abgegebene Stimmen	19	7	5

Frage	4. Deckt/decken der/die von Ihnen gewählte(n) Bereich(e) Ihren Schätzwert ab?		
Antwortmöglichkeiten	ja	nein	teilweise
abgegebene Stimmen	21	2	8

Frage	5. Sind Sie mit den Klassenbreiten (im unteren Bereich/im oberen Bereich) zufrieden?				
Antwortmöglichkeiten	sehr zufrieden	zufrieden	neutral	unzufrieden	sehr unzufrieden
abgegebene Stimmen	1	18	7	4	-

Frage	6. Fanden Sie es sinnvoll, dass Sie auch zwei Bereiche auswählen konnten?		
Antwortmöglichkeiten	ja	nein	teilweise
abgegebene Stimmen	26	1	4

In der Tabelle 16 ist die Verteilung der abgegebenen Stimmen von den Teilnehmern in den Fragebögen zur Klassenschätzung dargestellt. Sechs Teilnehmer bewerten die Klasseneinstufung im unteren Geschwindigkeitsbereich zu kompakt. Vereinzelt gibt es Hinweise auf eine einheitliche Intervallbreite aller Klassen. Ebenfalls wird zur Kenntnis gegeben, dass jeweils nur eine Klasse ausgewählt werden soll. Ein Teilnehmer beschreibt die Klasseneinstufung im oberen Geschwindigkeitsbereich als zu kompakt. Die ausgefüllten Fragebögen zur Klassenschätzung der Teilnehmer sind im Anhang in Bild 66 bis Bild 96 zu finden.

8 Fazit zur Klassenschätzung

Das grundlegende Ziel der Klassenschätzung ist die Ermittlung aussagefähiger EES-Werte, indem die Schätzung in vordefinierten Klassen durchgeführt wird. Weiterhin soll untersucht werden, ob die definierten Intervalle die Streuung der Teilnehmer und extreme Einzelwerte reduzieren können. Außerdem werden die Anmerkungen der Teilnehmer zur Klassenschätzung anhand des Fragebogens ausgewertet, um mögliche Verbesserungsvorschläge für die Klassenschätzung bei künftigen Untersuchungen ableiten zu können.

Tabelle 17: Vergleich der Klassenschätzung mit der Expertenschätzung Fall 1 bis Fall 5 [eigene Darstellung]

Fall 1: - Klassenschätzung ist vergleichbar
Fall 2: - Klassenschätzung führt zu einer höheren Genauigkeit der Teilnehmer
Fall 3: - Klassenschätzung führt zu einer deutlich größeren Streuung und einer geringeren Genauigkeit der Teilnehmer
Fall 4: - Klassenschätzung führt zu einer größeren Streuung und einer geringeren Genauigkeit der Teilnehmer
Fall 5: - Klassenschätzung führt zu einer etwas größeren Streuung und einer geringeren Genauigkeit der Teilnehmer

Die Klassenschätzung verschiebt die Medianwerte kaum systematisch. Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass die Streuung zuverlässig reduziert wird. In den Fällen 1 und 5 wird die Streuung erhöht. In den Fällen 3 und 4 wird die Streuung deutlich erhöht. Nur in Fall 2 wird die Streuung verringert, siehe Tabelle 17.

Aus der Tabelle 15 geht hervor, dass in den Fällen 3 und 4 die Spannweite im Vergleich zur Expertenschätzung deutlich erhöht wurde. In Fall 1 ist die Spannweite im Vergleich zur Expertenschätzung gleich. In Fall 2 wurde die Spannweite bei der Klassenschätzung verringert und in Fall 5 wurde die Spannweite bei der Klassenschätzung erhöht. In den Kastengrafiken lässt sich erkennen, dass bei der Klassenschätzung in fast allen Fällen Ausreißer auftreten. Lediglich in Fall 5 bei Fahrzeug A ist kein Ausreißer vorhanden. Somit kann nicht davon ausgegangen werden, dass durch die Klassenschätzung mögliche Ausreißer reduziert werden.

Tabelle 18: Anzahl der Teilnehmer bei Expertenschätzung und Klassenschätzung [eigene Darstellung]

Fall	Klassenschätzung	Expertenschätzung
1	32	33
2	32	39
3	32	35
4	32	37
5	32	34

In Tabelle 18 werden die Anzahl der Teilnehmer bei der Expertenschätzung und der Klassenschätzung gegenübergestellt. Die unterschiedliche Anzahl der Teilnehmer kann die Streuungswerte beeinflussen. Besonders im Fall 2 und Fall 4 ist der Unterschied relevant. In der Tabelle 18 wird deutlich, dass die Expertenschätzung teilweise auf deutlich mehr Teilnehmerschätzungen basiert. Mehr Teilnehmer können zu stabileren Kennwerten führen. Laut GÖRTZ et al. ist es sinnvoll, sich an ca. 25 schätzenden Experten zu orientieren. GÖRTZ et al. [9] S. 211

Die Klassenschätzung führt nicht konsistent zu einer Erhöhung der Genauigkeit. Im Fall 2 zeigt sich eine kompaktere Verteilung, jedoch weisen mehrere Fälle eine erhöhte Streuung und größere Spannweiten auf. Eine systematische Verbesserung der Schätzpräzision durch die Klassenschätzung lässt sich daher nicht nachweisen. Die Klassenschätzung ist somit nicht eindeutig besser, aber teilweise vergleichbar. Die teilweise erhöhte Streuung kann jedoch auch durch Unterschiede in den Stichprobengrößen beeinflusst sein.

Auf der Basis der untersuchten fünf Fälle lässt sich keine konsistente Abhängigkeit des EES-Wertes vom Geschwindigkeitsniveau feststellen. Es zeigt sich keine klare systematische Abhängigkeit der Schätzqualität von der Geschwindigkeit der Unfallfahrzeuge.

Bei manchen Fällen konnte die Klassenschätzung im Vergleich zu der Expertenschätzung eine höhere zentrale Einigkeit der Teilnehmer im Kernbereich (IQR) erzielen, denn der IQR ist bei manchen Fällen der Klassenschätzung kleiner als bei der Expertenschätzung. Dies ist durch die Vorgabe der definierten Klassenintervalle bedingt. Die Klassenintervalle wurden von den Geschwindigkeiten von 1 km/h bis 51 km/h mit 3 km/h Schritten, von 52 km/h bis 67 km/h mit 4 km/h Schritten und von 68 km/h bis 82 km/h mit 5 km/h

Schritten gewählt. Diese kleinen Klassen führen tendenziell eher zu einer geringeren Streuung. Der Grund für die trotzdem erhöhte Streuung der EES-Werte bei der Klassenschätzung könnte auf die Mehrfachauswahl der benachbarten Klassen zurückzuführen sein. So erhöhen sich auch die Spannweiten. Außerdem haben einzelne Teilnehmer bereits im Fragebogen zur Klassenschätzung angegeben, dass die Klassenintervalle für sie zu klein definiert wurden. Manche Teilnehmer haben entgegen der Aufgabenstellung von der Auswahl von ein bis maximal zwei benachbarter Klassen drei Klassen angewählt. Dies erhöht die Spannweite deutlich, ist aber auf eine ebenfalls verringerte Genauigkeit der Teilnehmer zurückzuführen. Die Genauigkeit durch zwei Klassen war bei diesen Teilnehmern noch zu gering, weswegen diese drei Klassen angegeben mussten.

Die vorliegende Untersuchung der Klassenschätzung basiert auf insgesamt fünf analysierten Fällen. Aufgrund dieser begrenzten Fallzahl ist die Aussagekraft hinsichtlich einer generellen Überlegenheit oder Unterlegenheit der Methode der Klassenschätzung eingeschränkt. Die untersuchten Fälle decken jeweils nur einzelne Geschwindigkeitsbereiche ab, sodass keine umfassende Bewertung über das gesamte Spektrum möglicher EES-Werte erfolgen kann. Für eine belastbare Beurteilung der Klassenschätzung wäre es sinnvoll, weitere Untersuchungen mit einer größeren Anzahl an Fällen durchzuführen. Insbesondere könnten mehrere Fälle pro Geschwindigkeitsbereich analysiert werden, um weitere Aussagen zur Streuung, Genauigkeit etc. treffen zu können. Auf Basis der vorliegenden fünf Fälle zeigt sich keine konsistente Reduktion der Streuung oder Erhöhung der Genauigkeit durch die Klassenschätzung. In mehreren Fällen weist die Klassenschätzung eine höhere Standardabweichung und/oder größere Spannweite auf als die Klassenschätzung. Eine eindeutige Verbesserung der Schätzqualität durch die Klassenschätzung kann daher im Rahmen dieser Untersuchung nicht festgestellt werden.

9 Schlussfolgerung und Ausblick

Die vorliegende Untersuchung hatte das Ziel, mithilfe der Klassenschätzung aussagefähige EES-Werte zu ermitteln. Es sollten vorher definierte Klassenintervalle erstellt werden, mit denen die Teilnehmer an fünf Fallbeispielen die EES-Werte der Fahrzeuge bestimmen. Die Ergebnisse der Klassenschätzung sollten mit den Ergebnissen der Expertenschätzung statistisch ausgewertet und verglichen werden. Als Vergleichsgrößen dienten insbesondere Median, Standardabweichung, Spannweite sowie die Darstellung der Verteilungen der Schätzwerte mittels Kastengrafiken.

Durch die Klassenschätzung kann der EES-Wert von den Teilnehmern anhand vordefinierter Klassenintervalle geschätzt werden. Der Wertebereich von 1 km/h bis 82 km/h wird dabei in 24 Klassen unterteilt. Die Klassenbreite beträgt 3 km/h im unteren, 4 km/h im mittleren und 5 km/h im oberen Geschwindigkeitsbereich.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Klassenschätzung teilweise ähnliche Ergebnisse wie die Expertenschätzung liefert. Die Medianwerte der beiden Methoden liegen in vielen Fällen nahe beieinander. Hinsichtlich der Streuung der Teilnehmerwerte zeigen sich jedoch Unterschiede zur Expertenschätzung. In mehreren Fällen weist die Klassenschätzung eine höhere Standardabweichung oder eine größere Spannweite auf als die Expertenschätzung. Eine eindeutige Verbesserung der Genauigkeit durch die Klassenschätzung konnte daher im Rahmen dieser Untersuchung nicht festgestellt werden.

Gleichzeitig zeigen die Interquartilsabstände der Kastengrafiken in einigen Fällen eine vergleichbare oder teilweise geringere Streuung im zentralen Bereich der Teilnehmerwerte. Dies deutet darauf hin, dass sich die EES-Werte der Teilnehmer im Kernbereich der Schätzung bei der Klassenschätzung teilweise ähnlich stark oder sogar stärker annähern als bei der Expertenschätzung. Einzelne Ausreißer treten auch bei dieser Schätzungsmethode auf. Die Klassenschätzung ist nicht eindeutig besser oder schlechter als die Expertenschätzung, aber sie ist vergleichbar.

Abschließend lässt sich sagen, dass diese Untersuchung auf fünf Fallbeispielen basiert, sodass die statistische Aussagekraft begrenzt ist. Zudem decken die betrachteten Fälle nur bestimmte Geschwindigkeitsbereiche ab. Die Klassenschätzung wurde in dieser Arbeit ausschließlich für PKW-Unfälle mit einer Klasseneinstufung von 1 km/h bis 82 km/h

untersucht. Eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Geschwindigkeitsbereiche oder andere Unfallarten ist daher nur eingeschränkt möglich.

Aus den Rückmeldungen der Teilnehmer der Klassenschätzung wird deutlich, dass die Mehrzahl keine Schwierigkeiten bei der Auswahl der Klassen hat. Viele Teilnehmer bewerten die Klassenschätzung als eine schnelle und einfache Methode zur Ermittlung der EES-Werte. Einige Teilnehmer merken an, dass die von ihnen ausgewählten Klassen ihren EES-Wert nicht vollständig abdecken, weshalb diese eine breitere Klasseneinstufung im unteren Geschwindigkeitsbereich vorschlagen. Die Mehrheit ist mit den Klassenbreiten im oberen und unteren Geschwindigkeitsbereich zufrieden und befürwortet, dass neben einer Klasse auch zwei Klassen ausgewählt werden können.

Für weiterführende Arbeiten wäre es daher sinnvoll, eine größere Anzahl an Fällen zu untersuchen, um eine robustere statistische Bewertung der Klassenschätzung zu ermöglichen. Insbesondere könnten mehrere Fälle innerhalb verschiedener Geschwindigkeitsbereiche analysiert werden, um mögliche Unterschiede in der Schätzqualität bezüglich der Geschwindigkeit zu untersuchen. Darüber hinaus könnten zukünftige Untersuchungen die Anwendung der Klassenschätzung auch auf andere Fahrzeugklassen z.B. Zweiräder oder LKW, ausweiten.

Die Wahl der jeweiligen Methode, um EES-Werte zu ermitteln, hängt stets vom konkreten Anwendungsfall ab. Neben der Expertenschätzung und der Klassenschätzung existieren weitere Verfahren, die in Kapitel 4 vorgestellt wurden. Jede dieser Methoden weist spezifische Vor- und Nachteile auf, sodass im Einzelfall geprüft werden muss, welches Verfahren im jeweiligen Untersuchungsfall angewendet werden kann.

10 Verzeichnis der Literatur

- [1] Logo der Westsächsischen Hochschule Zwickau. Unter: <https://www.whz.de/hochschule/service/corporate-design/>. Zugriff am 18.06.2025.
- [2] DEKRA Logo. Unter: www.dekra.de. Zugriff am 18.06.2025.
- [3] BURG, HEINZ; GRATZER, WERNER; MOSER, ANDREAS; STEFFAN, HERMANN: Kollisionsmechanik (Abschnitt A9). In: BURG, HEINZ; MOSER, ANDREAS (Hrsg.): Handbuch der Verkehrsunfallrekonstruktion. 3. Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2017.
- [4] HUGEMANN, WOLFGANG: Kollisionsmechanik. In: HUGEMANN, WOLFGANG (Hrsg.): Unfallrekonstruktion. 1. Auflage. Münster: autorenteam GbR, 2007.
- [5] Verkehrslexikon. Unter: <https://verkehrslexikon.de/Module/Verkehrsunfall.php>. Zugriff am 09.04.2025.
- [6] Colliseum. Unter: <https://www.colliseum.eu/wiki/Unfallrekonstruktion>. Zugriff am 09.04.2025.
- [7] BRÖSDORF, KLAUS-DIETER: „_4 UNFALLREKONSTRUKTION 2025 2026“ (PowerPoint), 2025.
- [8] BRÖSDORF, KLAUS-DIETER: „Unfallaufnahme, Fahrzeug- und Ortsdokumentation“ (PowerPoint), 2020.
- [9] GÖRTZ, MARCO; KAMPHAUSEN, SVEN; NIENHAUS, MICHAEL; KUBJATKO, TIBOR: Neues Verfahren zur Erhöhung der Transparenz bei der EES-Wert-Bestimmung. In: VKU-Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik (Mai 2019), S. 184 bis 198 (Teil 1) und In: VKU-Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik (Juni 2019), S. 220 bis 233 (Teil 2) In: VKU-Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik (Juli 2019), S. 250 bis 261 (Teil 3).
- [10] Colliseum. Unter: [https://www.colliseum.eu/wiki/EES - Ein Hilfsmittel zur Unfallrekonstruktion und dessen Auswirkungen auf die Unfallforschung](https://www.colliseum.eu/wiki/EES_-_Ein_Hilfsmittel_zur_Unfallrekonstruktion_und_dessen_Auswirkungen_auf_die_Unfallforschung). Zugriff am 24.04.2025.
- [11] SCHMIDT, YVONNE: Untersuchungen zur Validierung eines EES-Kataloges. Zwickau, Westsächsische Hochschule Zwickau, Diplomarbeit, 2023.
- [12] JOHANNSEN, HEIKO: Unfallmechanik und Unfallrekonstruktion. Grundlagen der Unfallaufklärung. 3. Auflage. Verlag: SPRINGER VIEWEG, 2013.
- [13] KAMPA, ANDREAS: Kollisionsmechanik. In: HUGEMANN, WOLFGANG (Hrsg.): Unfallrekonstruktion. 1. Auflage. Münster: autorenteam GbR, 2007.
- [14] GRUNDLER, ROMAN; SINZIG, BETTINA; EICHHOLZER, THOMAS; BRUNNER, ANTON: Eingrenzung der Stoßzahl k für die Rekonstruktion von Heckkollisionen. VKU-Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, Oktober 2008, S. 289 bis 298.
- [15] GIDAS. GERMAN IN-DEPTH ACCIDENT STUDY. Unter: <https://www.gidas.org/start.html>. Zugriff am: 01.08.2025.
- [16] GIDAS. GERMAN IN-DEPTH ACCIDENT STUDY. Unter: <https://www.gidas.org/about.html>. Zugriff am 01.08.2025.

- [17] ZEIDLER, FALK: Deformationsverhalten von Kraftfahrzeugen bei Aufprallversuchen unter praxisgerechten Versuchsbedingungen. In: Der Verkehrsunfall 17 (1979) Nr. 4, S. 75 – 81 und Nr. 5. S. 107 – 112.
- [18] GRATZER, WERNER: EES- und Steifigkeits-Verteilung bei der Kollisionsrechnung. Stoßhypothese. 5. AREC-Tagung. Wildhaus 2003.
- [19] SCHAPER, DIETER: Ist die Fahrzeugdeformation ein Maß für die Geschwindigkeitsänderung von Unfallfahrzeugen? In: Der Verkehrsunfall 17 [1979], Nr. 1, S. 138 – 142.
- [20] BÄUMLER, H; PILLER, R: Vortrag: Problematik der Δv Ermittlung-Energieraster als Grundlage der EES-Bestimmung, April 2012. Unter: [Problematik der \$\Delta v\$ Ermittlung-Energieraster als Grundlage der EES-Bestimmung.pdf](#). Zugriff am 01.07.2025.
- [21] Benutzeroberfläche zum Einstellen von Fahrzeugkollisionen auf ReconData für eine EES-Schätzung durch Experten. Online-Adresse kann aus Datenschutzgründen nicht veröffentlicht werden. Zugriff am: 12.01.2026.
- [22] Benutzeroberfläche für eine EES-Bewertungsanfrage auf ReconData. Online-Adresse kann aus Datenschutzgründen nicht veröffentlicht werden. Zugriff am: 12.01.2026.
- [23] Ergebnisoberfläche der EES-Bewertungsanfrage bei ReconData. Zugriff am: 12.01.2026.
- [24] BRÖSDORF, KLAUS-DIETER; MOSER, ANDREAS; BURG, JÜRGEN: Unfallaufnahme und Datenerhebung (Abschnitt A2). In: BURG, HEINZ; MOSER, ANDREAS (Hrsg.): Handbuch der Verkehrsunfallrekonstruktion. 3. Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2017.
- [25] KALTHOFF, WOLFRAM; BÜHRMANN, RALF; FAGO, BERND: Die Verwendung von Crashtestergebnissen bei unterschiedlichen Unfall- und Testfahrzeugmassen. VKU-Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, Februar 2013, S. 48 bis 61.
- [26] GRATZER, WERNER: Kollisionsmechanik (Abschnitt A9). In: BURG, HEINZ; MOSER, ANDREAS (Hrsg.): Handbuch der Verkehrsunfallrekonstruktion. 3. Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2017.
- [27] ERBSMEHL, CHRISTIAN: Ein neues dreidimensionales Energy Equivalent Speed (EES)-Modell für Fahrzeuge basierend auf Unfalldaten. Dissertation, Dresden, 2014.
- [28] BREITLAUCH, PASCAL; ERBSMEHL, CHRISTIAN: Entwicklung eines hochauflösenden, dreidimensionalen Energy Equivalent Speed (EES)-Modells für Pkw, Teil 1 – Modellentwicklung. In: VKU-Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik (September 2021), S. 296 bis 303 (Teil 1) und Entwicklung eines hochauflösenden, dreidimensionalen Energy Equivalent Speed (EES)-Modells für Pkw, Teil 2 – Plattform zur EES-Berechnung. In: VKU-Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik (Oktober 2021), S. 340 bis 347 (Teil 2).
- [29] What is Finite Element Analysis. Unter: <https://www.simscale.com/docs/sim-wiki/fea-finite-element-analysis/what-is-fea-finite-element-analysis/>. Zugriff am 20.05.2025.

- [30] DSD - DR. STEFFAN DATENTECHNIK GMBH: Simulationsprogramm PC-Crash. Allgemeine Informationen zum Simulationsprogramm unter: https://dsd.at/index.php?option=com_content&view=article&id=509:pc-crash-deutsch-sicherung&catid=53&lang=de&Itemid=175. Zugriff am: 31.03.2026.
- [31] FAHRMEIR, LUDWIG; HEUMANN, CHRISTIAN; KÜNSTLER, RITA; PIGEOT, IRIS; TUTZ, GERHARD: Statistik. Der Weg zur Datenanalyse. 8. Auflage. Verlag: SPRINGER SPEKTRUM, 2016.
- [32] SCHADER, M.; SCHMID, F.: Maximum-Likelihood-Schätzung aus gruppierten Daten – eine Übersicht. OR Spektrum, 1988.
- [33] ANDERSON, BENJAMIN: Gruppierte Daten, August 2023. Unter: <https://statorials.org/de/gruppierte-daten/>. Zugriff am: 30.03.2026.
- [34] CAMPBELL, KENNETH: Energy Basis for Collision Severity, SAE Technical Paper 740565, 1974.
- [35] BURG, HEINZ; MOSER, ANDREAS; STEFFAN, HERMANN: Vergleich verschiedener Aufpralltypen hinsichtlich Geschwindigkeitsänderung und Verformungsenergie zur Bewertung von Insassenbelastungen und Schadensschwere. In: Vortrag und Seminarunterlagen zur 21. EVU-Jahrestagung. Braşov [RO], 27. bis 29.09.2012.
- [36] Spannweite und Quartilsabstand. Unter: <https://studyflix.de/statistik/spannweite-und-quartilsabstand-1041>. Zugriff am: 10.03.2026.
- [37] Boxplot/ Kastengrafik. Unter: <https://studyflix.de/statistik/boxplot-1044>. Zugriff am: 10.03.2026.
- [38] Boxplot grafische Darstellung Verteilung der Daten. Unter: <https://www.sixsigmablackbelt.de/boxplot/>. Zugriff am: 10.03.2026.
- [39] Quartile und Quantile. Unter: <https://studyflix.de/statistik/quartil-1628>. Zugriff am: 11.03.2026.
- [40] EES-Expertenschätzung auf ReconData Fall 1. Unter: <https://pccrash.eu/EESE-stimation/Results.php?CaseID=264>. Zugriff am: 12.01.2026.
- [41] EES-Expertenschätzung auf ReconData Fall 2. Unter: <https://pccrash.eu/EESE-stimation/Results.php?CaseID=517>. Zugriff am: 12.01.2026.
- [42] EES-Expertenschätzung auf ReconData Fall 3. Unter: <https://pccrash.eu/EESE-stimation/Results.php?CaseID=518>. Zugriff am: 12.01.2026.
- [43] EES-Expertenschätzung auf ReconData Fall 4. Unter: <https://pccrash.eu/EESE-stimation/Results.php?CaseID=519>. Zugriff am: 12.01.2026.
- [44] EES-Expertenschätzung auf ReconData Fall 5. Unter: <https://pccrash.eu/EESE-stimation/Results.php?CaseID=562>. Zugriff am: 12.01.2026.

10 Anhang

Tabelle 19: Daten der Unfallfahrzeuge Fall 1 [40]

EES-Einstufung - Ergebnisse:

	Fahrzeug 1	Fahrzeug 2
Hersteller:	Fiat	Audi
Modell:	Stilo	A6
Baujahr:	2006	2002
Leergewicht [kg]:	1485	1873
ID:	721449	721450

Fragestellung:

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

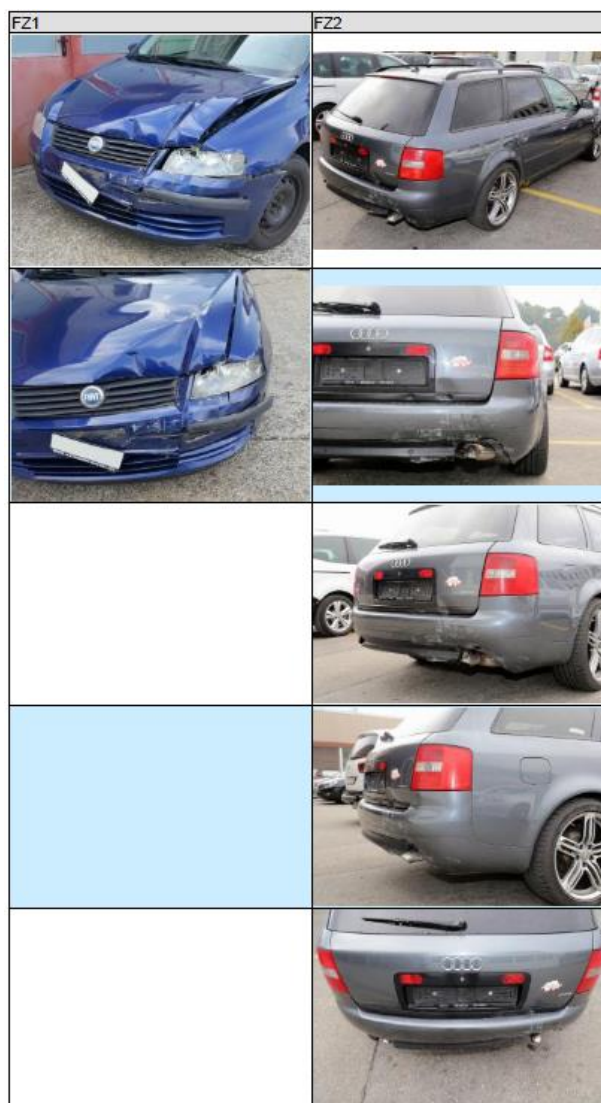


Bild 34: Erster Teil der Fotodokumentation der Unfallfahrzeuge Fall 1 [40]



Bild 35: Zweiter Teil der Fotodokumentation der Unfallfahrzeuge Fall 1 [40]

Name	EES 1	EES 2		Energieverteilung
1			14-18	12-17 km/h 49% 51%
2			12-17	10-13 km/h 56% 44%
3			15-18	12-14 km/h 56% 44%
4			14-19	13-16 km/h 51% 49%
5			16-18	12-14 km/h 58% 42%
6			10-15	8-14 km/h 51% 49%
7			5-10	8-13 km/h 29% 71%
8			11-15	10-14 km/h 48% 52%
9			12-16	10-14 km/h 52% 48%
10			13-15	10-12 km/h 56% 44%
11			10-14	10-12 km/h 49% 51%
12			8-12	7-10 km/h 52% 48%
13			10-15	5-10 km/h 69% 31%
14			10-14	8-11 km/h 56% 44%
15			12-17	8-13 km/h 60% 40%
16			12-17	10-15 km/h 52% 48%
17			15-18	12-15 km/h 54% 46%
18			12-15	8-12 km/h 59% 41%
19			18-21	15-18 km/h 53% 47%
20			15-25	15-25 km/h 44% 56%
21			15-20	15-20 km/h 44% 56%
22			11-16	11-15 km/h 46% 54%
23			10-13	8-11 km/h 54% 46%
24			12-18	8-13 km/h 62% 38%
25			15-20	- km/h 100%
26			21-28	15-20 km/h 61% 39%
27			20-25	17-23 km/h 50% 50%
28			10-15	10-15 km/h 44% 56%
29			10-15	8-13 km/h 53% 47%
30			16-22	15-20 km/h 48% 52%
31			22-27	17-22 km/h 56% 44%
32			15-25	15-25 km/h 44% 56%
33			8-12	7-11 km/h 49% 51%
Min/Max	5-28	5-	km/h	
Mittelwert	15.4	13.1	km/h	52% 48%
Median	14.5	12.5	km/h	52% 48%
Standardabweichung	4.0	3.6	km/h	
Def-Energie Median	12	11.3	kJ	
Sigma/Median Energieverhältnis	63	67	%	
Qualitätsindikator				
Verteilung				
Deformationsbereich				

Bild 36: ReconData-Ergebnis der EES-Expertenschätzung des Falls 1 [40]

Tabelle 20: Daten des Unfallfahrzeugs Fall 2 [41]

EES-Einstufung - Ergebnisse:

	Fahrzeug 1
Hersteller:	Opel
Modell:	Zafira A
Baujahr:	2000
Leergewicht [kg]:	1395
ID:	721926

Fragestellung:

EES



Bild 37: Fotodokumentation des Unfallfahrzeugs Fall 2 [41]

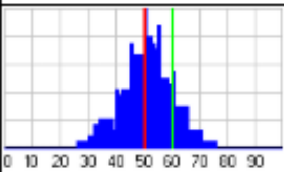
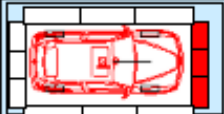
Name	EES 1		Energieverteilung
1		26-34 km/h	100%
2		40-60 km/h	100%
3		45-55 km/h	100%
4		42-46 km/h	100%
5		45-55 km/h	100%
6		40-50 km/h	100%
7		60-70 km/h	100%
8		56-60 km/h	100%
9		55-65 km/h	100%
10		34-53 km/h	100%
11		50-60 km/h	100%
12		50-55 km/h	100%
13		50-55 km/h	100%
14		40-50 km/h	100%
15		45-55 km/h	100%
16		60-75 km/h	100%
17		50-55 km/h	100%
18		45-55 km/h	100%
19		35-39 km/h	100%
20		40-60 km/h	100%
21		40-50 km/h	100%
22		45-55 km/h	100%
23		55-65 km/h	100%
24		32-38 km/h	100%
25		50-70 km/h	100%
26		40-45 km/h	100%
27		45-50 km/h	100%
28		50-55 km/h	100%
29		50-60 km/h	100%
30		40-45 km/h	100%
31		32-38 km/h	100%
32		55-65 km/h	100%
33		47-52 km/h	100%
34		55-65 km/h	100%
35		50-60 km/h	100%
36		45-55 km/h	100%
37		45-50 km/h	100%
38		40-58 km/h	100%
39		30-40 km/h	100%
Min/Max	26-75	km/h	
Mittelwert	49.7	km/h	100%
Median	50	km/h	100%
Standardabweichung	8.5	km/h	
Def-Energie Median	134.5	kJ	
Sigma/Median Energieverhältnis	37	%	
Qualitätsindikator			
Verteilung			
Deformationsbereich			

Bild 38: ReconData-Ergebnis der EES-Expertenschätzung des Falls 2 [41]

Tabelle 21: Daten der Unfallfahrzeuge Fall 3 [42]

EES-Einstufung - Ergebnisse:

	Fahrzeug 1	Fahrzeug 2
Hersteller:	Opel	Opel
Modell:	Zafira A	Zafira A
Baujahr:	2002	2000
Leergewicht [kg]:	1437	1395
ID:	721927	721928

Fragestellung:

EES



Bild 39: Fotodokumentation der Unfallfahrzeuge Fall 3 [42]

Name	EES 1	EES 2	Energieverteilung
1	20-25	20-25	km/h 51% 49%
2	20-25	18-26	km/h 52% 48%
3	25-30	25-30	km/h 51% 49%
4	17-28	16-26	km/h 54% 46%
5	20-30	21-31	km/h 49% 51%
6	19-23	19-23	km/h 51% 49%
7	26-30	26-30	km/h 51% 49%
8	25-35	25-30	km/h 55% 45%
9	18-27	20-28	km/h 48% 52%
10	20-25	25-30	km/h 41% 59%
11	27-30	29-32	km/h 47% 53%
12	18-22	18-22	km/h 51% 49%
13	10-20	15-25	km/h 37% 63%
14	20-25	23-28	km/h 45% 55%
15	20-30	20-30	km/h 51% 49%
16	28-33	28-33	km/h 51% 49%
17	25-30	25-30	km/h 51% 49%
18	22-27	22-27	km/h 51% 49%
19	15-18	15-18	km/h 51% 49%
20	30-40	30-40	km/h 51% 49%
21	17-23	25-35	km/h 31% 69%
22	25-30	25-30	km/h 51% 49%
23	25-30	25-30	km/h 51% 49%
24	25-30	30-35	km/h 42% 58%
25	30-35	35-40	km/h 44% 56%
26	14-18	15-19	km/h 48% 52%
27	15-18	18-22	km/h 41% 59%
28	20-25	21-26	km/h 49% 51%
29	22-27	23-28	km/h 49% 51%
30	20-26	30-38	km/h 32% 68%
31	25-33	25-33	km/h 51% 49%
32	20-30	20-30	km/h 51% 49%
33	22-27	20-25	km/h 55% 45%
34	20-38	17-30	km/h 61% 39%
35	20-25	23-28	km/h 45% 55%
Min/Max	10-40	15-40	km/h
Mittelwert	24.5	25.8	km/h 48% 52%
Median	24.5	25.5	km/h 49% 51%
Standardabweichung	4.6	4.8	km/h
Def-Energie Median	33.3	35	kJ
Sigma/Median Energieverhältnis	41	41	%
Qualitätsindikator			
Verteilung			
Deformationsbereich			

Bild 40: ReconData-Ergebnis der EES-Expertenschätzung des Falls 3 [42]

Tabelle 22: Daten der Unfallfahrzeuge Fall 4 [43]

EES-Einstufung - Ergebnisse:

	Fahrzeug 1	Fahrzeug 2
Hersteller:	Opel	Opel
Modell:	Zafira A	Zafira A
Baujahr:	2002	2002
Leergewicht [kg]:	1418	1437
ID:	721929	721930

Fragestellung:

EES



Bild 41: Fotodokumentation der Unfallfahrzeuge Fall 4 [43]

Name	EES 1	EES 2	Energieverteilung
1	30-35	30-35 km/h	50% 50%
2	48-55	45-50 km/h	54% 46%
3	32-36	38-42 km/h	42% 58%
4	32-42	35-45 km/h	46% 54%
5	20-30	25-35 km/h	41% 59%
6	34-39	35-40 km/h	48% 52%
7	34-38	34-38 km/h	50% 50%
8	40-50	40-50 km/h	50% 50%
9	22-29	24-31 km/h	46% 54%
10	30-40	30-40 km/h	50% 50%
11	30-35	30-35 km/h	50% 50%
12	25-30	25-30 km/h	50% 50%
13	40-50	40-50 km/h	50% 50%
14	30-35	33-38 km/h	45% 55%
15	30-35	30-35 km/h	50% 50%
16	35-40	35-40 km/h	50% 50%
17	35-40	35-40 km/h	50% 50%
18	30-36	30-36 km/h	50% 50%
19	30-35	30-35 km/h	50% 50%
20	30-40	30-40 km/h	50% 50%
21	25-35	30-40 km/h	42% 58%
22	40-50	40-50 km/h	50% 50%
23	50-60	50-60 km/h	50% 50%
24	32-38	32-38 km/h	50% 50%
25	35-40	40-45 km/h	43% 57%
26	45-50	45-50 km/h	50% 50%
27	30-35	35-40 km/h	43% 57%
28	19-24	23-28 km/h	41% 59%
29	32-38	33-39 km/h	48% 52%
30	26-31	29-34 km/h	45% 55%
31	32-39	29-35 km/h	55% 45%
32	30-36	40-46 km/h	37% 63%
33	50-60	50-60 km/h	50% 50%
34	30-35	30-35 km/h	50% 50%
35	30-35	35-40 km/h	43% 57%
36	25-30	35-40 km/h	35% 65%
37	30-45	35-50 km/h	43% 57%
Min/Max	19-60	23-60	km/h
Mittelwert	35.8	37.6	km/h
Median	35	36	km/h
Standardabweichung	7.7	6.9	km/h
Def-Energie Median	67	71.9	kJ
Sigma/Median Energieverhältnis	49	42	%
Qualitätsindikator			
Verteilung			
Deformationsbereich			

Bild 42: ReconData-Ergebnis der EES-Expertenschätzung des Falls 4 [43]

Tabelle 23: Daten der Unfallfahrzeuge Fall 5 [44]

EES-Einstufung - Ergebnisse:

	Fahrzeug 1	Fahrzeug 2
Hersteller:	Opel	Land Rover
Modell:	Zafira	Range Rover
Baujahr:	2003	2015
Leergewicht [kg]:	1435	2183
ID:	722010	722011

Fragestellung:

Liebe Kollegen, es wird um die Einstufung der EES-Werte gebeten.

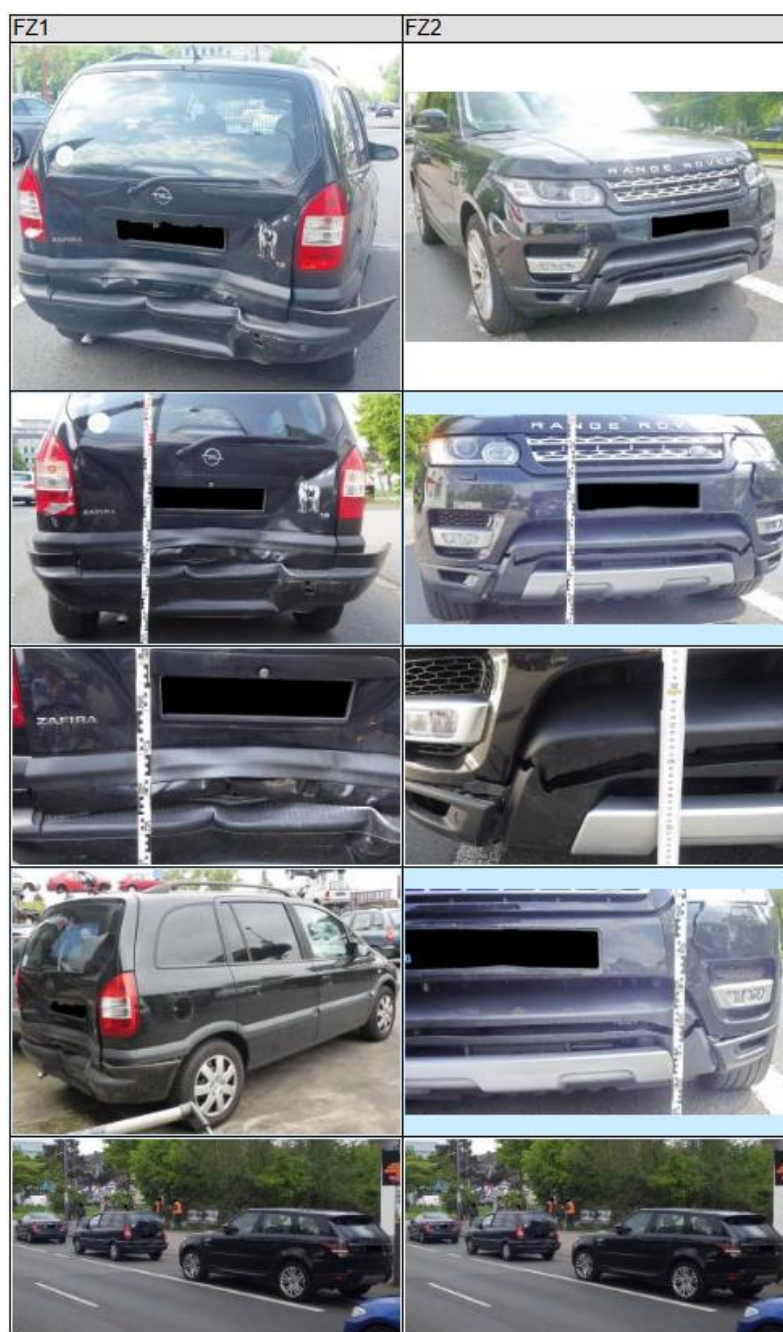


Bild 43: Fotodokumentation der Unfallfahrzeuge Fall 5 [44]

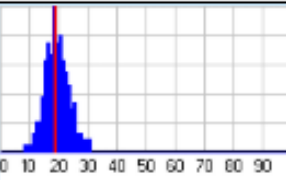
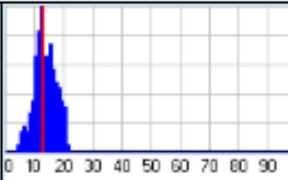
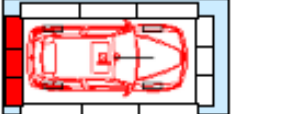
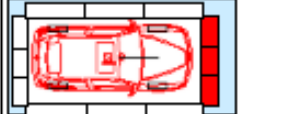
Name	EES 1	EES 2	Energieverteilung
1	11-16	14-18	32% 68%
2	15-18	9-11	64% 36%
3	18-23	15-18	50% 50%
4	16-18	10-12	61% 39%
5	15-25	10-20	54% 46%
6	18-25	10-15	66% 34%
7	18-23	11-13	66% 34%
8	16-20	12-14	56% 44%
9	14-16	6-8	75% 25%
10	12-21	5-14	66% 34%
11	18-23	10-15	64% 36%
12	18-22	10-12	68% 32%
13	18-25	14-21	50% 50%
14	14-18	8-12	63% 37%
15	12-17	8-12	58% 42%
16	12-18	8-12	60% 40%
17	18-23	10-15	64% 36%
18	22-27	12-17	65% 35%
19	14-17	9-12	59% 41%
20	15-25	12-20	51% 49%
21	15-20	11-15	54% 46%
22	18-23	11-15	62% 38%
23	15-20	12-16	51% 49%
24	18-22	15-20	46% 54%
25	11-14	5-7	74% 26%
26	15-18	10-12	60% 40%
27	16-21	12-19	48% 52%
28	24-30	11-16	72% 28%
29	14-18	9-13	58% 42%
30	8-11	4-6	70% 30%
31	15-20	15-20	40% 60%
32	20-25	8-12	77% 23%
33	25-30	15-20	62% 38%
34	18-21	16-20	44% 56%
Min/Max	8-30	4-21	km/h
Mittelwert	18.5	12.6	km/h
Median	18.5	12.5	km/h
Standardabweichung	3.8	3.4	km/h
Def-Energie Median	18.9	13.2	kJ
Sigma/Median Energieverhältnis	45	61	%
Qualitätsindikator			
Verteilung			
Deformationsbereich			

Bild 44: ReconData-Ergebnis der EES-Expertenschätzung des Falls 5 [44]

Klassenschätzung EES-Werten

Aufgabe:

Bitte geben Sie für die beiden PKW die geschätzten EES-Werte in den Tabellen an.

Kennzeichnen Sie bitte mit einem «x», welche Klasse(n) Sie auswählen.

Es muss mindestens eine Klasse ausgewählt werden.

Sie können aber auch maximal zwei benachbarte Klassen auswählen.

Jede Klasse entspricht einem bestimmten Geschwindigkeitsbereich.

Beispiel: In Klasse 3 mit dem Intervall [7...9] km/h sind die Geschwindigkeiten 7 km/h, 8 km/h und 9 km/h enthalten.

Bitte nehmen Sie sich auch die Zeit und beantworten den nachfolgenden Fragebogen.

Vielen Dank für Ihre Mühen!

Bild 45: Aufgabenstellung der Teilnehmer für die Klassenschätzung Fall 1, Fall 3, Fall 4 und Fall 5 [eigene Darstellung]

Klassenschätzung EES-Werten

Aufgabe:

Bitte geben Sie für den PKW den geschätzten EES-Wert in der Tabelle an.

Kennzeichnen Sie bitte mit einem «x», welche Klasse(n) Sie auswählen.

Es muss mindestens eine Klasse ausgewählt werden.

Sie können aber auch maximal zwei benachbarte Klassen auswählen.

Jede Klasse entspricht einem bestimmten Geschwindigkeitsbereich.

Beispiel: In Klasse 3 mit dem Intervall [7...9] km/h sind die Geschwindigkeiten 7 km/h, 8 km/h und 9 km/h enthalten.

Bitte nehmen Sie sich auch die Zeit und beantworten den nachfolgenden Fragebogen.

Vielen Dank für Ihre Mühen!

Bild 46: Aufgabenstellung der Teilnehmer für die Klassenschätzung Fall 2 [eigene Darstellung]

Tabelle 24: Schätzklassen der Teilnehmer für die Klassenschätzung Fall 1 bis Fall 5 [eigene Darstellung]

Schätzklassen:**Fahrzeug 1**

Klasse	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
km/h	1...3	4...6	7...9	10...12	13...15	16...18	19...21	22...24	25...27	28...30
Auswahl										

Klasse	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
km/h	31...33	34...36	37...39	40...42	43...45	46...48	49...51	52...55	56...59	60...63
Auswahl										

Klasse	21	22	23	24
km/h	64...67	68...72	73...77	78...82
Auswahl				

Fahrzeug 2

Klasse	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
km/h	1...3	4...6	7...9	10...12	13...15	16...18	19...21	22...24	25...27	28...30
Auswahl										

Klasse	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
km/h	31...33	34...36	37...39	40...42	43...45	46...48	49...51	52...55	56...59	60...63
Auswahl										

Klasse	21	22	23	24
km/h	64...67	68...72	73...77	78...82
Auswahl				

Tabelle 25: Fahrzeugdaten der Klassenschätzung für die Teilnehmer Fall 1 [eigene Darstellung]

Fahrzeugdaten:

	Fahrzeug 1	Fahrzeug 2
Hersteller:	Fiat	Audi
Modell:	Stilo	A6
Baujahr:	2006	2002
Leergewicht [kg]:	1485	1873

Tabelle 26: Fahrzeugdaten der Klassenschätzung für die Teilnehmer Fall 2 [eigene Darstellung]

Fahrzeugdaten:

	Fahrzeug 1
Hersteller:	Opel
Modell:	Zafira A
Baujahr:	2000
Leergewicht [kg]:	1395

Tabelle 27: Fahrzeugdaten der Klassenschätzung für die Teilnehmer Fall 3 [eigene Darstellung]

Fahrzeugdaten:

	Fahrzeug 1	Fahrzeug 2
Hersteller:	Opel	Opel
Modell:	Zafira A	Zafira A
Baujahr:	2002	2000
Leergewicht [kg]:	1437	1395

Tabelle 28: Fahrzeugdaten der Klassenschätzung für die Teilnehmer Fall 4 [eigene Darstellung]

Fahrzeugdaten:

	Fahrzeug 1	Fahrzeug 2
Hersteller:	Opel	Opel
Modell:	Zafira A	Zafira A
Baujahr:	2002	2002
Leergewicht [kg]:	1418	1437

Tabelle 29: Fahrzeugdaten der Klassenschätzung für die Teilnehmer Fall 5 [eigene Darstellung]

Fahrzeugdaten:

	Fahrzeug 1	Fahrzeug 2
Hersteller:	Opel	Land Rover
Modell:	Zafira A	Range Rover
Baujahr:	2003	2015
Leergewicht [kg]:	1435	2183

Fragebogen

1. Wie leicht fiel Ihnen die Auswahl der Klasse(n)?

☐ sehr leicht ☐ leicht ☐ neutral ☐ schwer ☐ sehr schwer

2. Hatten Sie Schwierigkeiten, sich für einen oder zwei Bereiche zu entscheiden?

☐ ja ☐ nein ☐ teilweise

3. Ist diese Methode «Klassenschätzung» für Sie einfacher bzw. schneller?

☐ ja ☐ nein ☐ teilweise

4. Deckt/decken der/die von Ihnen gewählte(n) Bereich(e) Ihren Schätzwert ab?

☐ ja ☐ nein ☐ teilweise

5. Sind Sie mit den Klassenbreiten (im unteren Bereich/im oberen Bereich) zufrieden?

☐ sehr zufrieden ☐ zufrieden ☐ neutral ☐ unzufrieden ☐ sehr unzufrieden

6. Fanden Sie es sinnvoll, dass Sie auch zwei Bereiche auswählen konnten?

☐ ja ☐ nein ☐ teilweise

7. Gab es etwas, was Sie an der Einteilung stört, wo es Ihrer Meinung nach noch Verbesserungspotenzial gibt?

Antwort:

.....

Bild 47: Fragebogen der Teilnehmer für die Klassenschätzung [eigene Darstellung]

Fragebogen

1. Wie leicht fiel Ihnen die Auswahl der Klasse(n)?

☐ sehr leicht ☒ leicht ☐ neutral ☐ schwer ☐ sehr schwer

2. Hatten Sie Schwierigkeiten, sich für einen oder zwei Bereiche zu entscheiden?

☐ ja ☒ nein ☐ teilweise

3. Ist diese Methode «Klassenschätzung» für Sie einfacher bzw. schneller?

☐ ja ☐ nein ☒ teilweise

4. Deckt/decken der/die von Ihnen gewählte(n) Bereich(e) Ihren Schätzwert ab?

☐ ja ☒ nein ☐ teilweise

5. Sind Sie mit den Klassenbreiten (im unteren Bereich/im oberen Bereich) zufrieden?

☐ sehr zufrieden ☐ zufrieden ☐ neutral ☒ unzufrieden ☐ sehr unzufrieden

6. Fanden Sie es sinnvoll, dass Sie auch zwei Bereiche auswählen konnten?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

7. Gab es etwas, was Sie an der Einteilung stört, wo es Ihrer Meinung nach noch Verbesserungspotenzial gibt?

Antwort: Intervall von 3 km/h erscheint mir zu gering.....

.....

Bild 48: ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer eins [eigene Darstellung]

Fragebogen

1. Wie leicht fiel Ihnen die Auswahl der Klasse(n)?

☐ sehr leicht ☐ leicht ☒ neutral ☐ schwer ☐ sehr schwer

2. Hatten Sie Schwierigkeiten, sich für einen oder zwei Bereiche zu entscheiden?

☐ ja ☒ nein ☐ teilweise

3. Ist diese Methode «Klassenschätzung» für Sie einfacher bzw. schneller?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

4. Deckt/decken der/die von Ihnen gewählte(n) Bereich(e) Ihren Schätzwert ab?

☐ ja ☐ nein ☒ teilweise

5. Sind Sie mit den Klassenbreiten (im unteren Bereich/im oberen Bereich) zufrieden?

☐ sehr zufrieden ☒ zufrieden ☐ neutral ☐ unzufrieden ☐ sehr unzufrieden

6. Fanden Sie es sinnvoll, dass Sie auch zwei Bereiche auswählen konnten?

☐ ja ☐ nein ☒ teilweise

7. Gab es etwas, was Sie an der Einteilung stört, wo es Ihrer Meinung nach noch Verbesserungspotenzial gibt?

Antwort: ...

Wenige Bilder vom Fiat!! Mein Schätzung war gerade in der Mitte von der Klassen, daher 2 Klassen pro Fahrzeug

k- Faktor eher klein 0.15 – 0.25

Bild 49: ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer zwei [eigene Darstellung]

Fragebogen

1. Wie leicht fiel Ihnen die Auswahl der Klasse(n)?

☐ sehr leicht ☒ leicht ☐ neutral ☐ schwer ☐ sehr schwer

2. Hatten Sie Schwierigkeiten, sich für einen oder zwei Bereiche zu entscheiden?

☐ ja ☒ nein ☐ teilweise

3. Ist diese Methode «Klassenschätzung» für Sie einfacher bzw. schneller?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

4. Deckt/decken der/die von Ihnen gewählte(n) Bereich(e) Ihren Schätzwert ab?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

5. Sind Sie mit den Klassenbreiten (im unteren Bereich/im oberen Bereich) zufrieden?

☐ sehr zufrieden ☒ zufrieden ☐ neutral ☐ unzufrieden ☐ sehr unzufrieden

6. Fanden Sie es sinnvoll, dass Sie auch zwei Bereiche auswählen konnten?

☐ ja ☐ nein ☒ teilweise

7. Gab es etwas, was Sie an der Einteilung stört, wo es Ihrer Meinung nach noch Verbesserungspotenzial gibt?

Antwort: Da die einzelnen Bereich so wenig unterschied ausmachen, braucht es nicht mehr als ein X bei der Antwort.

Bild 50: ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer drei [eigene Darstellung]

Fragebogen

1. Wie leicht fiel Ihnen die Auswahl der Klasse(n)?

☐ sehr leicht ☐ leicht ☒ neutral ☐ schwer ☐ sehr schwer

2. Hatten Sie Schwierigkeiten, sich für einen oder zwei Bereiche zu entscheiden?

☐ ja ☐ nein ☒ teilweise

3. Ist diese Methode «Klassenschätzung» für Sie einfacher bzw. schneller?

☐ ja ☒ nein ☐ teilweise

4. Deckt/decken der/die von Ihnen gewählte(n) Bereich(e) Ihren Schätzwert ab?

☐ ja ☐ nein ☒ teilweise

5. Sind Sie mit den Klassenbreiten (im unteren Bereich/im oberen Bereich) zufrieden?

☐ sehr zufrieden ☐ zufrieden ☐ neutral ☒ unzufrieden ☐ sehr unzufrieden

6. Fanden Sie es sinnvoll, dass Sie auch zwei Bereiche auswählen konnten?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

7. Gab es etwas, was Sie an der Einteilung stört, wo es Ihrer Meinung nach noch Verbesserungspotenzial gibt?

Antwort:

.....

Bild 51: ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer vier [eigene Darstellung]

Fragebogen

1. Wie leicht fiel Ihnen die Auswahl der Klasse(n)?

☐ sehr leicht ☐ leicht ☒ neutral ☐ schwer ☐ sehr schwer

2. Hatten Sie Schwierigkeiten, sich für einen oder zwei Bereiche zu entscheiden?

☐ ja ☐ nein ☒ teilweise

3. Ist diese Methode «Klassenschätzung» für Sie einfacher bzw. schneller?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

4. Deckt/decken der/die von Ihnen gewählte(n) Bereich(e) Ihren Schätzwert ab?

☐ ja ☐ nein ☒ teilweise

5. Sind Sie mit den Klassenbreiten (im unteren Bereich/im oberen Bereich) zufrieden?

☐ sehr zufrieden ☐ zufrieden ☒ neutral ☐ unzufrieden ☐ sehr unzufrieden

6. Fanden Sie es sinnvoll, dass Sie auch zwei Bereiche auswählen konnten?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

7. Gab es etwas, was Sie an der Einteilung stört, wo es Ihrer Meinung nach noch Verbesserungspotenzial gibt?

Antwort:

Meine Einstufen waren Fahrzeug 1: 12-14 km/h und Fahrzeug 2: 11 – 13 km/h

.....

Bild 52: ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer fünf [eigene Darstellung]

Fragebogen

1. Wie leicht fiel Ihnen die Auswahl der Klasse(n)?

☐ sehr leicht ☐ leicht ☐ neutral ☒ schwer ☐ sehr schwer

2. Hatten Sie Schwierigkeiten, sich für einen oder zwei Bereiche zu entscheiden?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

3. Ist diese Methode «Klassenschätzung» für Sie einfacher bzw. schneller?

☐ ja ☒ nein ☐ teilweise

4. Deckt/decken der/die von Ihnen gewählte(n) Bereich(e) Ihren Schätzwert ab?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

5. Sind Sie mit den Klassenbreiten (im unteren Bereich/im oberen Bereich) zufrieden?

☐ sehr zufrieden ☒ zufrieden ☐ neutral ☐ unzufrieden ☐ sehr unzufrieden

6. Fanden Sie es sinnvoll, dass Sie auch zwei Bereiche auswählen konnten?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

7. Gab es etwas, was Sie an der Einteilung stört, wo es Ihrer Meinung nach noch Verbesserungspotenzial gibt?

Antwort:

.....

Bild 53: ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer sechs [eigene Darstellung]

Fragebogen

1. Wie leicht fiel Ihnen die Auswahl der Klasse(n)?

☐ sehr leicht ☒ leicht ☐ neutral ☐ schwer ☐ sehr schwer

2. Hatten Sie Schwierigkeiten, sich für einen oder zwei Bereiche zu entscheiden?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

3. Ist diese Methode «Klassenschätzung» für Sie einfacher bzw. schneller?

☐ ja ☐ nein ☒ teilweise

4. Deckt/decken der/die von Ihnen gewählte(n) Bereich(e) Ihren Schätzwert ab?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

5. Sind Sie mit den Klassenbreiten (im unteren Bereich/im oberen Bereich) zufrieden?

☐ sehr zufrieden ☒ zufrieden ☐ neutral ☐ unzufrieden ☐ sehr unzufrieden

6. Fanden Sie es sinnvoll, dass Sie auch zwei Bereiche auswählen konnten?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

7. Gab es etwas, was Sie an der Einteilung stört, wo es Ihrer Meinung nach noch Verbesserungspotenzial gibt?

Antwort:Nein.....

.....

Bild 54: ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer sieben [eigene Darstellung]

Fragebogen

1. Wie leicht fiel Ihnen die Auswahl der Klasse(n)?

☐ sehr leicht ☐ leicht ☒ neutral ☐ schwer ☐ sehr schwer

2. Hatten Sie Schwierigkeiten, sich für einen oder zwei Bereiche zu entscheiden?

☐ ja ☒ nein ☐ teilweise

3. Ist diese Methode «Klassenschätzung» für Sie einfacher bzw. schneller?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

4. Deckt/decken der/die von Ihnen gewählte(n) Bereich(e) Ihren Schätzwert ab?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

5. Sind Sie mit den Klassenbreiten (im unteren Bereich/im oberen Bereich) zufrieden?

☐ sehr zufrieden ☒ zufrieden ☐ neutral ☐ unzufrieden ☐ sehr unzufrieden

6. Fanden Sie es sinnvoll, dass Sie auch zwei Bereiche auswählen konnten?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

7. Gab es etwas, was Sie an der Einteilung stört, wo es Ihrer Meinung nach noch Verbesserungspotenzial gibt?

Antwort:

.....

Bild 55: ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer acht [eigene Darstellung]

Fragebogen

1. Wie leicht fiel Ihnen die Auswahl der Klasse(n)?

☐ sehr leicht ☐ leicht ☒ neutral ☐ schwer ☐ sehr schwer

2. Hatten Sie Schwierigkeiten, sich für einen oder zwei Bereiche zu entscheiden?

☐ ja ☒ nein ☐ teilweise

3. Ist diese Methode «Klassenschätzung» für Sie einfacher bzw. schneller?

☐ ja ☐ nein ☒ teilweise

4. Deckt/decken der/die von Ihnen gewählte(n) Bereich(e) Ihren Schätzwert ab?

☐ ja ☒ nein ☐ teilweise

5. Sind Sie mit den Klassenbreiten (im unteren Bereich/im oberen Bereich) zufrieden?

☐ sehr zufrieden ☐ zufrieden ☒ neutral ☐ unzufrieden ☐ sehr unzufrieden

6. Fanden Sie es sinnvoll, dass Sie auch zwei Bereiche auswählen konnten?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

7. Gab es etwas, was Sie an der Einteilung stört, wo es Ihrer Meinung nach noch Verbesserungspotenzial gibt?

Antwort: Die Aufteilung der Klassenbreiten erscheint mir im unteren Geschwindigkeitsbereich der EES angemessen. Allerdings ist bekannt, dass die EES bei geringen Verformungen, also im unteren Bereich, nur schwer zu schätzen ist. Bei EES-Werten von mehr als 20 km/h sollten die Klassen breit gefasst sein. Nach zahlreichen Versuchsauswertungen erscheint es mir auch sinnvoll, das Alter der Fahrzeuge und die Fahrzeugart wie bspw. Elektrofahrzeuge, Klein-, Mittel- oder Oberklasse zu beachten. Hier zeigen Versuche immer wieder Unterschiede in den Steifigkeiten und somit dem Verformungsgrad.

Bild 56: ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer neun [eigene Darstellung]

Fragebogen

1. Wie leicht fiel Ihnen die Auswahl der Klasse(n)?

☐ sehr leicht ☐ leicht ☒ neutral ☐ schwer ☐ sehr schwer

2. Hatten Sie Schwierigkeiten, sich für einen oder zwei Bereiche zu entscheiden?

☐ ja ☐ nein ☒ teilweise

3. Ist diese Methode «Klassenschätzung» für Sie einfacher bzw. schneller?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

4. Deckt/decken der/die von Ihnen gewählte(n) Bereich(e) Ihren Schätzwert ab?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

5. Sind Sie mit den Klassenbreiten (im unteren Bereich/im oberen Bereich) zufrieden?

☐ sehr zufrieden ☒ zufrieden ☐ neutral ☐ unzufrieden ☐ sehr unzufrieden

6. Fanden Sie es sinnvoll, dass Sie auch zwei Bereiche auswählen konnten?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

7. Gab es etwas, was Sie an der Einteilung stört, wo es Ihrer Meinung nach noch Verbesserungspotenzial gibt?

Antwort: Eine kurze Orientierungshilfe (beispielsweise Bildmaterial oder typische Schadenmerkmale je Klasse) würde die Vergleichbarkeit zwischen unterschiedlichen Beschädigungen an Fahrzeugen erhöhen.

Bild 57: ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer zehn [eigene Darstellung]

Fragebogen

1. Wie leicht fiel Ihnen die Auswahl der Klasse(n)?

☐ sehr leicht ☐ leicht ☒ neutral ☐ schwer ☐ sehr schwer

2. Hatten Sie Schwierigkeiten, sich für einen oder zwei Bereiche zu entscheiden?

☐ ja ☒ nein ☐ teilweise

3. Ist diese Methode «Klassenschätzung» für Sie einfacher bzw. schneller?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

4. Deckt/decken der/die von Ihnen gewählte(n) Bereich(e) Ihren Schätzwert ab?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

5. Sind Sie mit den Klassenbreiten (im unteren Bereich/im oberen Bereich) zufrieden?

☐ sehr zufrieden ☐ zufrieden ☒ neutral ☐ unzufrieden ☐ sehr unzufrieden

6. Fanden Sie es sinnvoll, dass Sie auch zwei Bereiche auswählen konnten?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

7. Gab es etwas, was Sie an der Einteilung stört, wo es Ihrer Meinung nach noch Verbesserungspotenzial gibt?

Antwort: ...-.....

.....

Bild 58: ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer 11 [eigene Darstellung]

Fragebogen

1. Wie leicht fiel Ihnen die Auswahl der Klasse(n)?

☐ sehr leicht ☐ leicht ☒ neutral ☐ schwer ☐ sehr schwer

2. Hatten Sie Schwierigkeiten, sich für einen oder zwei Bereiche zu entscheiden?

☐ ja ☐ nein ☒ teilweise

3. Ist diese Methode «Klassenschätzung» für Sie einfacher bzw. schneller?

☐ ja ☒ nein ☐ teilweise

4. Deckt/decken der/die von Ihnen gewählte(n) Bereich(e) Ihren Schätzwert ab?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

5. Sind Sie mit den Klassenbreiten (im unteren Bereich/im oberen Bereich) zufrieden?

☐ sehr zufrieden ☐ zufrieden ☐ neutral ☒ unzufrieden ☐ sehr unzufrieden

6. Fanden Sie es sinnvoll, dass Sie auch zwei Bereiche auswählen konnten?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

7. Gab es etwas, was Sie an der Einteilung stört, wo es Ihrer Meinung nach noch Verbesserungspotenzial gibt?

Antwort: Die Bereiche sind zu klein. Die Genauigkeit von 2 km/h kann letztendlich nur im Kollisionsversuch bei Kenntnis aller Parameter erreicht werden. Vom Fahrzeug 1 fehlen Fotos nach Demontage des Stoßfängers, sodass dahinterliegende Verformungen nicht bekannt sind.

Bild 59: ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer 12 [eigene Darstellung]

Fragebogen

1. Wie leicht fiel Ihnen die Auswahl der Klasse(n)?

☐ sehr leicht ☐ leicht ☒ neutral ☐ schwer ☐ sehr schwer

2. Hatten Sie Schwierigkeiten, sich für einen oder zwei Bereiche zu entscheiden?

☐ ja ☒ nein ☐ teilweise

3. Ist diese Methode «Klassenschätzung» für Sie einfacher bzw. schneller?

☐ ja ☒ nein ☐ teilweise

4. Deckt/decken der/die von Ihnen gewählte(n) Bereich(e) Ihren Schätzwert ab?

☐ ja ☐ nein ☒ teilweise

5. Sind Sie mit den Klassenbreiten (im unteren Bereich/im oberen Bereich) zufrieden?

☐ sehr zufrieden ☒ zufrieden ☐ neutral ☐ unzufrieden ☐ sehr unzufrieden

6. Fanden Sie es sinnvoll, dass Sie auch zwei Bereiche auswählen konnten?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

7. Gab es etwas, was Sie an der Einteilung stört, wo es Ihrer Meinung nach noch Verbesserungspotenzial gibt?

Antwort: erst Bilder, dann

Auswahl.....

.....

Bild 60: ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer 13 [eigene Darstellung]

Fragebogen

1. Wie leicht fiel Ihnen die Auswahl der Klasse(n)?

☐ sehr leicht ☐ leicht ☒ neutral ☐ schwer ☐ sehr schwer

2. Hatten Sie Schwierigkeiten, sich für einen oder zwei Bereiche zu entscheiden?

☐ ja ☐ nein ☒ teilweise

3. Ist diese Methode «Klassenschätzung» für Sie einfacher bzw. schneller?

☐ ja ☐ nein ☒ teilweise

4. Deckt/decken der/die von Ihnen gewählte(n) Bereich(e) Ihren Schätzwert ab?

☐ ja ☐ nein ☒ teilweise

5. Sind Sie mit den Klassenbreiten (im unteren Bereich/im oberen Bereich) zufrieden?

☐ sehr zufrieden ☒ zufrieden ☐ neutral ☐ unzufrieden ☐ sehr unzufrieden

6. Fanden Sie es sinnvoll, dass Sie auch zwei Bereiche auswählen konnten?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

7. Gab es etwas, was Sie an der Einteilung stört, wo es Ihrer Meinung nach noch Verbesserungspotenzial gibt?

Antwort:

.....

Bild 61: ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer 14 [eigene Darstellung]

Fragebogen

1. Wie leicht fiel Ihnen die Auswahl der Klasse(n)?

☐ sehr leicht ☒ leicht ☐ neutral ☐ schwer ☐ sehr schwer

2. Hatten Sie Schwierigkeiten, sich für einen oder zwei Bereiche zu entscheiden?

☐ ja ☒ nein ☐ teilweise

3. Ist diese Methode «Klassenschätzung» für Sie einfacher bzw. schneller?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

4. Deckt/decken der/die von Ihnen gewählte(n) Bereich(e) Ihren Schätzwert ab?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

5. Sind Sie mit den Klassenbreiten (im unteren Bereich/im oberen Bereich) zufrieden?

☐ sehr zufrieden ☒ zufrieden ☐ neutral ☐ unzufrieden ☐ sehr unzufrieden

6. Fanden Sie es sinnvoll, dass Sie auch zwei Bereiche auswählen konnten?

☐ ja ☐ nein ☒ teilweise

7. Gab es etwas, was Sie an der Einteilung stört, wo es Ihrer Meinung nach noch Verbesserungspotenzial gibt?

Antwort:

.....

Bild 62: ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer 15 [eigene Darstellung]

Fragebogen

1. Wie leicht fiel Ihnen die Auswahl der Klasse(n)?

☐ sehr leicht ☐ leicht ☒ neutral ☐ schwer ☐ sehr schwer

2. Hatten Sie Schwierigkeiten, sich für einen oder zwei Bereiche zu entscheiden?

☐ ja ☐ nein ☒ teilweise

3. Ist diese Methode «Klassenschätzung» für Sie einfacher bzw. schneller?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

4. Deckt/decken der/die von Ihnen gewählte(n) Bereich(e) Ihren Schätzwert ab?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

5. Sind Sie mit den Klassenbreiten (im unteren Bereich/im oberen Bereich) zufrieden?

☐ sehr zufrieden ☒ zufrieden ☐ neutral ☐ unzufrieden ☐ sehr unzufrieden

6. Fanden Sie es sinnvoll, dass Sie auch zwei Bereiche auswählen konnten?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

7. Gab es etwas, was Sie an der Einteilung stört, wo es Ihrer Meinung nach noch Verbesserungspotenzial gibt?

Antwort: Klassenbreiten im oberen Geschwindigkeitsbereich sind grob. Optional einheitliche Klassenbreite oder feinere Abstufung auch im oberen Bereich.

.....

Bild 63: ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer 16 [eigene Darstellung]

Fragebogen

1. Wie leicht fiel Ihnen die Auswahl der Klasse(n)?

☐ sehr leicht ☐ leicht ☒ neutral ☐ schwer ☐ sehr schwer

2. Hatten Sie Schwierigkeiten, sich für einen oder zwei Bereiche zu entscheiden?

☐ ja ☒ nein ☐ teilweise

3. Ist diese Methode «Klassenschätzung» für Sie einfacher bzw. schneller?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

4. Deckt/decken der/die von Ihnen gewählte(n) Bereich(e) Ihren Schätzwert ab?

☐ ja ☐ nein ☒ teilweise

5. Sind Sie mit den Klassenbreiten (im unteren Bereich/im oberen Bereich) zufrieden?

☐ sehr zufrieden ☐ zufrieden ☒ neutral ☐ unzufrieden ☐ sehr unzufrieden

6. Fanden Sie es sinnvoll, dass Sie auch zwei Bereiche auswählen konnten?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

7. Gab es etwas, was Sie an der Einteilung stört, wo es Ihrer Meinung nach noch Verbesserungspotenzial gibt?

Antwort: Der Bereich sollte sich an den zur Verfügung stehenden Anknüpfungsbedingungen orientieren – je weniger Infos (Fotos, Schadenbeschriebe, Fahrzeugexpertisen, zur Verfügung stehende Crashversuche, etc.), desto grösser die Toleranzen. Daher ist es wenig sinnvoll immer die selben fixen Vorgaben zu verwenden

.....

Bild 64: ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer 17 [eigene Darstellung]

Fragebogen

1. Wie leicht fiel Ihnen die Auswahl der Klasse(n)?

☐ sehr leicht ☒ leicht ☐ neutral ☐ schwer ☐ sehr schwer

2. Hatten Sie Schwierigkeiten, sich für einen oder zwei Bereiche zu entscheiden?

☐ ja ☒ nein ☐ teilweise

3. Ist diese Methode «Klassenschätzung» für Sie einfacher bzw. schneller?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

4. Deckt/decken der/die von Ihnen gewählte(n) Bereich(e) Ihren Schätzwert ab?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

5. Sind Sie mit den Klassenbreiten (im unteren Bereich/im oberen Bereich) zufrieden?

☐ sehr zufrieden ☒ zufrieden ☐ neutral ☐ unzufrieden ☐ sehr unzufrieden

6. Fanden Sie es sinnvoll, dass Sie auch zwei Bereiche auswählen konnten?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

7. Gab es etwas, was Sie an der Einteilung stört, wo es Ihrer Meinung nach noch Verbesserungspotenzial gibt?

Antwort:

.....

Bild 65: ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer 18 [eigene Darstellung]

Fragebogen

1. Wie leicht fiel Ihnen die Auswahl der Klasse(n)?

☐ sehr leicht ☒ leicht ☐ neutral ☐ schwer ☐ sehr schwer

2. Hatten Sie Schwierigkeiten, sich für einen oder zwei Bereiche zu entscheiden?

☐ ja ☒ nein ☐ teilweise

3. Ist diese Methode «Klassenschätzung» für Sie einfacher bzw. schneller?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

4. Deckt/decken der/die von Ihnen gewählte(n) Bereich(e) Ihren Schätzwert ab?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

5. Sind Sie mit den Klassenbreiten (im unteren Bereich/im oberen Bereich) zufrieden?

☐ sehr zufrieden ☒ zufrieden ☐ neutral ☐ unzufrieden ☐ sehr unzufrieden

6. Fanden Sie es sinnvoll, dass Sie auch zwei Bereiche auswählen konnten?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

7. Gab es etwas, was Sie an der Einteilung stört, wo es Ihrer Meinung nach noch Verbesserungspotenzial gibt?

Antwort:

.....

Bild 66: ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer 20 [eigene Darstellung]

Fragebogen

1. Wie leicht fiel Ihnen die Auswahl der Klasse(n)?

☐ sehr leicht ☐ leicht ☒ neutral ☐ schwer ☐ sehr schwer

2. Hatten Sie Schwierigkeiten, sich für einen oder zwei Bereiche zu entscheiden?

☐ ja ☒ nein ☐ teilweise

3. Ist diese Methode «Klassenschätzung» für Sie einfacher bzw. schneller?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

4. Deckt/decken der/die von Ihnen gewählte(n) Bereich(e) Ihren Schätzwert ab?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

5. Sind Sie mit den Klassenbreiten (im unteren Bereich/im oberen Bereich) zufrieden?

☐ sehr zufrieden ☒ zufrieden ☐ neutral ☐ unzufrieden ☐ sehr unzufrieden

6. Fanden Sie es sinnvoll, dass Sie auch zwei Bereiche auswählen konnten?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

7. Gab es etwas, was Sie an der Einteilung stört, wo es Ihrer Meinung nach noch Verbesserungspotenzial gibt?

Antwort:

.....

Bild 67: ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer 21 [eigene Darstellung]

Fragebogen

1. Wie leicht fiel Ihnen die Auswahl der Klasse(n)?

☐ sehr leicht ☐ leicht ☒ neutral ☐ schwer ☐ sehr schwer

2. Hatten Sie Schwierigkeiten, sich für einen oder zwei Bereiche zu entscheiden?

☐ ja ☒ nein ☐ teilweise

3. Ist diese Methode «Klassenschätzung» für Sie einfacher bzw. schneller?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

4. Deckt/decken der/die von Ihnen gewählte(n) Bereich(e) Ihren Schätzwert ab?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

5. Sind Sie mit den Klassenbreiten (im unteren Bereich/im oberen Bereich) zufrieden?

☒ sehr zufrieden ☐ zufrieden ☐ neutral ☐ unzufrieden ☐ sehr unzufrieden

6. Fanden Sie es sinnvoll, dass Sie auch zwei Bereiche auswählen konnten?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

7. Gab es etwas, was Sie an der Einteilung stört, wo es Ihrer Meinung nach noch Verbesserungspotenzial gibt?

Antwort:

.....

Bild 68: ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer 22 [eigene Darstellung]

Fragebogen

1. Wie leicht fiel Ihnen die Auswahl der Klasse(n)?

☐ sehr leicht ☒ leicht ☐ neutral ☐ schwer ☐ sehr schwer

2. Hatten Sie Schwierigkeiten, sich für einen oder zwei Bereiche zu entscheiden?

☐ ja ☒ nein ☐ teilweise

3. Ist diese Methode «Klassenschätzung» für Sie einfacher bzw. schneller?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

4. Deckt/decken der/die von Ihnen gewählte(n) Bereich(e) Ihren Schätzwert ab?

☐ ja ☐ nein ☒ teilweise

5. Sind Sie mit den Klassenbreiten (im unteren Bereich/im oberen Bereich) zufrieden?

☐ sehr zufrieden ☒ zufrieden ☐ neutral ☐ unzufrieden ☐ sehr unzufrieden

6. Fanden Sie es sinnvoll, dass Sie auch zwei Bereiche auswählen konnten?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

7. Gab es etwas, was Sie an der Einteilung stört, wo es Ihrer Meinung nach noch Verbesserungspotenzial gibt?

Antwort:

.....

Bild 69: ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer 23 [eigene Darstellung]

Fragebogen

1. Wie leicht fiel Ihnen die Auswahl der Klasse(n)?

☐ sehr leicht ☐ leicht ☐ neutral ☒ schwer ☐ sehr schwer

2. Hatten Sie Schwierigkeiten, sich für einen oder zwei Bereiche zu entscheiden?

☐ ja ☐ nein ☒ teilweise

3. Ist diese Methode «Klassenschätzung» für Sie einfacher bzw. schneller?

☐ ja ☐ nein ☒ teilweise

4. Deckt/decken der/die von Ihnen gewählte(n) Bereich(e) Ihren Schätzwert ab?

☐ ja ☐ nein ☒ teilweise

5. Sind Sie mit den Klassenbreiten (im unteren Bereich/im oberen Bereich) zufrieden?

☐ sehr zufrieden ☐ zufrieden ☒ neutral ☐ unzufrieden ☐ sehr unzufrieden

6. Fanden Sie es sinnvoll, dass Sie auch zwei Bereiche auswählen konnten?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

7. Gab es etwas, was Sie an der Einteilung stört, wo es Ihrer Meinung nach noch Verbesserungspotenzial gibt?

Antwort:

.....

Bild 70: ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer 24 [eigene Darstellung]

Fragebogen

1. Wie leicht fiel Ihnen die Auswahl der Klasse(n)?

☐ sehr leicht ☒ leicht ☐ neutral ☐ schwer ☐ sehr schwer

2. Hatten Sie Schwierigkeiten, sich für einen oder zwei Bereiche zu entscheiden?

☐ ja ☐ nein ☒ teilweise

3. Ist diese Methode «Klassenschätzung» für Sie einfacher bzw. schneller?

☐ ja ☒ nein ☐ teilweise

4. Deckt/decken der/die von Ihnen gewählte(n) Bereich(e) Ihren Schätzwert ab?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

5. Sind Sie mit den Klassenbreiten (im unteren Bereich/im oberen Bereich) zufrieden?

☐ sehr zufrieden ☐ zufrieden ☒ neutral ☐ unzufrieden ☐ sehr unzufrieden

6. Fanden Sie es sinnvoll, dass Sie auch zwei Bereiche auswählen konnten?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

7. Gab es etwas, was Sie an der Einteilung stört, wo es Ihrer Meinung nach noch Verbesserungspotenzial gibt?

Antwort:

.....

Bild 71: ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer 25 [eigene Darstellung]

Fragebogen

1. Wie leicht fiel Ihnen die Auswahl der Klasse(n)?

☐ sehr leicht ☒ leicht ☐ neutral ☐ schwer ☐ sehr schwer

2. Hatten Sie Schwierigkeiten, sich für einen oder zwei Bereiche zu entscheiden?

☐ ja ☒ nein ☐ teilweise

3. Ist diese Methode «Klassenschätzung» für Sie einfacher bzw. schneller?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

4. Deckt/decken der/die von Ihnen gewählte(n) Bereich(e) Ihren Schätzwert ab?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

5. Sind Sie mit den Klassenbreiten (im unteren Bereich/im oberen Bereich) zufrieden?

☐ sehr zufrieden ☒ zufrieden ☐ neutral ☐ unzufrieden ☐ sehr unzufrieden

6. Fanden Sie es sinnvoll, dass Sie auch zwei Bereiche auswählen konnten?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

7. Gab es etwas, was Sie an der Einteilung stört, wo es Ihrer Meinung nach noch Verbesserungspotenzial gibt?

Antwort:

.....

Bild 72: ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer 26 [eigene Darstellung]

Fragebogen

1. Wie leicht fiel Ihnen die Auswahl der Klasse(n)?

☐ sehr leicht ☐ leicht ☒ neutral ☐ schwer ☐ sehr schwer

2. Hatten Sie Schwierigkeiten, sich für einen oder zwei Bereiche zu entscheiden?

☐ ja ☒ nein ☐ teilweise

3. Ist diese Methode «Klassenschätzung» für Sie einfacher bzw. schneller?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

4. Deckt/decken der/die von Ihnen gewählte(n) Bereich(e) Ihren Schätzwert ab?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

5. Sind Sie mit den Klassenbreiten (im unteren Bereich/im oberen Bereich) zufrieden?

☐ sehr zufrieden ☐ zufrieden ☐ neutral ☐ unzufrieden ☐ sehr unzufrieden

6. Fanden Sie es sinnvoll, dass Sie auch zwei Bereiche auswählen konnten?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

7. Gab es etwas, was Sie an der Einteilung stört, wo es Ihrer Meinung nach noch Verbesserungspotenzial gibt?

Antwort: Die Klassenbreiten sind sehr eng gestuft.

.....

Bild 73: ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer 27 [eigene Darstellung]

Fragebogen

1. Wie leicht fiel Ihnen die Auswahl der Klasse(n)?

☐ sehr leicht ☐ leicht ☐ neutral ☒ schwer ☐ sehr schwer

2. Hatten Sie Schwierigkeiten, sich für einen oder zwei Bereiche zu entscheiden?

☐ ja ☐ nein ☒ teilweise

3. Ist diese Methode «Klassenschätzung» für Sie einfacher bzw. schneller?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

4. Deckt/decken der/die von Ihnen gewählte(n) Bereich(e) Ihren Schätzwert ab?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

5. Sind Sie mit den Klassenbreiten (im unteren Bereich/im oberen Bereich) zufrieden?

☐ sehr zufrieden ☒ zufrieden ☐ neutral ☐ unzufrieden ☐ sehr unzufrieden

6. Fanden Sie es sinnvoll, dass Sie auch zwei Bereiche auswählen konnten?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

7. Gab es etwas, was Sie an der Einteilung stört, wo es Ihrer Meinung nach noch Verbesserungspotenzial gibt?

Antwort:

.....

Bild 74: ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer 28 [eigene Darstellung]

Fragebogen

1. Wie leicht fiel Ihnen die Auswahl der Klasse(n)?

☐ sehr leicht ☐ leicht ☒ neutral ☐ schwer ☐ sehr schwer

2. Hatten Sie Schwierigkeiten, sich für einen oder zwei Bereiche zu entscheiden?

☐ ja ☒ nein ☐ teilweise

3. Ist diese Methode «Klassenschätzung» für Sie einfacher bzw. schneller?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

4. Deckt/decken der/die von Ihnen gewählte(n) Bereich(e) Ihren Schätzwert ab?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

5. Sind Sie mit den Klassenbreiten (im unteren Bereich/im oberen Bereich) zufrieden?

☐ sehr zufrieden ☒ zufrieden ☐ neutral ☐ unzufrieden ☐ sehr unzufrieden

6. Fanden Sie es sinnvoll, dass Sie auch zwei Bereiche auswählen konnten?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

7. Gab es etwas, was Sie an der Einteilung stört, wo es Ihrer Meinung nach noch Verbesserungspotenzial gibt?

Antwort:

.....

Bild 75: ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer 29 [eigene Darstellung]

Fragebogen

1. Wie leicht fiel Ihnen die Auswahl der Klasse(n)?

☐ sehr leicht ☐ leicht ☒ neutral ☐ schwer ☐ sehr schwer

2. Hatten Sie Schwierigkeiten, sich für einen oder zwei Bereiche zu entscheiden?

☐ ja ☒ nein ☐ teilweise

3. Ist diese Methode «Klassenschätzung» für Sie einfacher bzw. schneller?

☐ ja ☒ nein ☐ teilweise

4. Deckt/decken der/die von Ihnen gewählte(n) Bereich(e) Ihren Schätzwert ab?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

5. Sind Sie mit den Klassenbreiten (im unteren Bereich/im oberen Bereich) zufrieden?

☐ sehr zufrieden ☒ zufrieden ☐ neutral ☐ unzufrieden ☐ sehr unzufrieden

6. Fanden Sie es sinnvoll, dass Sie auch zwei Bereiche auswählen konnten?

☐ ja ☐ nein ☒ teilweise

7. Gab es etwas, was Sie an der Einteilung stört, wo es Ihrer Meinung nach noch Verbesserungspotenzial gibt?

Antwort:

.....

Bild 76: ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer 30 [eigene Darstellung]

Fragebogen

1. Wie leicht fiel Ihnen die Auswahl der Klasse(n)?

☐ sehr leicht ☐ leicht ☒ neutral ☐ schwer ☐ sehr schwer

2. Hatten Sie Schwierigkeiten, sich für einen oder zwei Bereiche zu entscheiden?

☐ ja ☒ nein ☐ teilweise

3. Ist diese Methode «Klassenschätzung» für Sie einfacher bzw. schneller?

☐ ja ☒ nein ☐ teilweise

4. Deckt/decken der/die von Ihnen gewählte(n) Bereich(e) Ihren Schätzwert ab?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

5. Sind Sie mit den Klassenbreiten (im unteren Bereich/im oberen Bereich) zufrieden?

☐ sehr zufrieden ☐ zufrieden ☐ neutral ☒ unzufrieden ☐ sehr unzufrieden

6. Fanden Sie es sinnvoll, dass Sie auch zwei Bereiche auswählen konnten?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

7. Gab es etwas, was Sie an der Einteilung stört, wo es Ihrer Meinung nach noch Verbesserungspotenzial gibt?

Antwort: Die Bereiche von 3 km/h sind zu
eng.....

.....

Bild 77: ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer 31 [eigene Darstellung]

Fragebogen

1. Wie leicht fiel Ihnen die Auswahl der Klasse(n)?

☐ sehr leicht ☒ leicht ☐ neutral ☐ schwer ☐ sehr schwer

2. Hatten Sie Schwierigkeiten, sich für einen oder zwei Bereiche zu entscheiden?

☐ ja ☒ nein ☐ teilweise

3. Ist diese Methode «Klassenschätzung» für Sie einfacher bzw. schneller?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

4. Deckt/decken der/die von Ihnen gewählte(n) Bereich(e) Ihren Schätzwert ab?

☒ ja ☐ nein ☐ teilweise

5. Sind Sie mit den Klassenbreiten (im unteren Bereich/im oberen Bereich) zufrieden?

☐ sehr zufrieden ☐ zufrieden ☒ neutral ☐ unzufrieden ☐ sehr unzufrieden

6. Fanden Sie es sinnvoll, dass Sie auch zwei Bereiche auswählen konnten?

☐ ja ☒ nein ☐ teilweise

7. Gab es etwas, was Sie an der Einteilung stört, wo es Ihrer Meinung nach noch Verbesserungspotenzial gibt?

Antwort:

.....

Bild 78: ausgefüllter Fragebogen Klassenschätzung Teilnehmer 32 [eigene Darstellung]