

Anforderungen an eine technische Unfallanalyse

Wilhelm Deppe, Dipl.-Ing. FH, von der Regierung von Schwaben öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Straßenverkehrsunfälle

Lortzingstr. 17, 86356 Neusäß

www.unfallexperten.de

wdeppe@unfallexperten.de

IB Deppe + Nabe

Was unterscheidet den Sachverständigen von einem Zeugen

Technische Unfallanalyse

Der Zeuge berichtet – er schildert (subjektive) Wahrnehmungen

Der Sachverständige hingegen zieht Schlussfolgerungen, trifft technische Wertungen und stellt eventuell Hypothesen (Arbeitshypothesen) auf
– er analysiert den Sachverhalt auf Basis technischer und physikalischer Gesetzmäßigkeiten

1. Grundanforderung - Nachvollziehbarkeit

Technische Unfallanalyse

Schlussfolgerungen, technische Wertungen und Hypothesen

Daraus leitet sich eine wichtige Anforderung ab

Nachvollziehbarkeit (+Nachprüfbarkeit)

Welche physikalischen Gesetze werden berücksichtigt?

Welche (anerkannten) Rechenprogramme werden benutzt?

Welche Anknüpfungstatsachen wurden herangezogen?

Was ist eventuell strittig? (z.B. Endstände)

Lassen Spuren Interpretationsspielraum zu?

Möglichst allgemein verständliche Formulierungen.

usw.

2. Grundanforderung - Neutralität

Schlussfolgerungen, technische Wertungen und Hypothesen

Daraus leitet sich eine weitere wichtige Anforderung ab

Neutralität

Wer Wertungen vornimmt und Hypothesen aufstellt muss das aus einer neutralen Position heraus tun und sollte das auch neutral formulieren:

- Der Sachverständige darf, unbeeindruckt von Schicksalen und Unfallkategorien (Disco-Unfall, Alkoholunfall, Geschwindigkeitsunfall usw.), auch unbewußt, kein Ziel verfolgen.
- Unabhängig vom Auftraggeber (Privatauftrag, Staatsanwaltschaft) sollte ein Gutachten so ausgearbeitet sein, dass es einem Richter dienlich sein könnte.
- Er kommt erst nach Analyse aller Parameter zu einem Ergebnis
- Er vermeidet jegliche allgemein wertenden Ausdrücke, wie z.B. halsbrecherisch, rücksichtslos usw.

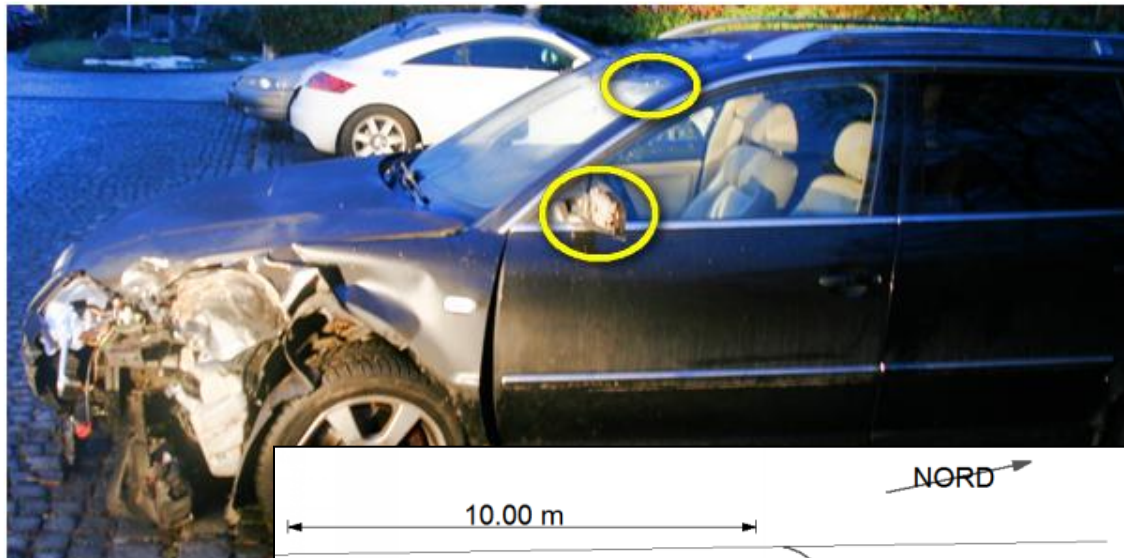
3. Grundanforderung – Qualifikation

Technische Unfallanalyse

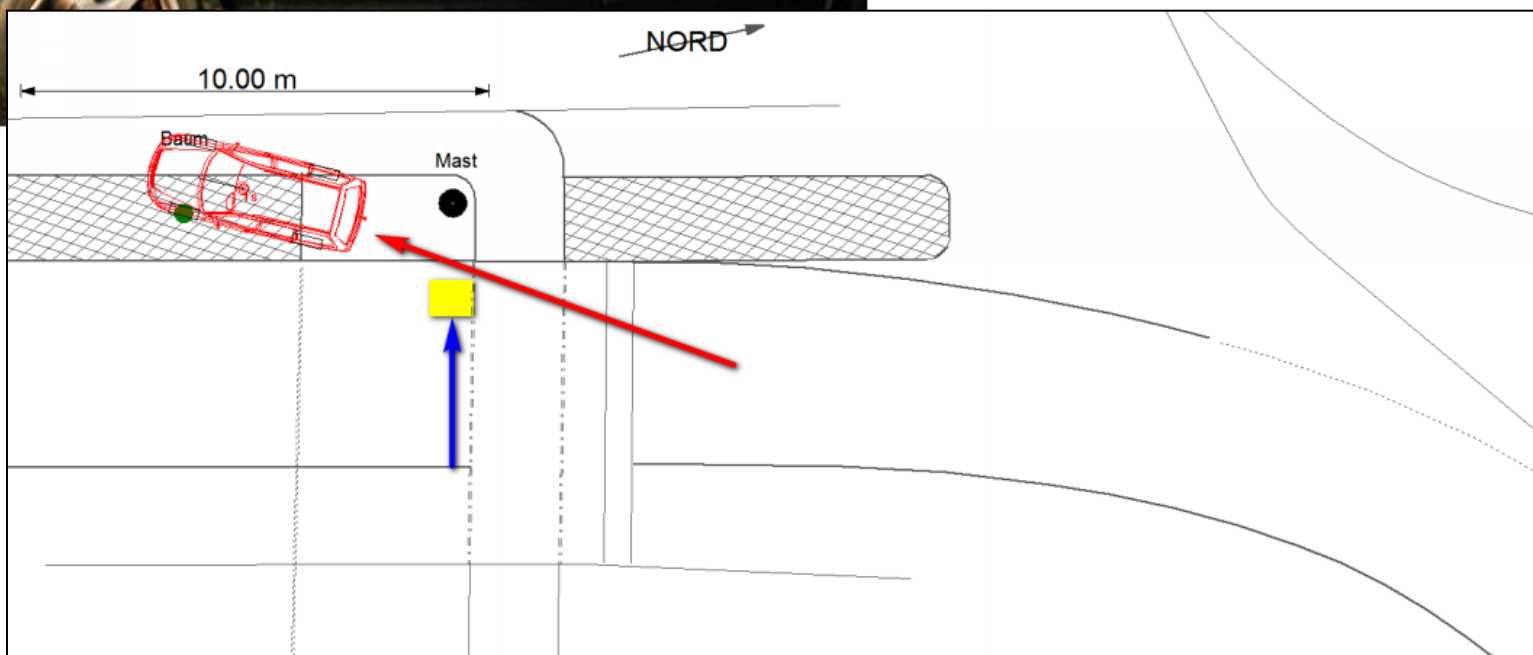
Der Sachverständige sollte seine Qualifikation belegen können:

In Deutschland typischerweise durch die öffentliche Bestellung und Vereidigung oder eine Zertifizierung. Damit ist auch eine Verpflichtung zur Weiterbildung verbunden.

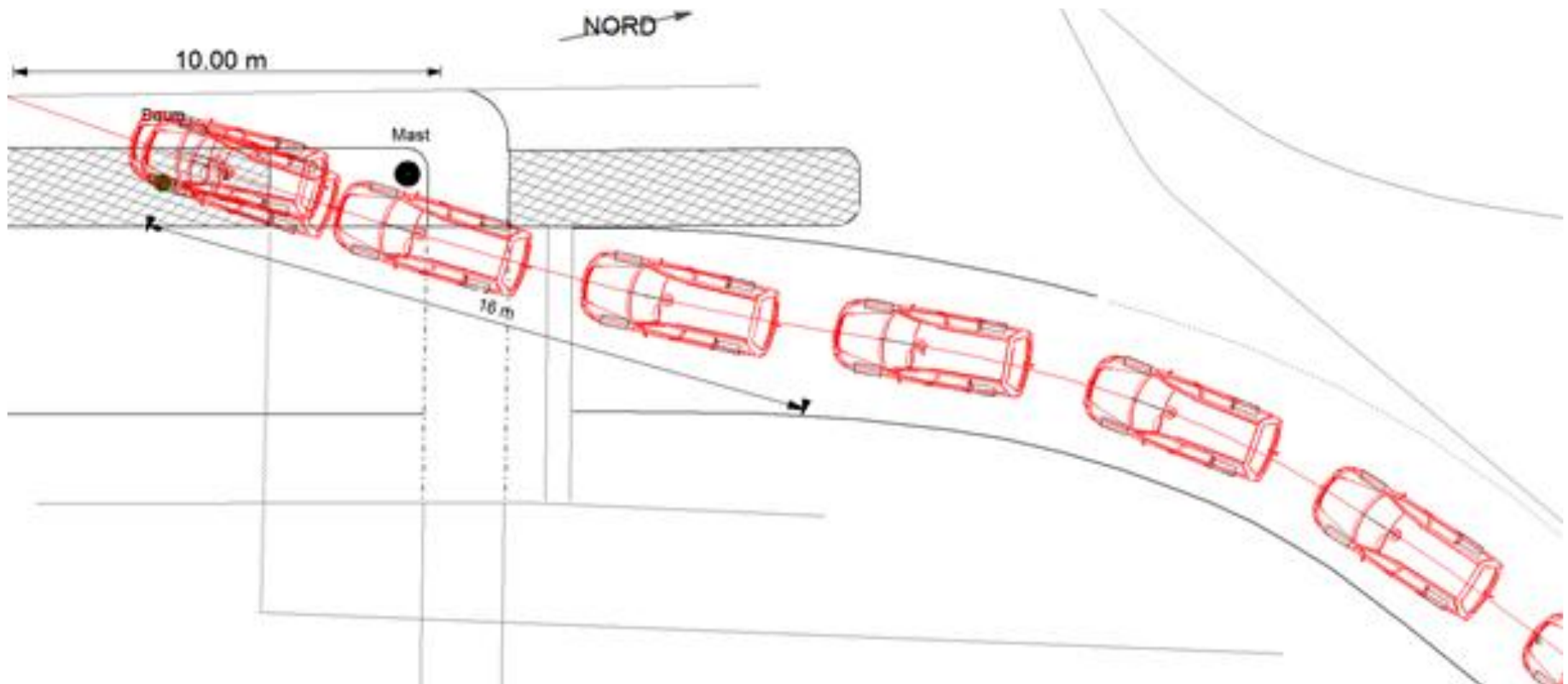
Beispiel für eine Hypothese (Autofahrer macht keine Aussage!)



Sachverhalt:
Fußgängerin überquert
eine Fußgängerfurt –
Pkw streift die
Fußgängerin und stößt
rechts an einen Baum



Beispiel für eine Hypothese (Autofahrer macht keine Aussage!)



- Hypothese: rund 16 m vor dem Baumanprall wich der Pkw-Fahrer von seiner Fahrlinie ab, weil er die von links hereinlaufende Fußgängerin als Gefahrenquelle erkannte
- Arbeitshypothese: als er ausweichend auf die Fußgängerin und den Baum zufuhr bremste der Pkw-Fahrer

Beispiel für eine Hypothese (Autofahrer macht keine Aussage!)

Hypothese

Die Hypothese, der Pkw-Fahrer sei wegen der von links herein laufenden Fußgängerin nach rechts ausgewichen wird durch die Zeit-Weg-Zusammenhänge bestätigt. Rechnerischer Reaktionspunkt des Pkw-Fahrers und Erkennbarkeit der Gefahrensituation sind dann miteinander vereinbar und schlüssig (=korrekte Reaktion des Pkw-Fahrers) – es genügt wohl der Hinweis, dass diese Hypothese im Folgenden als bestätigt angesehen und zu Grunde gelegt wird.

Der Hinweis ist wichtig, damit eine (eher unwahrscheinliche) Ergänzung des Gutachtens beantragt werden kann.

Arbeitshypothese

- Es ist lebensnah und wahrscheinlich, dass der Pkw-Fahrer nicht nur auswich, als er gleichzeitig auf die Fußgängerin und den Baum zufuhr, sondern auch bremste – ob dies aber auch zu unterstellen ist, überschreitet nach Auffassung des Autors die Entscheidungskompetenz des Sachverständigen. Hier ist eine Kennzeichnung als Arbeitshypothese im Rahmen einer Alternativbetrachtung sinnvoll:
- Beispiel: der Anprall des Pkw an den Baum erfolgte mit 20 bis 25 km/h. Der mit ABS/ESP ausgerüstete Pkw zeichnete vor den Kollisionen keine Spuren. Nimmt man im Rahmen einer Arbeitshypothese an, der Pkw-Fahrer habe während der Ausweichphase von 16 bis 19 m scharf, aber ohne Spurenzeichnung gebremst, dann würde sich eine Ausgangsgeschwindigkeit von rund 59 bis 69 km/h ergeben.
- Weitere Diskussionen zu den Alternativen (andere Arbeitshypothesen) – inkl. Vermeidbarkeitsbetrachtungen - folgen im Gutachten ...

Hypothesen und Nachvollziehbarkeit

- Hypothesen müssen als solche erkennbar sein
- Es sollte verdeutlicht werden, ob eine Hypothese durch Angaben von Beteiligten und Zeugen gestützt wird oder dazu im Widerspruch steht
- Arbeitshypothesen dienen z.B. der technischen Diskussion alternativ denkbarer Sachverhalte oder auch der Überprüfung von verschiedenen Zeugenaussagen auf technische Schlüssigkeit – auch hier ist eine Kennzeichnung wichtig

Beispiele für physikalische Grundlagen - Nachvollziehbarkeit

■ Der Impulserhaltungssatz

- *Der Gesamtimpuls ist in einem abgeschlossenen System konstant*

■ Der Energieerhaltungssatz

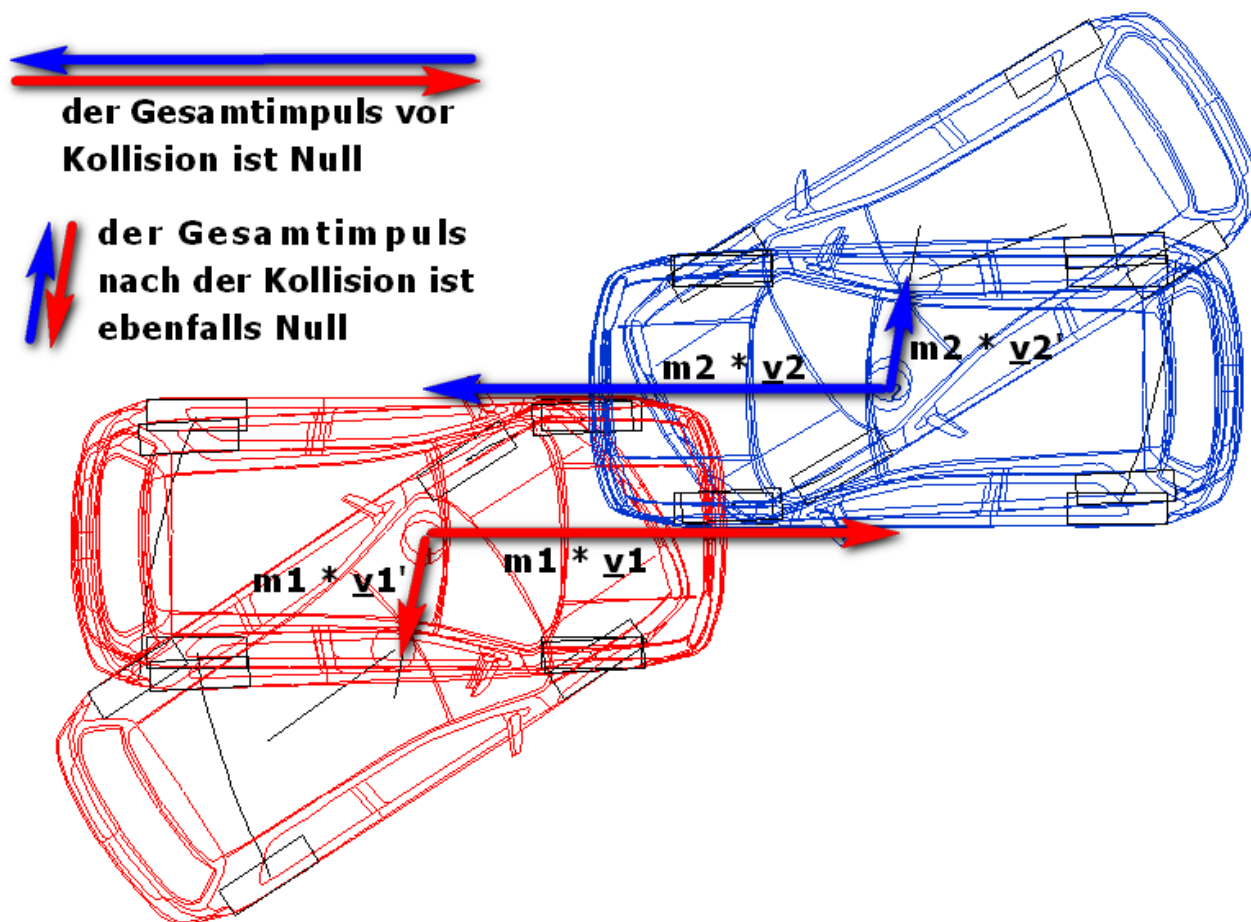
- *Die Gesamtenergie ist in einem abgeschlossenen System konstant*

■ Der Drallerhaltungssatz

- *Der Gesamtdrehimpuls ist in einem abgeschlossenen System konstant*

Anwendung der Erhaltungssätze - Nachvollziehbarkeit

$$m_1 * \underline{v}_1 + m_2 * \underline{v}_2 = m_1 * \underline{v}'_1 + m_2 * \underline{v}'_2 = \text{const.}$$



IMPULSSATZ:
Der
Gesamtimpuls
eines
geschlossenen
Systems ist
konstant

$$\underline{P}_1 + \underline{P}_2 = \underline{P}'_1 + \underline{P}'_2$$

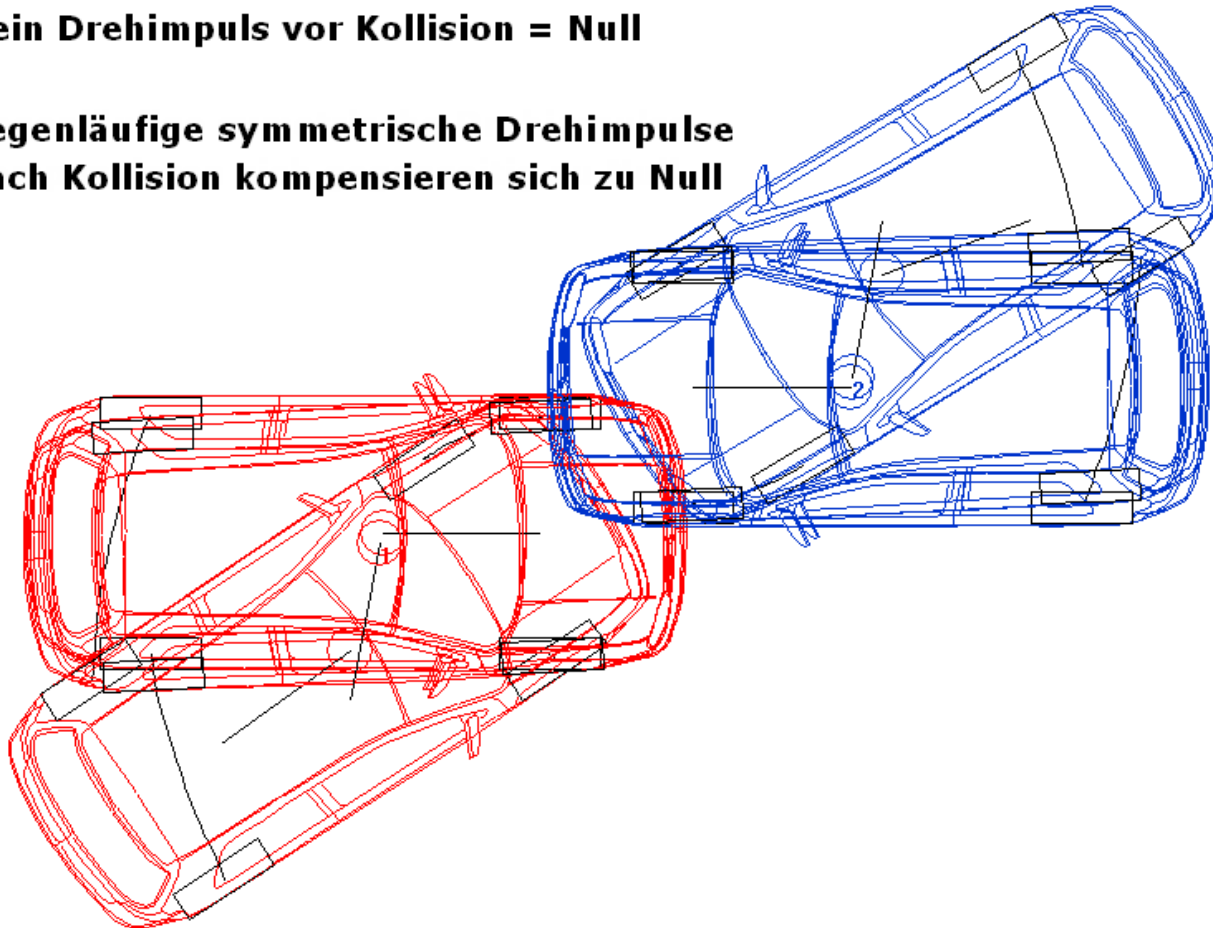
Beispiel: zwei
Fahrzeuge
gleicher Masse
kollidieren mit
gleicher
Geschwindigkeit
im Gegenverkehr

Anwendung der Erhaltungssätze - Nachvollziehbarkeit

$$L_1 + L_2 = L_1' + L_2' = \text{const.}$$

Kein Drehimpuls vor Kollision = Null

**gegenläufige symmetrische Drehimpulse
nach Kollision kompensieren sich zu Null**



DRALLSATZ
Der
Gesamtdrehimpuls
eines
geschlossenen
Systems ist
konstant

Beispiel: zwei
Fahrzeuge gleicher
Masse kollidieren
mit gleicher
Geschwindigkeit im
Gegenverkehr

Energieerhaltungssatz

Für die Unfallrekonstruktion kann der Energieerhaltungssatz in der nachstehenden Form Anwendung finden:

$$E_{T_1} + E_{T_2} + E_{R_1} + E_{R_2} = E'_{T_1} + E'_{T_2} + E'_{R_1} + E'_{R_2} + E_{D_1} + E_{D_2} + E_{Rest} \quad (\text{A9-11})$$

Hierin sind E_T die translatorischen und E_R die rotatorischen Energieanteile vor dem Stoß und E'_T die translatorischen und E'_R die rotatorischen Energieanteile nach dem Stoß. E_{Rest} sind nicht näher erfaßte Energieanteile aus z. B. Reibung, Scherung, Hubarbeit, Drehenergie in Antriebswellen und Rädern bzw. Energieanteile, die als im unfallspezifischen Schadensbild enthalten angesehen werden.

Die Deformationsenergie E_D wird in der folgenden sinnvollen Form verwendet:

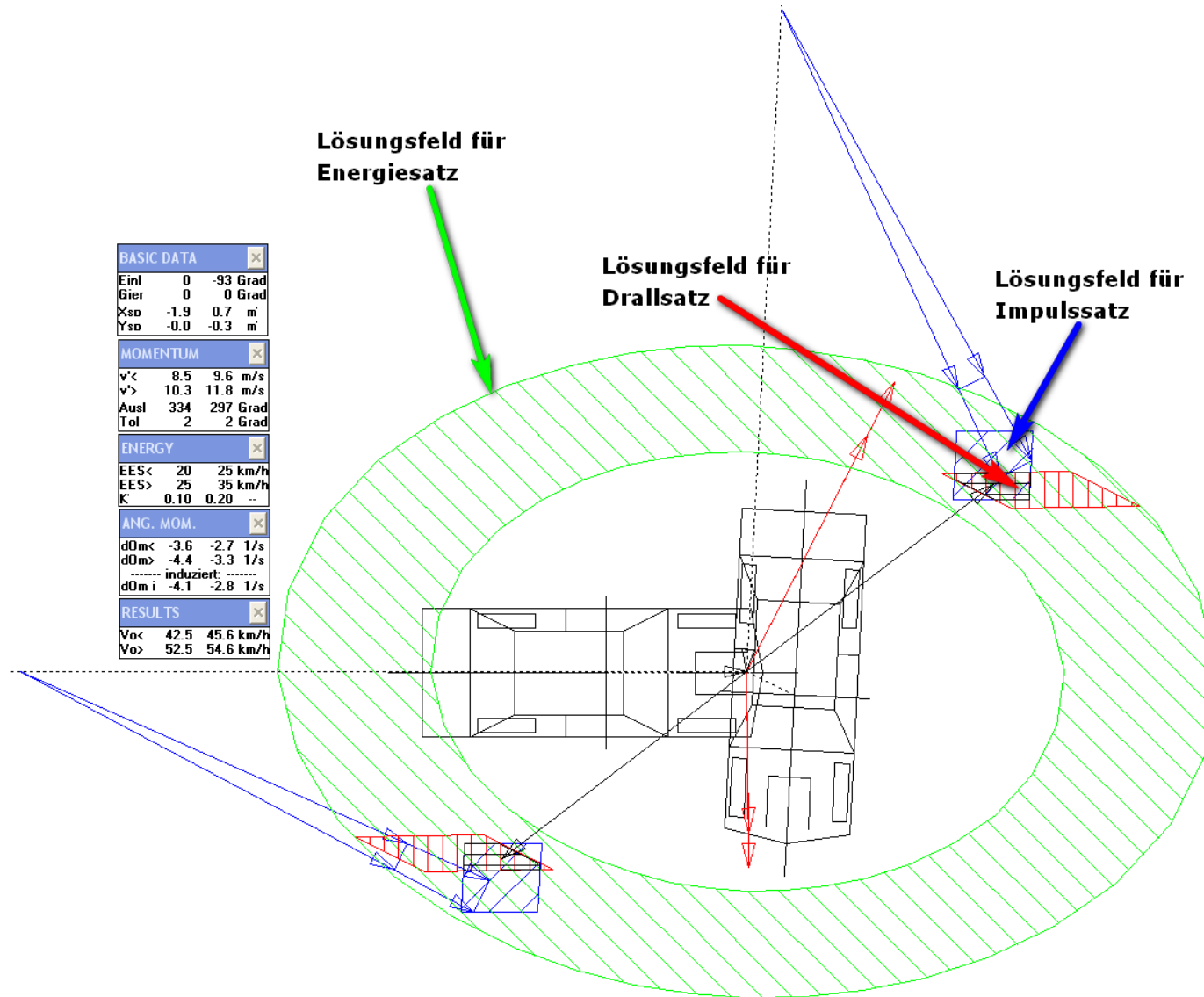
$$E_D = \frac{1}{2} m \cdot (\text{EES})^2 \quad (\text{A9-12})$$

mit: EES = Energy Equivalent Speed

Anmerkung: EES in [m/s]

Aus Burg / Moser – Handbuch der Verkehrsunfallrekonstruktion,
Seite 226

Anwendung der Erhaltungssätze - Nachvollziehbarkeit



Nachvollziehbare
Darstellung zum
Beispiel:

Erweitertes
Rhomboid-Schnitt-
Verfahren nach
Schimmelpfennig,
Becke und Hebing

Darstellung mit
dem Programm
Winkol (Wilhelm Deppe
+ Jürgen Kneifel)

Anwendung der Erhaltungssätze - Nachvollziehbarkeit

Durchgesetzt haben sich heute Simulationsprogramme – in Deutschland insbesondere PC-Crash, welches als anerkannter Standard gelten kann

- Nicht immer wird deutlich, ob sich der Sachverständige bei der Anwendung solcher Software genau der zu Grunde liegenden physikalischen Gesetzmäßigkeiten bewusst ist.
- Simulationsprogramme ermöglichen Vorwärtsbetrachtungen – das geht aber z.B. bei der Impulssatzanwendung nur, wenn wichtige Parameter, wie die Lage der Berührebene, der Reibkegel über der Berührebene und die Stoßziffer (oder Trenngeschwindigkeit) in sinnvollen Bandbreiten vorgegeben werden. Nur bei Kenntnis der Auswirkungen dieser Parameter auf die Lösung und bei fallbezogen (verhakter Stoß, Streifstoß usw.). plausiblen Vorgaben kann das Ergebnis richtig sein. Ferner sind alternative Stoßmodelle (Steifigkeitsbasiert, Mesh-Methode) verfügbar.
- Da die Nachvollziehbarkeit durch die Anwendung solcher Simulationsprogramme erschwert wird, tritt an deren Stelle zumindest die Nachprüfbarkeit

Nachprüfbarkeit

Nachprüfbarkeit bedeutet, dass es einem weiteren Sachverständigen möglich sein muss, die Berechnungen auf Basis der Dokumentation im Gutachten selbständig nachzuvollziehen.

Dem Fachkollegen muss es möglich sein zu erkennen, welche Vorgaben bezüglich Berührebene, Reibkegel, Stoßziffer, EES-Werte, Betriebsgewichte der Fahrzeuge im Unfallzustand usw. zu Grunde gelegt wurden.

Stoß-Einlauf-Impuls

Fahrzeug: 3 HONDA 2 MERCE

Einlauf:
Geschw. [km/h]: 0.00 36.00

Auslauf:
Geschw. [km/h]: 23.06 19.70
Richtg. [°]: 2.20 -8.45
Delta-v [km/h]: 23.06 16.45
Omega [rad/s]: 0.45 0.09

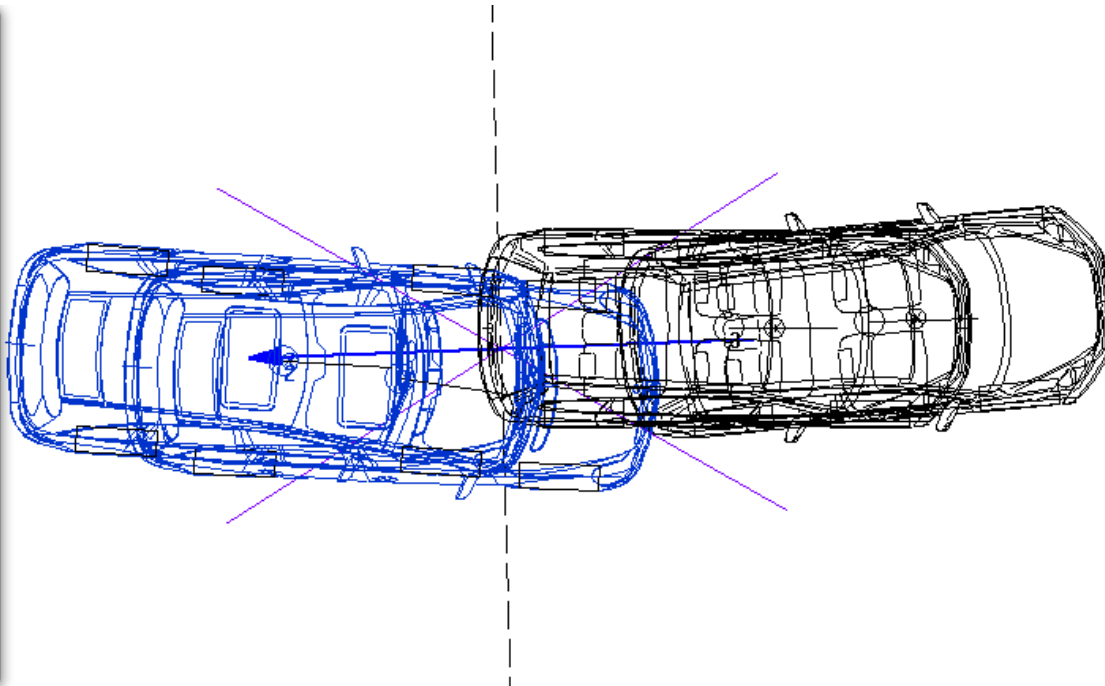
EES [km/h] (18.00)
 16.76 18.00

delta v: 4 [km/h] (Ist: 3.96)
 k: 0.11 Reibung: 0.60

Koordinaten [m]:
 Stoßpunkt
 Berührebene

x: -6.21 phi
y: 2.80 -88.47
z: 0.45 psi

Stoß
Optionen...
Stoß
Nr.: 1
 autom. Be



Typische Grenzen in der Anwendung der Erhaltungssätze

Der Sachverständige muss die Anwendungsgrenzen der einzelnen Lösungsansätze berücksichtigen

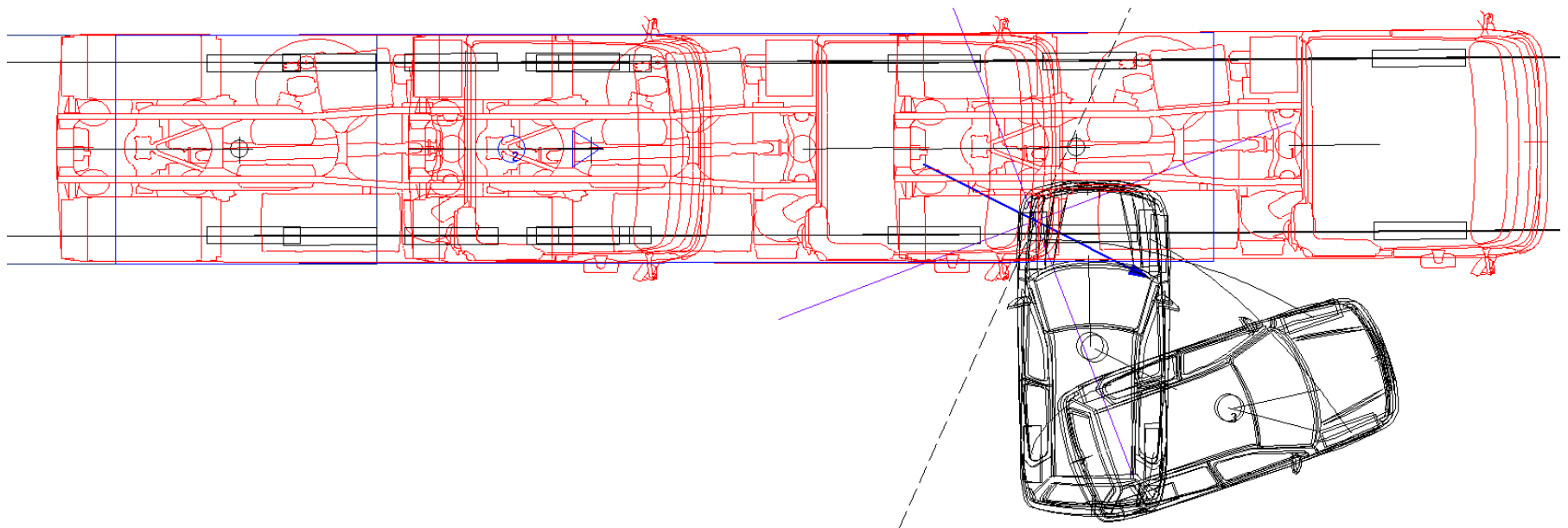
Einige wichtige Bedingungen (nicht vollständig):

- Die Massen der Fahrzeuge sollten nicht zu stark differieren
- Die Reifenkräfte sollten gegenüber den Kollisionskräften gering sein
- Die Schwerpunktsbahnen unmittelbar nach der Kollision müssen nachvollziehbar sein
- Beim eindimensionalen Stoß (zum Beispiel Auffahrunfall mit großer Überdeckung) müssen die EES-Werte und die Stoßziffer möglichst zuverlässig eingrenzbar sein, da keine Kontrolle über die Symmetrien von Impuls- und Drallsatz möglich ist

Nicht selten können, trotz entsprechender Beschränkungen bei einzelnen Lösungsansätzen, brauchbare Lösungen über Wechselwirkungen mit anderen Ansätzen gefunden werden oder weil bestimmte Parameter bekannt sind (z.B. Tachograph im Lkw). Im Gutachten sollte der spezielle Lösungsweg verdeutlicht werden.

Typische Grenzen in der Anwendung der Erhaltungssätze

Großer Massenunterschied – der Lkw fängt die Rotation und die Richtungsänderung allein über Reifenelastizitäten ab – weder Drallsatz, noch Impulssatz können uneingeschränkt angewendet werden – zumindest nicht als Erhaltungssatz



Typische Grenzen in der Anwendung der Erhaltungssätze

| Pkw | EES | Masse | W_{def} |
|-----|---------|-----------|------------------|
| | 18 km/h | 1000 kg | 12.500 J |
| | 22 km/h | 1000 kg | 18.673 J |
| | | | |
| Lkw | EES | Masse | W_{def} |
| | 2 km/h | 40.000 kg | 6.173 J |
| | 4 km/h | 40.000 kg | 24.691 J |

Der EES-Wert des Lastzuges ist kaum einschätzbar (fehlende Vergleichswerte und schwieriger Massenbezug) – aber gerade ein Fehler beim EES-Wert des Lastzuges wirkt sich überproportional auf das Ergebnis aus

Typische Grenzen in der Anwendung der Erhaltungssätze

1. Vorgaben

| | |
|----------------------|------------------|
| EES-Werte | EES ₁ |
| | EES ₂ |
| Fahrzeugmassen | m ₁ |
| | m ₂ |
| Trenngeschwindigkeit | A |

2. Berechnung

2.1 Die relative Geschwindigkeit

Deformationsarbeit $dW := \frac{m_1}{2} \cdot (EES_1)^2 + \frac{m_2}{2} \cdot (EES_2)^2 \quad dW = 7.92 \times 10^3 \text{ J}$

relative Masse $m_{rel} := \frac{(m_1 \cdot m_2)}{(m_1 + m_2)} \quad m_{rel} = 527.1 \text{ kg}$

Relativgeschwindigkeit $v_{rel} := \sqrt{\frac{m_{rel} \cdot A^2 + 2 \cdot dW}{m_{rel}}} \quad v_{rel} = 20 \text{ kmh}$

2.2 Die kollisionsbedingten Geschwindigkeitsänderungen

Geschwindigkeitszunahme Fahrzeug 1 (vorderes) $dv_1 := \frac{v_{rel} + A}{1 + \frac{m_1}{m_2}} \quad dv_1 = 11 \text{ kmh}$

Geschwindigkeitsabnahme Fahrzeug 2 (auffahrend) $dv_2 := \frac{v_{rel} + A}{1 + \frac{m_2}{m_1}} \quad dv_2 = 15 \text{ kmh}$

Beim Auffahrunfall (eindimensionaler Stoß) ist eine Lösung über die Symmetrien nicht möglich. Auslaufgeschwindigkeiten und Kollisionspunkt in Relation zu den Endständen sind im Regelfall nicht bekannt.

Die Relativgeschwindigkeiten und die Geschwindigkeitsänderungen können aber bestimmt werden, wenn die Trenngeschwindigkeit (Stoßziffer) und die EES-Werte möglichst genau abgeschätzt werden können.

Gleichungen laut Schimmelpfennig+Becke, Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, Heft 3/84, Seite 73 – rechnendes Arbeitsblatt des IB Deppe+Nabe mit der Software MathCad 14.0

Typische Grenzen in der Anwendung der Erhaltungssätze

Während einer Stoßdauer von z.B. 100 bis 140 ms kann ein aktiv gebremstes Fahrzeug, zusätzlich durch äußere Kräfte, die Eigengeschwindigkeit um 3 bis 4 km/h verändern (Beispiel $\mu = 0,8$). Dies macht deutlich, dass es bei leichten Kollisionen nicht vernachlässigbar ist, ob eines der Fahrzeuge während der Kollision gebremst wurde.

Für das gestoßene Fahrzeug ist allerdings zu diskutieren, ob es situationsabhängig überhaupt realistisch ist, dass der Fahrzeugführer den Pedaldruck während der Stoßphase aufrecht halten konnte.

Datenquellen für EES-Werte - Beispiele

Internet-Datenbanken alphabetisch

(siehe auch www.colliseum.net/wiki/Crashdatenbanken)

1.1 ADAC (www.adac.de)

1.2 AGU-Crashdatenbank (www.agu.ch)

1.3 AXA Winterthur Schweiz (www.axa-winterthur.ch/De/ueberuns/engagement/unfallforschung)

1.4 ConsumerReports-Crashtestdatenbank (www.consumerreports.org)

1.5 Crashtest-Service.com CTS (www.crashtest-service.com)

1.6 EVU-Datenbank (www.evuonline.org/Versuche.asp)

1.7 DEKRA (www.dekra.de)

1.8 DTC (www.dtc-ag.ch)

1.9 NCAP-Versuche (<http://www.dtc-ag.ch>)

1.10 HTW Berlin (<http://ft.f2.htw-berlin.de/1769.html>)

1.11 ÖAMTC (<http://www.oeamtc.at>)

1.12 The Passive Revolution (<http://www.ukroads.org/ukroadsafety/>)

1.13 Wildunfall.eu (www.wildunfall.eu)

und www.ees-catalog.com

Datenquellen EES

Beispiel für vorbildliche Dokumentation aus
AGU Crash Datenbank (www.agu.ch):

Ein Nissan Micra K11 **fährt gebremst** (0.35 Sekunden vor Kollision; 5.8 m/s^2) einem VW New Beetle (**ungebremst**, kein Gang eingelegt) auf.

| | | |
|----------------------|---|---------------|
| Crash Test Resultate | stossend | gestossen |
| Fahrzeug | Nissan Micra K11 | VW New Beetle |
| Masse | 995.5 kg | 1347.5 kg |
| Bremse | 0.35 s vor Kollision; 5.8 m/s^2 | - |

| | | |
|---|--------------|--------------|
| Kollisionsgeschwindigkeit v_K | 22.4 km/h * | 0 km/h |
| Geschwindigkeitsänderung Δv_{Res} | 18.0 km/h ** | 10.8 km/h ** |

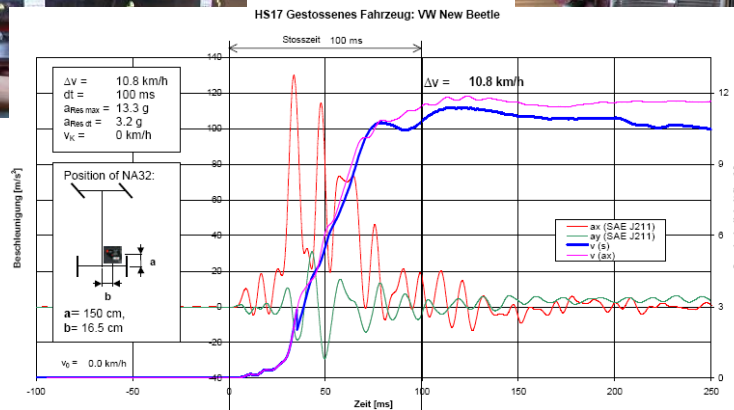
| | | |
|---|----------|----------|
| Maximale Beschleunigung $a_{Res \max}$ | 12.9 g * | 13.3 g * |
| Durchschnittliche Beschleunigung $a_{Res \text{ dt}}$ | 5.1 g * | 3.2 g * |

| | | |
|--|-----------------------|--|
| Stosszeit dt | 100 ms * | |
| Stossfaktor k / Trenngeschwindigkeit $\Delta v'$ | 0.29 ** / 6.4 km/h ** | |

| | | |
|---|--------------------|---------------------|
| Gesamte Deformationsenergie $W_{Def \text{ Ges}}$ | 11.8 kJ \pm 10% | |
| Energy Equivalent Speed EES | 17.0 \pm 1 km/h | 3.7 \pm 1 km/h |
| Steifigkeit | 350 kN/m \pm 20% | 1500 kN/m \pm 20% |

| | | |
|-----------------------------|--------------|-------------|
| Reparaturkalkulation gesamt | 12258.15 CHF | 1946.65 CHF |
|-----------------------------|--------------|-------------|

Datenquellen EES



Quelle: AGU / DTC
(www.agu.ch)

IB Deppe + Nabe

Bandbreiten

Ergebnisse aus Berechnungen sind stets als Bandbreiten anzugeben:

Beispiel:

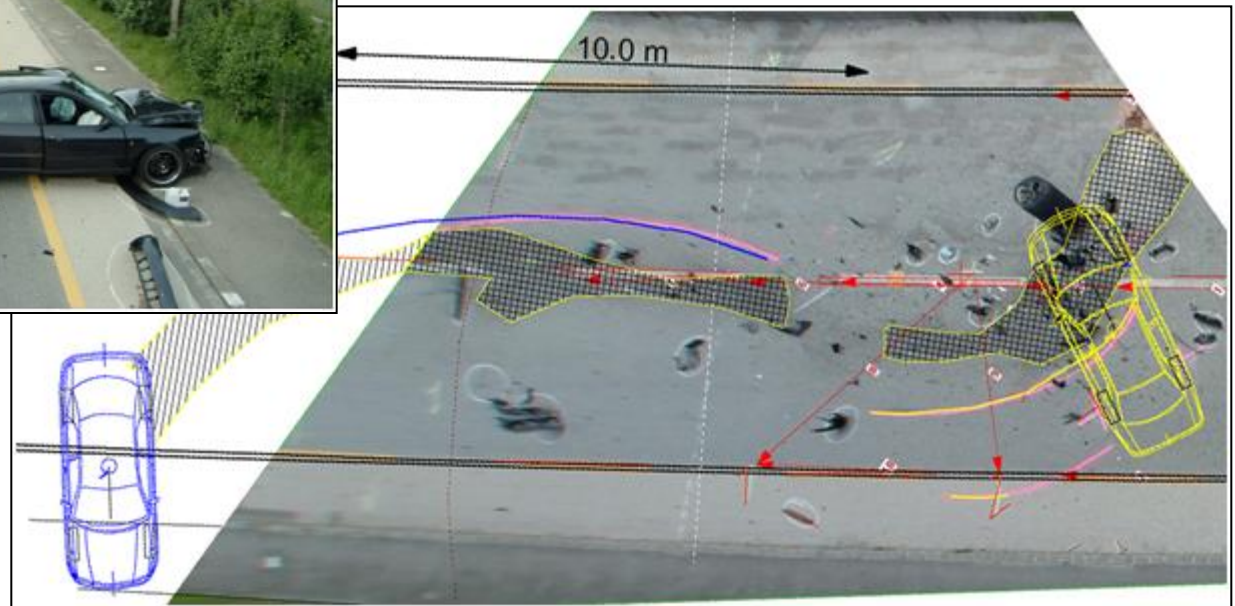
Kollisionsgeschwindigkeit VW: 42 bis 50 km/h oder 46 ± 4 km/h

Im Normalfall ergibt sich die Ergebnisbandbreite aus Bandbreiten der vorgegebenen Eingangsgrößen. Die Kombination der Bandbreiten der Eingangsgrößen variiert. Innerhalb der Ergebnisbandbreite werden keine unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten definierbar sein (nur für die äußeren Grenzbereiche ist ein Wahrscheinlichkeitsabfall anzunehmen).

Die Darstellung des Ergebnisses in der Form „ 46 ± 4 km/h“ könnte vom Leser so verstanden werden, dass der Mittelwert besonders wahrscheinlich ist. Das trifft aber nicht zu. Es kann aber natürlich darauf hingewiesen werden, dass innerhalb der Bandbreite keine Wahrscheinlichkeitsunterschiede gegeben sind. Die Angabe in der Form „42 bis 50 km/h“ ist weniger missverständlich.

Streifkollision (Besonderheiten)

Streifende Unfälle mit hoher Differenzgeschwindigkeit, speziell streifende Gegenverkehrsunfälle, können umfangreiche Schäden an den Fahrzeugen verursachen (hohe EES-Werte) ohne dass damit notgedrungen große kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderungen verbunden sind. (Hugemann, Unfallrekonstruktion, Seite 252)



Streifkollision (Besonderheiten)

Schwere Beschädigungen, moderates dv (aber evtl. Intrusionen mit hoher Geschwindigkeit)



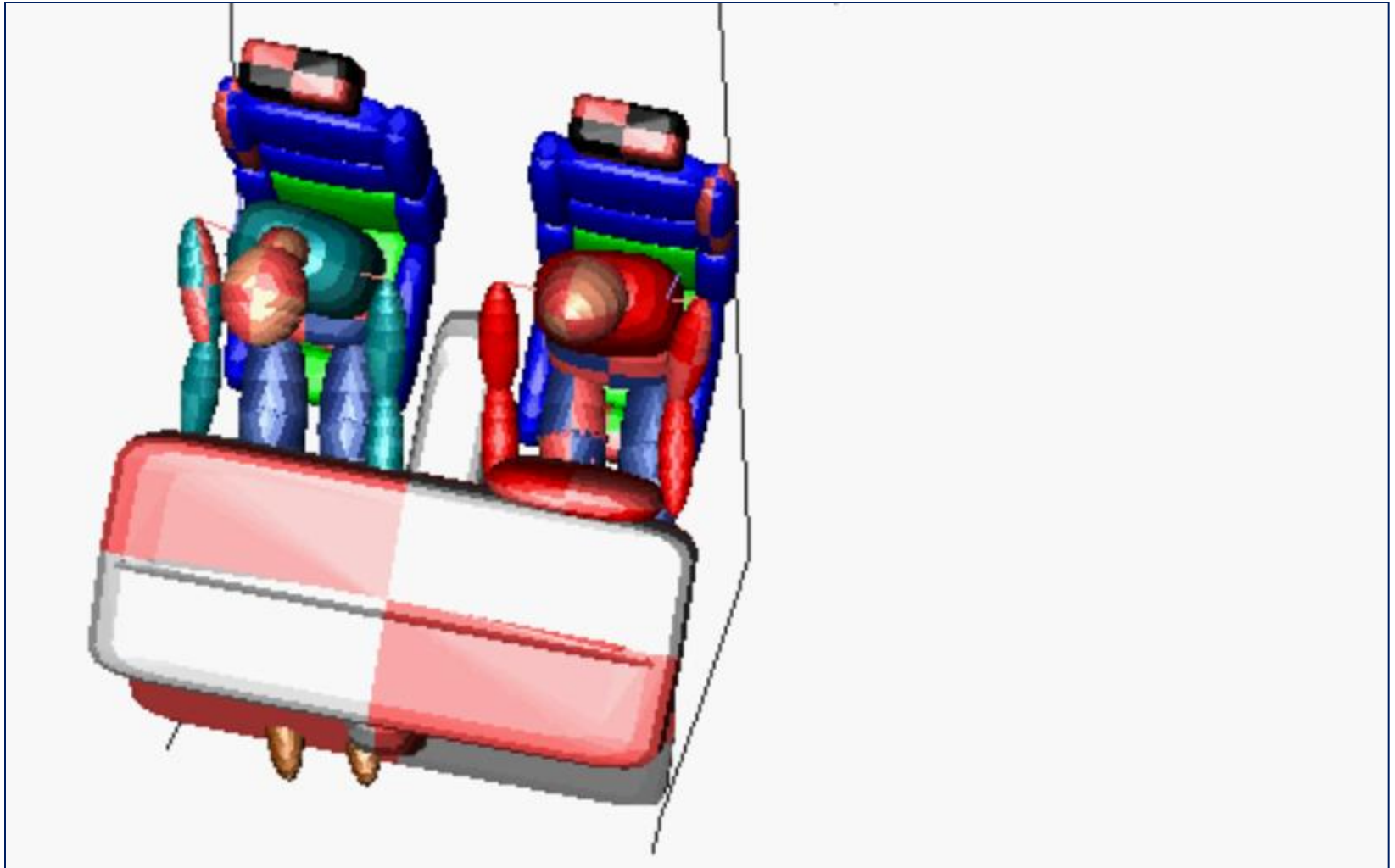
dv um 30 - 35 km/h

Insassenbelastung und Position im Fahrzeug



Kollisionsbedingt auferlegte Rotationen des Fahrzeugs können stark unterschiedliche Belastungskenngrößen an unterschiedliche Positionen im Fahrzeug bewirken – im Gutachten muss ggf. darauf eingegangen werden

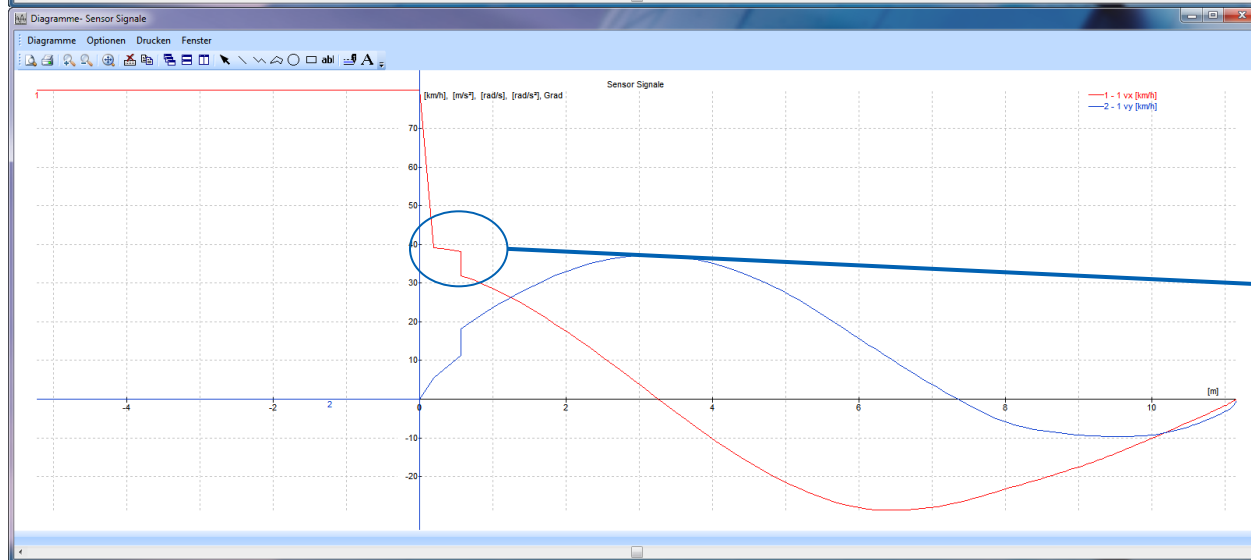
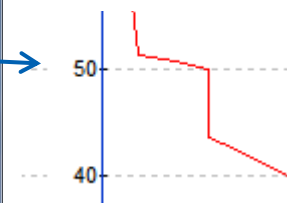
Insassenbelastung und Position im Fahrzeug



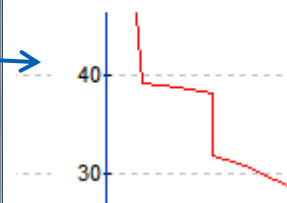
Insassenbelastung und Position im Fahrzeug



Fahrer



Beifahrer



IB Deppe + Nabe

**Herzlichen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit.**