

# Einführung ins KFZ-Sachverständigenwesen

Die Technische Hochschule Ulm bietet seit dem Wintersemester 2001 / 2002 eine Veranstaltungsreihe „**KFZ-Sachverständigenwesen**“ als Wahlfach oder als Zusatzqualifikation an.

Das vorliegende Manuskript behandelt den Themenbereich

## Analytische Gutachten,

der jeweils im Sommersemester angeboten wird.

Im Rahmen der Veranstaltungsreihe werden (außerdem) angeboten:

<b>Themenbereich</b>	<b>Referenten</b>	<b>WS / SS</b>
Fahrzeugsicherheit / Biophysik	Frau Boin / Herr Dierks / Herr Groner	WS
Fahrzeuge, Vorschriften und Technik	Herr Ziegengeist	WS
Schadengutachten und Bewertungen	Herr Aßfalg / Herr Acker / Herr Lutz	WS
Analytische Gutachten	Herr Ziegengeist	SS
Grundlagen des Rechts	Frau Dröfke / Herr Roeßner	SS

**Modulstruktur der Veranstaltungsreihe “KFZ-Sachverständigenwesen” an der THU.**

Im Rahmen des KFZ-Sachverständigenwesens werden insgesamt fünf Module angeboten, von denen vier für eine Anerkennung als Wahlfach oder Zusatzqualifikation erforderlich sind.

Jeder Modul umfasst vier Semesterwochenstunden  
(das sind bei vier Unterrichtseinheiten pro Termin 12 Termine pro Semester)  
und bringt bei erfolgreichem Abschluss fünf ECTS.

Für ein Zeugnis sind also 20 ECTS erforderlich.

**Modul I: Recht**

Der WiSo-Modul „Recht“ findet im Sommersemester statt.

Hier geht es um rechtliche Grundlagen und Vorschriften, die den Staat, Organisationen oder Personen und ihr Verhältnis zueinander betreffen.

Referenten sind Frau Dröfke und Herr Roeßner.

**Modul II: Fahrzeuge, Vorschriften und Technik**

Der TWP-Modul „Fahrzeuge, Vorschriften und Technik“ findet im Wintersemester statt. Er behandelt die für hoheitliche Tätigkeiten relevanten Sachgebiete “Recht”, “Tätigkeit des Sachverständigen” und “Bau- und Betrieb”.

Im rechtlichen Teil geht es - in Ergänzung zum Modul 1 - um rechtliche Grundlagen und Vorschriften, die die Zulassung und Überwachung von Fahrzeugen betreffen.

Im Teil “Tätigkeit des Sachverständigen” geht es um Aufgaben, Befugnisse und Tätigkeitsbeschreibungen (insbesondere Prüftätigkeiten) für den KFZ-Sachverständigen im hoheitlichen Bereich.

Im Teil “Bau- und Betrieb” werden technische Zusammenhänge behandelt

Referent ist Herr Ziegengeist.

**Modul III: Schadengutachten und Bewertungen**

Der TWP-Modul „Schadengutachten und Bewertungen“ findet im Wintersemester statt.

Hier geht es um die wirtschaftliche Beurteilung von Fahrzeugzuständen und Schäden, sowie sach- und fachgerechte Reparaturmaßnahmen. Dazu werden auch Grundkenntnisse zu Karosserie und Lackierung vermittelt.

Referenten sind die Herren Aßfalg, Acker und Lutz.

**Modul IV: Analytische Gutachten**

Der TWP-Modul „Analytische Gutachten“ findet im Sommersemester statt.

Hier werden schwerpunktmäßig die Themengebiete „Analysen zur Schadenursache“ und „Rekonstruktion und Vermeidbarkeit von Straßenverkehrsunfällen“ (mit Randgebieten wie Verkehrsüberwachung, Ladungssicherung, unfallursächliche technische Mängel) behandelt.

Referent ist Herr Ziegengeist.

**Modul V: Fahrzeugsicherheit und Biophysik**

Der TWP-Modul „Fahrzeugsicherheit und Biophysik“ wird im Wintersemester von der THU ohne Mitwirken von DEKRA angeboten.

Hier geht es darum, wie Kraftfahrzeuge unter Berücksichtigung von Eigenheiten des menschlichen Körpers sicher gestaltet und im Falle eines Unfalls die Verletzungsgefahr minimiert werden kann.

Referenten sind Frau Boin, Herr Dierks und Herr Groner

**Ziel der Veranstaltungsreihe „KFZ-Sachverständigenwesen“**

Die Teilnehmer sollen Einblick ins Aufgaben- und Tätigkeitsgebiet des „KFZ-Sachverständigen“ erhalten.

Der Begriff umschreibt eine große Vielfalt an Tätigkeiten und Dienstleistungen in einem Beruf, in dem „man nie auslernt“.

In diesem Sinne kann ein Teilnehmer dieser Vortragsreihe nicht erwarten, nach 40 Semesterstunden und bestandener Prüfung ein „fertiger Sachverständiger“ zu sein.

Wie in jedem anderen Teilstudienfach soll der Hörer aber in die Lage versetzt werden, grundlegende Zusammenhänge zu erkennen, Problemstellungen richtig anzugehen, Lösungen selbstständig zu erarbeiten und grobe Fehler zu vermeiden.

Der vermittelte Stoff soll eine solide Basis für die berufliche Einarbeitung bilden, die Bescheinigung der Hochschule dient als Nachweis, dass diese Basis bereits erarbeitet wurde und darauf aufgebaut werden kann.

## Allgemeines

### Wozu braucht man überhaupt Sachverständige?

... um Laien in der Sache fachlichen Beistand zu geben.

### Wie kann man die Aufgaben eines Sachverständigen allgemein eingrenzen?

Ermitteln fach- und sachgerechter Antworten auf Fragen des Laien und für den Laien verständliche Formulierung der Ergebnisse.

### Aufgaben und Anspruch an den Sachverständigen

Wahrnehmung hoheitlicher Tätigkeiten (StVZO)

Aufklärung und verständliche Darstellung technischer Sachverhalte, Zusammenhänge und Abhängigkeiten

zuverlässig  
unabhängig  
unparteiisch  
neutral  
objektiv  
sachkundig  
erfahren

### Der Sachverständige im Spannungsfeld der Interessen

nahezu jeder Auftraggeber erwartet insgeheim eine gutachterliche Bestätigung der eigenen Meinung, das darf aber nicht Grundlage der sachverständigen Überlegungen sein,

der Sachverständige muss sich darüber im Klaren sein, dass andere Sachverständige unter Umständen auch andere Meinungen zu "seinem Fall" haben können, d.h.

er muss seine Meinung sicher begründen können,

er muss dazu die für ihn verfügbaren Anknüpfungspunkte erkennen und im Gutachten auch nennen,

er muss klar zu erkennen geben, welche zusätzlichen Prämissen er angesetzt hat und aus welchen Gründen er das tat.

**Dienstleistungen der Sachverständigen**

schriftliche Gutachten nach Aktenlage

schriftliche Gutachten nach eigener Tätigkeit im Rahmen der Spuren- und Beweissicherung (z.B. Bereitschaftsdienst)

mündliche Gutachten vor Gericht

beratende Tätigkeit (oft als "kostenloser" telefonischer Service) für Richter, Anwälte, Polizei, Versicherungen und Privatleute

**Staatsentlastende Tätigkeiten**

Gutachten zur Erteilung einer allgemeinen Betriebserlaubnis für FZ-Typen gemäß § 20 StVZO (Fahrzeug-ABE)

Gutachten zur Erteilung einer Einzel-Betriebserlaubnis für Fahrzeuge gemäß § 21 StVZO (Fahrzeug-EBE)

Gutachten zur Erteilung einer allgemeinen Betriebserlaubnis für FZ-Teile gemäß § 22 StVZO (Teile-ABE)

Gutachten zur Erteilung einer Bauartgenehmigung für FZ-Teile, die gemäß § 22a StVZO in einer amtlich genehmigten Bauart ausgeführt sein müssen.

Wiederkehrende Hauptuntersuchungen (HU) gemäß § 29 StVZO

Wiederkehrende Sicherheitsprüfungen (SP) gemäß § 29 StVZO

Wiederkehrende Abgasuntersuchungen (AU) gemäß § 47 StVZO

Änderungsabnahmen an Fahrzeugen gemäß § 19(3) StVZO

Erstellen von Teilegutachten gemäß Anlage 19 StVZO (für Änderungsabnahmen)

Personenprüfungen / Fahrerlaubniswesen

## Privatwirtschaftliche Tätigkeiten

Gutachten zur Ermittlung der Schadenhöhe (Reparaturkostenkalkulation) einschließlich der damit verbundenen Wertminderung bzw. Wertverbesserung

Gutachten zur Ermittlung von Verkehrswert, Wiederbeschaffungswert und Restwert

Beweissicherungsgutachten / Spurensicherung und -Auswertung

Gutachten zur Identifizierung von Fahrzeugen (z.B. nach Diebstahl)

Gutachten zur Ermittlung von Schadenursachen / Brandursachen

Unfallanalytische Gutachten

- Gutachten zur Schadenkorrespondenz / Gegenüberstellungen

- Gutachten zur Bemerkbarkeit von Unfallereignissen

- Verkehrsunfallrekonstruktion

- Gutachten zur Feststellung möglicher unfallursächlicher technischer Mängel

Gutachten zu Fragen der Verkehrsüberwachung

- Gutachten zur Vorschriftmäßigkeit von Fahrzeugen nach Verkehrskontrollen

- Gutachten zu Funktion und Verlässlichkeit von Geschwindigkeitsmessungen

- Gutachten zu Funktion und Verlässlichkeit von Abstandsmessungen

- Gutachten zu Funktion und Aussagefähigkeit der Rotlichtüberwachung

Lichttechnische Gutachten zu Sichtbarkeit und Erkennbarkeit

Durchführung und Auswertung von Versuchen

Laboranalysen (technische Analysen)

- Reifen (ist ein Schaden Unfallursache oder Unfallfolge?)

- Lampen (Brennzustand?)

- Sicherheitsgurte (angelegt?)

- Lackanalyse (Spurenkorrespondenz z.B. bei Unfallflucht)

- Haaranalyse (Wild, Haustier, Mensch)

Gutachten für Bau- und Werkstoffe

Gutachten zu Straßenbau, Verkehrslenkung, Lichtzeichenanlagen

Technische Betriebsprüfungen

Auswertung von Literatur

Allgemeine Beratungen

## Der KFZ-Sachverständige - Terminologie

Begriff	Definition
<b>Sachverständiger</b> Hier nur KFZ-Sachverständiger	kann sich jeder nennen, es gibt kein einheitliches Berufsbild, keine einheitliche Definition, keinen Schutz der Berufsbezeichnung und nur eingeschränkt gültige Anforderungen innerhalb verschiedener Interessengruppen.
<b>öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger</b>	von den Industrie- und Handelskammern nach Bedarf bestellte Sachverständige, die durch Arbeitsproben und in einer Prüfung spezielle Kenntnisse in ihrem Fachgebiet nachweisen müssen. Die Vereidigung erfolgt einmal pauschal, erspart also eine Vereidigung im jeweiligen Einzelfall.
<b>amtlich anerkannter Sachverständiger</b>	diesen Begriff gibt es nur im Zusammenhang mit der Tätigkeit als KFZ-Sachverständiger an einer "Technischen Prüfstelle". Die Anforderungen an den aaS sind im KFZSachVG geregelt. Der aaS muss eine staatliche Prüfung ablegen.
<b>Prüfingenieur (PlaaÜO)</b>	Sachverständiger, der als Angestellter oder Partner einer amtlich anerkannten Überwachungsorganisation hoheitliche Tätigkeiten auf dem Gebiet der KFZ-Überwachung wahrnimmt.

## Der KFZ-Sachverständige - hoheitliche Tätigkeit

Begriff	Definition
<b>An der Technischen Prüfstelle</b>	<p>Die <b>Technische Prüfstelle</b> ist eine Institution, die von der jeweiligen Landesregierung mit der Begutachtung von Fahrzeugen im Hinblick auf die Zulassungsfähigkeit und die regelmäßige Überwachung beauftragt ist.</p> <p>Die <b>Technischen Prüfstellen</b> sind zu den entsprechenden Tätigkeiten verpflichtet.</p> <p>In der Regel (mit Ausnahmen in NRW und Berlin) gibt es nur eine <b>Technische Prüfstelle</b> pro Bundesland.</p> <p>In den westlichen Bundesländern sind das die technischen Überwachungsvereine (TÜV), in den fünf "neuen", östlichen Bundesländern stellt DEKRA die <b>Technische Prüfstelle</b></p>
<b>Bei einer amtlich anerkannten Überwachungsorganisation</b>	<p>Die <b>amtlich anerkannte Überwachungsorganisation</b> ist eine Institution, die - wenn sie bestimmte Voraussetzungen erfüllt - von der jeweiligen Landesregierung ermächtigt / betraut wird, hoheitliche Tätigkeiten im Rahmen der KFZ-Überwachung durchzuführen.</p> <p>Die aaÜOen dürfen also die entsprechenden Tätigkeiten durchführen, sind dann aber für Zuverlässigkeit und regelmäßige Aus- und Weiterbildung ihrer Mitarbeiter (PlaaÜO) verantwortlich.</p> <p>Beispiele für aaÜOen sind: DEKRA (im Westen), TÜV (im Osten), GTÜ, KÜS, GTS u.a.</p>

# Die Rolle des Sachverständigen

## Der Sachverständige zwischen naturwissenschaftlicher und juristischer Logik

Der KFZ-Sachverständige wird überwiegend als "Hilfskraft" in rechtlichen Angelegenheiten eingeschaltet. Er darf dabei aber als Techniker keine juristischen Würdigungen vornehmen. Er muss daher in der Lage sein, Schlussfolgerungen technisch-naturwissenschaftlicher Art von juristischen Würdigungen zu unterscheiden und beide "Denkweisen" zu verstehen.

Die naturwissenschaftliche Logik beruht auf Gesetzmäßigkeiten, die vom menschlichen Geist zwar ergründet, verstanden und genutzt, jedoch nicht manipuliert werden können. Naturgesetze gelten unabhängig von Staat, Gesellschaftsform, Religionsgemeinschaft, Intellekt des Einzelnen und momentaner "Stimmungslage".

Die juristische Logik beruht auf Gesetzen, die - mehr oder weniger willkürlich - von Menschen "gemacht" sind. Sie sind dem Zeitgeist und Selbstverständnis des jeweiligen Kulturkreises eng verhaftet und daher in der Regel nicht allgemein gültig. Sowohl die Gesetzeslage in verschiedenen Ländern, als auch die Auslegung verbindlich formulierter Rechtsnormen durch verschiedene Gruppen oder Einzelpersonen kann erheblich von einander abweichen. Eine besondere Eigenschaft "künstlicher" Gesetze ist ihre Abhängigkeit von Machtverhältnissen sowohl bei der Entstehung, als auch bei der "Auslegung" und Einhaltung. Im Gegensatz zu Naturgesetzen können von Menschen gemachte Gesetze auch gebeugt, mißachtet und übertreten werden.

Rechtliche Normen sind in der Regel hierarchisch geordnet, d.h. es gibt "höher wertige" Normen, mit deren vorgegebenem Rahmen sich die daraus abgeleiteten "niedriger wertigen" Normen in Einklang bringen lassen müssen.

Das Wissen um diesen Unterschied gehört zum "Sachverstand" wie die technische Fachkompetenz. Der Sachverständige kann in seinem Gutachten, wenn es sachdienlich ist, auf unterschiedliche juristische Auffassungen hinweisen, er darf aber nicht selbst juristische Schlussfolgerungen ziehen.

Dass dies mitunter nicht ganz einfach ist, zeigt eine typische Frage eines Gerichts an den Sachverständigen: „**Ist / war die Betriebserlaubnis des Fahrzeugs XXX erloschen?**“

Die direkte Antwort darauf ist automatisch eine juristische Würdigung im Sinne des § 19(2) StVZO. Der Sachverständige kann zwar klären, ob die technischen Hintergründe zu Erhalt oder Erlöschen der BE vorliegen, die Antwort auf die gestellte Frage sollte aber letztendlich sinngemäß immer lauten: „**Aus technischer Sicht und vorbehaltlich einer abweichenden juristischen Würdigung ist / war die BE des Fahrzeugs XXX damit (nicht) erloschen.**“

## Vollständigkeit der sachverständigen Überlegungen

Der Gutachter / Sachverständige sollte - unabhängig von der Auftragslage - bei der Vorbereitung des Gutachtens (zumindest für die eigenen Unterlagen) sowohl die Anforderungen des Zivil- als auch die des Strafverfahrens berücksichtigen. Im Gutachten soll er zwar alle für die Fragestellung relevanten Aspekte diskutieren, er darf aber nicht ohne gute Begründung und gegebenenfalls erst nach Rücksprache mit dem Auftraggeber über seinen Auftrag hinaus gehen.

## Der Sachverständige im Zivilprozeß

Im Zivilprozeß geht es darum, ob ein Kläger als Auslöser des Verfahrens nachweisen kann, dass sein vorgetragener Anspruch gegen den Beklagten "zu Recht" besteht. Dazu ist einerseits eine gesetzliche Anspruchsgrundlage erforderlich, andererseits muss der Sachverhalt des konkreten Falls die Bedingungen dieser Anspruchsgrundlage erfüllen.

Im Zivilprozeß gilt zunächst grundsätzlich

### **"Der Kläger muss seine Behauptungen beweisen"**

Das Gericht kann auch die Behauptungen der Beklagtenseite in einen Beweisbeschuß aufnehmen. Gegenstand des Zivilprozesses ist aber nur, was von den Parteien explizit vorgetragen wird. Eine Behauptung, die nicht bestritten wird, gilt als zutreffend. Wenn eine Partei aus Unwissenheit oder Nachlässigkeit einen wichtigen Punkt nicht vorträgt, bleibt er in der Regel unberücksichtigt.

**Ausnahme:** wenn der Punkt zwangsläufig erörtert werden muss, weil ohne ihn eine der vorgetragenen Behauptungen nicht bewiesen oder entkräftet werden kann.

Der Sachverständige muss versuchen, einen Beweis für die Richtigkeit der in Frage gestellten Behauptungen zu finden, oder er muss begründen, warum die jeweilige Behauptung nicht zu beweisen ist; dazu genügt es, zu zeigen, dass auch eine andere Variante als die klägerische (z.B. die Variante der Beklagten) widerspruchsfrei nachvollziehbar ist.

## Der Sachverständige im Strafprozess

Im Strafprozess geht es darum, ob einem Beschuldigten eine Tat oder eine Unterlassung nachgewiesen werden kann, für die der Staat durch eine rechtliche Regelung Sanktionen vorsieht. "Kläger" ist hier also der Staat, auch er muss seine Anklage beweisen.

Im Strafprozess gilt grundsätzlich

### **"IN DUBIO PRO REO"**

d.h. im Zweifel für den Angeklagten

Der Rechtsstaat hat nur dann einen Anspruch auf Sanktionen (z.B. Freiheitsstrafe, Geldstrafe oder Bußgeld) gegen einen Bürger, wenn er ihm zweifelsfrei nachweisen kann, dass er gegen ein Gesetz dieses Staats verstoßen hat und dass dieser Verstoß auch mit entsprechenden Sanktionen bedroht ist.

Der Sachverständige muss daher die für den Angeklagten, Beschuldigten oder Betroffenen günstigste "Lösung" des Falls - einschließlich der hierfür gesetzten Prämissen - darlegen, er darf aber weder das Vorhandensein, noch die Auswirkungen "ungünstiger" Prämissen verschweigen, um dem Juristen eine möglichst umfassende Beurteilungsgrundlage zu liefern.

## **Aggregate, Mängel und Schäden**

### **Wozu benötigt man technische Gutachten zu Aggregateschäden?**

- Zur Beweissicherung: Ist ein Mangel oder Defekt überhaupt vorhanden oder nicht?
- Zur Differenzierung: Handelt es sich bei den beobachteten Symptomen um (normalen) Verschleiß oder um einen Defekt?
- Zur Rechnungsprüfung: wurden berechnete Arbeiten tatsächlich ausgeführt? Waren die durchgeführten Arbeiten erforderlich / sinnvoll?
- Zur Klärung möglicher Zusammenhänge zwischen ausgeführten (Reparatur-) Arbeiten und eingetretenen Schäden.
- Zum Nachweis der Bemerkbarkeit zu einem früheren Zeitpunkt:
  - wusste der Vorbesitzer bei einem Gebrauchtwagenkauf von dem Mangel?
  - hätte es der (Zwischen-) Händler bei verständiger Beurteilung wissen müssen?
- Zur Klärung, ob zugesicherte Eigenschaften wie zum Beispiel Verbrauch oder Motorleistung auch tatsächlich vorliegen.

### **Welche Baugruppen eines Fahrzeugs bieten z.B. Anlass zu einem Gutachtenauftrag?**

#### **Motor**

- Ottomotor, Dieselmotor, Bivalenter Motor (Gasantrieb), Elektromotor
- Kraftstoff- / Energiezufuhr, Luft- und Kraftstofffilter, Gemischaufbereitung, Elektrik
- Abgassystem, Turbolader, Schalldämpfer
- Motorsteuerung, Zylinderkopf, Zündung, Kolben / Zylinder,
- Kurbeltrieb / Lagerungen, Schmierung, Ölfilter
- Kühlsystem, Heizung, Klimaanlage

#### **Kupplung**

- Einscheiben-, Mehrscheibenkupplung, Zweimassen-Schwungrad, Lagerung

#### **Getriebe**

- Schaltgetriebe, automatisiertes Schaltgetriebe, Automatikgetriebe, Steuerung

#### **Differential**

- Achsdifferential, Zentraldifferential, Differentialsperre

## Motorleistung, Definitionen, Historie

Motorleistung nach DIN 70020

Obwohl die „Pferdestärke“ (PS) in Deutschland seit Ende 1977 keine gesetzliche Einheit im Messwesen mehr ist, hat sie sich vor allem bei Verbrennungskraftmaschinen, speziell bei Fahrzeugen, im allgemeinen Sprachgebrauch erhalten.

1 DIN PS ist definiert als diejenige Leistung, die erbracht werden muss, um einen Körper mit der Masse  $m = 75 \text{ kg}$  auf der Erde (bei Erdbeschleunigung  $9,80665 \text{ m/s}^2$ ) in einer Sekunde um einen Meter anzuheben.

Seit 01.01.2010 darf die Motorleistung in der gesamten EU nur noch in der SI-Einheit kW angegeben werden.

$$1 \text{ PS} = 75 \text{ kpm/s} = 735,4987 \text{ W} \approx 0,735 \text{ kW}$$

$$\text{oder: } 1 \text{ kW entspricht } 1,36 \text{ PS}$$

Die Motorleistung nach DIN wurde unter Berücksichtigung aller Nebenaggregate (Lüfter, Lichtmaschine, Wasserpumpe, Ölpumpe, Luftfilter, Ansaugfilter, Auspuff) bei einem Luftdruck von 1013 hPa und einer Umgebungstemperatur von 20 °C bestimmt.

### Amerikanische SAE-PS

Bei der Ermittlung der Motorleistung nach der SAE-Norm (Society of Automotive Engineers) wurde die Leistung des Motors bis 1970 ohne Belastung durch Nebenaggregate wie Wasserpumpe, Ölpumpe, Lichtmaschine, Ansaugfilter, Auspuff und bei anderen Werten für Temperatur, Luftdruck und Luftfeuchtigkeit als bei DIN ermittelt. Da die einzelnen Aggregate unterschiedlich viel Leistung aufnehmen, gibt es zwischen DIN-PS und den alten SAE-Werten keinen einheitlichen Umrechnungsfaktor. Für den gleichen Motor lagen die Angaben in SAE-PS um 10–20% höher als bei DIN-PS.

Seit 1971 wird auch in den USA die Leistung nach der SAE-Norm mit Nebenaggregaten und Zubehör ermittelt. Die so bestimmten Werte unterscheiden sich nur noch geringfügig um einen Wirkungsgrad-Korrekturwert von den Angaben nach DIN.

$$\text{(Faustregel: } 1 \text{ SAE-PS} \approx 1,02 \text{ DIN-PS)}$$

## Ermittlung der Motorleistung

... auf dem Leistungsprüfstand

Heute wird die Motorleistung in der EU nach der Richtlinie 80/1269/EWG ermittelt, diese entspricht im Wesentlichen der ECE-R 85. Dabei wird ein anderer Luftdruck und eine andere Referenz-Temperatur als in der DIN zugrunde gelegt.

Korrekturen der gemessenen Leistung um die Leerlaufleistung von Anbauaggregaten sind zulässig, wenn der Motor für den Betrieb eine Ausrüstung / Anbauteile benötigt, die nicht den Normbedingungen entspricht. (z.B. Getriebe, Kompressor für Bremsen / Fahrwerk, Servopumpe für Lenkhilfe o.ä.)

Bei Abweichung der atmosphärischen Randbedingungen von den Normbedingungen sind bestimmte festgelegte Korrekturfaktoren anzuwenden

Bei der Prüfung der Übereinstimmung zwischen der Bauartgenehmigung und der Produktion – also letztendlich auch im Betrieb – muss die Leistung bei zwei Drehzahlen S1 (Nennleistung) und S2 (maximales Drehmoment) gemessen werden. Bei diesen beiden Drehzahlen darf die ermittelte Leistung um nicht mehr als  $\pm 5\%$  von dem der Bauartgenehmigung zugrundeliegenden Wert abweichen.

Die Motorleistung müsste eigentlich auf einem speziellen Motorenprüfstand am ausgebauten Motor gemessen werden.

Da auf einem Rollenprüfstand die Leistung am Rad abgenommen wird, muss zusätzlich die Schleppleistung ermittelt werden, die auf dem Weg vom Motor über den Antriebsstrang zum Rad verloren geht.

Die eigentliche Motorleistung ergibt sich dann aus der Summe von Radleistung und Schleppleistung.

Beispiel eines Leistungsmessprotokolls auf dem Rollenprüfstand der Fa. Atterer in Senden:

### LEISTUNGS-DIAGNOSE

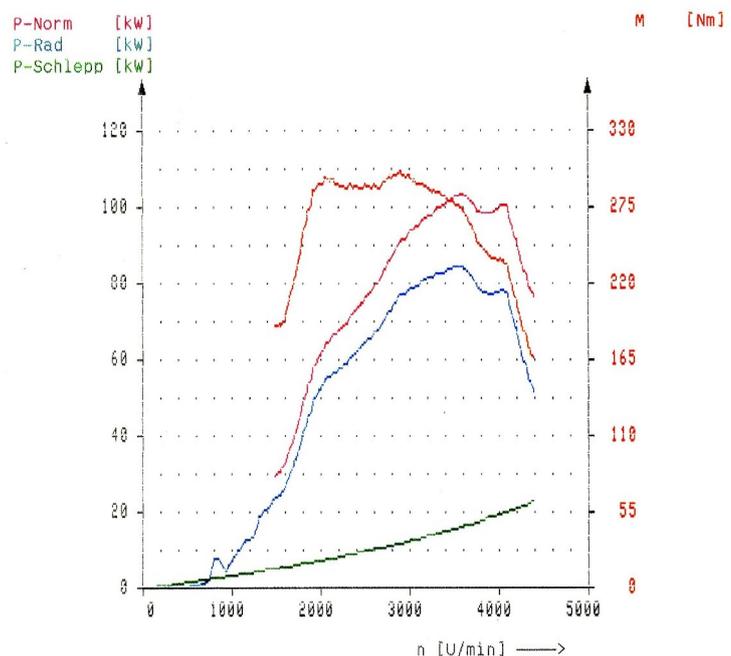
Bosch Service Atterer  
Friedrich-List Str.10  
89250 Senden

KFZ-Typ : KIA CARNIVAL  
Motor-Typ : Diesel Motor  
Kennzeichen : NU-DN 627  
Prüfer : AR

Datum : 18.09.07

Uhrzeit : 11:17

Programm-Version V 1.40 Reqler-Version V 1.10 Meßbox-Version V 1.05



### LEISTUNGS-DATEN:

Norm-Leistung P-Norm : 103,5 kW (140,7 PS) nach DIN 70020  
Motorleistung P-Mot : 101,0 kW (137,3 PS)  
Radleistung P-Rad : 84,5 kW (114,9 PS)  
Schleppleistung P-Schlepp : 16,5 kW (22,4 PS)  
Maximale Leistung bei 121 km/h bzw. 3620 U/min

Drehmoment M : 301 Nm  
Maximales Drehmoment bei 97 km/h bzw. 2900 U/min

Maximale Geschwindigkeit : 148 km/h  
Maximale Drehzahl : 4430 U/min

Luftdruck : 957 mbar Lufttemperatur : 13 °C  
Druck 1 : 0 mbar Öltemperatur : -- °C  
Druck 2 : 0 mbar Abgastemperatur : --- °C

## Ermittlung der Motorleistung

... über die Höchstgeschwindigkeit:

Da die bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit eines Fahrzeugs – bei sonst unverändertem Fahrzeug – in erster Linie von der Motorleistung abhängt, kann eine erste Aussage darüber, ob die Motorleistung mit den Herstellerangaben in Etwa übereinstimmt, auch durch eine Messung der erreichbaren Geschwindigkeit getroffen werden. Zweckmäßigerweise wird hierfür heute eine – hinreichend genaue – GPS-basierte Geschwindigkeitsmessung vorgenommen.

Bei einer Messung mit dem fahrzeugeigenen Geschwindigkeitsmesser ist zu berücksichtigen, dass dessen Anzeige relevant über der tatsächlichen Geschwindigkeit liegen kann. Eine niedrigere Anzeige ist nicht zulässig.

## Zulässige Tachoabweichung

... nach §57 StVZO (bis 31.05.1990):

Die Tachoanzeige durfte im gesamten erreichbaren Geschwindigkeitsbereich um bis zu 7% vom Endwert der Anzeigeskala über dem tatsächlichen Wert liegen.

Beispiel: Tacho-Endwert = 200 km/h, zulässige Abweichung: + 14 km/h  
tatsächliche Geschwindigkeit: 120 km/h  
zulässige Tachoanzeige: zwischen 120 km/h und 134 km/h

... nach 75/433/EWG bzw. ECE-R39 (ab 01.06.1990)

Die Tachoanzeige darf um (10 % + 4 km/h) über dem tatsächlichen Wert liegen  
geprüft wird das bei 40 km/h, 80 km/h und 120 km/h  
(inwieweit die Vorschrift auch außerhalb dieses Bereichs anzuwenden ist, ist strittig).

also: maximal zulässiger Anzeigewert =  $1,1 \times$  tatsächliche Geschwindigkeit + 4 km/h

Beispiel: tatsächliche Geschwindigkeit: 120 km/h  
zulässige Tachoanzeige: zwischen 120 km/h und 136 km/h

# Verbrauchsmessungen, Kraftstoff und Betriebsmittel

## Kraftstoffverbrauch

Für viele Autokäufer sind die mit dem neuen Fahrzeug zu erwartenden Betriebskosten und damit auch der Kraftstoffverbrauch ein wichtiges Entscheidungskriterium.

Die Festlegung des Kraftstoffverbrauchs bei der EG-Typgenehmigung soll einen Vergleich der Fahrzeuge unter genormten Bedingungen ermöglichen.

Da der Kraftstoffverbrauch eines Fahrzeugs aber von vielen Faktoren abhängt, die der Käufer / Fahrer gar nicht oder nur eingeschränkt beeinflussen kann (Topographie, Kurz- oder Langstreckenverkehr, Witterungsbedingungen, Stop-and-Go-Verkehr, Kraftstoffqualität, Fahrstil usw.) und die Normbedingungen im realen Fahrbetrieb kaum einzuhalten sind, weicht der tatsächliche Verbrauch eines Fahrzeugs in der Regel mehr oder weniger stark vom angegebenen Normverbrauch ab.

Dies führt häufig zu Reklamationen der Käufer, insbesondere wenn der eigene Verbrauch deutlich über dem „versprochenen“ Normverbrauch liegt.

Bei der Angabe und Überprüfung des Kraftstoffverbrauchs sind immer die (rechtlichen) Rahmenbedingungen zu berücksichtigen, nach denen die Herstellerangaben ermittelt wurden / werden.

### Historie:

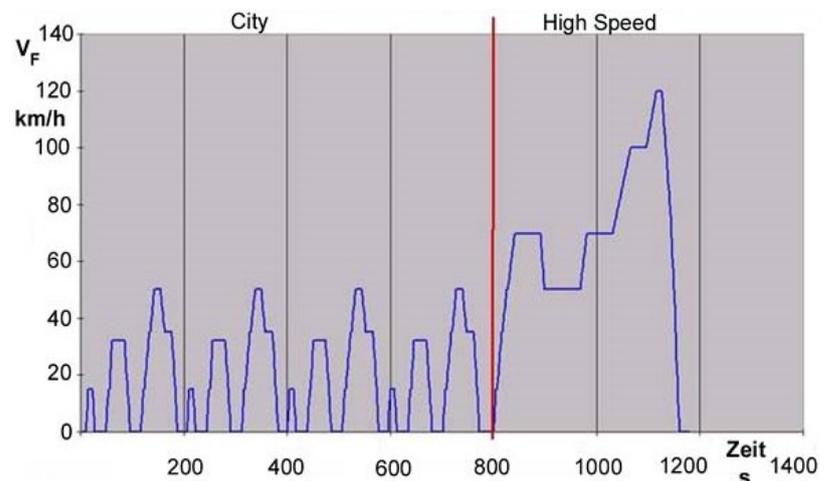
Die viel zu günstigen Verbrauchsangaben nach der alten DIN 70020 wurden 1978 in Europa durch den sogenannten „Drittmix“ ersetzt. An den Abgaszyklus, der den innerörtlichen Verkehr simulieren soll, wurden zwei weitere „Zyklen“ angehängt, beide genau so lang, wie der Stadtzyklus: konstant 90 km/h für Landstraßen- und konstant 120 km/h für Autobahnverkehr. Die über die drei Abschnitte gemittelte Geschwindigkeit betrug 76 km/h.

1996 wurde dann in Deutschland der sogenannte „Neue Europäische Fahrzyklus“ (NEFZ) nach EG-Richtlinie eingeführt. Der Stadtzyklus blieb erhalten, die beiden Konstantfahrten bei 90 km/h und 120 km/h wurden aber durch einen kurzen „Schnellfahrzyklus“ ersetzt; er enthält Beschleunigungsphasen, kurzzeitig wird Tempo 120 km/h erreicht.

Mit einer mittleren Geschwindigkeit von nur 33,6 km/h war dieser NEFZ sehr langsam. Die zugrunde liegenden Rechtsnormen haben sich zwischenzeitlich wiederholt verändert.

Zuletzt (bis August 2017) galt die VO (EG) Nr. 692 / 2008 Anh. VII, Anlage 3, die wiederum auf den Fahrzyklus der ECE-R 83 Anh. 4, Anl. 1 verwies. Dieser entsprach der Richtlinie 80/1268/EWG.

Die Abbildung zeigt für den entsprechenden Fahrzyklus den Geschwindigkeitsverlauf über der Zeit.



**Normverbrauchszyklus gemäß ECE-R 83 Anh. 4, Anl. 1 (bzw. Richtlinie 80/1268/EWG)**

	Anzahl Zyklen	Wegstrecke [m] pro Zyklus	Zeit [Sek] pro Zyklus	Durchschnittsgeschwindigkeit [m/s]	Durchschnittsgeschwindigkeit [km/h]
Stadt	4	1013	195	5,19	18,70
außerstädtisch	1	6955	400	17,39	62,60
kombiniert	1	11007	1180	9,33	33,58

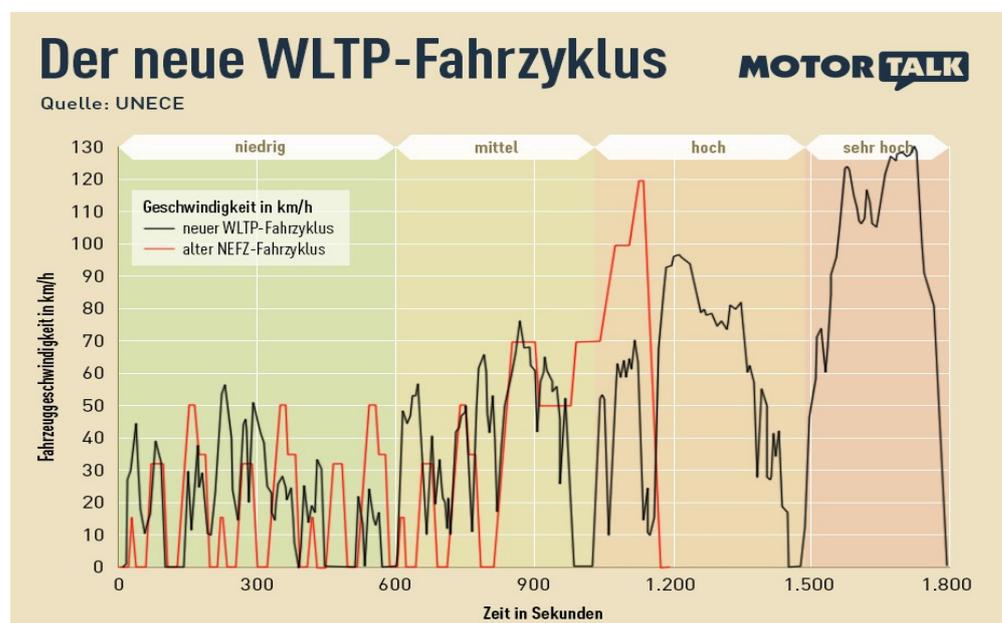
Seit 1. September 2017 ist in der EU (eigentlich) der sogenannte *Worldwide harmonized Light vehicles Test Cycle* (WLTC) vorgeschrieben. Dieser soll realitätsnähere Angaben als bisher liefern, ist aber auch wesentlich komplexer und entsprechend aufwändiger durchzuführen. So ist zum Beispiel neben einem reinen Prüfstandstest auch ein Versuch im realen Fahrbetrieb vorgeschrieben.

Zudem sind für verschiedene Typen und auch für verschiedene Ausführungen eines Typs eigene Randbedingungen zu berücksichtigen. Wegen Anlaufschwierigkeiten konnte das neue Testverfahren nicht von allen Herstellern von Anfang an verwendet werden, bei verschiedenen Fahrzeugserien wurde die Auslieferung verzögert, bis die komplexen Randbedingungen für die entsprechenden Modelle geschaffen werden konnten.

Die folgende Tabelle zeigt eine Auswahl von Unterschieden zwischen WLTP und NEFZ:

Messwert	WLTP (WLTC)	NEFZ (NEDC)
Starttemperatur 25° C	Kaltstart	Kaltstart nach 40 s
Zykluszeit	30 min.	20 min.
Standzeitanteil	13 %	25 %
Zykluslänge	23.250 m	11.000 m
Geschwindigkeit mittel	46,6 km/h	34 km/h
Höchstgeschwindigkeit	131 km/h	120 km/h
Antriebsleistung mittel	11 kW	7 kW
Antriebsleistung maximal	42 kW	34 kW
	Keine Klimaanlage.	
Einfluss von Sonderausstattung und Klimatisierung	Sonderausstattungen für Gewicht, Aerodynamik und Bordnetzbedarf (Ruhestrom) werden berücksichtigt	Keine Berücksichtigung

Das nebenstehende Diagramm zeigt die Unterschiede zwischen WLTP u. NEFZ bei den prüfstandsgebundenen Fahrzyklen



Die Beurteilung des Verbrauchs unter Realbedingungen ist nur durch eine Testfahrt möglich. Dabei können z.B. die Auswirkungen der Umgebungsbedingungen und des Fahrstils plausibilisiert werden.

Die Frage, ob ein Fahrzeug „zuviel verbraucht“, kann aber letztendlich nur über einen Prüfstandsversuch unter den selben Bedingungen wie bei der Typgenehmigung geklärt werden.

Nebenbei bemerkt:

Es gibt durchaus auch unterschiedliche Betrachtungsweisen zum Kraftstoffverbrauch:

In Europa ist die Angabe des Verbrauchs in Litern pro 100 km üblich.

In den USA wird nicht der Verbrauch, sondern die Reichweite angegeben (miles per gallone)

## Ölverbrauchsermittlung allgemein:

- Referenzmaß ermitteln, Betriebsanleitung des Herstellers (i.d.R. 0,5 bis 1,5 l/1000 km) / Randbedingungen berücksichtigen / Kurzstreckenbetrieb / extreme klimatische Verhältnisse, Ölwechselintervalle.
- Verbrauchsmessung durch auslitern
- Verbrauchsmessung durch wiegen
- Verbrauchsmessung am Ölmesstab (bei PKW i.d.R. 1 Liter zwischen Minimum- und Maximum-Markierung, aber wegen Form der Ölwanne und der darin befindlichen Teile i.d.R. kein linearer Zusammenhang)
- Öl-“Zunahme“ durch Verdünnung mit Kraftstoff (Dieselfahrzeuge mit Partikelfilter)
- Beispiel: Ölverdünnung am Beispiel Mazda 626, 2,0 l-Kombi-Limousine

## Ölverbrauch früher und heute:

- früher wurde ein Ölverbrauch von 1 – 2 % des Kraftstoffverbrauchs als normal betrachtet
- heute geht man bei luftgekühlten Motoren von maximal 0,5 – 0,7 %, und bei wassergekühlten Motoren von maximal 0,3 – 0,5 % des Kraftstoffverbrauchs aus.

## Ölwechselintervalle:

- Bei modernen Nutzfahrzeugmotoren (z.B. Iveco Stralis) werden Ölwechsel erst nach einer Laufleistung von 100000 km (mit mineralischen Ölen) bzw. von 150000 km (mit teilsynthetischen Ölen) vorgeschrieben. Ein Nachfüllen ist dabei nicht erforderlich.  
Die Differenz zwischen Minimum- und Maximum-Markierung liegt hier bei 5 Litern
- Auch bei PKW gibt es (je nach Motortyp) eine Tendenz zu immer längeren Ölwechselintervallen
- Kühlwasserverbrauch
- Sonstige Betriebsmittel (für Partikelfilter, Gasbetrieb (flashlube))

Laboranalysen von sichergestellten Proben werden i.d.R. nicht vom beauftragten Sachverständigen selbst, sondern von einem Speziallabor im Unterauftrag durchgeführt.

- Ölanalyse: Untersuchungen auf Basenzahl und Verunreinigungen durch Metallabrieb, Kraftstoffverdünnung oder Wasser
- Kraftstoffanalyse: Untersuchungen auf Verunreinigungen und Beimischungen von Fremdkraftstoffen; Diesel im Benzin / Benzin im Diesel

### **Probleme mit alternativen Kraftstoffen:**

- Gasbetrieb: Ventile, Ventilsitze, hoher Zündkerzenverschleiß, nicht ausreichende Zündspannung, Motorruckeln
- Biodiesel / Pflanzenöl: verklebte Einspritzdüsen und Kolbenringe, eingedicktes Motoröl
- E10 hydroskopisch, greift Aluminium an, greift Kunststoffe und Dichtungen an

### **Fabrikneuer Motor / Austauschmotor / generalüberholter Motor**

#### **Definitionen ?**

- Zu diesen Begriffen gibt es keine allgemeinverbindliche Definition!
- Es liegen aber juristische Definitionen aus verschiedenen Urteilen vor, die zum Teil auf die Definition des RAL verweisen. (Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung, ehemals Reichs-Ausschuß für Lieferbedingungen)

#### **RAL-GZ 797**

=> **Definition der Gütegemeinschaft der Motoreninstandsetzungsbetriebe e.V.**

#### **- Generalüberholter Motor**

sowohl der Instandsetzungsweg, als auch die – unabhängig vom Verschleißzustand der Alteile – zu verwendenden Neuteile (in Herstellerqualität) sind genau festlegt.

#### **- Austauschmotor**

beim Hersteller selbst „generalüberholter Motor“

## Auszüge aus der RAL-GZ 797

- Am Anfang jeder Generalüberholung steht die vollständige Demontage des Aggregats.
- Anschließend wird jedes Teil gereinigt und auf seinen Verschleiß- oder Beschädigungszustand kontrolliert.
- Alle Verschleißteile werden durch Neuteile ersetzt.
- Andere geschädigte Bauteile werden dahingehend überprüft, ob sie nach einer fachgerechte Instandsetzung wiederverwendet werden können oder ebenfalls durch Neuteile ersetzt werden müssen.
- Die Zylinder werden auf einen neuen, vom Hersteller vorgegebenen Durchmesser aufgebohrt und gehont, um die zylindrische Form der Kolbenlaufbahn und die gewünschten Oberflächeneigenschaften wieder herzustellen.
- Die Kompressionsfläche wird so geplant, dass die Abdichtung zum Zylinderkopf sichergestellt ist.
- Die Grundbohrung für die Kurbelwellenlagerung wird vermessen, und falls erforderlich, nachbearbeitet. Damit wird erreicht, dass Maße, Form und die Ausrichtung der Lager wieder genau stimmen.
- Der Zylinderkopf wird mit Spezialprüfgeräten auf feinste Risse überprüft und gegebenenfalls ausgemustert, da nur einwandfreie Zylinderköpfe aufgearbeitet werden.
- Bei allen wiederverwendeten Zylinderköpfen wird genau wie am Zylinderblock die Dichtfläche für die Kopfdichtung bearbeitet.
- An allen Zylinderköpfen werden die Ventilführungen, Ventilsitzringe und Ventile erneuert.
- Bevor ein Zylinderkopf wieder eingesetzt wird, werden z. B. Kipphebel, Kipphebelwellen, Lagerbuchsen, Ventildfedern, Stößel und Tassen geprüft, bearbeitet oder ersetzt.
- Mit Vakuumtestern wird die Dichtheit der Ventile überprüft. Dadurch können eine hohe Leistung und eine lange Lebensdauer von Ventilen und Ventilsitzringen garantiert werden.
- Jede Kurbelwelle wird aufwendig gereinigt und einer elektromagnetischen Rissprüfung unterzogen, wobei mit Hilfe von UV-Licht auch die feinsten Risse sichtbar werden.
- Jede Welle wird auf Härte und Schlag geprüft und – falls erforderlich - gehärtet.
- Nach den Vorgaben des Herstellers werden die Lagerzapfen im Hinblick auf Radien, Toleranzen, Reparaturstufen und Oberflächenrauheit präzisionsgeschliffen und poliert.
- Anschließend wird die Kurbelwelle feingewuchtet.
- Die Pleuelstangen werden vollständig überarbeitet, d.h. die Grundbohrungen werden gehont, die Pleuelbuchsen werden erneuert, die Pleuel werden einer Gewichtsprüfung und einer Überprüfung der Winkligkeit unterzogen.
- Alle Lager und Pleuelschrauben werden grundsätzlich erneuert.
- Die Nockenwelle wird sorgfältig überprüft und – sofern erforderlich und möglich - nachgearbeitet. Wenn dies nicht mehr möglich ist, wird die Nockenwelle gegen ein Neuteil ausgetauscht.
- Alle Nebenaggregate wie Turbolader, Einspritz-, Wasser-, Kraftstoffförder-, Öl- und Hydraulikpumpen, außerdem Kühlgebläse und Ölkühler, und bei älteren Benzinmotoren Vergaser und Verteiler werden gereinigt, überprüft und nach Bedarf instandgesetzt oder erneuert.
- Komplizierte und empfindliche Baugruppen werden auf speziellen Prüfständen kontrolliert.
- Bevor der Motor wieder zusammen gebaut wird, werden auch die Ölkäule geöffnet, um auch die letzten Schmutzpartikel und Bearbeitungsrückstände zu entfernen.
- Erst im Anschluss daran wird der Motor streng nach den Qualitätsvorschriften, die auch für die Motorenhersteller gelten, wieder zusammen montiert.
- Beim Abschlusstest auf dem Leistungsprüfstand werden alle Funktionen des fertig montierten Motors getestet.
- Erst nach erfolgreichem Prüfstandslauf wird der Motor als „generalüberholt“ freigegeben und (wieder) an den Kunden ausgeliefert

## Wie lange halten Motoren?

- Moderne Motoren können bei regelmäßiger Wartung und nicht zu extremen Randbedingungen problemlos Laufleistungen von 150000 bis 300000 km erreichen. Beispiele mit noch deutlich höheren Laufleistungen gibt es genügend:
- Opel Ascona (von der Fachpresse vorgestellt) mit über 400.000 km
- BMW (vom Werks-Kundendienst gemeldet) mit über 500.000 km
- Mercedes W124 (Saugdiesel, im Automobilmuseum) mit über 1.000.000 km

## Fehlerquellen z.B. beim Filterwechsel, die zu Motorschäden führen können

- Dichtflächen nicht gereinigt
- Beschädigung des Filtergehäuses, Transportschäden
- Falscher Einbau / falsche Einbaulage / Durchflussrichtung nicht beachtet
- Falscher Filtertyp verwendet
- Nähere Infos: z.B. Broschüre der Firma Mahle

## Wissenswertes über Zündkerzen



### Elektrische Anforderungen

- Sichere Hochspannungsübertragung auch bei Zündspannungen bis 40.000 Volt
- Hohe Isolierfähigkeit auch bei Temperaturen von 1.000 °C, Vermeidung von Durch- und Überschlägen

### Thermische Anforderungen

- Beständigkeit gegen Thermoschocks (heiße Abgase – kaltes Ansaug-Gemisch)
- Gute Wärmeleitfähigkeit des Isolatorfußes und der Elektroden

### Mechanische Anforderungen

- Druck- und gasdichter Abschluss des Brennraums, Beständigkeit gegen oszillierende Drücke bis ca. 100 bar
- Hohe mechanische Festigkeit für einen sicheren Einbau

### Elektrochemische Anforderungen

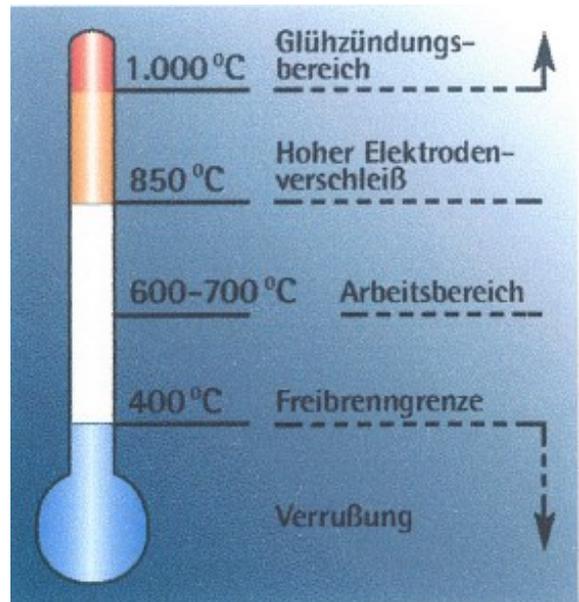
- Beständigkeit gegen Funkenerosion, Verbrennungsgase und -rückstände
- Vermeidung der Bildung von Ablagerungen auf dem Isolator

## Der Wärmewert

Der Wärmewert ist ein Maß für die thermische Auslegung einer Zündkerze. Er gibt die maximale thermische Belastbarkeit an, die sich an der Zündkerze im Gleichgewicht zwischen Wärmeaufnahme und -abgabe einstellt.

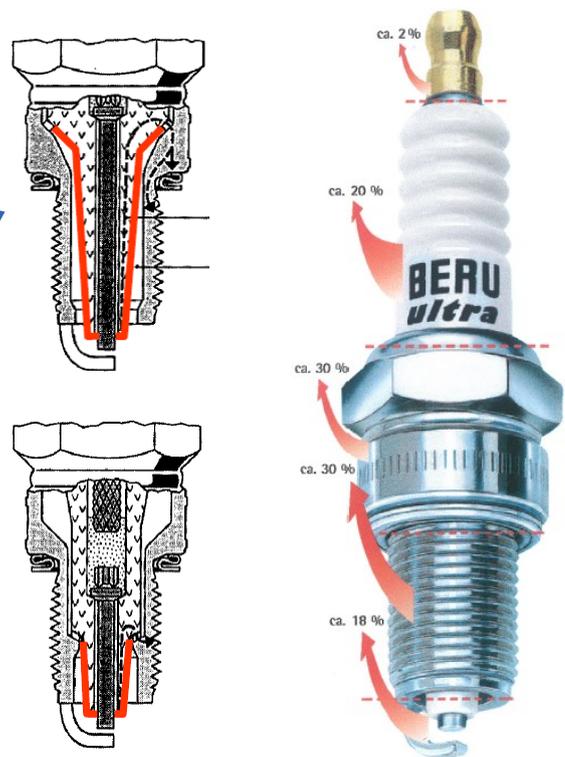
Bei der Auswahl einer Zündkerze ist der Wärmewert genau einzuhalten:

- Ist die Wärmewert-Kennziffer zu hoch (beispielsweise 9), kann die Kerze die entstandene Wärme nicht rasch genug ableiten. Das führt zu Glühzündungen; das heißt nicht der Zündfunke, sondern die zu heiße Kerze entzündet das Gemisch.
- Ist die Wärmewert-Kennziffer zu niedrig (beispielsweise 5), wird bei geringer Motorleistung die zur Selbstreinigung der Kerze nötige Freibrenntemperatur nicht erreicht. Folge: Zündaussetzer, erhöhter Verbrauch und steigende Emissionen.



Je höher die Motorleistung, desto höher ist meist auch die Brennraumtemperatur. Darauf muss die Kerze abgestimmt sein. Die Isolatorfußgröße beeinflusst maßgeblich die Wärmeaufnahme, die Wärmeableitung erfolgt über den Isolatorfuß, die Mittelelektrode und die innere Dichtung an den Kerzenkörper zum Zylinderkopf.

- Zündkerzen mit langem Isolatorfuß nehmen mehr Wärme aus dem Brennraum auf. Da sie auf dem langen Weg bis zum Kerzenkörper aber wenig Wärme abgeben können, nennt man sie heiße Zündkerzen.
- Zündkerzen mit kurzem Isolatorfuß nehmen weniger Wärme auf. Da sie auf dem kurzen Weg bis zum Kerzenkörper aber viel Wärme abgeben können, nennt man sie kalte Zündkerzen.



### Achtung:

Die Kennzeichnung für den Wärmewert ist nicht genormt, sie variiert von Hersteller zu Hersteller, eine hohe Kennzahl kann also eine warme oder eine kalte Kerze bezeichnen – und umgekehrt.

Bei Autogasbetrieb kann die Brenntemperatur bis zu ca. 200° höher sein, als mit Benzinbetrieb.

Schadenssymptom bei Autogasbetrieb:

überhitzte Zündkerze beim Betrieb mit Flüssiggas

Abhilfe:

Kerzen mit einem Wärmewert wählen, der um eine Stufe „kälter“ ist.



Ein falsches Anzugsmoment bei der Zündkerzenmontage kann zum Bruch der Kerzen, aber wegen falscher Flächenpressungen im Gewinde- und Anlagebereich auch zu einer veränderten Wärmeabfuhr und zu irregulären Temperaturen führen.

Beispiel der Fa. Beru zu richtigen Anzugsmomenten im Aluminium-Zylinderkopf in Abhängigkeit von Gewinde und Dichtsitz:

M 10x1	10...15 Nm	M 14x1,25	10...20 Nm
M 12x1,25	15...25 Nm	M 18x1,5	15...23 Nm
M 14x1,25	20...30 Nm		
M 18x1,5	20...35 Nm		

Gewinde darf nicht gefettet sein.

Bei Zündkerzen mit Faltdichtungsringen kann anhand der Verformung auch nachträglich das angewandte Anzugsdrehmoment ermittelt werden.

**Feststellung des Anzugsdrehmoments an der Verformung des Faltdichtungsringes bei Zündkerzen mit 14 mm Gewinde.**



Bei einer mit richtigem Drehmoment eingeschraubten Zündkerze weist der Dichtungsring noch eine Stärke von 1,59 mm - 1,29 mm auf.

Anhand der „Reststärke“ des Faltdichtungsringes kann der Anzugsdrehmoment ermittelt werden.

1,61 mm	10 Nm	1,22 mm	60 Nm
1,59 mm	20 Nm	1,20 mm	70 Nm
1,29 mm	30 Nm	1,19 mm	80 Nm
1,25 mm	40 Nm	1,17 mm	90 Nm
1,24 mm	50 Nm	1,15 mm	100 Nm

Ähnliches gilt auch für **Glühkerzen**, Montagewerte nach BERU:

M 12	22 Nm	45 Nm
M 10	15 Nm	35 Nm
M 9	12 Nm	22 Nm
M 8	10 Nm	20 Nm

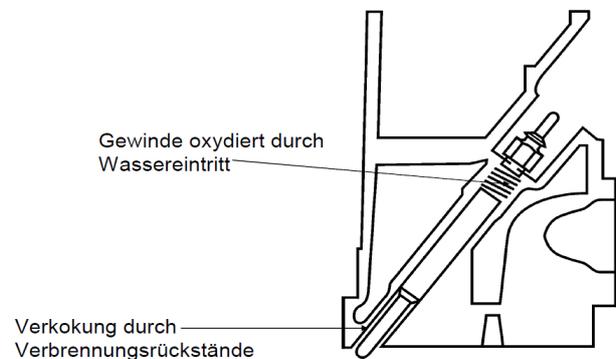
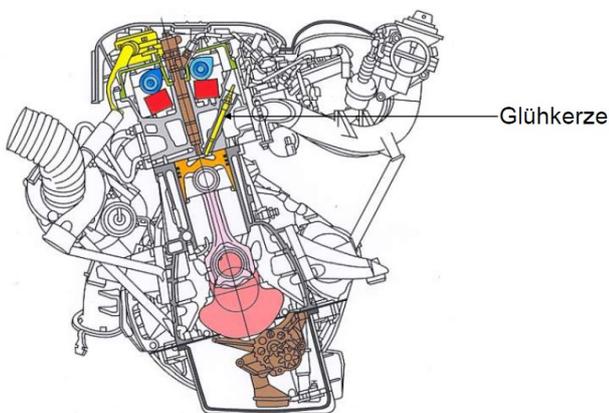
## Schadenbild Glühkerze (Quelle Beru)

Durch Wassereintritt beschädigte Glühkerze.



Kann durch Einfetten des Schaftes und des Gewindes mit GKF 001 verhindert werden.

Beispiel:  
ältere Mercedes CDI-Motoren



## Problemfall Turbolader?

### *Was ist gut für den Turbolader?*

Die Lebensdauer eines Turboladers korrespondiert in der Regel mit der Lebensdauer des Motors. Dazu sind aber insbesondere folgende Servicevorschriften des Motorenherstellers genau zu befolgen:

- regelmäßige Ölwechselintervalle
- regelmäßige Wartung der Ölfilteranlage
- regelmäßige Kontrolle des Öldruckes
- regelmäßige Reinigung der Luftfilteranlage

Darüber hinaus benötigt der Lader keine besondere Wartung und Pflege.

### **Was ist schlecht für den Turbolader?**

90 % aller Turboladerschäden entstehen durch folgende Ursachen:

- Eindringen von Fremdkörpern in die Turbine oder den Verdichter
- Schmutz im Öl
- Mangelnde Ölversorgung (Öldruck / Filteranlage)
- z.B. auch Abstellen des Motors (und damit der Ölversorgung) kurz nach hohen Drehzahlen (z.B. Gasgeben im Leerlauf / Stillstand)
- Überhöhte Abgastemperaturen (Zündanlagen / Einspritzanlagen)

Diese Schäden sind durch regelmäßige Wartung vermeidbar (s.o.). Bei Wartungsarbeiten, z.B. am Luftfiltersystem, ist immer darauf zu achten, dass kein Fremdkörper in den Turbolader gelangen kann.

### **Fehlerdiagnose**

Wenn der Motor einmal nicht richtig läuft, sollte man mit der Fehlersuche nicht beim Turbolader beginnen. Oft werden voll funktionstüchtige Turbolader ausgetauscht, obwohl der Fehler nicht hier, sondern an einer anderen Stelle des Motors liegt. Vor Beginn der Fehlersuche am Turbolader sollten folgende Punkte überprüft werden:

Bei Leistungsverlust oder Schwarzrauch:

- ist die Luftfilteranlage verschmutzt?
- ist die Kompression des Motors zu gering?
- ist die Einspritzanlage in Ordnung?

Bei Blaurauch:

- funktioniert die Kurbelgehäuseentlüftung normal?
- sind die Kompressionsverhältnisse normal?
- ist das Zündkerzenbild normal?
- ist der Ölrücklauf in Ordnung?

### **Beispiel Turbolader-Schaden:**

unsachgemäße Reparaturarbeiten am Zylinderkopf



Turboladerschaden durch Verstopfung des Ölfilter-Ansaugbereichs mit Silikonstückchen, auf denen noch die Abdrücke des Zylinderkopfs erkennbar waren.

**Fehler im Kühlsystem** (Beispiel fehlerhaft gelieferter Tauschkühler, leider kein Bild):

- Ein defekter Kühler sollte durch ein Neuteil ersetzt werden.
- Nach der Montage ließ sich Kühlwasser nur äußerst langsam einfüllen.
- Bei der Überführung zum Kunden kam es wiederholt zum Aufleuchten der Temperaturkontrollleuchte.
- Das Fahrzeug wurde jeweils zum Abkühlen abgestellt.
- Später kam es dennoch zur Überhitzung des Motors und einem Zylinderkopfschaden
  
- Diagnose nach längeren Suchaktionen:
- Der untere Anschluss-Stutzen am (neuen) Kühler war verschlossen, so dass der Kühlkreislauf weder ordnungsgemäß befüllt werden konnte, noch die erforderliche Zirkulation im Betrieb gewährleistet war.

**Motorsteuerung, Nockenwelle, Ventiltrieb**

**Beispiel:** zunächst unerklärlicher Gewalttriss des Zahnriemens und Motorschaden

- was ist Ursache und was ist Auswirkung?
- hohl gebaute Nockenwellen bei VW-Audi-Motoren (V6 TDI) verfügen über separate Nockenlaufbahnen.
- diese können reißen und nach zunächst unauffälligem Betrieb teilweise ausbrechen
- die Teilstücke können sich in der Nockenwelle verkeilen und diese blockieren
- anschließend reißt der Zahnriemen

**Beispiel Ventilschaden:**

Nach dem Umbau eines Toyotamotors auf Gasbetrieb und Verkauf des Fahrzeugs an den Kläger kommt es zu Funktionsstörungen und Aufleuchten der Motorkontrollleuchte. Der Käufer will Schadenersatz vom Verkäufer / Autohaus.

Laut Beweisbeschluss des Gerichts waren folgende Fragen zu klären:

- Liegt am streitgegenständlichen Fahrzeug ein Defekt am Zylinderkopf vor?
- Lag die Ursache des Defekts bereits zum Zeitpunkt des Kaufvertragsabschlusses vor?
- War bereits bei Fahrzeugübergabe ein Nachjustieren der Ventile nicht mehr möglich?
- Stellt die fehlende Nachjustierbarkeit der Ventile den jetzt vorhandenen Schaden am Zylinderkopf dar?
- Ist die Gebrauchstauglichkeit des Fahrzeugs durch den Mangel am Zylinderkopf / Motor aufgehoben?
- Welche Kosten sind für eine ordnungsgemäße Mängelbeseitigung aufzuwenden?

Bei der Untersuchung wird zunächst festgestellt, dass insgesamt drei Auslassventile ein zu kleines Ventilspiel aufwiesen, das mit Ersatzteilen des Herstellers nicht mehr hätte nachgestellt werden können.



Nach der Demontage des Zylinderkopfs werden erhebliche, thermisch bedingte Beschädigungen der (nicht gehärteten) Ventilsitze und der Ventile selbst festgestellt.



### Ergebnis des Gutachtens:

- Am streitgegenständlichen Fahrzeug liegt ein Defekt am Zylinderkopf vor.
- Konkrete Hinweise darauf, dass die Ursache des Defekts bereits zum Zeitpunkt des Kaufvertragsabschlusses vorhanden war, liegen nicht vor.  
Dies kann aber auch nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden.
- Geht man davon aus, dass die Ventile letztmals vor der Übergabe mit neuen Tassenstößeln eingestellt worden sind, so war bei den drei Ventilen, bei denen bereits die dünnsten Tassenstößel des Herstellers verwendet wurden, keine weitere Einstellung mit Ersatzteilen des Fahrzeugherstellers mehr möglich.
- Die fehlende „Nachjustierbarkeit“ der Ventile stellt nicht den jetzt vorhandenen Schaden am Zylinderkopf dar. Sie ist lediglich eine Folge des eigentlichen Schadens. Dieser besteht darin dass die Auslassventile im Zylinderkopf des Fahrzeugs irreparabel geschädigt sind und dass auch der Zylinderkopf selbst dabei – augenscheinlich reparabel – beschädigt wurde.
- Die Gebrauchstauglichkeit des Fahrzeugs ist – in unrepariertem Zustand – durch den Mangel am Zylinderkopf aufgehoben.
- Für eine ordnungsgemäße Mängelbeseitigung (Instandsetzung des Zylinderkopfs mit gehärteten Ventilsitzen, Austausch der Ventile, Ventilschaftdichtungen und Tassenstößel) war mit einem Kostenaufwand von ca. **2812,00 € (netto) bzw. 3346,28 € (inkl. MWSt)** zu rechnen.

(Ein Teil dieses Betrags ist bereit im Rahmen der Gutachtenerstellung angefallen)

## Beispiel Kolbenschaden an einem Peugeot 307 HDI

- Nach einer Laufleistung von etwa 110000 km läuft der 4-Zylinder Dieselmotor nur noch auf 3 Zylindern. Die Werkstatt der Hersteller-Marke benötigt 2 Wochen, um eine einfache Kompressionsprüfung zustande zu bringen.
- Diagnose:  
1. Zylinder ohne Kompression
- Reparaturempfehlung:  
Austauschmotor
- Nach Ausbau des Kolbens bietet sich folgendes Bild
- Ein Riss verläuft in Richtung des Kolbenbolzens quer über den Kolbenboden und reicht bis zum Pleuelauge
- Die Zylinderlaufbahn ist unbeschädigt



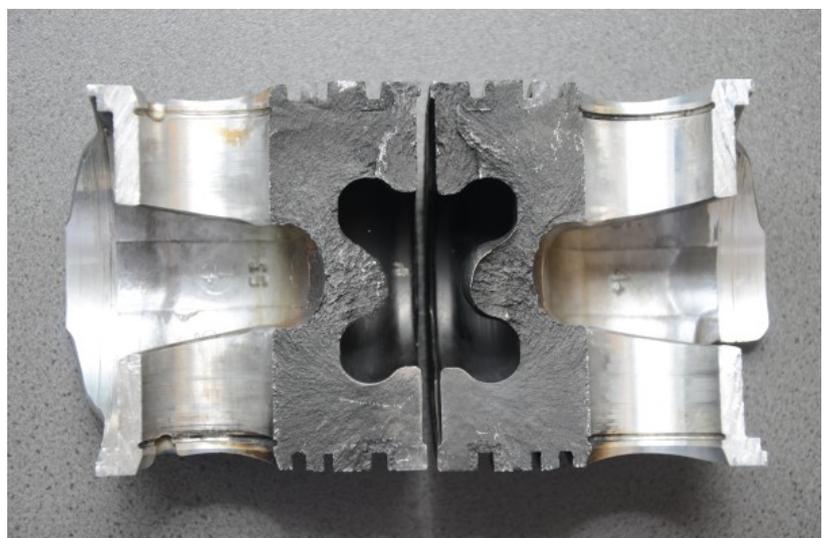
Im Außenbereich des Pleuelauges sind zwar Hitzespuren in der Umgebung des Risses erkennbar ...

... entlang des Risses selbst sind aber keine Durchblaspuren zu sehen.



Das Bruchbild entlang des Risses zeigt einen spontanen Gewaltbruch und deutet auf eine mechanische Überlastung hin.

Nach Austausch des defekten Kolbens, lief der Motor wieder problemlos.



**Beispiel: kapitaler Motorschaden ca. 116.000 km nach Instandsetzungsarbeiten**

Der 6-Zylinder Dieselmotor eines DAF-LKWs wurde bei km-Stand 452000 in der Werkstatt wegen zu hohen Ölverbrauchs überholt.

Nach einer Laufleistung von weiteren 116000 km kam es bei km-Stand 568000 zu einem Motorschaden.

Schadenbild:

Motorblock auf Höhe des fünften Zylinders beidseitig durchschlagen,

Laufbuchse des fünften Zylinders zertrümmert,

Pleueldeckel fehlt zunächst, kann dann aber besichtigt werden

Pleuel gebrochen.

**Fragestellung:**

Ist der Motorschaden auf einen Fehler der Werkstatt bei der Reparatur zurück zu führen?



Schaden an Kolben u. Pleuel des 5. Zylinders



spontaner Gewaltbruch des Pleuels



gecracktes Pleuel



Pleueldeckel



So wäre die Montage richtig gewesen, die Schadenbilder lassen sich so aber nicht miteinander in Einklang bringen.



Das Schadenbild an den Passstellen, die Bruchbilder der Pleuelschrauben, die Gewindeabdrücke in den Bohrungen des Pleueldeckels und die Quetschdeformationen (linkes Bild links) dokumentieren die Relativbewegungen von Pleuel und Deckel nach dem Bruch der rechten und unmittelbar vor dem Bruch der linken Pleuelschraube (linkes Bild).

Das Schadenbild zeigt eindeutig, dass der Pleueldeckel wie im rechten Bild montiert war ... und das war falsch; d. h. der Motorschaden war letztendlich auf einen Montagefehler der Werkstatt zurück zu führen, der eine Laufleistung von rund 116.000 km überstanden hat.

## Beispiel: Loch im Getriebegehäuse



Getriebe und linke Antriebswelle eines VW Golf von vorne unten gesehen. Das Getriebe hatte nach einer Zahnriemenreparatur Öl verloren.

Es war durch ein Loch leck geschlagen. Ursache soll ein herunter gefallenes Teil (Schraube / Mutter) gewesen sein, das ein Monteur unvorsichtig abgelegt hatte.



Loch im Getriebegehäuse von hinten unten gesehen. Auffällig sind die Längsriefen im Antriebswellenflansch und die Tatsache, dass sich das Loch unterhalb der engsten Stelle zwischen Getriebe- wand und Flansch befand.



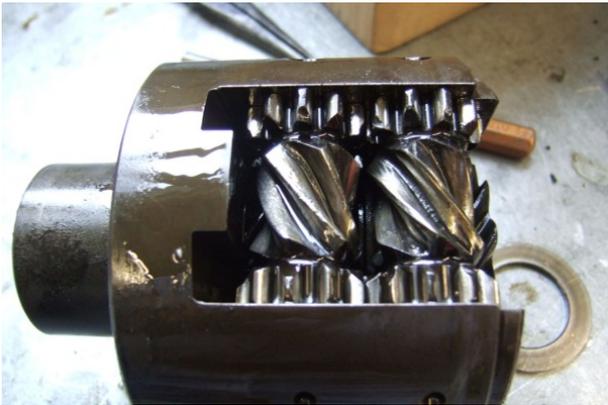
Nahaufnahme des Lochs, immer noch aus sehr ungünstigem Blickwinkel.



Bei ausgebautem Getriebe fallen auf: die Form des Lochs, die Struktur der Bruchstellen und die rötlichen (rost-farbenen) Antragungen um das Loch herum.

Wahrscheinliche Ursache: der Versuch, mit einem Montiereisen die Drehung des Motors / Getriebes zu gewaltsam blockieren.

### Beispiel: gewaltsame Zerstörung eines Torsen-Differentials



Nachdem ein Audi A4 Quattro nicht mehr fahrfähig war, wurde als Ursache ein defektes Torsen-Differential festgestellt.



Nahezu alle Zahnräder des Torsen-Differentials wiesen erheblichen Verschleiß und deutliche Anzeichen von Hitzeeinwirkung auf.



zerstörtes Schneckenrad

Der Fahrzeughalter hatte für eine Achse eine Ersatzbereifung geordert



Als Schadenursache wurde eine falsche Reifengröße ausgemacht, die vom Reifenhändler versehentlich montiert worden war.



Der Abrollumfang der montierten Reifen unterschied sich um 9 cm bzw. ca 4,5 %

## Radverlust: Unfallursache oder Unfallfolge?

Ein Passat Variant kommt ohne erkennbare Ursache ins Schleudern und prallt gegen einen havarierten Lastzug auf dem Standstreifen.

Eine Person auf dem rechten Rücksitz wird getötet.

Der Fahrer behauptet, an seinem Fahrzeug habe sich plötzlich das rechte Hinterrad gelöst, so dass er die Kontrolle über das Fahrzeug verloren habe.



Achsstummel von hinten oben gesehen, Gewinde und Nut weitgehend unbeschädigt.



Achsstummel von vorne unten gesehen, Gewinde teilweise unbeschädigt.



Abseits vom Endstand des PKWs aufgefundenes Rad mit Bremstrommel (von innen) und deutlichen Deformationen an der inneren Felge.



Bremstrommel (von außen) mit Radlager und Befestigungselementen.



Radlagerschale mit punktuellen Schlagmarken der Kegelrollen;

ein derartiges Bild entsteht nicht durch kontinuierlichen Verschleiß, sondern nur durch einen zeitlich eng begrenzten Anstoß / Anschlag.



Das Gewinde der Befestigungsmutter ist im Bereich der Achsstummelnut weitgehend unbeschädigt, im übrigen Bereich aber komplett ausgerissen.

Fazit: das Rad hatte sich nicht über einen gewissen Zeitraum vom Fahrzeug gelöst, sondern wurde durch den Anstoß am Lastzug schlagartig abgerissen.

## Beurteilung von Fahrzeugbränden (nach Vorlesungsunterlagen von Thomas Lange, DEKRA)

Wer hat ein Interesse an der Aufklärung von Fahrzeugbränden?

- Polizei und Staatsanwaltschaften
- Straf- und Zivilgerichte
- Fahrzeugeigentümer
- Fahrzeughersteller
- Reparaturbetriebe
- Versicherungen

Das Klärungsinteresse richtet sich häufig nicht nur auf die technischen Zusammenhänge, sondern auch auf das Verhalten der „Beteiligten“. Was lag vor?

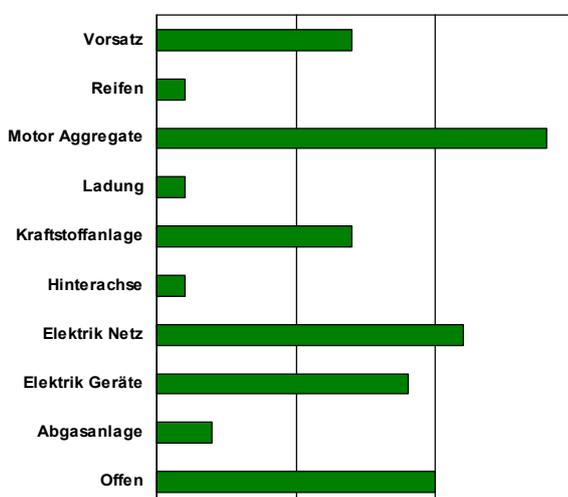
- Produktionsmangel / Fertigungsfehler
- Wartungsmangel
- Reparaturfehler
- Betriebsschaden
- (grobe) Fahrlässigkeit
- Vorsatz

Kleine Brandstatistik (Quelle: DEKRA)

- die häufigsten Brandschäden wurden bei PKW registriert
- die Zahl der KOM-Brände lag etwa halb so hoch
- die Zahl der KOM-Brände lag etwa dreimal so hoch wie die Zahl der LKW-Brände
- im Verhältnis dazu waren die registrierten Brandschäden bei Wohnmobilen, Krafträdern, Arbeitsmaschinen und Anhängern zahlenmäßig relativ gering (jeweils weniger als 5% der PKW-Brände).

Diese Werte spiegeln absolute Fallzahlen wieder. Unter Berücksichtigung der Häufigkeit der einzelnen Fahrzeugarten ist die relative Gefahr eines Fahrzeugbrands insbesondere bei KOM verhältnismäßig hoch.

Das folgende Diagramm zeigt die relative Häufigkeit verschiedener Brandursachen:



Wie zu erkennen ist, dominieren die technischen Ursachen deutlich vor dem Vorsatz.



Bei den technischen Ursachen dominieren elektrische Risikopotentiale

## Nomenklatur / Grundbegriffe

### Brand

Als Brand wird die exotherme chemische Reaktion eines Stoffs mit Sauerstoff bezeichnet. Ein „Brenn“-Stoff kann nur im gasförmigen Aggregatzustand brennen. Feststoffe und Flüssigkeiten brennen nicht selbst, sondern müssen zunächst gasförmige Bestandteile absondern.

### Flammpunkt

Der Flammpunkt ist die niedrigste Temperatur einer brennbaren Flüssigkeit in °C, bei der sich unter festgelegten Bedingungen Dämpfe in solcher Menge entwickeln, dass über dem Flüssigkeitsspiegel ein durch Fremdzündung entzündbares Dampf- / Luftgemisch entsteht.

Bei der Zündung kommt es zu einem kurzen Überflammen der Flüssigkeit mit unmittelbar daran anschließendem Selbstverlöschen.

Reicht die hierbei freigesetzte Energie nicht aus, um durch Sekundärzündung auf einen anderen brennbaren Stoff überzuspringen, entsteht kein Brand.

### Brennpunkt

Der Brennpunkt ist die niedrigste Temperatur einer brennbaren Flüssigkeit in °C, bei der sich Dämpfe in solchen Mengen entwickeln, dass nach ihrer Entzündung durch eine Zündquelle ein ständiges Brennen unterhalten bleibt.

Das selbstständige Weiterbrennen nach Entfernung der Zündquelle führt zu einem Temperaturanstieg in der Umgebung des Flüssigkeitsbrandes. Hierdurch können wiederum andere umgebende brennbare Stoffe aufbereitet und gezündet werden.

### Tropfzündpunkt

Von den Kennwerten für den Flamm- und Brennpunkt zu unterscheiden ist der Tropfzündpunkt.

Der Wert beschreibt die Temperatur einer heißen Oberfläche in °C, an der sich eine darauf-tropfende Flüssigkeit gerade entzündet.

Hierbei findet die Zündung nicht wie bei Flamm- und Brennpunkt mittels einer Lockflamme statt, vielmehr gibt der Kennwert den Zustand der Zündquelle selbst wieder.

Enormen Einfluss auf die Höhe des Tropfzündpunktes hat die **Siedetemperatur** der betrachteten Flüssigkeit. Liegt diese vergleichsweise niedrig, verdampft die Flüssigkeit vollständig, bevor die heiße Oberfläche erreicht wird. Eine Zündung durch die heiße Oberfläche wird dabei unwahrscheinlich.

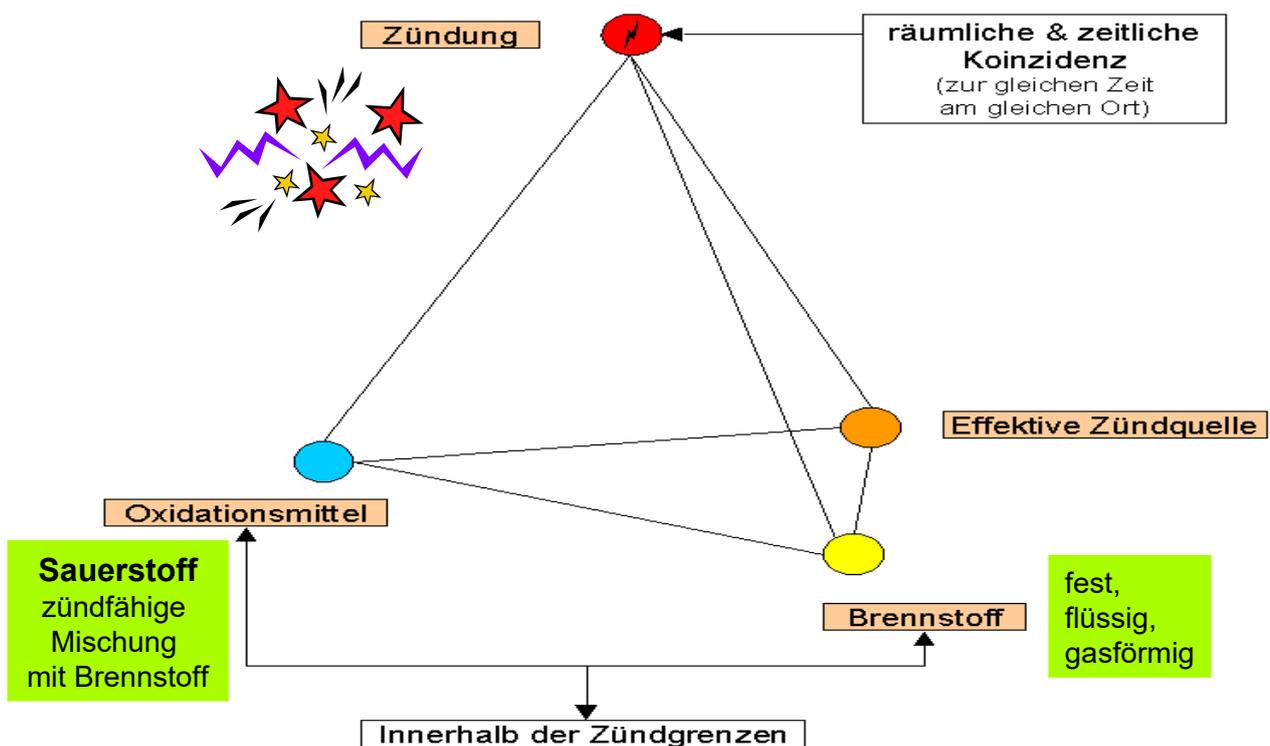
Bei Flüssigkeiten mit höherem Siedepunkt wird die Oberfläche erreicht, und je nach Verweildauer kommt es zur Zündung.

# Physikalisch-chemische Grundlagen

## Das Verbrennungsdreieck



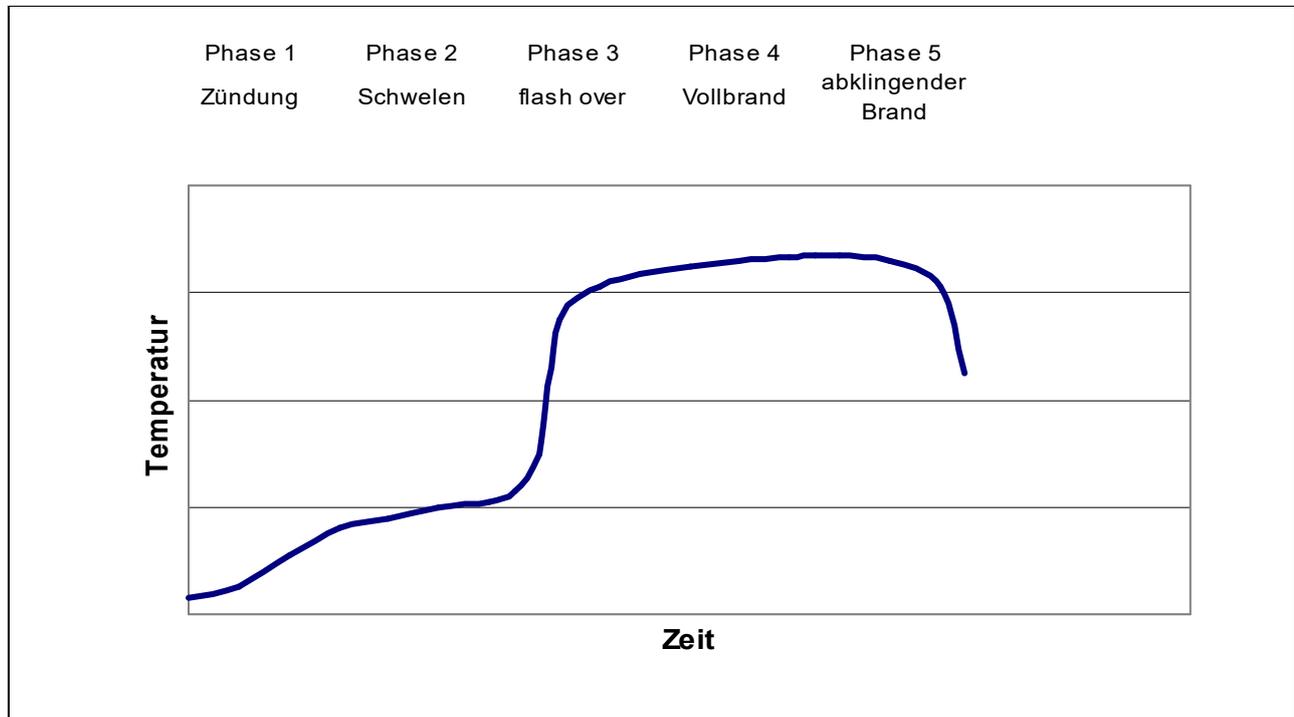
## Der Brandtetraeder



## Randbedingungen am Kraftfahrzeug

- Sauerstoff: aus der Umgebungsluft
- Brennstoffe: Kraftstoffe, Schmierstoffe, Kunststoffe, Gummi, Textilien
- Zündquellen: heiße Bauteiloberflächen, Elektrik

## Phasenmodell eines Brandverlaufs



## Informationsbedarf bei der Brandbeurteilung (situationsbedingt)

### Fahrzeughistorie

- Erstzulassung
- Fahrzeugdaten
- Laufleistung
- Reparaturen
- Wartungen

### Schadenschilderung Fahrer / Mitfahrer / Zeugen

- Schadensort
- Während der Fahrt / Abgestellt
- Straße / Stellplatz / Garage / Tiefgarage
- Bemerkte Ereignisse
- Rauch / Flammen
- Ort am Fahrzeug / Brandherd
- Ausbreitung / Ausbreitungsrichtung
- Zeitliche Angaben / Ausbreitungsgeschwindigkeit

### Der Sachverständige zieht daraus

- erste Information zum Ereignis
- erste Vorstellung zum Schadensablauf
- Abschätzung des Untersuchungsumfangs
- erste Plausibilitätsprüfung

## Vorgehensweise bei der Brandursachensuche:

### rückwärts

- vom vorgefundenen (bekannten) **Endzustand**
- über die **Spurenlage**,
- die ermittelte **Ausbreitungsrichtung**,
- den ermittelten **Brandort / Brandherd / Brandursprung**,
- **potentielle Risiken** am Objekt / Brandursprung,
- **Arbeitshypothesen** aufgrund möglicher Mechanismen  
und herausgearbeiteten Detailspuren,
- und die Berücksichtigung von **Ausschlusskriterien**

→ zur **Brandursache**

### Eliminationsverfahren:

- alle in Frage kommenden Ursachen einer Brandentstehung werden systematisch überprüft,
- verfügbare Indizien werden in eine kausale Beweiskette integriert,
- ergibt sich keine vollständige Beweiskette, so wird diese mögliche Ursache ausgeschlossen,
- schließt sich die Beweiskette so ist die Brandursache ermittelt.

### Zusatzuntersuchungen / Informationen

- unfallanalytische Untersuchungen
- aggregatetechnische Untersuchungen
- Ladegut
- Brandrestuntersuchungen
- chemische Analysen von Betriebsmitteln
- meteorologische Daten
- auf den Einzelfall abgestimmte Bauteilversuche
- Vollbrandversuche

### Untersuchungsergebnis

- festgestellte Brandausbruchsstelle
- ermitteltes relevantes System und / oder Bauteil
- Schadensmechanismus
- effektive Zündquelle
- Plausibilitätsbetrachtung

## Beispiel Reisebus

### Was ist passiert?

- Brand im Fahrbetrieb
- Rauchentwicklung links hinten außen



### Spurenbefund:

- Schwerpunkt Motorraum
- lokaler Schwerpunkt links
- Einwirkung auf den Innenraum



### Detailspuren:

- Undichtheit an einer Einspritzleitung



### Detailspuren:

- Riss in einer Einspritzleitung



### Ergebnis:

- Dieselaustritt im Fahrbetrieb
- Produktionsfehler

# **Verkehrsüberwachung**

## **Geschwindigkeitsüberwachung**

### **Messprinzipien:**

#### **Weg-Zeit-Messung:**

Lichtschranken, Einseiten-Sensor, Induktions- oder Piezo-Schleifen, Nachfahren

#### **Lasermessung:**

Entfernungsänderung pro Zeiteinheit,  
Laufzeit von Lichtimpulsen mit Handmessgeräten oder Scannern

#### **Radarmessung:**

Dopplereffekt von elektromagnetischer Strahlung

## **Rotlichtüberwachung**

## **Abstandsüberwachung**

## **Überwachung der Lenk- und Ruhezeiten**

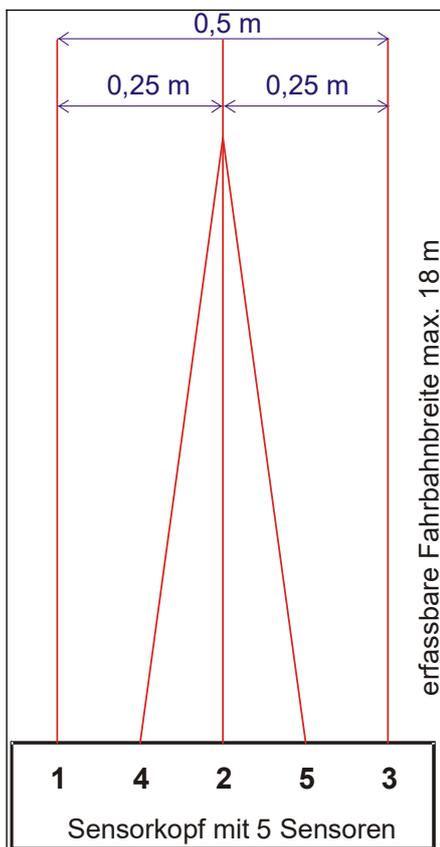
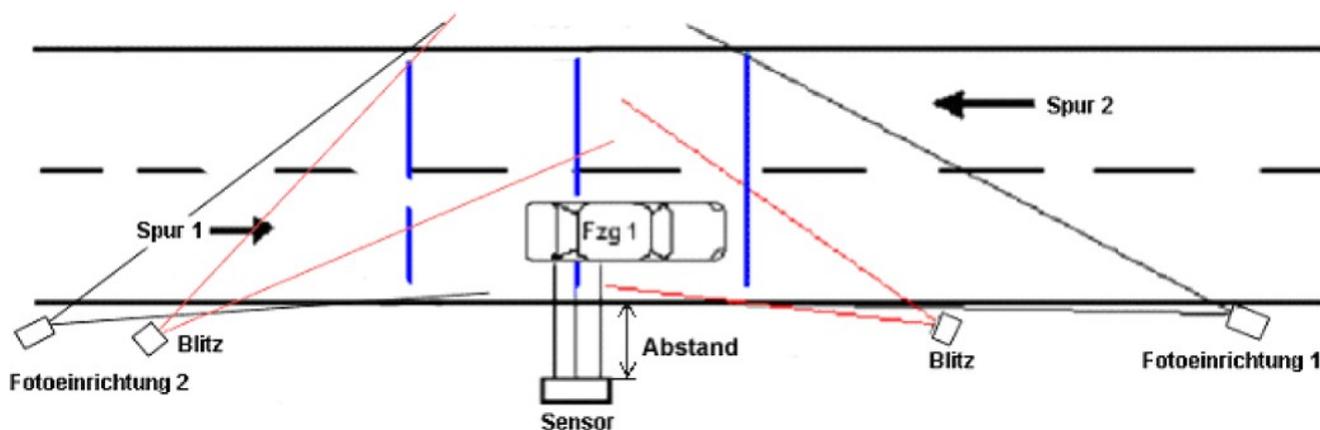
## **Überwachung der Ladungssicherung**

## **Überwachung der Einhaltung des zulässigen Gesamtgewichts / Überladung**

**Beispiel: Geschwindigkeitsmessung mit Einseiten-Sensor ESO ES 3.0 / ES 8.0**

Das Messverfahren beim Einseiten-Sensor beruht im Gegensatz zu konventionellen Lichtschranken, bei denen die Unterbrechung aktiv ausgesandter Lichtbündel detektiert wird, auf der passiven Auswertung von Helligkeitsprofilen im Erfassungsbereich der Sensoren. Wenn sich ein Objekt am Sensorkopf vorbei bewegt, ändert sich das „Lichtmuster“, das die Sensoren „sehen“:

Prinzipskizze einer Messstelle:



Prinzipskizze des Sensorkopfs ESO ES 3.0

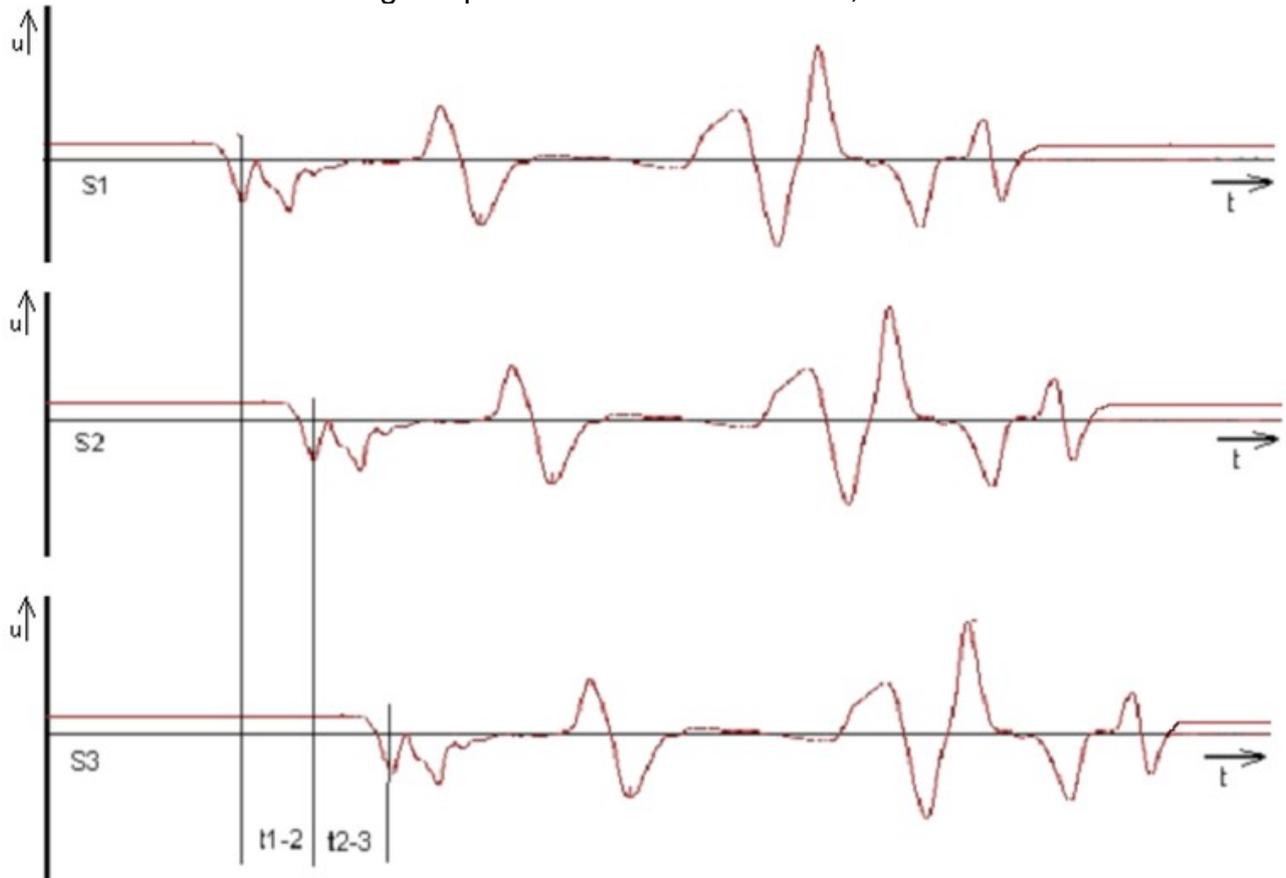
Die fünf Sensoren erfassen Helligkeitsveränderungen, die von vorbei kommenden Objekten verursacht werden. Wenn die Helligkeitsprofile zu mindestens 70% übereinstimmen, werden über drei Zeitmessungen (von 1 bis 2, von 2 bis 3 und von 1 bis 3) und die zugehörigen Wegstrecken drei Geschwindigkeitswerte ermittelt. Die Ergebnisse dürfen max. 2% voneinander abweichen.

Als Messwert wird der Mittelwert angezeigt.

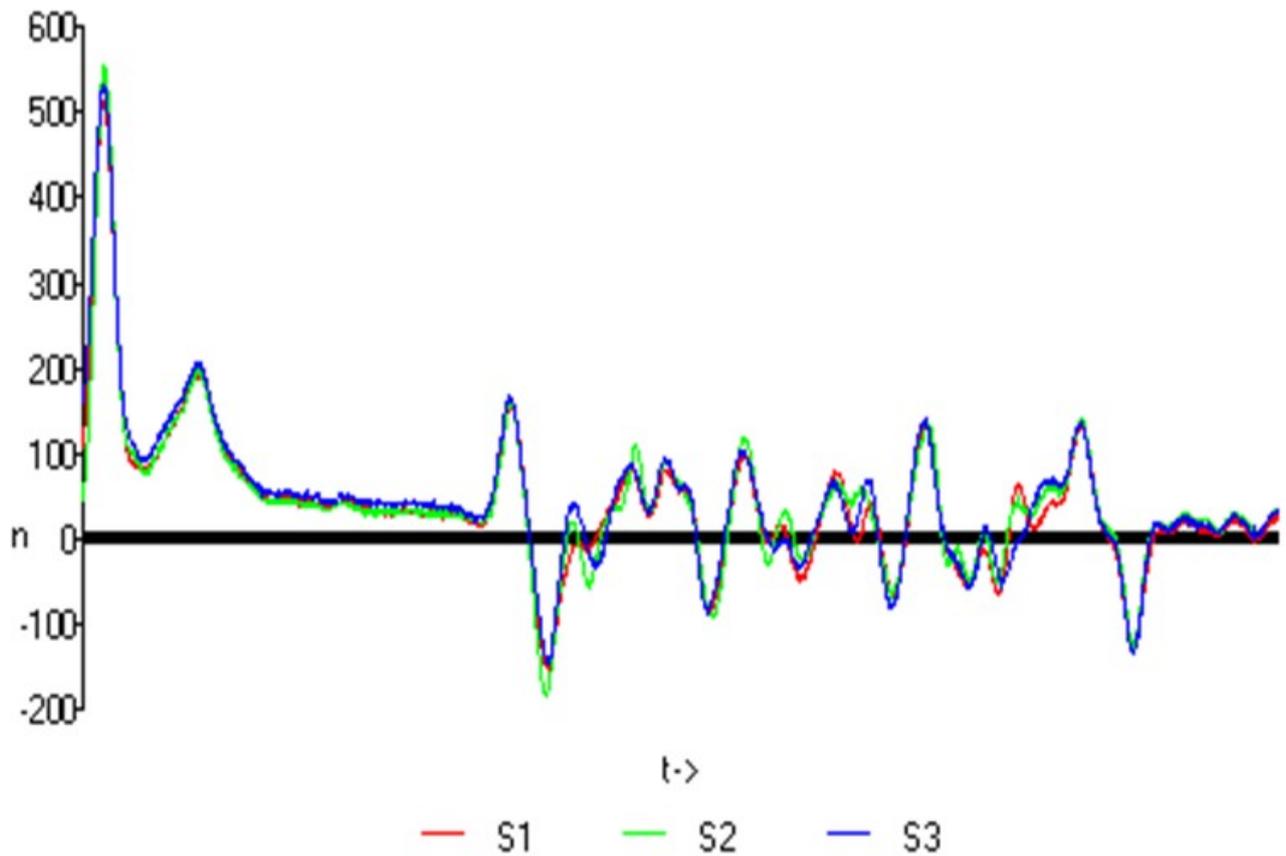
Mit Hilfe der um ca. 0,4° schräg stehenden Sensoren 4 und 5 wird der Abstand des sensierten Objekts vom Sensorkopf (max. 18 m) ermittelt. (Toleranz: ± 1 m)

Die optische Aufweitung der Sensoren liegt in der Höhe bei ca. 0,5 m und in der Breite bei ca. 0,25 m (bezogen auf 18 m „Reichweite“)

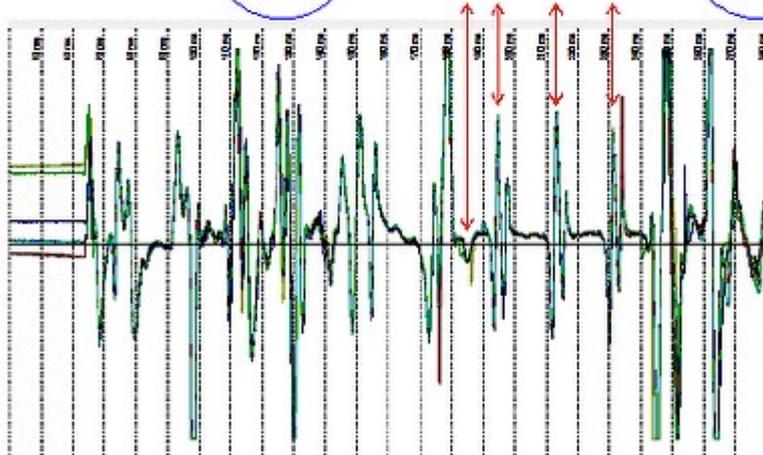
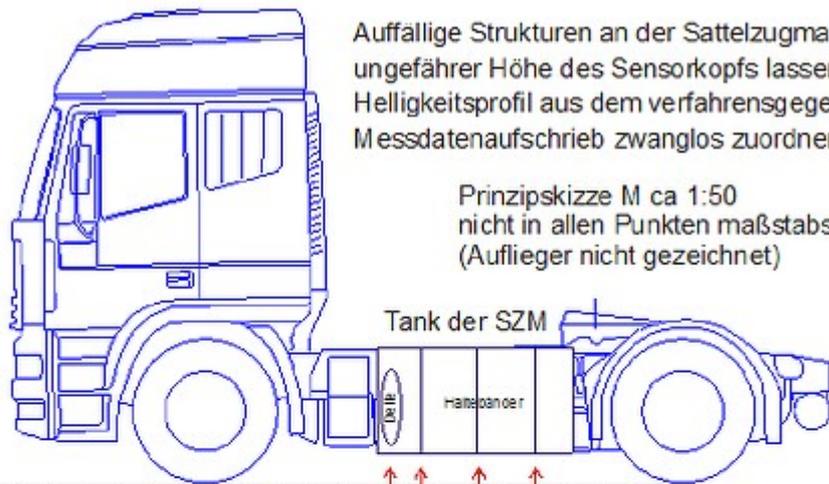
Zeitlicher Versatz von Helligkeitsprofilen an den Sensoren 1, 2 und 3



Korrelation von Helligkeitsprofilen an den Sensoren 1, 2 und 3



Fallbeispiel ESO ES 3.0 mit Individualmerkmalen im Helligkeitsprofil:



Helligkeitsprofil der am Sensorkopf vorbeifahrenden Sattelzugmaschine, Abbruch nach ca. 5 m.

**Beispiel: Geschwindigkeitsmessung mit Vitronic PoliScan<sup>Speed</sup>**

Das System arbeitet auf Basis von Laser-Impulsen, die von einem Objekt zum Messgerät reflektiert werden. Ändert sich die Entfernung des Objekts vom Messgerät, so verändern sich auch die Laufzeiten der reflektierten Laserimpulse. Damit kann über eine Distanzänderung pro Zeiteinheit die Geschwindigkeit des Objekts ermittelt und zur Anzeige gebracht werden.

Im Gegensatz zu den bekannten, manuell zu bedienenden Laser-Messgeräten („Laser-Pistolen“) verschiedener Hersteller wird der Messwert jedoch nicht über einen „gerätefesten“ Laserstrahl gebildet, der vom Benutzer gezielt und geführt werden muss, sondern von einem automatisch schwenkenden Laserstrahl, der aus einem feststehenden Gehäuse ausgesandt wird und den Zielbereich selbstständig „abtastet“. Die Ergebnisse dieser „Abtastung“ werden von einer Rechneinheit erfasst und ausgewertet (**LIDAR: Light Detection And Ranging** – System).

Das Gerät lässt den Laserstrahl mit einer Frequenz von 100 Hz (100 mal pro Sekunde) über einen horizontalen Winkel von 45° streichen. Bei jedem dieser Vorgänge überprüft das Gerät 158 mal (1 Mal pro 0,285°), ob der ausgesandte Laserstrahl hinreichend stark reflektiert wird und wie lang gegebenenfalls die Laufzeit des Signals ist.

Kommt es zu einer messbaren Reflexion, so wird der entsprechende Winkel zusammen mit der Laufzeit gespeichert und einerseits mit den benachbarten Winkelwerten und andererseits mit den selben Winkelwerten der vorhergehenden und nachfolgenden „45°-Schwenks“ verglichen. Weisen benachbarte Winkelwerte dieselben Laufzeiten auf und ändern sich diese bei aufeinander folgenden „45°-Schwenks“ in gleicher Weise, so wird die entsprechende Signalgruppe zusammengefasst, einem sich bewegenden Objekt zugeordnet und weiter verfolgt.

Da bewegte Objekte nicht nur durch eine Änderung der Laser-Laufzeit gekennzeichnet sind, sondern sich einerseits ihre Position bezüglich des Winkels zum Messgerät und andererseits auch ihre perspektivische Größe ändert, müssen dem Objekt während der Messung andauernd neue Winkelwerte zugeordnet und nicht mehr aktuelle Winkelwerte aus der Zuordnung herausgenommen und für neue Zuordnungen freigegeben werden.

Ähnliche Änderungen bei der Zuordnung der Winkelwerte sind zum Beispiel erforderlich, wenn sich ein Objekt vor das andere schiebt und dieses teilweise oder ganz verdeckt. In diesem Fall kann nur das nähere (vordere) Objekt direkt weiter beobachtet werden. Die Daten für das verdeckte Objekt werden virtuell weitergeführt (extrapoliert), so dass dieses Objekt gegebenenfalls an anderer Stelle wieder aufgefunden und nach einer Unterbrechung wieder direkt weiter verfolgt werden kann.

Auf diese Weise können verschiedene Objekte innerhalb des Arbeits- bzw. Erfassungsbereichs (Entfernung zwischen 10 und 75 m) separat beobachtet werden (mehrzweckfähiges Tracking). Über die „Bahnen“ dieser Objekte können zudem bis zu drei Fahrspuren erkannt werden.

Die eigentliche Geschwindigkeitsmessung (Messwertbildung) erfolgt im Messbereich zwischen 20 und 50 m vom Messgerät entfernt. Unterschreiten die erkannten Objekte eine Entfernung von 50 m, beginnt das Gerät, aus der sich ändernden Entfernung pro Zeiteinheit deren Geschwindigkeit zu ermitteln. Für jedes Objekt, dessen Geschwindigkeit annähernd (innerhalb festgelegter Grenzen) konstant bleibt, ergibt sich dann eine mittlere Geschwindigkeit im Messbereich.

Die Auswerte-Software des Systems prüft selbstständig, ob die geforderten Bedingungen an die Messwertbildung eingehalten werden. Wird die geforderte Güte nicht erreicht, wird der Messwert verworfen und nicht in die Anzeige (Display) eingeblendet.

### **Bedingung für eine gültige Messwertbildung**

Vom Gerätehersteller wurden folgende Kriterien vorgegeben, die für eine gültige Messung erfüllt sein müssen:

- Das Messobjekt darf gegenüber der Ausrichtung des Messgeräts eine Schrägfahrt von maximal 5° durchführen.
- Die Bildauslöseverzögerung darf – bei systembedingten Abweichungen vom Regelwert 0,01 s – maximal 0,04 s betragen (z.B. bei sehr hohen Geschwindigkeiten).
- Für die Bildung eines Messwerts muss das Objekt über eine zusammenhängende Wegstrecke von mindestens 10 m gemessen worden sein.
- Werden Lücken bei der Verfolgung des Objekts erkannt, dürfen diese maximal 15 m (wegbezogen) oder 0,75 s (zeitbezogen) betragen, sonst wird das Objekt aus der Beobachtung herausgenommen und eine eventuell bereits vorgenommene Messwertbildung verworfen
- Das Objekt muss mindestens 5 m vor Ende des Messbereichs (bzw. mindestens 25 m vor dem Aufstellpunkt des Geräts) noch sensorisch erfasst sein. Liegt der Fotopunkt im ungünstigsten Fall (1. Spur) bei etwa 10 m, entspricht diese Bedingung einer möglichen „unbeobachteten“ Wegstrecke vor der Fotoauslösung (Extrapolationsstrecke) von maximal 15 m. Liegt der Fotopunkt im Bereich von 20 m, so ist die mögliche „unbeobachtete“ Wegstrecke vor der Fotoauslösung nur noch etwa 5 m lang.
- Die Geschwindigkeitsänderung eines Objekts im Messbereich darf maximal 10 % betragen

### **Fotodokumentation und Auswertehilfe**

Liegt die mittlere Geschwindigkeit eines Objekts über dem eingestellten Bildauslöse-Grenzwert, so berechnet das System, wann das Objekt voraussichtlich den Fotopunkt erreichen wird. Zum berechneten Zeitpunkt wird die bezüglich der Brennweite zur ermittelten Fahrspur „passende“ Kamera ausgelöst und an der errechneten Fotoposition ein Kontrollrahmen (Auswertehilfe) ins Bild eingeblendet.

Wird zum erwarteten Zeitpunkt ein Objekt im Bereich der ermittelten Fotoposition bzw. des Kontrollrahmens abgebildet, so gilt dies als überprüfbarer Nachweis dafür, dass einerseits die Geschwindigkeit des Objekts richtig ermittelt wurde und dass die ermittelte Geschwindigkeit andererseits auch genau diesem Objekt zugeordnet werden kann.

Die Zuordnung der gemessenen Geschwindigkeit zum abgebildeten Fahrzeug und damit der Geschwindigkeitsverstoß des Fahrzeuglenkers gilt als nachgewiesen, wenn der Kontrollrahmen so positioniert ist,

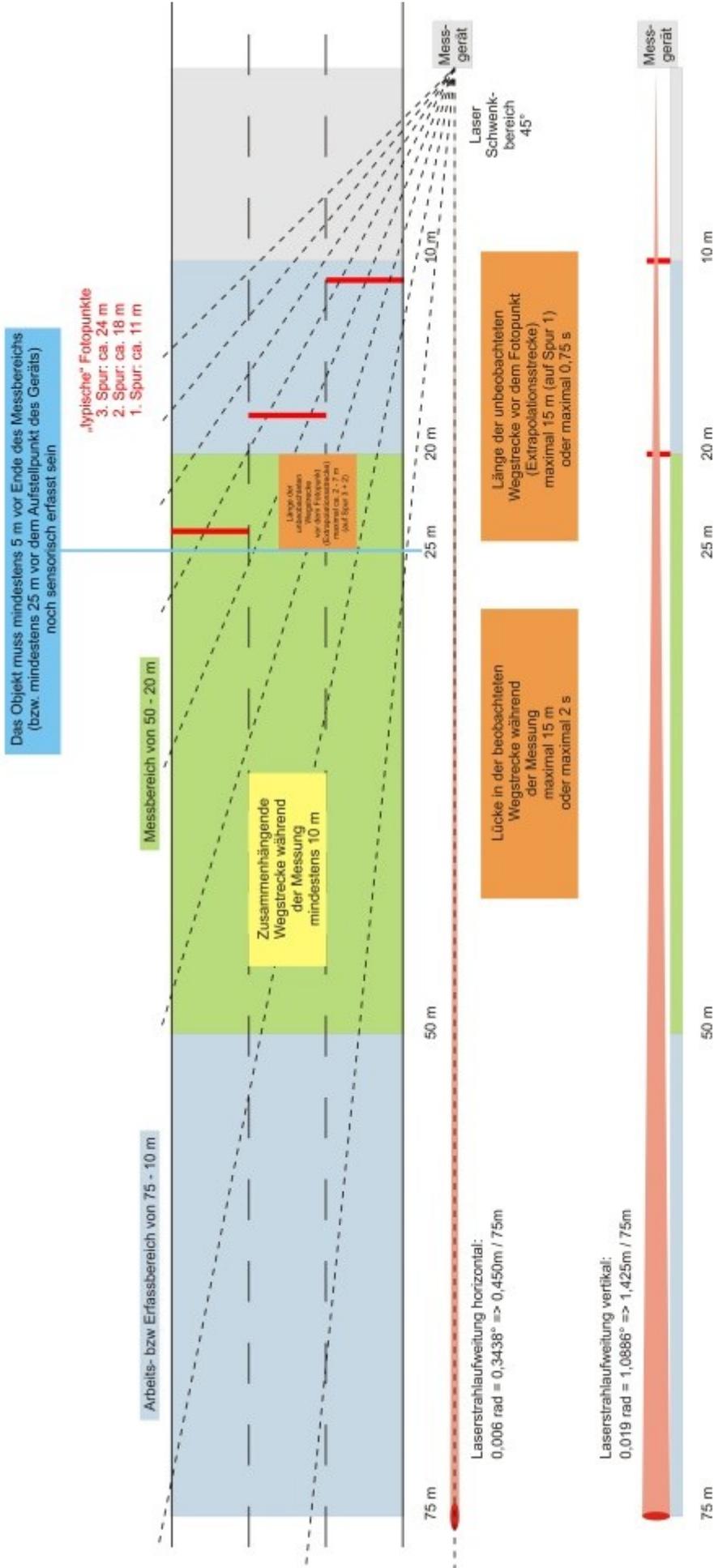
- dass sich keine Teile eines weiteren Fahrzeugs im Rahmen befinden,
- dass sich die Unterkante des Rahmens im Bild unterhalb der Radaufstandspunkte des zugeordneten Fahrzeuges befindet,
- dass sich mindestens entweder ein Teil des Kennzeichens, oder ein Teil des nächstgelegenen Rads, oder beides im Rahmen befindet.

Werden diese Kriterien nicht alle erfüllt, ist die Messung vom Anwender zu verwerfen.

**Beispiel: Beweisfoto Poliscan Speed:**

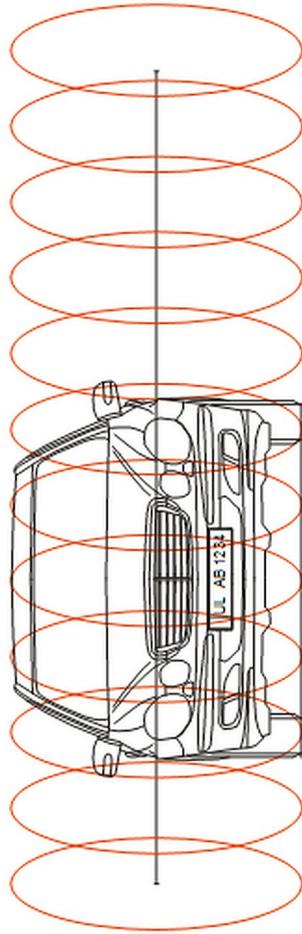


Prinzipskizze zum Geschwindigkeitsmesssystem PoliScan<sup>Speed</sup>

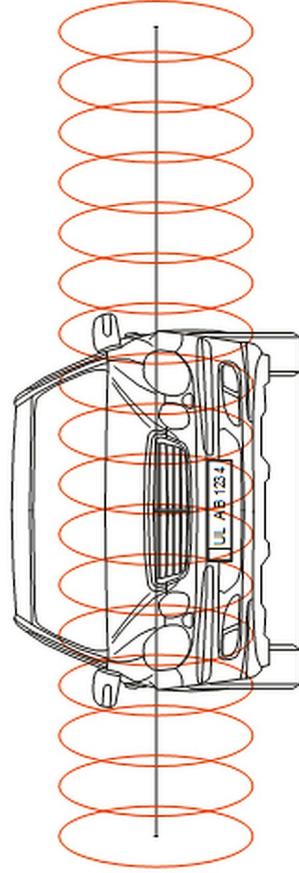


Erläuterung:  
 die „Freigabe“ der sensorischen Erfassung bei einer Entfernung von weniger als 25 m ist wegen der begrenzten vertikalen Strahlauflaufweite erforderlich, z.B. wenn das Messgerät relativ hoch aufgestellt ist (stationäre Anlagen). Wenn das Messgerät ungefähr auf Kennzeichenhöhe aufgebaut und optimal ausgerichtet ist, kann das Objekt auch bis zum Ende des Messbereichs bzw. bis zur Fotoauslösung verfolgt werden.

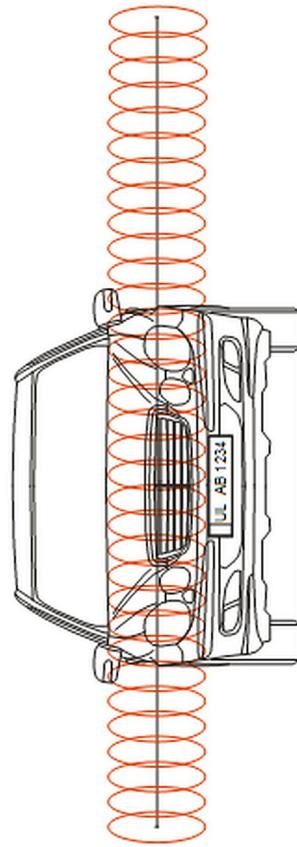
# Konsequenzen von Strahlgeometrie und Abtastfrequenz



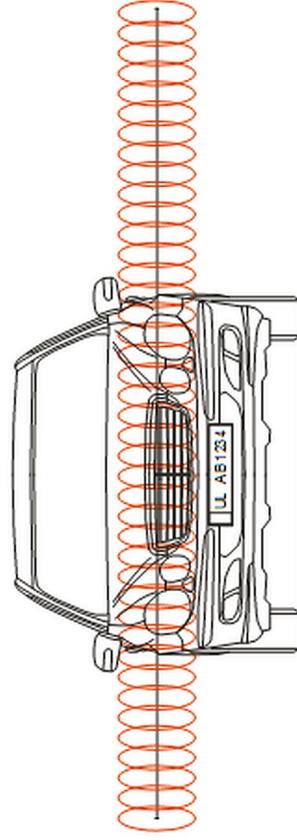
Entfernung 75 m -> ca. 12 Einzelmessungen auf 4 m FB-Breite, pro 45°-Schwenk kommen von einem Kennzeichen 1 - 2, im günstigsten Fall 3 auswertbare Reflexe zum Messgerät zurück



Entfernung 50 m -> ca. 17 Einzelmessungen auf 4 m FB-Breite, pro 45°-Schwenk kommen von einem Kennzeichen 2 - 3, im günstigsten Fall 4 auswertbare Reflexe zum Messgerät zurück



Entfernung 25 m -> ca. 33 Einzelmessungen auf 4 m FB-Breite, pro 45°-Schwenk kommen von einem Kennzeichen 4 - 5, im günstigsten Fall 6 auswertbare Reflexe zum Messgerät zurück



Entfernung 20 m -> ca. 41 Einzelmessungen auf 4 m FB-Breite, pro 45°-Schwenk kommen von einem Kennzeichen 5 - 6, im günstigsten Fall 7 auswertbare Reflexe zum Messgerät zurück

## Anforderungen an die Ladungssicherung

### Grundregeln

- > Geeignetes Fahrzeug für die jeweilige Ladung benutzen
- > Ladungsschwerpunkt so niedrig halten, wie möglich
- > Ladung auf Fahrzeug-Längsmittellinie ausrichten
- > Zulässiges Gesamtgewicht und zulässige Achslasten nicht überschreiten, bei Lenkachse Mindestlast nicht unterschreiten
- > Ladung so sichern, dass sie unter den „üblichen“ Verhältnissen nicht verrutschen, verrollen oder umfallen kann
- > Fahrgeschwindigkeit den Verhältnissen anpassen

### Warum können sich Ladungen auf der Ladefläche bzw. im Laderaum überhaupt bewegen?

Auf die Ladung wirken äußere Kräfte, die größer als das *Beharrungsvermögen / Trägheit* sind. Diese *Massenkräfte* werden spürbar beim Beschleunigen, Bremsen und Kurvenfahrten aber auch bei Schwingungen und Stößen, z.B. durch Schlaglöcher / Fahrbahnwellen.

Die Massenkräfte erreichen im normalen Fahrbetrieb (ohne Unfall) etwa folgende Größenordnung:

Nach vorne: bis zu ca.  $0,8 \cdot$  Gewichtskraft, bei einer Ladung von 10 t wird also eine Haltekraft von ca 8 t entgegen der FR benötigt

Zur Seite: bis zu ca.  $0,5 \cdot$  Gewichtskraft, bei einer Ladung von 10 t wird also eine Haltekraft von ca 5 t quer zur FR benötigt

Nach hinten: bis zu ca.  $0,5 \cdot$  Gewichtskraft, bei einer Ladung von 10 t wird also eine Haltekraft von ca 5 t in Fahrtrichtung (FR) benötigt

Senkrecht: bis zu ca.  $0,8 \cdot$  Gewichtskraft, bei einer Ladung von 10 t kann dadurch die Aufstandskraft bis auf ca 2 t reduziert werden

Damit die im Fahrbetrieb auftretenden Massekräfte die Ladung nicht in Bewegung setzen, müssen geeignete Sicherungsmaßnahmen verwendet werden.

### Welche Kräfte spielen bei der Ladungssicherung eine Rolle?

#### Die "Massenkraft" / Beharrungsvermögen / (Massen-) Trägheit

Die Masse einer Ladung darf nicht mit dem Gewicht verwechselt werden. Eine Masse von 10000 kg hat auf der Erde ein Gewicht von etwa 1 t, auf dem Mond dagegen nur etwa ein Sechstel davon. Um diese Masse aber auf eine bestimmte Geschwindigkeit zu beschleunigen oder von einer bestimmten Geschwindigkeit bis zum Stillstand abzubremsen, muss ihre Trägheit überwunden werden - und die ist auf der Erde und auf dem Mond gleich.

#### Die Gewichtskraft

Das ist die Kraft, mit der ein Körper / eine Ladung von der Erde angezogen wird und demnach auf den Boden / auf die Unterlage drückt.

#### Die Reibungskraft

Die Reibungskraft zwischen zwei Körpern (z.B. zwischen Ladung und Laderaumboden) hängt davon ab, mit welcher Kraft die Körper gegeneinander drücken (z.B. Gewichtskraft) und wie haftfähig (rau oder klebrig) die Kontaktflächen sind. Die "Haftfähigkeit" wird physikalisch durch den Reibbeiwert  $\mu$  (sprich mü) ausgedrückt. Bei der Beispielladung von 10000 kg wirkt (auf der Erde ;-)) eine Gewichtskraft von 10 t. muss man nun mit der Hälfte der Gewichtskraft (5 t) an dieser Ladung ziehen, damit sie verrutscht, dann ist der Reibbeiwert  $\mu$  (zwischen Ladung und Boden) = 0,5; muss man nur mit 15% der Gewichtskraft (1,5 t) ziehen, so ist  $\mu = 0,15$ .

Ob eine Ladung (z.B. beim Bremsen) verrutscht oder nicht, hängt also zunächst überwiegend vom Reibbeiwert  $\mu$  und nicht vom Gewicht der Ladung ab.

**Beispiel:** Ein Reibbeiwert  $\mu$  von 0,3 bedeutet, dass eine Kraft von 300 daN nötig ist, um eine Ladung von 1000 kg (Gewicht 1000 daN) auf der Ladefläche zu verschieben. Anders ausgedrückt: die Ladung wird (wenn sie nicht "springt") auf diesem Untergrund durch ihr Eigengewicht mit 300 daN gegen Verrutschen gesichert. Bei scharfen Bremsmanövern können aber durch die Massenträgheit Verschiebekräfte auftreten, die etwa 80% des Ladungsgewichts (hier 800 daN) entsprechen. Um die Ladung beim Bremsen gegen Verrutschen zu sichern, fehlen also noch 500 daN (das entspricht einer halben Tonne), die durch Ladungssicherungsmaßnahmen aufgebracht werden müssen.

### Wie können Ladungssicherungsmaßnahmen aussehen?

Eine Möglichkeit besteht darin, die Ladung einfach durch Mittel, die eine Haltekraft von 800 daN aufbringen können formschlüssig zu sichern (s.u.). Man kann aber auch die Anpresskraft zwischen Ladung und Boden durch Niederzurren soweit erhöhen, dass die Reibungskraft (Reibbeiwert  $\mu$  \* Anpresskraft) größer wird, als 80% der Gewichtskraft.

Bei  $\mu = 0,3$  muss die Anpresskraft also durch Niederzurren auf 2667 daN erhöht werden, damit die Reibungskraft 800 daN erreicht.

Es müssen also noch 700 kg, die nicht durch Reibung gesichert sind, durch Zurrmittel gesichert werden. Der Anwender sollte im Zweifelsfalle den Reibbeiwert  $\mu$  geringer veranschlagen und so mit dem stärkeren Zurrmittel die notwendige Sicherheit gewährleisten. Mit einem geringen Reibbeiwert  $\mu$  von 0,1 müssen 900 kg durch Zurrmittel gesichert werden. 100kg werden durch die Reibung gesichert.

Wenn die Anpreßkraft nicht so weit erhöht werden kann oder darf (bei empfindlicher Ladung) kann auch der Reibbeiwert zwischen Ladung und Untergrund durch eine Anti-Rutschmatte erhöht werden. Wird mit der Anti-Rutschmatte ein Reibbeiwert von 0,8 erreicht, so ist kein zusätzliches Verzurren gegen Verrutschen erforderlich.

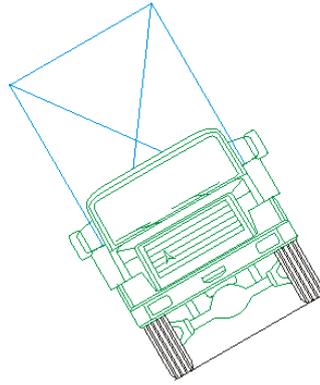
### **Aber Achtung: Sichern gegen Verrutschen allein reicht nicht !!!**

**Wenn die Ladung bei schlechten Fahrbahnverhältnissen "springen" kann, verringert sich die Anpreßkraft wieder und eine Ortsveränderung der Ladung ist auch wieder möglich.**

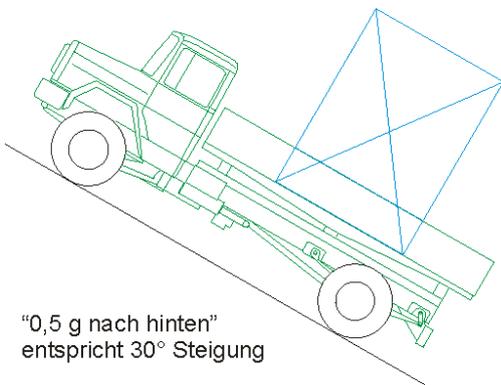
### Prinzipielle Ladungssicherungsmethoden

- > Verzurren der Ladung (kraftschlüssiges Sichern)
  - Schrägzurren längs und quer zur Fahrtrichtung gegen Verrutschen,
  - Diagonalzurren zu den Ecken hin, einfach oder über Kreuz gegen Verrutschen,
  - Niederzurren schräg oder diagonal zur Erhöhung der Reibungskraft am Boden
- > Formschlüssiges Sichern mit Keilen, Polstern, Formteilen, besonderer Formgebung der Ladefläche  
z.B. auch Lochschiene mit verschiebbaren und verschraubbaren geformten Unterlegekeilen
- > Sichern durch (variable) Zwischenwand oder (variable) Querriegel
- > Besondere Haltevorrichtungen auf dem Transportfahrzeug, Anschläge, Planen
- > Spezielle Auf- / Einbauten am oder auf dem Nutzfahrzeug  
z.Zt. werden auch Vakuumlösungen entwickelt, mit denen Ladung z.B. unter einer Plane an die Ladefläche angesaugt werden kann
- > Alle möglichen Kombinationen

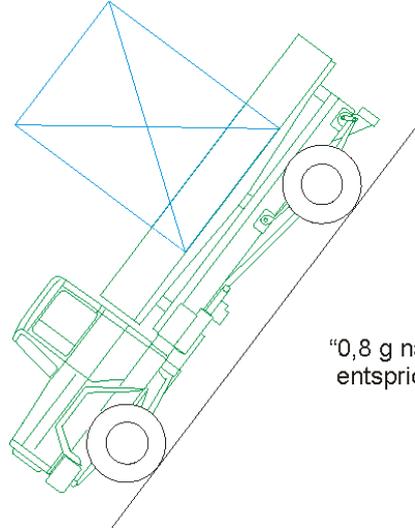
Anforderungen an die Ladungssicherung



"0,5 g zur Seite"  
entspricht 30° Schräglage



"0,5 g nach hinten"  
entspricht 30° Steigung



"0,8 g nach vorne"  
entspricht 53° Gefälle

## Technische Untersuchung spezieller Fahrzeugkomponenten

Welche Fragestellungen führen zur Untersuchung von Kraftfahrzeugkomponenten?

Ein Fahrzeuglenker macht technische Mängel am Fahrzeug als Unfallursache geltend

Aus den Umständen des Unfallablaufs oder der Spurenlage ergeben sich Hinweise auf technische Ursachen

Bei Manipulationsverdacht nach Unfall oder Verkehrskontrolle

Welche Kraftfahrzeugkomponenten können Gegenstand einer speziellen technischen Untersuchung sein?

... generell alle, (z.B. auch Fremdspuren am Fahrzeug wie Haare, Gewebe, Blut)

Reifen	- Minderdruck, Platzer, Ablösungen
Bremsen	- mangelhafte Wirkung, - Bremsversagen,
Lenkung	- Abkommen von der Fahrbahn
Fahrwerk	- Federn, Bruch, Ermüdung - Fahrschemel, Federbeine - Stabilisatoren, Lenker, Hebel
Antrieb	- Motor - Getriebe - Antriebswellen und -Gelenke
Elektrik	- fehlende Energieversorgung - Kurzschlüsse, Brandursache - Airbag, Gurtstraffer - ABV, ASR, Nivaeuregulierung
Lichttechnik	- Vorhandensein, Funktion, - Verschmutzung, Erkennbarkeit, - Brennzustand bei Unfall (an / aus)
Karosserie	- verändertes Crashverhalten durch erhebliche Korrosion / Durchrostungen / Reparaturmaßnahmen - vergleichende Lackuntersuchung
Scheiben	- Verschmutzung, Beschädigungen - Sichtbehinderungen durch Ladung, Aufkleber, Figuren, - Lichterketten, Fernseher, Kaffeemaschine ... :-)
Rückspiegel	- Einstellung, Sichtfeld vermessen
Kraftstofftank	- Dichtheit, Kraftstoffverlust
Tank / Silo	- Undichtigkeiten, Ladungsverlust - Brandursache - Tank geplatzt - Ursache
Ladungssicherung	- Ladung verloren - Ursache
Anhängerkupplung	- gelöst - Ursache

# Anforderungen an die Wirkung von Bremsanlagen:

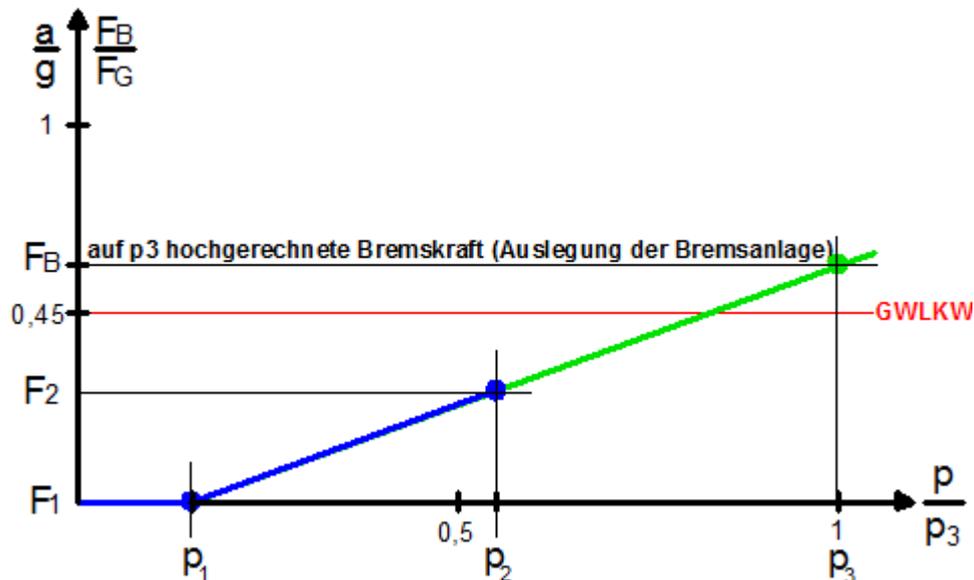
## Mindestabbremung und zulässige Betätigungskräfte

Fz.-Klasse	Fahrzeugart	Erstzulassung	Betriebsbremsanlage			Feststellbremsanlage				
			Z ≥ [%]	F <sub>H</sub> ≤ [daN]	F <sub>F</sub> ≤ [daN]	Z ≥ [%]	F <sub>H</sub> ≤ [daN]	F <sub>F</sub> ≤ [daN]		
M1	PKW, Wohnmobile ≤ 3,5 t * <sup>1</sup>	vor 01.01.91	50	---	50	15	40	50		
		<b>ab 01.01.91 und vor 28.07.2010</b>				16				
		<b>ab 28.07.2010</b>				16				
M2, M3	Kraftomnibus	vor 01.01.91	48	---	70	15	60	70		
		ab 01.01.91				16				
N <sub>1</sub>	LKW/Zugmaschinen	vor 01.01.91	45 * <sup>3</sup>	---	70	15	60	70		
		ab 01.01.91	50			16				
N <sub>2</sub> , N <sub>3</sub>	LKW/Zugm./Wohnmob. > 3,5t	vor 01.01.91	43 * <sup>3</sup>	---	70	15	60	70		
		<b>ab 01.01.91 und vor 28.07.2010</b>	45			16				
		<b>ab 28.07.2010</b>	50			16				
O	Anhängefahrzeuge ≤ 25 km/h	alle	25	---	---	15	60	---		
	Anhängefahrzeuge > 25 km/h	vor 01.01.91	40	P <sub>M</sub> = 6,5 bar (Berechnungsdruck)		16	60	---		
		<b>ab 01.01.91 und vor 28.07.2010</b>	43					---		
	O3 und O4, Drehschemel > 25	<b>ab 28.07.2010</b>	50 * <sup>4</sup>					16		
O3 und O4, Sattel > 25 km/h	45 * <sup>6</sup>		16							
T	lof - Zugmaschinen ≤ 40 km/h	alle	35	40	60	15	40	60		
	lof - Zugmaschinen > 40 km/h		40	---	70	16	60	70		
---	übrige Kraftfahrzeuge ≤ 25 km/h	vor 01.01.91	25	---	80	15	60	80		
		ab 01.01.91	25	---	70			70		
	übrige Kraftfahrzeuge >25 km/h * <sup>2</sup>	vor 01.01.91	40	---	80	15	60	80		
		ab 01.01.91						70	70	
			v* <sup>4</sup>	h* <sup>4</sup>	vuh					
L3, L3e	Krafträder ohne Beiwagen	vor 01.10.98	30	30* <sup>5</sup>	50	20	50	---	---	
		ab 01.10.98	35		50		35			
L4, L4e	Krafträder mit Beiwagen	vor 01.10.98	30	25	40	20	50	---	---	
		<b>ab 01.01.91 und vor 28.07.2010</b>	35	30	45		35			
		<b>ab 28.07.2010</b>			46					
L5, L5e	dreirädrige Kfz. (symmetr. Anordnung)	vor 01.10.98	---	---	45	20	50	15	40	50
		ab 01.10.98	---	---	45		16			
L7, L7e	vierrädrige Kfz.	vor 01.10.98	---	---	45	20	50	15	40	50
		ab 01.10.98	---	---	45		16			
			Dauerbremsanlage							
M	Kraftomnibus > 5,5 t	vor 01.01.91	5 % (0,5 m/s <sup>2</sup> mittl. Verzögerung) im Fahrversuch bei 30 km/h (gem. Typ II Anh. II RL 71/320/EWG)							
N	LKW/Zugm. > 9t									
M <sub>3</sub> , N <sub>3</sub>	LKW/Zugm./Kraftomnibus									
M <sub>3</sub>	Kraftomnibus Kl. II/III	ab 01.01.91	6 % (0,6 m/s <sup>2</sup> mittl. Verzögerung) im Fahrversuch bei 30 km/h (gem. Typ II Anh. II RL 71/320/EWG)							

* <sup>1</sup>	Wohnmobile > 3,5t siehe Fahrzeugklassen N2, N3
* <sup>2</sup>	Jedoch für Kraftfahrzeuge, die ab dem 01.01.2001 erstmals in Verkehr gekommen sind und deren Baumerkmale den unter die EG-Richtlinien über Bremsanlagen fallenden Fahrzeugen gleichzusetzen sind,
* <sup>3</sup>	40, wenn radstandsbezogene Schwerpunkthöhe h/E ≥ 0,5
* <sup>4</sup>	anzuwenden, wenn unabhängige Betriebsbremsen vorhanden, die nur auf eine Achse wirken
* <sup>5</sup>	25, wenn Übertragung der Bremskraft aufgrund blockierender Räder nicht möglich
* <sup>6</sup>	Jedoch ≥ 43 % für Drehschemel- und ≥ 40 % für Sattel-/Zentralachsanhänger, wenn trotz einwandfreiem Zustand der Bremsanlage auf Grund des Messverfahrens die Mindestwerte von 50 % bzw. 45 % nicht erreicht

Hinweise zu den verwendeten Abkürzungen:  
 FF = Fußkraft FH = Handkraft Z = Abbremsung

Diagramm zur Ermittlung und Beurteilung der Abbremsung eines Fahrzeugs (Hochrechnung).  
Vorausgesetzt wird eine (idealisierte) lineare Abhängigkeit der Bremskraft vom Bremsdruck !



a: erreichbare Verzögerung  
g: "Erdbeschleunigung"  
 $F_B$ : Bremskraft (gemessen)  
 $F_G$ : Gewichtskraft (bei zulässigem Gesamtgewicht)

$P_1$ : Bremsdruck beim ersten Messpunkt (hier: hypothetischer Bremsanlegedruck 0,4 bar)  
 $P_2$ : Bremsdruck beim zweiten Messpunkt (vor Blockieren der Bremse)  
 $P_3$ : Berechnungsdruck (Auslegungsdruck der Bremsanlage)  
 $F_1$ : Bremskraft beim ersten Messpunkt (hier = 0 bei hypothetischem Bremsanlegedruck 0,4 bar)  
 $F_2$ : Bremskraft beim zweiten Messpunkt (bei Bremsdruck  $P_2$ )  
 $F_B$ : auf's ZGG hochgerechnete (linear extrapolierte) Bremskraft (bei Berechnungsdruck  $P_3$ )

GWLKW: Gesetzlich geforderter Wert für die erreichbare Abbremsung  $F_B/F_G$  am Beispiel eines modernen LKW (> 3,5 to), hier ist eine Abbremsung von 45 % gefordert, d.h. die Summe der Bremskräfte  $F_B$  muss 45 % der Gewichtskraft  $F_G$  erreichen. Das entspricht einer erreichbaren Verzögerung von  $4,5 \text{ m/s}^2$  (gerundet für:  $9,81/2 \text{ m/s}^2$ ).

Bremsen-Hochrechnung: aus zwei "bekannten" Punkten (Annahme oder Messwerte) auf einer Geraden wird auf die Lage eines dritten Punktes (außerhalb des abgedeckten Bereichs) geschlossen.

2-Punkt-Hochrechnung: beide Punkte werden gemessen, daraus wird die Steigung des als linear angenommenen Funktionsgraphen und der gesuchte Punkt ermittelt.

1-Punkt-Hochrechnung: wenn einer der Punkte fest (standardmäßig) vorgegeben werden kann, muss nur noch ein weiterer Punkt **gemessen** werden. Bei der 1-Punkt-Hochrechnung wird von einem Standard-Anlegedruck von 0,4 bar ausgegangen, bei dem das Einsetzen der Bremswirkung erwartet wird. Die 1-Punkt-Hochrechnung ist damit lediglich ein Sonderfall der 2-Punkt-Hochrechnung.

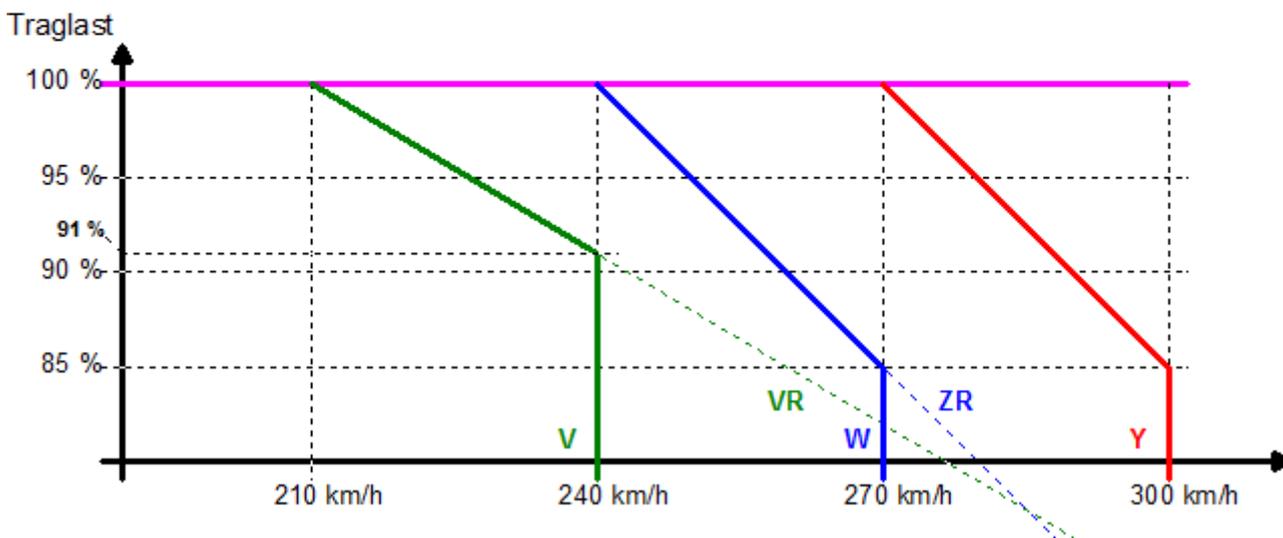
Problem: Eine reale Bremsenkennlinie verläuft nicht linear, zum Teil wird die Kennlinie auch vom Fahrzeughersteller bewusst nicht linear gewählt. Einzelheiten sind dem Bremsen-Typschild des Fahrzeugs zu entnehmen.

## Anforderungen an die Bereifung (hier: PKW-Reifen)

Bestimmung des erforderlichen Geschwindigkeits- und Lastindex aus den Fahrzeugpapieren:

bbH < 50 km/h: Geschwind.-Index ausr. für bbH + 10 % bbH  
 50 km/h < bbH < 150 km/h: Geschwind.-Index ausr. für bbH + 3 % bbH + 3,5 km/h  
 150 km/h < bbH: Geschwind.-Index ausr. für bbH + 1 % bbH + 6,5 km/h

Fahrzeug mit EG-Typgenehmigung: Geschwindigkeits-Toleranz: +/- 5%  
 (Hersteller konnte auf Toleranz verzichten, heute ist keine Toleranzzugabe mehr erforderlich)



Geschwindigkeits-  
symbole (GSy)

Lastindex (LI)  
Tragfähigkeit in kg

GSy	bbH	LI	kg	LI	kg	LI	kg	LI	kg	LI	kg
B	50	16	71	36	125	56	224	76	400	96	710
F	80	17	73	37	128	57	230	77	412	97	730
G	90	18	75	38	132	58	236	78	425	98	750
J	100	19	77,5	39	133	59	243	79	437	99	775
K	110	20	80	40	140	60	250	80	450	100	800
L	120	21	82,5	41	145	61	257	81	462	101	825
M	130	22	85	42	150	62	265	82	475	102	850
N	140	23	87,5	43	155	63	272	83	487	103	875
P	150	24	90	44	160	64	280	84	500	104	900
Q	160	25	92,5	45	165	65	290	85	515	105	925
R	170	26	95	46	170	66	300	86	530	106	950
S	180	27	97	47	175	67	307	87	545	107	975
T	190	28	100	48	180	68	315	88	560	108	1.000
U	200	29	103	49	185	69	325	89	580	109	1.030
H	210	30	106	50	190	70	335	90	600		
V	240	31	109	51	195	71	345	91	615		
W	270	32	112	52	200	72	355	92	630		
Y	300	33	115	53	206	73	365	93	650		
VR	> 210	34	118	54	212	74	375	94	670		
ZR	> 240	35	121	55	218	75	387	95	690		

Referenzgeschwindigkeit: 160 km/h

Referenzfülldruck nach WdK / ETRTO: 2,5 bar

bei reinforced: 2,9 bar

## Anforderungen an Fahrzeugverbindende Einrichtungen

Der D-Wert (Deichsel-Wert) gibt die horizontale Belastung bzw. Belastbarkeit (Amplitude der Deichsel-Längskraft) einer fahrzeugverbindenden Einrichtung an (vgl. TA 31).

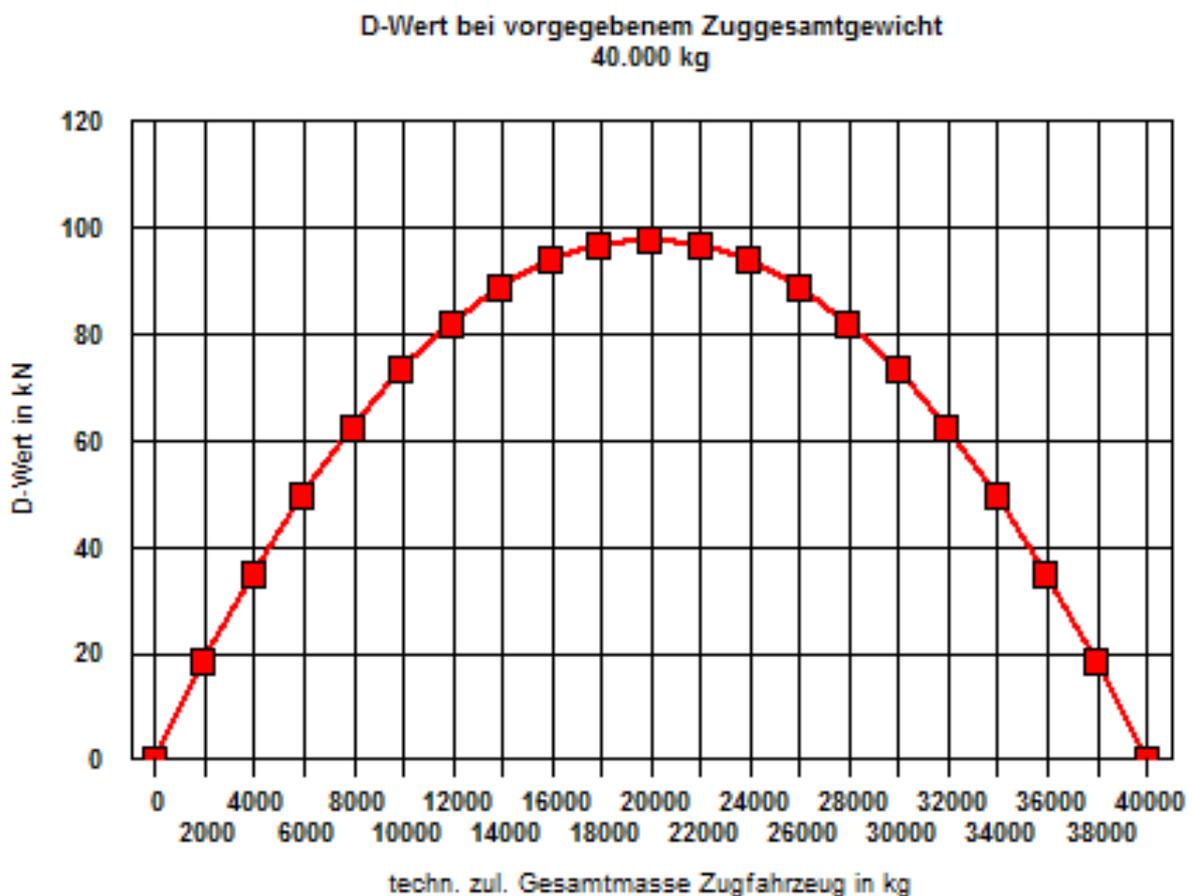
D-Wert-Ermittlung beim Gliederzug: 
$$D = g \cdot \frac{m_Z \cdot m_A}{m_Z + m_A}$$

D-Wert-Ermittlung beim Sattelkraftfahrzeug: 
$$D = g \cdot \frac{m_Z \cdot m_A}{m_Z + m_A - S}$$

Dabei sind  
 g: Erdbeschleunigung von 9,82 m/s<sup>2</sup>  
 m<sub>Z</sub>: technisch zulässige Gesamtmasse des Zugfahrzeugs  
 m<sub>A</sub>: Anhängelast des Zugfahrzeugs oder - wenn ein Anhänger angehängt ist - die technisch zulässige Gesamtmasse des Anhängers  
 S: Sattelast

Das untenstehende Diagramm für einen Gliederzug zeigt, dass die Belastung einer solchen fahrzeugverbindenden Einrichtung ist - bei vorgegebenem Zug-Gesamtgewicht - am größten ist, wenn beide Fahrzeuge gleich schwer sind.

Typische Vorgaben für ein Zuggesamtgewicht können sein:  
 die nationale Grenze von 40 t für Nutzfahrzeuge (s. Diagramm, erforderlicher D-Wert 100 kN) oder auch die europaweit gültige Grenze von 3,5 to für nicht gewerblich genutzte PKW-Züge (erforderlicher D-Wert 8,6 kN).



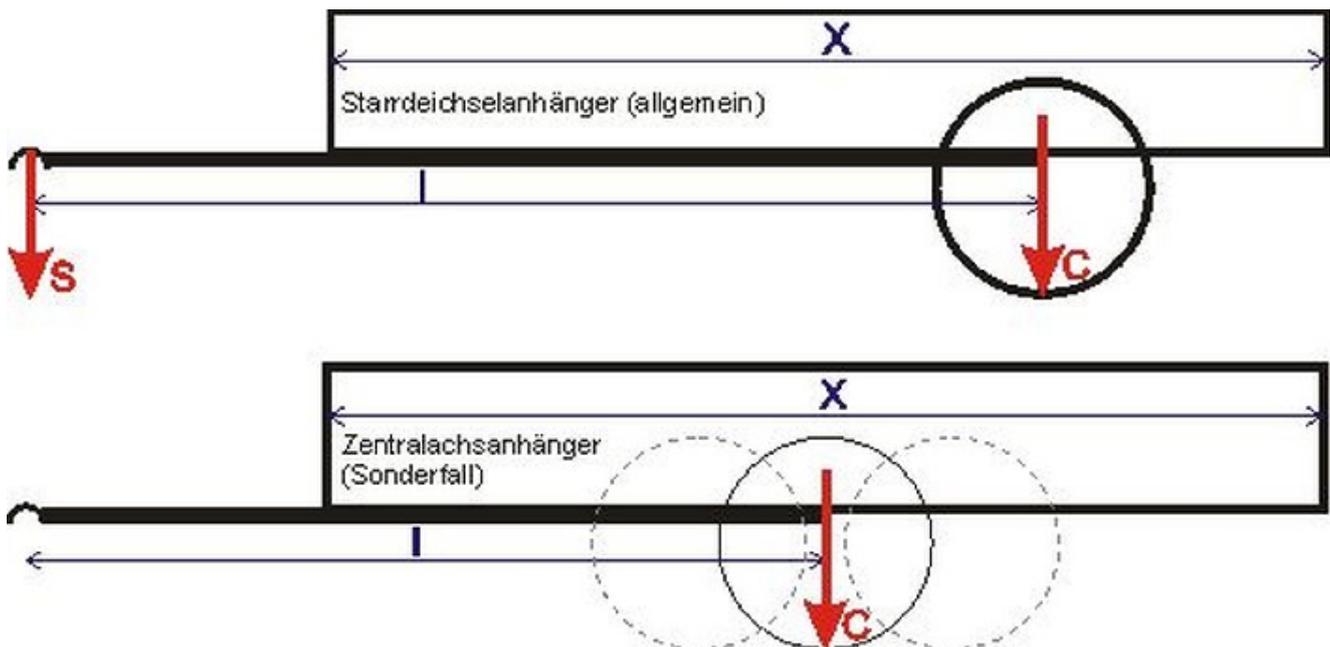
Der V-Wert gibt die vertikale Belastung bzw. Belastbarkeit (Amplitude der Deichsel-Vertikalkraft) einer fahrzeugverbindenden Einrichtung an (definiert für Anhänger über 3,5 to, vgl. TA 31).

V-Wert-Ermittlung

beim Zentralachsanhänger (außer Iof): 
$$V = a \cdot \frac{x^2}{l^2} \cdot C$$

bei anderen Starrdeichselanhängern (außer Iof): 
$$V = a \cdot \frac{x^2}{l^2} \cdot (0,95 \cdot C + S)$$

- Dabei sind
- a: vertikale Vergleichsbeschleunigung, abhängig von der Art der Hinterachsfederung am Zugfahrzeug
    - $a_1 = 1,8 \text{ m/s}^2$  bei luftgederten Hinterachsen
    - $a_2 = 2,4 \text{ m/s}^2$  bei konventionell gefederten Hinterachsen (z.B. Stahlblattfeder)
  - x: Länge der Ladefläche des Anhängers
  - l: theoretische Zugdeichsellänge von der Mitte des Achsaggrgats bis zur Mitte der Zugöse bzw. der Kupplungskalotte
  - C: Summe der Achslasten des mit der zulässigen Masse beladenen Zentralachsanhängers
  - S: statische Stützlast



### Untersuchungen bei Verdacht auf unfallursächliche Mängel an Fahrzeugen

Beispiele zur Untersuchung von Fahrzeugkomponenten:



Bremsflüssigkeitsausgleichsbehälter: leer



Ursache: undichter Radbremszylinder



Bremsscheibenverschleiß bis zum Abriss



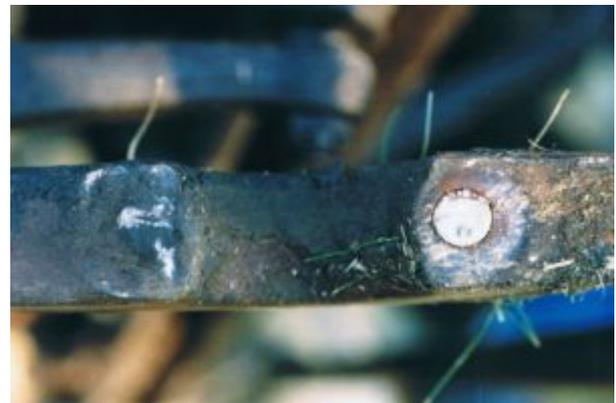
Druckluft-Radbremszylinder,  
Staubmanschette beschädigt,  
Rückholfeder korrodiert und gebrochen,



Membran von Federresten durchstochen  
Ausfall der Radbremse und Druckluftverlust beim Bremsen

**Beispiele zur Untersuchung von Fahrzeugkomponenten:**

Anhängerzug- und Auflaufeinrichtung abgerissen nach Verschleiß des Auflaufdämpfers



Verschraubung abgerissen: Achsschenkel- und Lenkhebel-Seite ---> Lenkungsversagen



Futtermittel-Silo geplatzt:

Beim Versuch, eine Verstopfung im Auslass-Trichter doch noch durch Druckluftzufuhr zu beseitigen, entzündete sich die Ladung im zu lange aufrecht erhaltenen heißen Luftstrom, der dann die entstandene Glut noch weiter anfachte. Der Brand in der Ladung führte zum Schmelzen des Aluminium-Aufbaus im Bereich der Schweißnähte, so dass es trotz des relativ geringen Überdrucks im Behälterinneren zum Platzen des Silos kam.

# Unfallrekonstruktion / Verkehrsunfallanalyse

## Aufgabe der Verkehrsunfallrekonstruktion:

Das Unfallgeschehen soll nachträglich - sowohl räumlich, als auch zeitlich maßstabsgerecht - so dargestellt werden, dass neben dem rein technischen Unfallablauf auch das Handeln und Unterlassen der beteiligten Personen für den Laien verständlich wird. Dazu gehört auch die Betrachtung und Darstellung alternativer Geschehensabläufe, z.B. solche, bei denen das Unfallgeschehen vermieden worden wäre (Vermeidbarkeitsbetrachtung)

## Typische Fragenkomplexe bei der Unfallrekonstruktion

<b>Kollisionspunkt</b>	(fahrbahnbezogen)
<b>Kollisionsstellung</b>	(relativ zueinander)
<b>Geschwindigkeiten</b>	(zum Kollisionszeitpunkt und während der Annäherung)
<b>Bewegungsabläufe</b>	(räumlich-zeitliche Zuordnung)
<b>Fahrmanöver</b>	(lenken, beschleunigen, bremsen)
<b>Schadenkorrespondenz</b>	(passen die Spuren- und Schadenbilder zusammen?)
<b>Signalphasenzuordnung</b>	(wer fuhr bei ROT, wer bei GRÜN in eine Kreuzung ein?)
<b>Technische Ursachen</b>	(kommen technische Mängel als Unfallursache in Frage?)
<b>Erkennbarkeit</b>	(Sichtverhältnisse: Örtlichkeit, Licht und Witterung)
<b>Bemerkbarkeit</b>	(visuell, akustisch, kinästhetisch)
<b>Reaktion</b>	(ist eine Reaktion nachweisbar und passt sie zum Unfall?)
<b>Vermeidbarkeit</b>	(räumlich? zeitlich? unter welchen Bedingungen?)

## Anknüpfungspunkte

Verfügbare Daten und Fakten direkt von der Unfallstelle oder nach Aktenlage

**Straßen-, Witterungs- und Sichtverhältnisse**

**Endstellungen bzw. Endlagen von Fahrzeugen und Personen**

**Spuren auf der Fahrbahn, Reifenspuren, Trümmer- und Splitterfelder**

**Spuren an den Fahrzeugen, Beschädigungen / technischer Zustand**

**Verletzungen und Spuren an der Kleidung von Personen**

**Aufzeichnungen von EG-Kontrollgeräten oder UDS (Unfalldaten-Schreiber)**

**Beweisfotos oder Videoaufzeichnungen**

**Signallage- und Schaltpläne**

**Aussagen von Beteiligten und Zeugen**

# Definitionen

## Unfallphasen

### - **Vorkollisionsphase** (Pre-Crash-Phase)

Beginn des Unfallverlaufs = Eintreten einer Konfliktsituation, in deren weiterer Entwicklung eine Kollision erfolgt. Zur rekonstruierten Vorkollisionsphase werden bei der Gutachtenerstellung häufig (je nach Aufgabenstellung) alternative Varianten diskutiert, bei denen der Unfall z.B. hätte vermieden werden können.

- Sichtbarkeit
- Erkennbarkeit
- Reaktionsaufforderung / Gefahrenpunkt
- Reaktionsdauer
- Bewegungsrichtungen
- Bremsen / Lenken
- Geschwindigkeiten

### - **Kollisionsphase** (Crash-Phase)

Nach dem Erstkontakt der Unfallbeteiligten beginnt die Verformung bis zur tiefsten Eindringung (Kompressionsphase) bzw. der Aufwurf eines Fußgängers, anschließend erfolgt die Trennung der Unfallbeteiligten mit einer zumindest teilweisen elastischen Rückverformung (Restitutionsphase). Der reale Stoß ist immer teilelastisch bzw. teilplastisch. Bei idealisierter Betrachtungsweise kann als Grenzwert einer Betrachtung auch ein vollkommen elastischer oder vollkommen plastischer Stoß angesetzt werden.

### - **Nachkollisionsphase** (Post-Crash-Phase)

Nach dem Impulsaustausch erfolgt der Auslauf der Unfallbeteiligten. Der Auslauf kann in mehreren Abschnitten ungebremst, gebremst und / oder schleudernd verlaufen. Die Nachkollisionsphase der "Hauptkollision" kann gleichzeitig Pre-Crash-Phase für einen weiteren Anstoß sein.

## Spuren / Definitionen

Nach DIN 75 204 sind Spuren definiert als Veränderungen an den Unfallbeteiligten und dem Umfeld, die im Zusammenhang mit dem Unfallgeschehen entstanden sind. Dazu gehören Kontakts Spuren (z.B. *Formspuren, Abdrücke, Reibspuren*), Situationsspuren (z.B. Endstellungen und Endlagen) und spezielle Spuren an / von Personen / Tieren (z.B. Verletzungen, Blutantragungen), Fahrzeugen oder im Unfallumfeld, insbesondere auf / an / neben der Fahrbahn.

### objektive Spuren...

#### **naturwissenschaftliche Kriminalistik**

Fahrzeugdiebstahl (Schloßuntersuchungen), Fahrzeugbrand (Brandherd u. Ursache), Haaruntersuchungen, Reifen (Qualitätsmängel), Lack (Qualitätsmängel), Teile (Unfallflucht).

#### **allgemeine Spuren bei Verkehrsunfällen**

korrespondierende Spuren von Fahrzeug-Fahrzeug-, Fahrzeug-Hindernis-, Fahrzeug-Fußgänger- oder Fahrzeug-Tier- Kollisionen, Fahrzeugalleinunfall

... **an den Unfallbeteiligten** durch Fahrzeugkonturen (innen und außen), Hindernis, Fahrbahn

... **am Unfallfahrzeug** durch Fahrzeug, Hindernis, Beteiligte (innen und außen), Technische Mängel (ursächlich, mitursächlich, Bauartveränderung)

... **im Umfeld** durch Reifen, Fahrzeugteile, Beteiligte

**Schlag- und Kratzmarken auf der Fahrbahn, korrespondierende Spuren am Fahrzeug**

### Bei Reifenspuren wird (ebenfalls nach DIN 75 204) unterschieden zwischen:

**Beschleunigungsspur** eines Reifens der Antriebsräder beim Durchdrehen oder im Bereich beginnenden Durchdrehens

**Blockierspur** eines blockierten Rades (100 % Schlupf)  
Abdrücke des Querprofils nicht erkennbar, Vorder- und Hinterradspur unterscheiden sich im Wesentlichen durch Spurbeginn und Spurbreite, aber auch durch unterschiedlich ausgeprägte Kantenzeichnung. Diese deutet auf - relativ zur momentanen Belastung (z.B. durch dynamische Achslastverlagerung) - zu geringen Fülldruck hin und ist daher typisch für Vorderradspuren.

**Reifenabdrücke** unverzerrte Abdrücke des Profils in der Form der Reifenaufstandsfläche

**Bremsspur** Spur eines in einer Längsrichtung unter Schlupf abrollenden Reifens  
Spur mit verzerrten Profilabdrücken des Querprofils

**Driftspur** Reifenspur eines Rades, das sich mit einem merklichen Schräglaufwinkel - also mit Querschlupf bewegt, wobei der Fahrzeug-Schwimmwinkel und seine zeitliche Änderung begrenzt bleiben  
Spurzeichnung mit häufigen hell-dunkel-Wechseln quer bis schräg zur Spurrichtung

**Schleuderspuren** Driftspuren, die einen stark anwachsenden Schwimmwinkel und intensives Gieren des Fahrzeugs erkennen lassen - häufig mit Überlagerung einer Bremsung - die Abstände der einzelnen Reifenspuren des Fahrzeugs zueinander ändern sich deutlich (bis zum gegenseitigen Überkreuzen), oft sind die Einzelspuren unterschiedlich breit.

<b>Fahrspuren</b>	Spuren abrollender Reifen mit deutlichen, unverzerrten Profilabdrücken
<b>Pendelspuren</b>	Reifenspuren (von Krad, Wohnwagen-Anhänger oder ähnlichen Fahrzeugen) aufgrund eines Pendelns in einer bestimmten Frequenz
<b>Walkspuren</b>	Spur eines mit stark vermindertem Luftdruck abrollenden Reifens Spurzeichnung im Bereich der Reifenschulter, von Felgenhorn zu Felgenhorn wechselnd
<b>Wendespuren</b>	Spur eines Reifens bei Fahrzeug-Wendemanövern auf kleinem Radius
<b>Spurenintervall</b>	Teilstück eine Spur, dessen Merkmale sich in der Regel im Gesamtspurenbild wiederholen
<b>Intervallspuren</b>	sich wiederholende Spurmerkmale, die z.B. durch eine erwärmte Bremsplatte (unter Schlupf), aber auch aufgrund einer automatischen Regelung (ABS) entstehen
<b>Spurenkreuzung</b>	Schnittstelle verschiedener Reifenspuren
<b>Spurenüberlagerung</b>	Überdeckung von Spuren im Längs- oder auch Querbereich
<b>Spurenunstetigkeit</b>	örtlich begrenzte Veränderung im Aussehen, in der Intensität oder im Richtungsverlauf einer Spur
<b>Spurknick</b>	plötzliche Richtungsänderung im Spurenverlauf, die nicht durch Kurvenfahrt, Driften oder Schleudern, sondern durch die Einwirkung äußerer Kräfte (z. B. Kollision) verursacht wurde

## Spurenkorrespondenz

Häufig stellt sich die Frage, ob bestimmte Spuren zum gleichen Ereignis passen, oder ob die Gefahr besteht, dass aufgrund einer falschen Spureuzuordnung auch falsche Schlüsse bezüglich des Unfallablaufs gezogen werden. Bei der Zuordnung von Spuren zu einem (Unfall-) Ereignis muss daher große Sorgfalt aufgewandt werden.

In der Regel gilt: zu jeder Spur gehört auch eine korrespondierende Spur am Verursacher, auch wenn diese möglicherweise nicht (mehr) erkennbar ist. Zeichnet ein Reifen zum Beispiel Blockierspuren auf der Fahrbahn, so sind die entsprechenden Belastungsspuren auch am Reifen (Bremsplatte, Radierspuren) zumindest unmittelbar nach dem Unfall zu bemerken. Kriterien der Zuordnung von Reifenspuren sind zum Beispiel der vorgefundene Endstand eines Fahrzeugs auf dem Ende einer Reifenspur, bei beidseitiger Zeichnung die Spurweite und bei deutlicher innerer Struktur der Reifenspur ein Reifenprofil, das dieser Struktur zugeordnet werden kann.

Aber auch beim Kontakt eines Fahrzeugs mit einem anderen Fahrzeug oder Gegenstand entstehen in der Regel an beiden Partnern Spuren. Diese können sowohl bezüglich der Struktur, als auch vom Verlauf, der Höhenlage, der (relativen) vertikalen oder horizontalen Abstände zwischen zwei markanten Strukturen, der Farbe und der Deformationsform miteinander korrespondieren oder aber nicht zueinander passen. Dann müssen gegebenenfalls eine (z.B. bei Vorschäden) oder sogar alle vorgefundenen Beschädigungen einem anderen Ereignis zugeordnet werden (z.B. bei vorgetäuschten Unfällen oder der Untersuchung eines Fahrzeugs nach einer Unfallflucht).

**Beispiel: Spuren beim Fußgängerunfall:****Spuren am Fahrzeug:** - welche Art von Anstoß lag vor?

frontaler Vollstoß / Überfahren / Streifstoß / seitlicher Anprall des Fußgängers;

Beschädigungen an Stoßfänger, Frontspoiler, Kühlergrill und Scheinwerfern (i.d.R. Beinanprall), vorderer Motorhaubenbereich (i.d.R. Beckenbeule und Anschlagspuren der Arme, Handabdrücke), hinterer Motorhaubenbereich (i.d.R. Kopfbeule oder Schulteranprall), Windschutzscheibe / A-Säulen (i.d.R. Kopfbeule oder Schulteranprall), Dachbereich (textile Wischspuren, Profilabdrücke von Schuhsohlen, Blut- und Gewebe), seitliche Fahrzeugbereiche (Spuren an Reifenflanken, Verglasung, Türen, Seitenwänden, seitlichem Unterfahrschutz, ...)

Spuren an der Bodengruppe und an den Reifenlaufflächen (Kleidung, Gewebe, Blut).

Richtung der Kontaktsuren am Fahrzeug, seitlicher Beulenversatz, Aufwurfweite, Abwicklung, Abwicklungsdifferenz

**====> daraus**

Hinweise auf Geschwindigkeit des Fahrzeugs, Lage des Fußgängers relativ zur Fahrzeuginnenachse (aufrecht, hockend, längs liegend, quer liegend) und auf Bewegungsrichtung (längs, quer nach rechts, quer nach links), Hinweise auf Geschwindigkeit des Fußgängers (stehend, gehend, rennend)

**Spuren am Fußgänger:**

Verletzungen des Fußgängers (Beine, Becken, Oberkörper, Arme, Kopf), Abdrücke / Beschädigungen / Schmelzspuren an der Kleidung

**====> daraus**

Hinweise auf Bewegungsrichtung (längs in Fahrtrichtung, längs entgegen der Fahrtrichtung, quer nach rechts, quer nach links),

**Spuren auf der Fahrbahn:**

Spurenunstetigkeiten, Kratzspuren, Schuhabdrücke, Wisch-, Rutsch- und Flüssigkeitsspuren, Endlagen, Lage von Trümmern, Fahrzeugteilen und Splintern (Glas und Lack), Lage von Gegenständen (Hut, Brille, Tasche, Schuhe), Flugphase (ohne Kontaktsuren auf dem Untergrund), Rutschphase (Kontaktsuren durch mitgeführte Gegenstände, Kleidung oder Gewebe)

**====> daraus**

Hinweise auf Kollisionspunkt, Bewegungsrichtungen und Geschwindigkeiten.

Beispiele zum Thema Spuren / Spurenkorrespondenz:



Blockierspuren mit Kantenzeichnung



Fahr- und Blockierspuren im Sand



Fahrspuren im Sand



Fahrspuren im Gras



Blockierspuren im Gras



Schleuderspuren



Walkspuren

Beispiele zum Thema Spuren / Spurenkorrespondenz:



Driftspuren vor Maueranprall --->



Driftspuren und Mauerkontakt durch Reifen



Blockierspur mit Kantenzeichnung und Spurnick:



Blockierspur mit drei Längsrillen im Profil

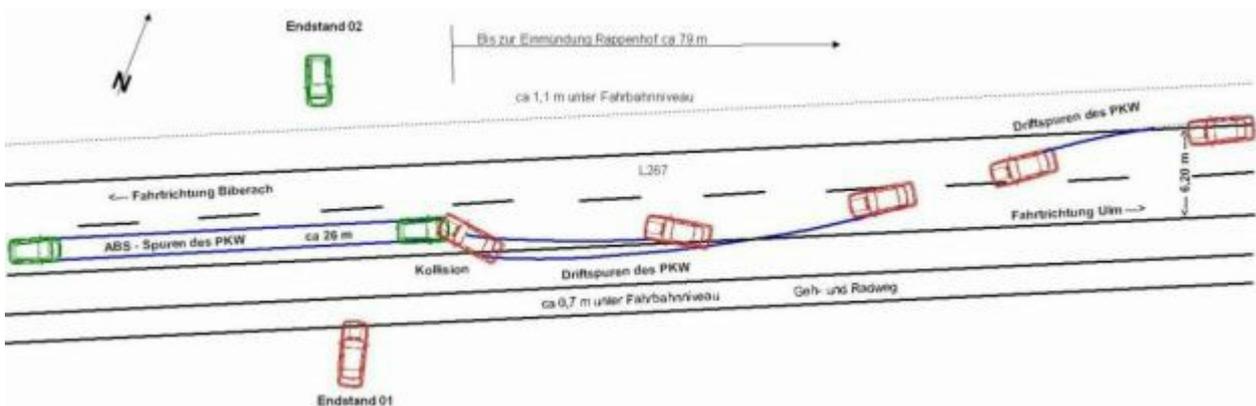


zugehörige Bremsplatte am Reifen

Beispiele zum Thema Spuren / Spurenkorrespondenz:



ABS-Spuren vor Erreichen des Kollisionspunkts, Driftspuren des entgegenkommenden PKWs



Skizze zum oben abgebildeten Spurenbild und Unfallgeschehen



Kraftrad: Blockierspur und Sturz --->

kurze Blockierspuren des einfahrenden PKWs und seitliche Verschiebung (im Bild nach links) durch den Anprall des Kraftradlenkers

Beispiele zum Thema Spuren / Spurenkorrespondenz:



Seitlicher Abrieb am Fahrradvorderreifen



starker Abrieb am Fahrradhinterreifen



Korrespondierende Spuren auf der Fahrbahn → und vor Ort rekonstruierte Kollisionsstellung

# Wahrnehmung und Reaktion

Zum Reaktionsvorgang gehören nach DIN 75 204 die Begriffe

## Erkennen

- Erfassung und Bewertung einer wahrgenommenen Situation
- Der Erkennungsvorgang endet mit der Reaktionsaufforderung (= Reaktionspunkt)

## Reaktion

- Das nach Wahrnehmen und Erkennen einer Veränderung oder Gefahr ausgelöste Verhalten
- Eine Reaktion kann z. B. erfolgen auf eine vermeintliche oder tatsächliche Gefahr und soll der Gefahrenabwehr dienen

## Reaktionspunkt

- Ende des Erkennungsvorgangs und Einleitung der Reaktion
- Es ist zu unterscheiden zwischen frühestmöglichem und aus dem Geschehen ermitteltem Reaktionspunkt

## Reaktionsort

- örtliche Lage des Reaktionspunkts

## Reaktionszeitpunkt

- Zeitliche Zuordnung des Reaktionspunkts

## Reaktionsverzug (**wertender Begriff, juristische Würdigung ⇒ vermeiden**)

- Dauer zwischen einem für möglich gehaltenen früheren und dem ermittelten Reaktionszeitpunkt

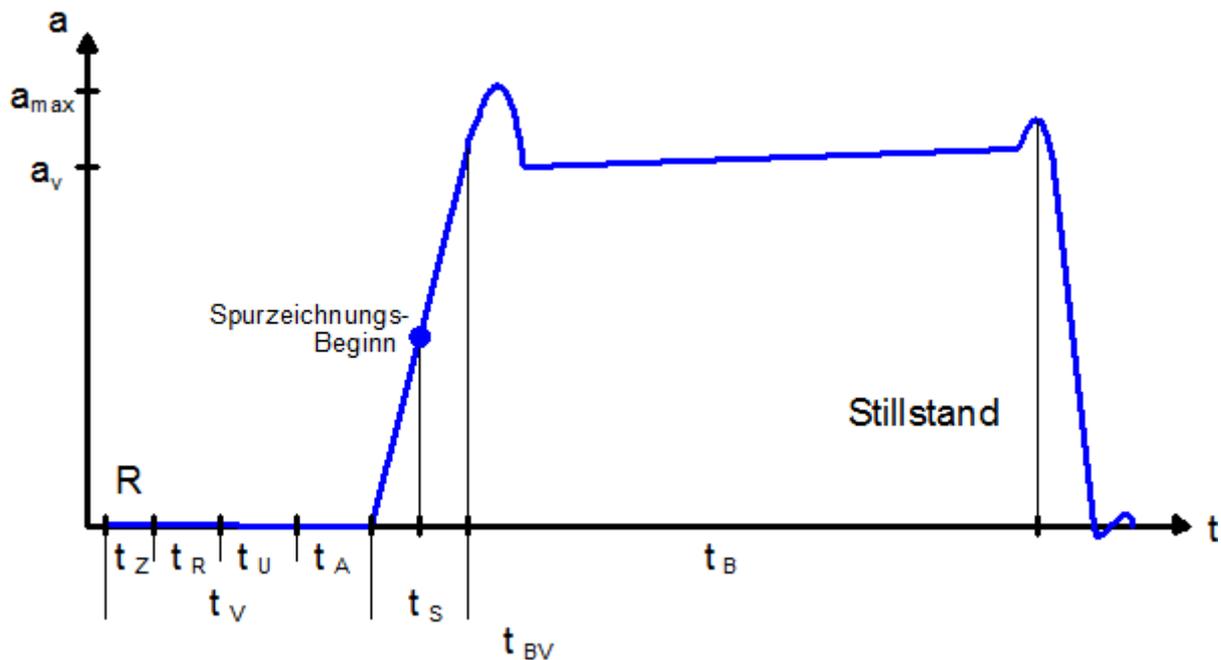
## Wahrnehmen

- Bemerken eines Objekts oder einer Situation
- Die der Wahrnehmung folgende optische Erkennbarkeit wird beeinflusst durch Blickzuwendung (peripher / foveal) und Augenpassung (Adaptation / Akkomodation)

**Achtung:** Reaktionsdauern im realen Verkehrsgeschehen können nicht mit solchen gleichgesetzt werden, die mit Hilfe von Reaktions-testern ermittelt wurden.

Reaktionsdauern können bei ein und derselben Person unterschiedlich sein.

### Zeitverlauf eines mit einem Messgerät aufgezeichneten Anhaltevorgangs



$a$	⇒ Verzögerung	(Betrag)	in $m/s^2$	variabel
$a_v$	⇒ Vollverzögerung	(Betrag)	in $m/s^2$	z.B. 7,0 $m/s^2$
$t_z$	⇒ Blickzuwendungsdauer	in	s	typisch 0,30 - 0,60 s
$t_r$	⇒ Reaktionsgrunddauer	in	s	typisch 0,20 - 0,60 s
$t_u$	⇒ Umsetzdauer	in	s	typisch 0,15 - 0,20 s
$t_A$	⇒ Ansprechdauer (Anlegen der Bremsbeläge)	in	s	typisch 0,03 - 0,06 s
$t_s$	⇒ Schwelldauer	in	s	typisch 0,10 - 0,20 s
$t_v$	⇒ Vorbremsdauer (auch Verlustgrunddauer)	in	s	typisch 0,60 - 1,00 s
$t_{BV}$	⇒ Bremsdauer mit $a_v$	in	s	
$t_B$	⇒ Bremsdauer	(praktisch)	in s	

‘Überschwinger’ an Beginn und Ende der Plateauphase beruhen auf Trägheit des Messgeräts, Schlupfänderung zwischen Reifen und Fahrbahn und Nickbewegungen der Karosserie.

Eine zusammenfassende Auswertung von Grandel ergab folgende Ergebnisse

Auswertung	50 %	99 %	
<b>ohne Blickzuwendungsdauer</b>			
$t_r$ = Reaktionsdauer des Fahrers	0,576	1,057	s
Standardabweichung	0,069	0,235	s
Spannweite	0,440	0,720	s
	0,730	1,500	s
<b>mit Blickzuwendungsdauer</b>			
$t_r$ = Reaktionsdauer des Fahrers	0,876	1,357	s
Standardabweichung	0,069	0,235	s
Spannweite	0,740	1,020	s
	1,030	1,800	s

daraus folgen Fahrerreaktionsdauern von

$t_{V\ 50\%}$	= 0,6 s	ohne
	= 0,9 s	mit Blickzuwendungsdauer
$t_{V\ 99\%}$	= 1,1 s	ohne
	= 1,4 s	mit Blickzuwendungsdauer

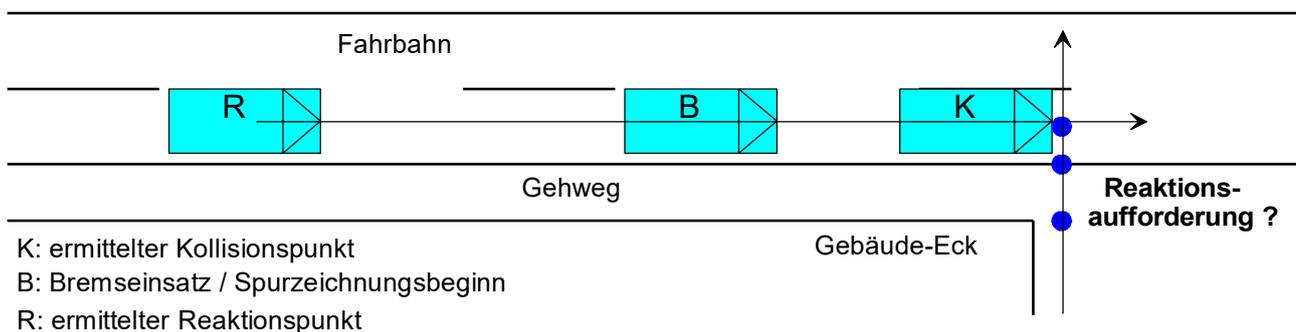
zuzüglich der halben Schwelldauer von ca. 0,1 s

(nach eigenen Messungen nicht mehr aktuell,  
bei modernen PKW-Bremsanlagen kann die Schwelldauer vernachlässigt werden)

## Reaktionsbetrachtung

Bei der Beurteilung eines Unfalls stellt sich häufig die Frage, ob einer der Beteiligten - gemessen an der jeweiligen Situation - richtig reagiert hat, oder ob er bei einer anderen Reaktion (z.B. früher bzw. bei einer vorgegebenen Reaktionsaufforderung) zur Vermeidung des Unfallgeschehens hätte beitragen können. Wenn die Annäherung der Unfallbeteiligten an die Kollision rekonstruiert oder durch Prämissen festgelegt wurde, müssen daher die Bewegungen einander zugeordnet und die Reaktionen plausibilisiert werden.

Im folgenden Beispiel kann der Sachverständige zum Beispiel zu dem Ergebnis kommen, dass sich die Reaktion des PKW-Lenkers mit dem Zeitpunkt in Einklang bringen lässt, an dem der Fußgänger die Fahrbahn betrat. Ob diese Reaktion rechtlich in Ordnung geht, oder ob er bereits hätte reagieren müssen, als der Fußgänger aus dem Sichtschatten des Gebäudes trat, unterliegt dann juristischer Würdigung. Der Sachverständige muss im vorliegenden Beispiel zusätzlich ermitteln, wie viel schneller als bisher angenommen sich der Fußgänger hätte bewegen müssen, damit auch eine Reaktion zum Zeitpunkt seines Erscheinens im Sichtfeld plausibel wird.



Neben der reinen räumlich-zeitlichen Zuordnung kann auch die Frage interessant sein, ob der PKW-Lenker eventuell durch eine andere Reaktion (z.B. ausweichen) zur Vermeidung des Unfalls hätte beitragen können, und ob dies unter den gegebenen Randbedingungen von ihm gefordert werden konnte (wiederum juristische Würdigung).

## **Prinzipieller Ablauf der Unfallbearbeitung**

### **Unfallaufnahme durch die Polizei:**

- Verkehrssicherung und -regelung**
- Spurensicherung**
- Skizze / Fotos**  
(Fotogrammetrie - teilweise übertragen an private Dienstleister)
- Zeugenermittlung / Zeugenbefragung**
- Verkehrsunfallanzeige**
- Feststellung von Straftaten und Ordnungswidrigkeiten**
- Weiterleitung der Verkehrsunfallaufnahme an**
  - **Bußgeldstelle**
  - **Staatsanwaltschaft**
  - **Statistisches Landesamt**

### **Staatsanwaltschaft / Ermittlungsverfahren**

- Prüfung der Fakten, ggf.**
  - **Einstellung des Verfahrens**
  - **Strafbefehl**
  - **Anklageschrift**

### **Gerichtsverhandlung im Strafverfahren**

- Einstellung in Hauptverhandlung wegen geringer Schuld (§153a)**
- Urteil**
- Einspruch**
- Zweite Instanz**
- Urteil**
- Revision usw.**

### **Die Einschaltung eines Sachverständigen ist in jeder Phase möglich!**

**Hinzuziehen des Sachverständigen bereits an der Unfallstelle durch Polizei, Staatsanwaltschaft oder (selten) Privatpersonen:**

- Spurensicherung an der Unfallstelle (Unterstützung der Polizei)**
- Fotos fertigen, ggf. fotogrammetrisch auswerten**
- Unfallskizze erstellen**
- Gutachten je nach Auftraggeber und Fragestellung erstellen**

**Sachverständige werden von Anwälten, Versicherungen und Privatpersonen um Beratung gebeten**

- Mündliche (subjektive) Schilderung der Sachlage / Behauptungen**
- Handskizzen und Fotos der Beteiligten**
- Erörterung, Beratung, Beschaffung weiterer Informationen**
- ggfs "Parteigutachten" erstellen (nicht parteiisch sondern im Auftrag der Partei)**

**Sachverständige erhalten Akten von Staatsanwaltschaft / Gericht**

- Studium der Akten**
- ggf. Nacherhebungen**
- Gutachten für Ermittlungs- oder Gerichtsverfahren erstellen**

## Welche Daten sollten bei der Unfallaufnahme erfasst werden

Auftraggeber (StA, Polizei, Privatperson)  
Versandadresse (Polizei, Rechtsanwalt)  
Polizeiliche Sachbearbeiter  
Art und Zeitpunkt des Auftrags  
Zielzeitpunkt für Gutachten (Verjährung)

Unfallort, Unfallzeitpunkt  
Namen der Unfallbeteiligten

Endstellung der Fahrzeuge  
(Ort, Ausrichtung, Radstellung, eingelegter Gang, Lichtschalterstellung)

Fahrzeugzustände  
Hinweise auf möglicherweise (mit-) unfallursächliche technische Mängel, insbesondere  
Reifen, Bremsen, Lenkung, lichttechnische Einrichtungen, Scheiben verschmutzt / vereist?  
Zustand der Rückhaltesysteme, Airbag ausgelöst? Belastungsspuren an den Gurten?  
Plakettenlaufzeiten

Straßenverhältnisse  
Fahrbahnbeschaffenheit, Fahrbahnverlauf, Hindernisse, Sichtgrenzen  
Untergrund (Griffigkeit, Nässe, Schnee, Eis) und  
Hindernisse zwischen Kollision und Endstellung

Witterungsverhältnisse  
Tageslicht, Sonnenstand, Dunkelheit, Nebel, Regen, Schneefall, ggfs. Temperatur

Spuren (alle Veränderungen gegenüber dem ursprünglichen Zustand):

Beschädigungen an den Fahrzeugen und Kleidungsstücken, Verletzungen, Fahrbahnkontaktspuren, Spurenkorrespondenz

Reifenspuren: Reifenabdrücke, Fahrspuren, Bremsspuren, Driftspuren, Schleuderspuren, Regelflecken (ABV), Walkspuren

Unregelmäßigkeiten im Spurenverlauf: Knick, Intensitätsänderung, Verdickung

Schlag- und Kratzmarken, Lacksplitter, kurze Blockierspuren, Reifendrehspuren, Abdrücke, Flüssigkeitsspuren, Anrieb von Farbe, Gummi, Leichtmetall

Endlage der Teile (Weite, Verteilung, Richtung)

Kollisionspunkt (als Konsequenz aus den vorgefundenen Spuren)

Technische Aufzeichnungen (Diagrammscheibe, Daten des digitalen Kontrollgeräts, UDS, EDR/CDR-Daten, Daten anderer Steuergeräte, Unterlagen von Lichtsignalanlagen)

Informationen zu Alkoholenuss, Alkoholgehalt, BTM (Betäubungsmittel)

Aussagen der Beteiligten und Zeugen

## **Checkliste zur Spurensicherung am Unfallort**

**Übersicht über die Gegebenheiten an der Unfallstelle verschaffen  
dabei Übersichtsfotos anfertigen**

**Endlagen von Personen in- und außerhalb von Fahrzeugen markieren,  
dokumentieren und fotografieren**

**Endstellungen von Fahrzeugen markieren und fotografieren**

**Lage von Gegenständen in- und außerhalb von Fahrzeugen markieren,  
dokumentieren, fotografieren**

**Zustand von Rückhaltesystemen feststellen, fotografieren,  
ggf. asservieren.**

**Beschädigungen aller Fahrzeuge vermessen, dokumentieren,  
fotografieren**

**Glas- und Lacksplitter ggf. Schmutz, Flüssigkeitsspuren auf der Fahrbahn  
markieren, dokumentieren, fotografieren**  
**Schwerpunkte, Anfang und Ende von Splitterfeldern suchen, markieren und  
dokumentieren**

**Spuren (Reifen- Kratz und Schlagspuren) die auf Kollisionspunkt  
hindeuten markieren, einmessen und fotografieren**  
**Besonderheiten der Spuren (Spurenunstetigkeiten) die auf den Kollisionspunkt  
hindeuten suchen usw.**  
**mit den Spuren korrespondierende Reifen bzw. Teile der Fahrzeuge feststellen,  
Korrespondenz durch Fotografieren dokumentieren**

**Reifenspuren mit Spurbeginn und Reifenzuordnung markieren,  
einmessen und fotografieren**

**Unfallstelle vermessen und umfassend fotografieren,  
Auswertungs- und Gegen- oder Winkelfotos anfertigen**

**ggfs. Vorbereitungen für Bildauswertung treffen**  
**Referenzpunkte bestimmen oder Referenzgitter mit Gitterzirkel auf der Fahrbahn  
aufbringen**

# Verfahren und Hilfsmittel zur Rekonstruktion

## Skizzenerstellung

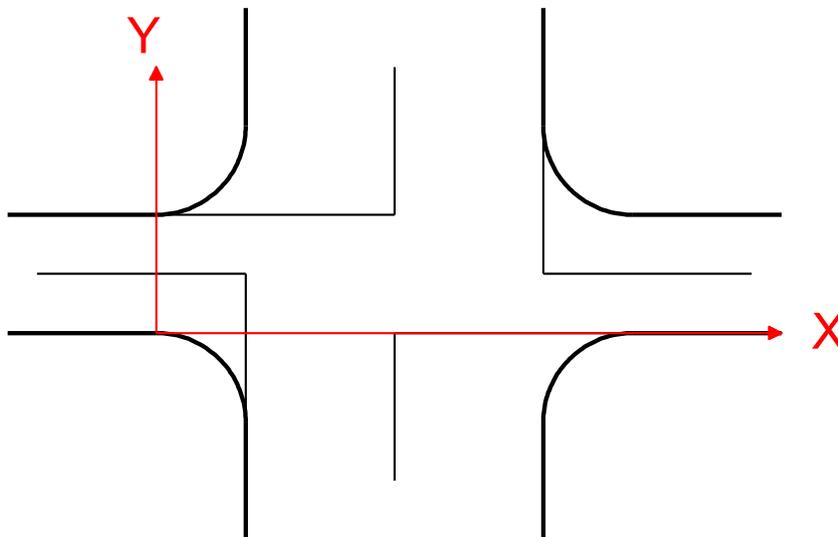
Neben der allgemeinen Spurensuche und Spurensicherung ist die Darstellung der Spuren in einer Verkehrsunfallskizze die wichtigste Arbeit bei der Verkehrsunfallaufnahme.

Die wichtigsten Methoden der Unfallstellenvermessung sind:

## Manuelle Skizzenerstellung

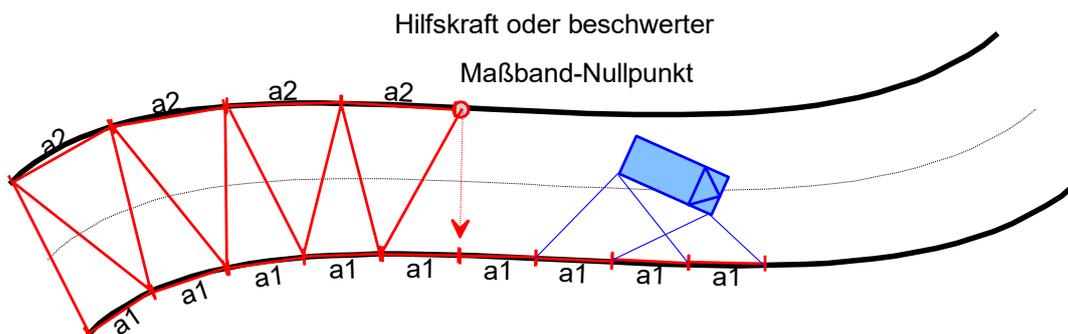
### Rechtwinkel-Koordinaten-Verfahren

Skizzenerstellung mit rechtwinkligem Koordinatensystem bei entsprechend einfachen örtlichen Verhältnissen, Daten können alleine aufgenommen und protokolliert werden.



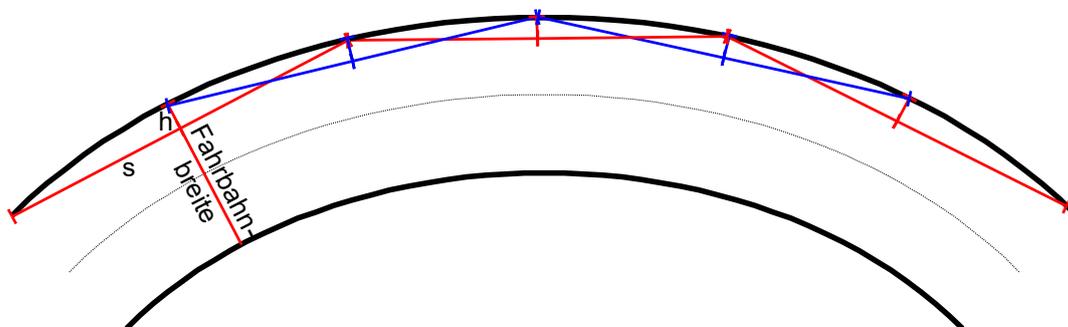
### Dreieck-Meßverfahren (Linearverfahren)

Dreiecksmeßverfahren, relativ einfaches Verfahren mit fortlaufenden Bezugspunkten für gekrümmte Fahrbahnverläufe, die Daten können alleine aufgenommen werden. Dazu empfiehlt es sich, zunächst die Punkte an den Fahrbahnrändern mit jeweils gleichen Abständen zu markieren. Variabel sind dann nur die Strecken quer über die Fahrbahn.



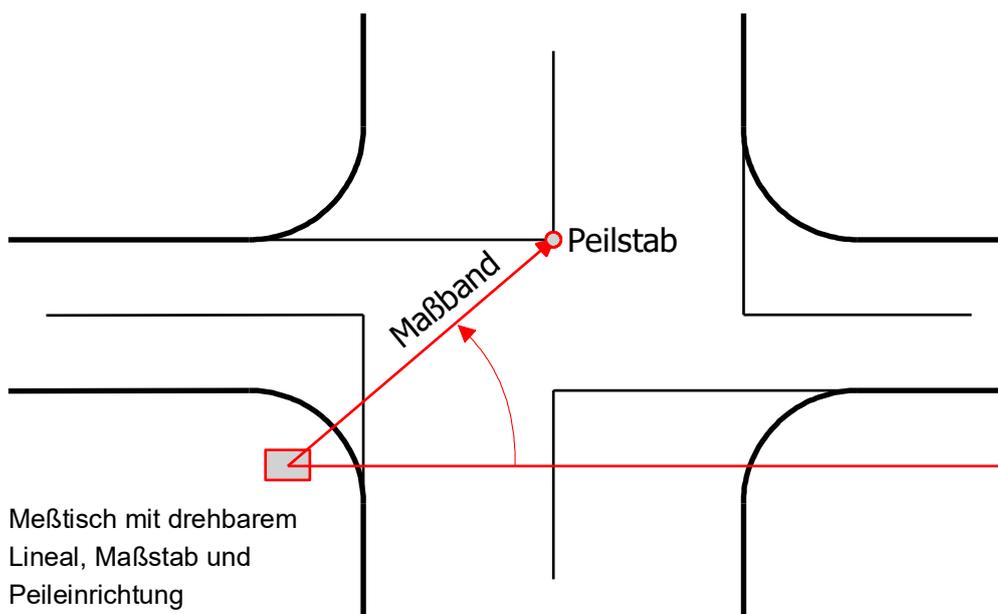
### Sehnenmeßverfahren

Sehnenmeßverfahren, relativ einfaches Verfahren mit fortlaufenden Bezugspunkten für gekrümmte Fahrbahnverläufe, die Daten können allein aufgenommen werden. Dazu empfiehlt es sich, zunächst eine geeignete feste Sehnenlänge  $s$  festzulegen. In der Mitte der Sehne ( $s/2$ ) am kurvenäußeren Fahrbahnrand wird die Kurvenhöhe  $h$  bestimmt und am Fahrbahnrand eine neue Sehnenmessung begonnen.



### Polarkoordinaten-Verfahren (Winkelverfahren)

Messtischverfahren für kompliziertere örtliche Gegebenheiten; es sind zwei Personen erforderlich

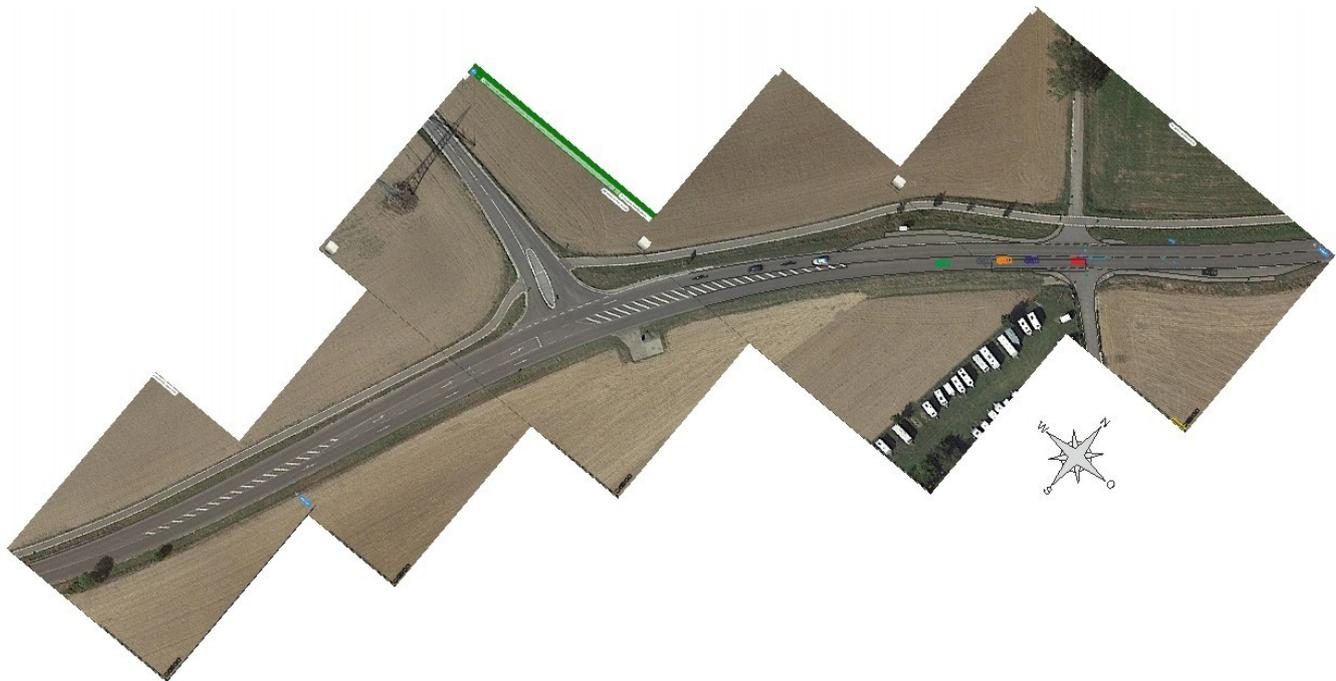


### Erstellung einer Skizze der Unfallörtlichkeit mittels Luft- oder Satellitenbild (zunächst ohne Spurenlage)

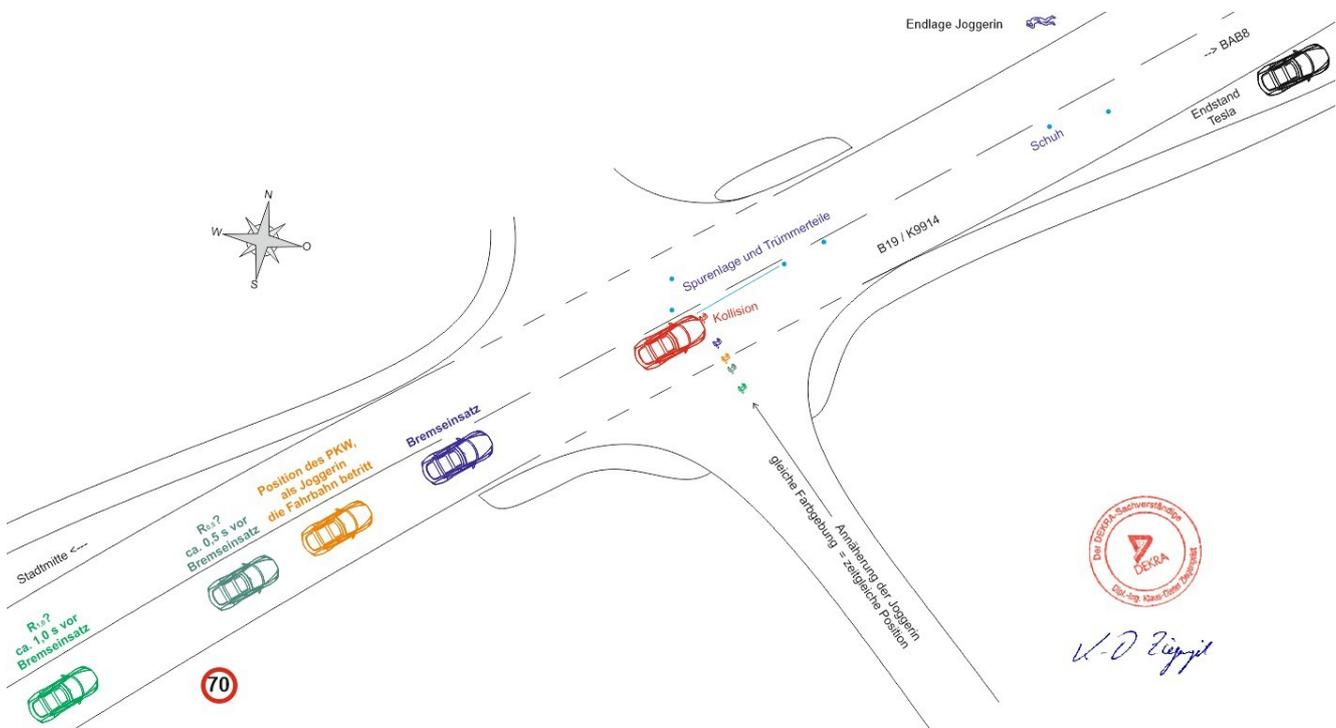
Wenn die Spurenlage hinreichend genau aufgenommen, vermessen und fotografisch dokumentiert wurde, kann die Skizze der Umgebung in vielen Fällen auch mit Hilfe eines Luft- oder Satellitenbilds (z.B. von Google-Maps) angefertigt werden. Es wird aber dringend empfohlen, bei der Besichtigung der Unfallstelle ein paar Referenzmaße zu nehmen und den Abbildungsmaßstab der Satellitenaufnahme gegebenenfalls entsprechend zu korrigieren. Auch muss die Spurenlage so vermessen werden, dass die Referenzpunkte auf der Satellitenaufnahme auch zu sehen sind und berücksichtigt werden können.

Unter diesen Voraussetzungen können Spuren und Endlagen dann in die Umgebungs-skizze übertragen werden.

Beispiel: Skizzenerstellung mittels Satellitenbildern  
(einschließlich einer erweiterten Anfahrtstrecke)



Daraus entsteht dann die eigentliche (schlichte) Rekonstruktionsskizze ohne Hintergrund



Zusätzlich sind bei der Unfallaufnahme aber Randbedingungen wie Steigung / Gefälle und Querneigung einer Fahrbahn zu berücksichtigen. Auch die Lagen von Kuppen oder Senken im Fahrtrassenverlauf lassen sich in der Regel aus Satellitenaufnahmen nicht ableiten. Diese Daten sind unter Umständen entscheidend für die spätere Rekonstruktion.

## Fotogrammetrische Skizzenerstellung

Alle fotogrammetrischen Verfahren zur Skizzenerstellung sind relativ aufwendig und erfordern hohe Präzision und fundierte Kenntnisse von Physik und Optik. Der Aufwand bei der Anfertigung der Fotos kann geringer sein, als die Fertigung der manuellen Rohskizze, die Auswertung der Fotos ist aber in der Regel deutlich aufwendiger, als die Übertragung einer Rohskizze ins Reine.

### Einzelbild- oder Monobildauswertung

#### Einzelbildauswertung mit relativ flachem Bildwinkel z.B. aus Augenhöhe

Für eine sinnvolle Auswertung sollten definierte Referenzpunkte auf der Fahrbahn markiert werden (z.B. ein Referenzviereck)

- Referenzpunkte dienen der Entzerrung der Perspektivischen Fotodarstellung
- alle vier Referenzpunkte müssen auf dem Foto deutlich zu erkennen sein
- sie müssen ein Viereck bilden
- ihre Lage zueinander muss genau bekannt oder vermessen sein
- alle Referenzpunkte und Spuren müssen in der auszuwertenden Ebene liegen (nicht auf Fahrbahn und Gehweg)
- die auszuwertenden Spuren und Objekte sollen möglichst innerhalb des Referenzvierecks, maximal 1,5 m neben Referenzviereck (5 x 5 m) liegen
- die Größe des Referenzvierecks richtet sich nach der Aufnahmehöhe
- zur Auswertung von Fotos aus Stehhöhe wird ein 5 x 5 m Viereck empfohlen, bei maximal 7 m Breite und 9 m Tiefe sind noch befriedigende Ergebnisse möglich

#### Einzelbildauswertung mit steilem Blickwinkel

Auch hier sollten definierte Referenzpunkte zur Skalierung vorhanden sein. Satelliten- oder Luftbildaufnahmen und auch Aufnahmen von einer Feuerwehr-Drehleiter sind weniger empfindlich gegen Verzerrungen z.B. durch Höhenunterschiede

#### Mehrbildauswertung - aneinandergereihte Einzelbilder

Referenzgitter können aus mehreren Referenzvierecken zusammengesetzt werden

- Referenzgitter mit festen oder frei aufgezeichneten Referenzpunkten
- Referenzgitter die mit dem DEKRA-Gitterzirkel konstruiert wurden
- Kombination von Gitterkonstruktion und festen oder freien Referenzpunkten

#### Mehrbildauswertung

Durch Abgleich zwischen Mit- und Gegenfoto können Höhenfehler zum Teil einfacher erkannt und ausgeglichen werden.

#### Stereobildauswertung - aneinandergereihte Doppel- oder Stereobilder

Früher häufiger verwendete, relativ aufwendige Methode, um Unfallstellen mit großer Ausdehnung (z.B. Autobahnabschnitte) aufzunehmen.

## **Mehrbildauswertung mittels moderner photogrammetrischer Software**

Mit Hilfe einer ausreichenden Anzahl digitaler Lichtbilder, die vom Sachverständigen bei der Unfallaufnahme gefertigt wurden, kann mit spezieller Software (z.B. AgiSoft mit den Softwareversionen „Photoscan“ und „Metashape“) eine detailreiche Skizze und bei Bedarf auch ein 3-D-Modell der Unfallstelle mit allen Spuren und Endlagen erstellt werden. Die Verarbeitung der Daten ist allerdings aufwändig und zeitintensiv, sie kann auch mit leistungsstarken Rechnern mehrere Tage dauern.

Der Sachverständige muss bei der Anfertigung der Bilder die Eigenarten der fotogrammetrischen Verarbeitung berücksichtigen. So haben heute verfügbare Softwarelösungen zum Beispiel Schwierigkeiten mit glänzenden / spiegelnden Oberflächen. Auf derartigen Flächen können – im Gegensatz zu strukturierten Oberflächen – beim nachträglichen Bildvergleich kaum übereinstimmende Punkte gefunden werden.

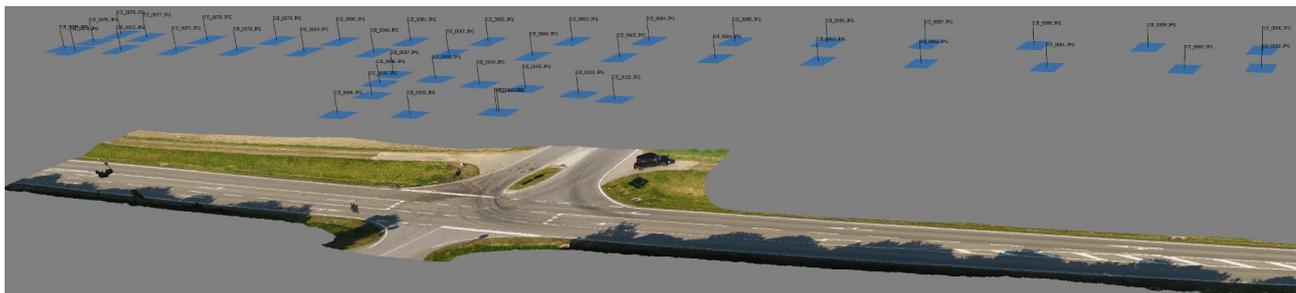
Da bei der Erstellung der 2-D-Skizzen und 3-D-Modelle in der Regel viele Bilder gegeneinander abgeglichen werden, ist auch zu berücksichtigen, dass „benachbarte“ Bilder keine veränderlichen Informationen (durchfahrende Fahrzeuge, wechselnde Fußstellungen des Fotografen u.ä.) beinhalten sollten.

Die zur fotogrammetrischen Bearbeitung erforderlichen Digitalbilder können prinzipiell mit jeder Digitalkamera aufgenommen werden. Um mit weniger Lichtbildern gute Ergebnisse zu erzielen, kann es sinnvoll sein, die Lichtbilder aus größerer Höhe (zum Beispiel mit Hilfe einer Drohne) zu fertigen. Beim Einsatz von Drohnen sind allerdings die einschlägigen Rechtsvorschriften zu beachten.

Beispiel: Skizzenerstellung mit **Agisoft** (zur Verfügung gestellt von Roland Gaus, DEKRA Ulm)



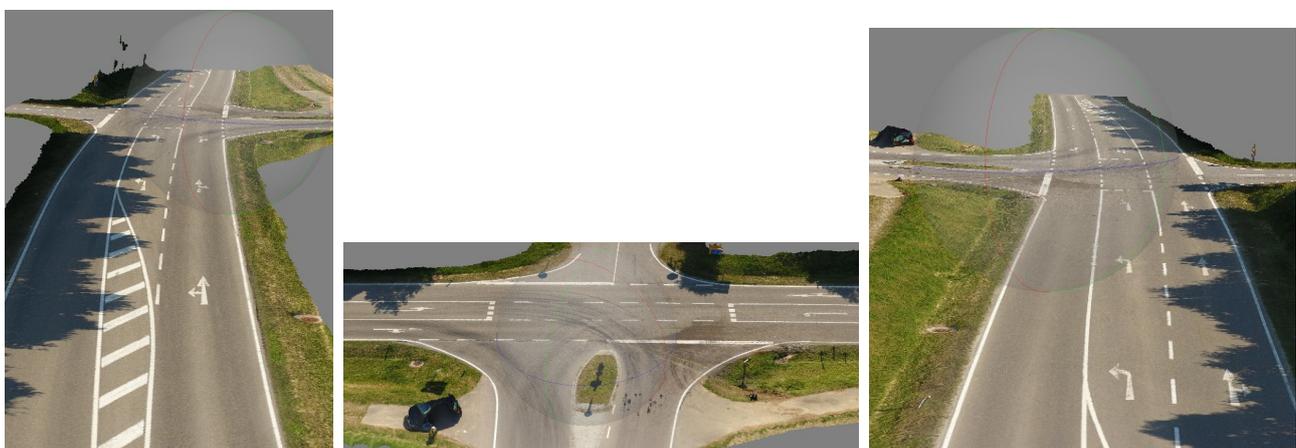
Unfallaufnahme bei Dunkelheit, Bilder mit einer Drohne gefertigt



bei einer zweiten Besichtigung (bei Tageslicht) wurden noch einmal 44 Bilder mit der Drohne in zwei unterschiedlichen Flughöhen aufgenommen. Die Kamerapositionen bei Aufnahme der einzelnen Bilder wurden von der Photogrammetrie-Software (hier Agisoft) erkannt und verarbeitet.



Daraus entstand eine 3-D-Skizze - hier in weitgehend orthogonaler Ansicht.



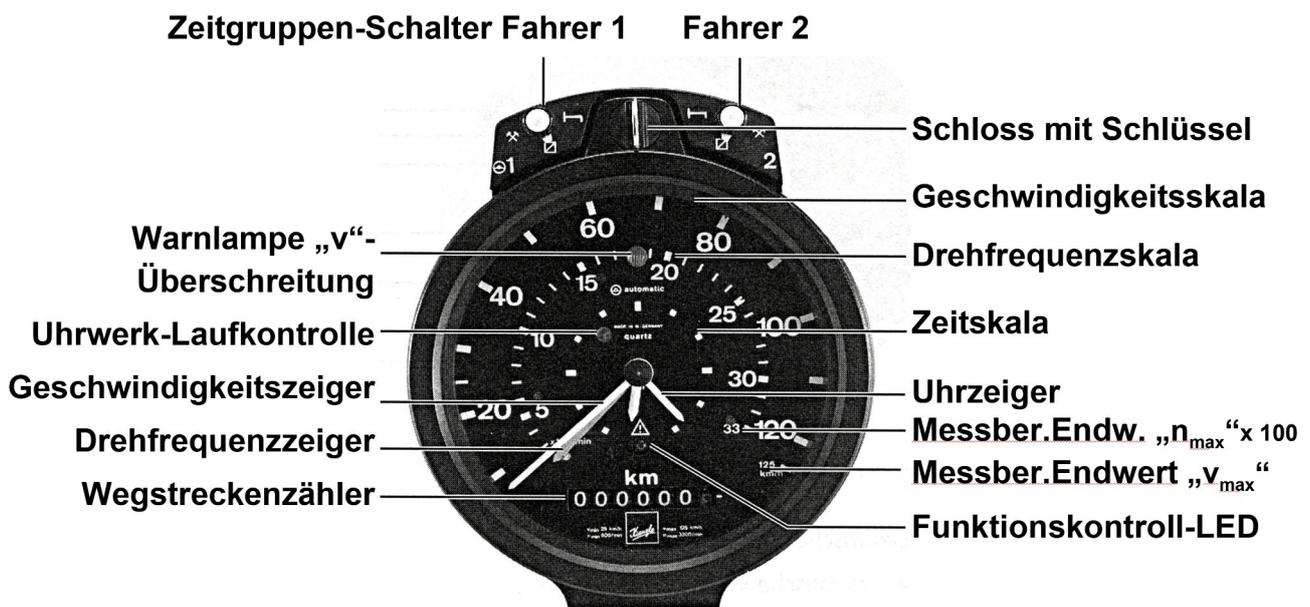
Aus der 3-D-Skizze durch Drehen und Kippen entwickelte Ansichten, aus denen unter anderem nachträglich Informationen zu Sichtweite und Erkennbarkeit abgeleitet werden können.

# Auswertung fahrzeuginterner Aufzeichnungen

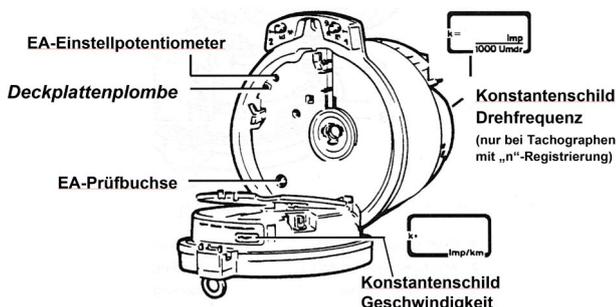
## Aufzeichnung EG-Kontrollgerät

Früher wurden hier uhrenähnliche Aufzeichnungsgeräte (Fahrtschreiber / EG-Kontrollgeräte) mit runden Diagrammscheiben mit dem Geschwindigkeitsmesser kombiniert. Verschiedene Stifte zeichneten auf der sich drehenden Diagrammscheibe kontinuierlich Werte wie Lenk- und Ruhezeiten und die gefahrenen Geschwindigkeiten auf.

### Beispiel: Zwei-Fahrer-EG-Kontrollgerät der Firma VDO Kienzle

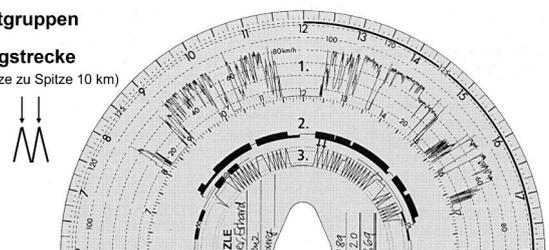


### Das „Innenleben“



### Die Aufzeichnungen

1. Geschwindigkeits-Aufschrieb
2. Zeitgruppen
3. Wegstrecke (Spitze zu Spitze 10 km)



Modernere Fahrzeuge müssen mit einem digitalen Kontrollgerät ausgerüstet sein, das in erster Linie den Fahrzeuglenker mit dem jeweiligen Beginn und Ende der Lenk- und Ruhezeiten protokolliert. Geschwindigkeitswerte werden je nach Modell im Sekundentakt oder im Viertelsekundentakt aufgezeichnet.



Ein Ausdruck der gespeicherten Daten sieht z. B. so aus:

**SIEMENS VDO**  
Automotive

```

▼ 01.09.98 09:00 (UTC)
# HUEGLE Axel
# ID /02384782636238000
#* .....
24h
# LAIS
Norbert
# ID /00828392838384100
30.07.2002
-----
24.08.98 234
? 00:00 01:59 02h00
# D/VDO-20
100000km
@ 02:00 02:02 00h03
@ 02:03 11:08 09h06
@ 11:09 11:17 00h09
@ 11:18 11:23 00h06
@ 11:24 11:53 00h30
@ 11:54 12:29 00h36
@ 12:30 13:11 00h42
@ 13:12 13:32 00h21
@ 13:33 14:29 00h57
@ 14:30 14:59 00h30
@ 15:00 15:44 00h45
@ 15:45 16:05 00h21
@ 16:06 17:29 01h24
@ 17:30 17:59 00h30
@ 18:00 18:44 00h45
@ 18:45 20:32 01h48 *
@ 20:33 22:50 02h18
@ 22:51 23:59 01h09 *
100489km: 0489km
-----
# 02:00 0
# 23:59 ?
@ 07h33 0489km
@ 01h33 09h57
@ 02h57 ? 02h00
# 00h00
-----
# .....
# .....

```

**Datum, Uhrzeit und Art des Ausdrucks**

**Fahrer und Fahrzeugidentifikation**

**Kontrollaktivitäten**

- Letzte Kontrolle, Angaben zum Kontrolleur
- Letzte Kalibrierung der FE

**Registrierung der einzelnen Tätigkeiten (Beginn, Ende, Dauer)**

- Lenkzeiten
- Arbeitszeiten
- Bereitschaftszeiten
- Ruhezeiten
- Ortseingaben

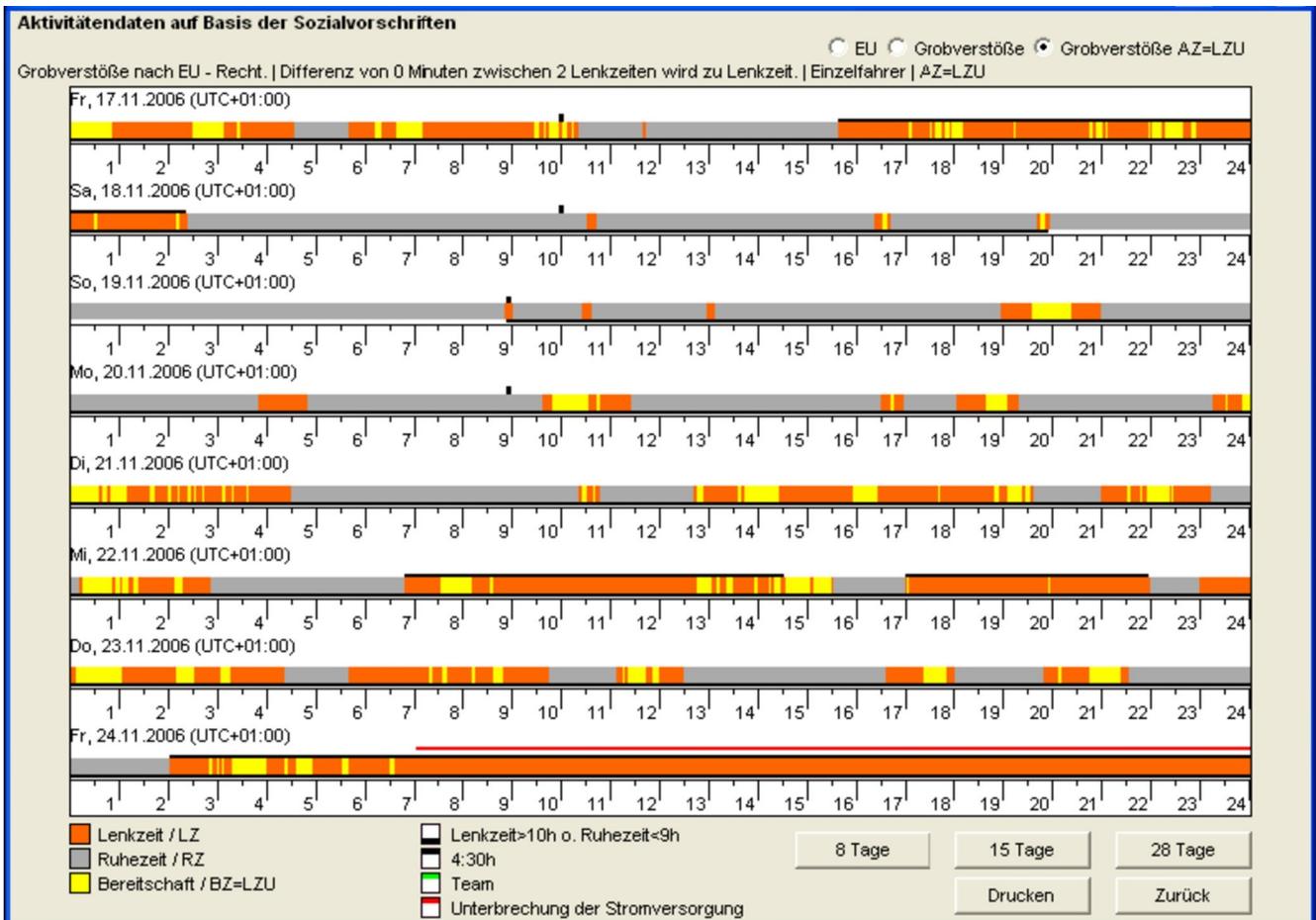
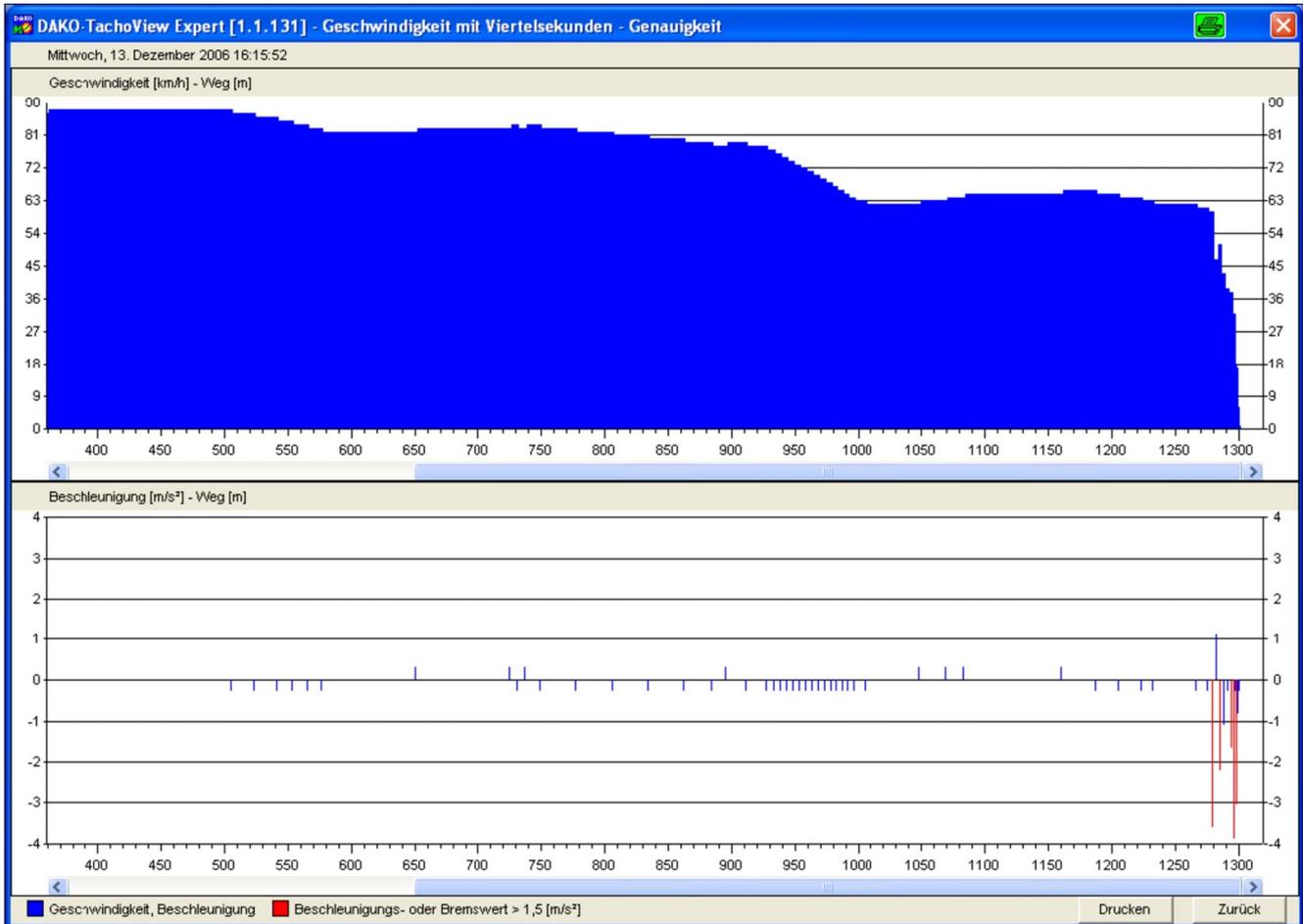
**Kumulierte Zeitgruppen**

- Tagessummen (AZ-Gruppen)
- Gesamt- und Tageskilometer

**Ereignisse / Störungen**

**Unterschrift des Fahrers und des Kontrollbeamten**

Die im Gerät gespeicherten Daten können mit einem speziellen USB-Stick auch heruntergeladen und an einem externen PC ausgewertet und weiter verarbeitet werden. So kann der Sachverständige zum Beispiel das Geschwindigkeitsverhalten des Fahrers (hier in Viertelsekunden-Aufzeichnung) beurteilen oder zu Verstößen gegen Sozialvorschriften (Lenk- und Ruhezeiten) Stellung nehmen.



Zur Bedienung des Geräts sind vier verschiedene Gruppen befugt, denen jeweils eine spezielle Bedienerkarte (im Scheckkarten-Format) zugeordnet ist:

- **Fahrerkarten:** enthalten Daten zu Identität und Tätigkeiten der Inhaber (Fahrzeuglenker)
- **Werkstattkarten:** weisen die Inhaber („berechtigte“ Werkstätten) aus und ermöglichen die Prüfung und Kalibrierung des Kontrollgeräts sowie das Herunterladen der Daten
- **Unternehmenskarten:** weisen die Unternehmen (Fahrzeughalter) aus und ermöglichen Anzeige, Ausdruck und Herunterladen der gespeicherten Daten
- **Kontrollkarten:** (nur für Kontrollbehörden) ermöglichen das Herunterladen, Ausdrucken und Lesen der gespeicherten Daten

### Aufzeichnung EDR / CDR

Der Event-Data-Recorder oder Crash-Data-Recorder sitzt in der Regel im Airbag-Steuergerät und zeichnet permanent bestimmte gesetzlich geforderte Werte (z.B. USA) oder auch vom Hersteller gewünschte Werte auf. Dazu gehören neben Geschwindigkeitswerten unter anderem auch Gaspedalstellung, Bremspedalbetätigung, Lenkwinkel und Geschwindigkeitsänderungen in Fahrzeuglängs- und -Querrichtung, sowie Drehbewegungen.

Die Geräte zeichnen die entsprechenden Werte im Halbsekundentakt in Millisekundendarstellung auf. Wenn kein „Event“ bzw. kein „Crash“ sensiert wird, werden nach zehn Takten, d.h. nach 5 Sekunden die alten Werte wieder überschrieben. Wird ein außergewöhnliches Ereignis sensiert, werden die letzten elf Werte und der Offset (Zeitspanne zwischen dem letzten aufgezeichneten Wert und dem auslösenden Ereignis in Millisekunden) aufgezeichnet und abgespeichert. Zusätzlich wird mit der Sensierung des „Events“ eine Aufzeichnung im 10-Millisekunden-Takt gestartet, die die Bewegung des Fahrzeugs **nach** dem „Event“ dokumentiert.

Es können mehrere (z.B. 5) „Events“ unabhängig von einander im Speicher abgelegt werden. Bei komplexen Unfallabläufen mit mehreren „Events“ innerhalb der 5-Sekunden-Grenzen überschneiden sich die Aufzeichnungen von zwei oder mehr „Events“ zeitlich, so dass der zeitliche Ablauf des Unfallgeschehens vom Auswerter aus mehreren Aufzeichnungen abgeleitet werden muss. Dabei ist zu berücksichtigen, dass jedes „Event“ sein „eigenes Koordinatensystem“ (Längs- und Querachse des Fahrzeugs) benutzt. Insbesondere die Komponenten von Längs- und Querbewegungen werden daher nicht von einem „Event“ zum nächsten übernommen. Sie müssen vom Auswerter in einem eigenen (zweckmäßigerweise fahrbahnbezogenen) Koordinatensystem vektoriell addiert werden.

Der Auswerter von EDR-Daten sollte sich darüber im Klaren sein, ob er die Möglichkeit hat, den EDR / CDR selbst auszulesen, oder ob er die Dienstleistung des Fahrzeug- oder Geräteherstellers in Anspruch nehmen kann. Abhängig vom Fall ist nicht jeder Fahrzeughersteller an der Auswertung und Weitergabe „seiner“ Daten wirklich interessiert. Das äußert sich dann z.B. in Art und Umfang der ausgelesenen und zur Verfügung gestellten Daten.

Beispiel: Auszug aus der Auswertung eines bayerischen Herstellers:

### PRECRASH, G31 VIN 38763. VERKEHRSUNFALL A8

Crash-EDR	-4897	-4397	-3897	-3397	-2897	-2397	-1897	-1397	-897	-397	10
Time (ms)											155
Speed (km/h)	195	193	192	192	192	192	192	191	177	162	?
Accelerator pedal (%)	10	29	38	53	52	43	40	0	0	0	?
Brake	Off	On	On	?							

Hier hat der Hersteller bereits seine eigene Auswertung vorgenommen und präsentiert die Ergebnisse nach eigenem Ermessen.

Beispiel: Auszug aus einer Auswertung eines schwäbischen Herstellers:

61	Side air bag, time to deployment 1st stage, driver	Data not available	ms
62	Side curtain/tube air bag,time to deployment, driver side	Data not available	ms
63	Pretensioner (1), time to deploy, driver	Data not available	ms
65	Side air bag, time to deployment 1st stage, front passenger	Data not available	ms
66	Side curtain/tube air bag, time to deployment, passenger side	Data not available	ms
67	Pretensioner (1), time to deploy, front passenger	Data not available	ms
71	Safety belt status, driver	belted	---
72	Seat track position switch status, driver	data not available	---
75	Air bag warning lamp (AWL)	off	---
77	Safety belt status, front passenger	belted	---
78	Seat track position switch status, front passenger	data not available	---
79	Occupant size classification, front passenger	50% male	---
91	Speed, vehicle indicated	-5000	200 km/h
	Speed, vehicle indicated	-4500	200 km/h
	Speed, vehicle indicated	-4000	200 km/h
	Speed, vehicle indicated	-3500	200 km/h
	Speed, vehicle indicated	-3000	202 km/h
	Speed, vehicle indicated	-2500	202 km/h
	Speed, vehicle indicated	-2000	195 km/h
	Speed, vehicle indicated	-1500	187 km/h
	Speed, vehicle indicated	-1000	172 km/h
	Speed, vehicle indicated	-500	154 km/h
	Speed, vehicle indicated	0	136 km/h
92	Accelerator pedal	-5000	53 %
	Accelerator pedal	-4500	55 %
	Accelerator pedal	-4000	64 %
	Accelerator pedal	-3500	46 %
	Accelerator pedal	-3000	0 %
	Accelerator pedal	-2500	0 %
	Accelerator pedal	-2000	6 %
	Accelerator pedal	-1500	0 %
	Accelerator pedal	-1000	0 %
	Accelerator pedal	-500	0 %
	Accelerator pedal	0	46 %
95	Service brake activation	-5000	off
	Service brake activation	-4500	off
	Service brake activation	-4000	off
	Service brake activation	-3500	off
	Service brake activation	-3000	off

Hier hat der Hersteller die ausgelesenen Daten strukturiert, verständlich und ohne eigene Interpretation zur Verfügung gestellt. Aus mehreren sich zeitlich überlappenden Events konnte der Unfallablauf problemlos dargestellt werden:

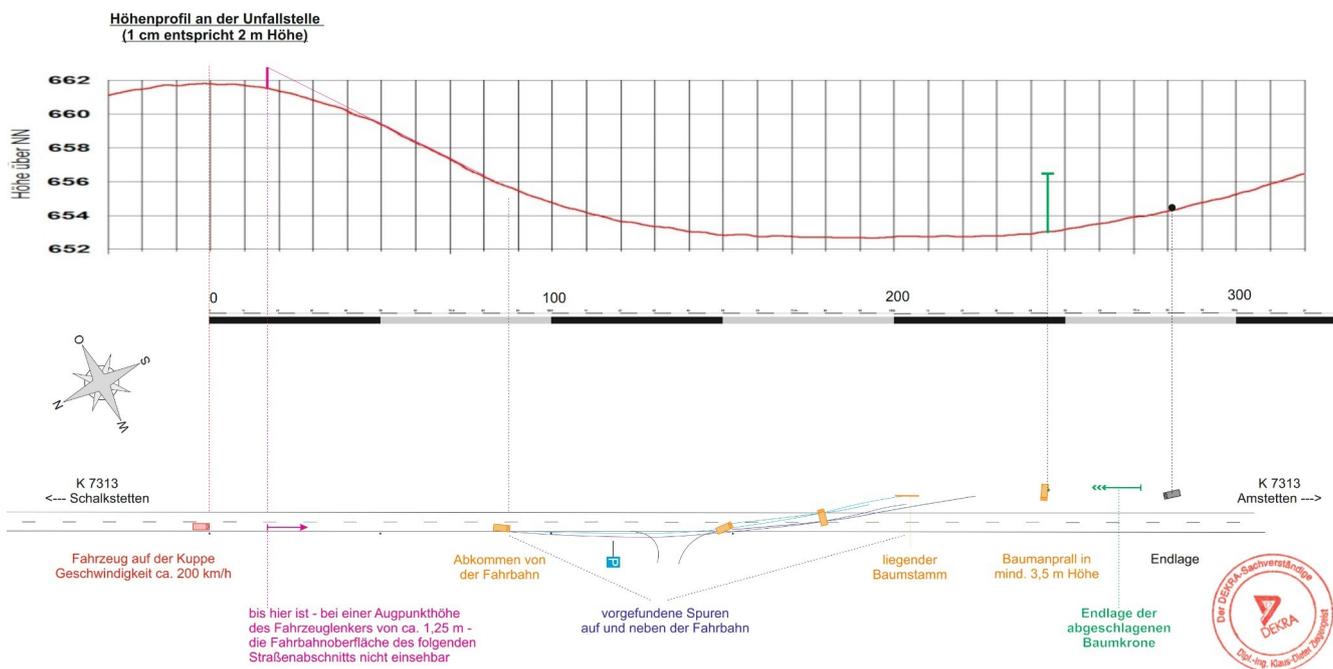
Beispiel: Auszug aus der Auswertung eines schweren Verkehrsunfalls, bei dem der EDR während des Unfallablaufs fünf verschiedene „Events“ aufgezeichnet hat.

Auswertung der Daten aus dem EDR (Event-Data-Recorder)															Anlage 2				
2. Event Front	3. Event Heck	4. Event Heck	5. Event Front	delta t [ms]	Summe t [ms]	längs delta V [km/h]	quer delta V [km/h]	delta V [km/h]	delta V [km/h]	delta V [km/h]	rho [Grad]	a+ / a- [m/s²]	alpha +/- [Grad/s²]	alpha +/- [rad/s²]	Summe t [ms]	Gaspedal [%]	Bremse off / on	V [km/h]	V [km/h]
Zeit [ms]	Zeit [ms]	Zeit [ms]	Zeit [ms]	(eventbezogen !!)		Event	Event	insgesamt	result.	bezogen auf Richtung von delta V resultierend				mit Offset (ab Vmax)					
-5000					0											33	off	201	201
-4500	-5000	-5000			500											53	off	200	200
-4000	-4500	-4500			1000											56	off	200	200
-3500	-4000	-4000			1500											64	off	200	200
-3000	-3500	-3500	-5000		2000											46	off	200	200
-2500	-3000	-3000	-4500		2500											0	off	202	202
-2000	-2500	-2500	-4000		3000											0	off	202	202
-1500	-2000	-2000	-3500		3500										500	6	off	195	195
-1000	-1500	-1500	-3000		4000										1000	0	off	187	187
-500	-1000	-1000	-2500		4500										1500	0	on	172	172
0	-500	-500	-2000		5000										2000	0	on	154	154
1.E: Zero					249	5249									2249				145
2.E: Zero					134	53830	0	0	0	0,00	0,00				2383				140
10					10	5393-1	-1	0	0	1,00	180,00	7,72	1388,89	24,24	2393				140
20					10	54030	0	-3	-3	3,00	90,00	15,43	-694,44	-12,12	2403				139
30					10	54130	0	-5	-5	5,00	90,00	15,43	0,00	0,00	2413				139
35					5	5418	5	-6	-6	5,00	90,00	15,43	0,00	0,00	2418				139
40					10	54230	0	-6	-6	6,00	90,00	7,72	0,00	0,00	2423				139
50					10	54330	0	-4	-4	4,00	90,00	-15,43	0,00	0,00	2433				138
60					10	5443-1	-1	-4	-4	4,12	104,04	0,95	108,30	1,89	2443				138
70					10	5453-1	-1	-4	-4	4,12	104,04	0,00	0,00	0,00	2453				138
80					10	5463-1	-1	-4	-4	4,12	104,04	0,00	0,00	0,00	2463				137
90					10	5473-1	-1	-5	-5	5,10	101,31	7,53	-21,04	-0,37	2473				137
100					10	5483-2	-2	-5	-5	5,39	111,80	2,21	80,95	1,41	2483				136
110					10	5493-2	-2	-5	-5	5,39	111,80	0,00	0,00	0,00	2493				136
120	0	0	-1500		5500										2500	46	on	136	136
130					10	5503-2	-2	-4	-4	4,47	116,57	-7,04	36,76	0,64	2503				136
140					10	5513-2	-2	-5	-5	5,39	111,80	7,04	-36,76	-0,64	2513				136
150					10	5523-2	-2	-5	-5	5,39	111,80	0,00	0,00	0,00	2523				135
160					10	5533-2	-2	-5	-5	5,39	111,80	0,00	0,00	0,00	2533				135
170					10	5543-2	-2	-5	-5	5,39	111,80	0,00	0,00	0,00	2543				135
180					10	5550	0	-2	-2	5,39	111,80	0,00	0,00	0,00	2550				134
190					10	5553-2	-2	-5	-5	5,39	111,80	0,00	0,00	0,00	2553				134
					10	5560	1	-1	-1	5,10	101,31	-3,15	-115,55	-2,02	2560				134
					10	5563-1	-1	-5	-5	5,10	101,31	0,00	0,00	0,00	2563				134
					10	5570	2	0	0	5,00	90,00	-1,09	-124,67	-2,18	2570				134
					10	55730	0	-5	-5	5,00	90,00	0,00	0,00	0,00	2573				134

Die „Events“ 1 und 2 wurden innerhalb einer halben Sekunde sensiert, das heißt innerhalb der Spanne eines standardmäßigen Aufzeichnungsintervalls, ebenso wie die „Events“ 3 u. 4. „Event“ 5 wurde im dritten Aufzeichnungsintervall nach den „Events“ 3 und 4 sensiert.

Bei der manuellen Überlagerung der Aufzeichnungen wurden nachkollisionäre Aufzeichnungen der Vorevents in die Halbsekunden-Intervalle der nachfolgenden „Events“ eingeschoben, so dass auch der Ablauf des Geschehens nach dem ersten Event detailliert nachvollzogen werden konnte.

Die Geschwindigkeitswerte in der vorletzten Spalte ergeben sich direkt aus den Aufzeichnungen der Halbsekunden-Intervalle, die grau hinterlegten Werte in der letzten Spalte wurden in Abschnitten von jeweils 10 ms interpoliert.



# Analyse des gesamten Unfallablaufs

Bei der Unfallanalyse unterscheidet man zwischen zwei grundsätzlich verschiedenen Vorgehensweisen:

und                   Vorwärtsrechnung  
                          Rückwärtsrechnung

## Vorwärtsrechnung

Die Voraussetzung für eine Vorwärtsrechnung ist ein mathematisches Modell.

Als Eingaben verwendet man Anfangsparameter wie

Kollisionsstellung  
Kollisionsgeschwindigkeit  
Einlaufrichtung  
Randbedingungen  
(wie z.B. k-Wert, Reibwinkel, Kraftschlußbeiwerte usw..)

Berechnet wird das Deformations- und Bewegungsverhalten (Kraftrechnung, Bewegungsgleichungen) bis zum Fahrzeugstillstand oder für einen bestimmten Abschnitt.

Die Ergebnisse der Berechnung werden mit den tatsächlichen Gegebenheiten verglichen (Kollisionsablauf, Auslauf, Spurzeichnung, Endstellungen, Beschädigungen)

Die Berechnung wird mit geänderten Eingabedaten so lange variiert bis hinreichende Übereinstellungen mit den Unfallbedingungen festgestellt werden kann.

**Vorteile:**

ausschließliche Arbeit am Rechner,  
zahlreiche Variationsmöglichkeiten,  
realistische, bewegte Darstellung des Unfallablaufes  
Animationsmöglichkeiten

**Nachteile:**

Fahrzeugmodellierung aufwendig,  
Eingabedaten teilweise nicht verfügbar bzw. nur abschätzbar,  
hohe Kosten für Hard- und Software  
teilweise lange Rechenzeiten

Zur Verfügung stehende Software: z.B. PC-Crash und Analyzer Pro.



## Ermittlung von Geschwindigkeiten und räumlich-zeitlicher Zuordnung

Zur Ermittlung von Geschwindigkeiten und räumlich-zeitlichen Zuordnungen werden die aus der Physik bekannten allgemeinen Bewegungsgleichungen verwendet.

Bei der räumlich-zeitlichen Zuordnung, kommt es darauf an, festzustellen, wer zu welchem Zeitpunkt an welchem Ort war. Meist ist bei dieser Fragestellung der Zeitpunkt vorgegeben, so dass der Ort bzw. die zurückgelegte Wegstrecke als Funktion der Zeit zu ermitteln ist:

$$(1) \quad s = f(t) = s_0 + v_0 \cdot (t - t_0) + \frac{a}{2} \cdot (t - t_0)^2$$

Bei der Frage nach der Geschwindigkeit ist in der Verkehrsunfallrekonstruktion seltener der Zeitpunkt vorgegeben:

$$(2) \quad v = f(t) = v_0 + a \cdot t$$

In der Regel ist vielmehr von Interesse, wie hoch die Geschwindigkeit an einem bestimmten Ort war:

$$(3) \quad v = f(s) = \sqrt{v_0^2 + 2 \cdot a \cdot (s - s_0)}$$

Die Gleichungen gelten entsprechend für Drehbewegungen, wenn

- der zurückgelegte Weg durch den überstrichenen Winkel,
- die Geschwindigkeit durch die Winkelgeschwindigkeit und
- die Beschleunigung durch die Winkelbeschleunigung

ersetzt werden. (s.a. Formelsammlung)

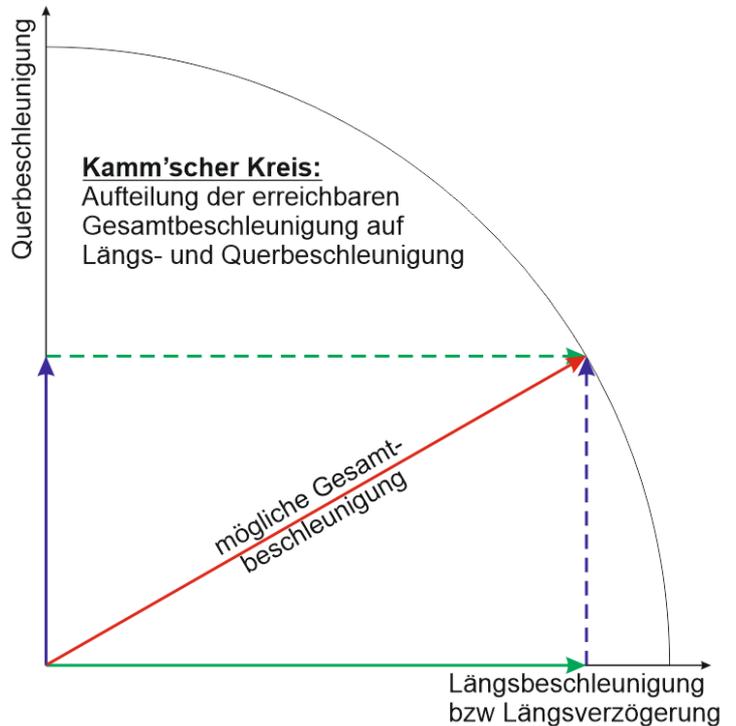
Neben der rein kinematischen Betrachtung sind Änderungen von Geschwindigkeitswerten auch durch die Einwirkung von Kräften in unmittelbarem Zusammenhang mit einem Kollisionsereignis zu ermitteln.

Im Verhältnis zu verkehrsüblichen Beschleunigungen oder Abbremsungen verlaufen diese Geschwindigkeitsänderungen „sprunghaft“ und müssen mit anderen Methoden - z.B. unter Berücksichtigung der Gesetzmäßigkeiten von Impuls- und Energie-Erhaltungssatz zahlenmäßig erfasst werden (eigentliche Kollisionsanalyse, s.u.).

Der **Kamm'sche Reibungskreis** beschreibt in idealisierter Form den Zusammenhang zwischen den zwischen Reifen und Fahrbahn übertragbaren Kräften bzw. den erreichbaren Beschleunigungen in Längs- und Querrichtung. Dabei wird von einem in Längs- und Querrichtung gleichen Reibbeiwert ausgegangen.

In nebenstehender Abbildung ist nur der erste Quadrant des Kamm'schen Kreises (jeweils positive Wert) dargestellt.

Die übertragbare Gesamtkraft bzw. die erreichbare Gesamtbeschleunigung ergibt sich aus dem jeweiligen Reibbeiwert.



Anhaltswerte für die erreichbare Gesamt-Verzögerung (-Beschleunigung)

(im Einzelfall können - je nach den vorliegenden Randbedingungen - auch davon abweichende Werte vorkommen)

Asphalt und Zementbeton	trocken	7,0 - 8,5 m/s <sup>2</sup>
	feucht	6,0 - 7,5 m/s <sup>2</sup>
	naß	5,0 - 6,5 m/s <sup>2</sup>

je nach Fahrbahnbeschaffenheit, Ausgangsgeschwindigkeit und Wasserfilmdicke

Kopfsteinpflaster	trocken	6,0 - 7,5 m/s <sup>2</sup>
	naß	4,0 - 5,5 m/s <sup>2</sup>

je nach Fahrbahnbeschaffenheit und Ausgangsgeschwindigkeit

Schotterweg	normal	3,0 - 4,0 m/s <sup>2</sup>
	fein gewalzt	4,0 - 5,0 m/s <sup>2</sup>

Wiese	trocken und eben	3,0 - 4,0 m/s <sup>2</sup>
	naß u. uneben	1,5 - 3,0 m/s <sup>2</sup>

Ackerboden - locker, feucht z. B. 5 cm tiefe Spur 5,0 - 6,5 m/s<sup>2</sup>

Schnee festgefahren 1,5 - 2,5 m/s<sup>2</sup>

je nach Schneebeschaffenheit und Temperatur

Eis	Spiegeleis um 0° je nach Temperatur	1,0 - 1,5 m/s <sup>2</sup>
Eis	trocken unter 0°	1,5 - 3,0 m/s <sup>2</sup>

bei sehr niedrigen Temperaturen sind auch noch höhere Werte erreichbar

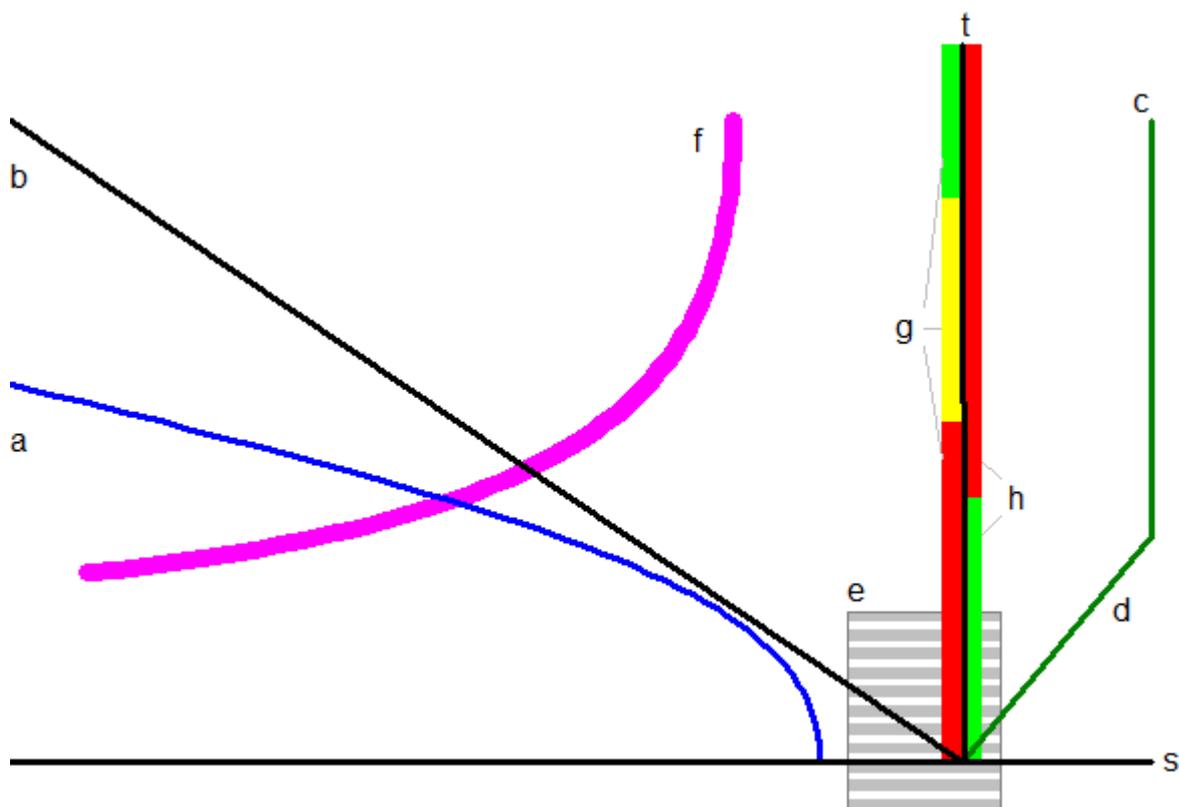
Rollverzögerung	mit eingelegtem Gang	0,45 - 1,0 m/s <sup>2</sup>
Beispielwerte:	1. Gang	um 0,95 m/s <sup>2</sup>
	2. Gang	um 0,70 m/s <sup>2</sup>
	3. Gang	um 0,55 m/s <sup>2</sup>
	4. Gang	um 0,50 m/s <sup>2</sup>
	5. Gang	um 0,45 m/s <sup>2</sup>

## Weg-Zeit-Diagramm

Für die Dokumentation eines analysierten Unfallgeschehens bietet sich in vielen Fällen die grafische Darstellung in einem Weg-Zeit-Diagramm an. Damit hat der Sachverständige vor Gericht die Möglichkeit, in knapper und übersichtlicher Form seine Analyse-Ergebnisse zu präsentieren und gegebenenfalls in kurzer Zeit Varianten des Ablaufs zu erörtern.

Im Weg-Zeit-Diagramm können sowohl ruhende (unbewegte) Objekte, als auch gleichförmig bewegte oder beschleunigte / verzögerte Objekte relativ einfach und verständlich dargestellt werden. Aber auch die Phasen einer Lichtsignalanlage und / oder die Sichtgrenzen der Beteiligten können eingebunden werden.

Im folgenden Beispieldiagramm sind typische Kennlinien (qualitativ) dargestellt:



### Weg-Zeit-Diagramme (qualitativ)

- |  |  |
|--|--|
| a: gebremste Bewegung bis zum Stillstand   | z.B. vor Fußgängerfurt e   |
| b: Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit | (relativ schnell, z.B. Fahrzeug)   |
| c: Objekt ohne Bewegung                    | (z.B. stehender Fußgänger an Lichtsignal h)  |
| d: Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit | (relativ langsam, z.B. Fußgänger)  |
| e: ortsfester Anknüpfungspunkt             | (z.B. Fußgängerfurt)   |
| f: Sichtgrenze / Sichtweite                | (in Abhängigkeit von Ort bzw. Zeit;<br>(entgegen der Fahrtrichtung von a und b) ändert sich bei variierendem<br>Bewegungsablauf) |
| g: Lichtsignal GRÜN -> GELB -> ROT         | (z.B. für Fahrzeugverkehr)   |
| h: Lichtsignal ROT -> GRÜN                 | (z.B. für Fußgänger)   |

Um eine übersichtliche Kombination von Unfallskizze und Weg-Zeit-Diagramm zur Rekonstruktionszeichnung zu erhalten, legt man die Wegachse des Diagramms parallel zur Bahnlinie eines Beteiligten, sinnvollerweise in die Horizontale und senkrecht dazu die Zeitachse.

Der Ursprung des Koordinatensystems sollte der Kollisionspunkt sein. Bei der Bemaßung der Achsen hat sich das Antragen von Weg und Zeit sowohl vor der Kollision als auch danach jeweils positiv vom Ursprung aus bewährt. Eine Bemaßung mit Vorzeichenwechsel ist ebenfalls möglich, kann aber im Zusammenhang mit der Geschwindigkeitsrückrechnung zu Mißverständnissen führen.

In die Wegachse werden die Bewegungen aller Beteiligten gelegt. Dazu ist es notwendig, winkelig aufeinander zulaufende Bahnlinien auf eine Linie zu "klappen". Gekrümmt verlaufende Bahnlinien werden so abgewickelt, dass ihre wahre Länge auf der Wegachse dargestellt wird.

Für die Rekonstruktion der Bewegungsabläufe genügt in der Regel die Darstellung der Kontaktpunktkurve, es können aber auch beliebige weitere Punkte mit eingezeichnet werden.

Will man Sichtbedingungen mit in Betracht ziehen, so müssen neben dem Kontaktpunkt als weitere Bezugspunkte z.B. die Positionen der Fahreraugen und die Fahrzeugumrisse, die erkannt werden sollen, zusätzlich verwendet werden. Somit entstehen verschiedene Bahnlinien, die in die Straßen- / Zeichenebene projiziert werden.

## **Sichtgrenzen**

Die Frage nach Vermeidbarkeit und Reaktionsverzug führt zur Beurteilung eventueller Sichtbehinderungen im Unfallbereich im Zusammenhang mit Geschwindigkeit und Reaktionsdauern.

Sichtbehinderungen sind alle Dinge, die sich im interessierenden zeitlichen Abschnitt fest oder bewegt innerhalb des Unfallbereichs befinden und geeignet sind, die Sichtmöglichkeiten der Unfallbeteiligten aufeinander einzuschränken.

Analog der Bewegungskurve eines Fahrzeugs bilden sich durch Sichtbehinderungen im Gesichtsfeld des Fahrers kontinuierliche Sichtschatten aus. Unter ungünstigen Umständen können sich Kollisionspartner so lange in diesen Sichtschatten bewegen, dass bei Erfassen der gefährlichen Situation keine unfallabwendende Reaktion mehr möglich ist oder deren Wirkung zwangsläufig zu spät einsetzt.

Andererseits muss klärbar sein, ob trotz ausreichender Sichtverhältnisse unfallabwendende Reaktionen gar nicht oder deutlich später ergriffen wurden, als im allgemeinen zu erwarten ist.

Enthält die Rekonstruktionsskizze z.B. ein Haus als Sichthindernis, so wird deutlich, dass der Fahrer nur entlang der Sichtgeraden am Hauseck vorbeischaun kann.

Je mehr sich der Fahrer dem Hauseck nähert, um so weiter kann er um das Eck herum die kreuzende Fahrbahn des gegnerischen Verkehrs einsehen. Der Sichtpunkt ist meist auf die vordere Begrenzungslinie eines Fahrzeugs bezogen. Es ist in diesem Zusammenhang jedoch zu berücksichtigen, dass ein Fahrzeug erst bis zu einem bestimmten Teil erkennbar sein muss, damit es von einem Beteiligten als mögliche Gefahr gedeutet werden kann.

Der Augpunkt läuft auf seiner Bahnlinie entlang und bildet so eine Schar von Sichtgeraden, die in der entsprechenden Anzahl die andere Bahnlinie abtastet, bis zu dem Moment, wo der erste Schnittpunkt innerhalb der Umrise des Fahrzeugs liegt und somit eine Reaktion ermöglicht.

## Theoretische Grundlagen zur Kollisionsanalyse

Die Fahrzeugkollision wird als Stoß behandelt. Die physikalischen Stoßgesetze sind abgeleitet von den Newton'schen Grundgleichungen mit den physikalischen Größen  $m$  (Masse),  $F$  (Kraft),  $v$  (Geschwindigkeit) und  $t$  (Zeit), bzw.

$J$  (Trägheitsmoment),  $F$  und  $r$  (Hebelarm),  $\omega$  (Winkelgeschwindigkeit) und  $t$  (Zeit).

Die Masse  $m$  bzw. das Trägheitsmoment  $J$  wird als konstant angenommen.

$$m \cdot \frac{dv}{dt} = F \quad \Rightarrow \quad \text{Impuls} \quad m \cdot dv = F \cdot dt$$

$$J \cdot \frac{d\omega}{dt} = r \cdot F \quad \Rightarrow \quad \text{Drall} \quad J \cdot d\omega = r \cdot F \cdot dt$$

Die Anfangsbedingungen entsprechen der unteren Grenze des Integrals

$v_K$  Kollisionsgeschwindigkeit unmittelbar vor der Kollision

$\omega_K$  Winkelgeschwindigkeit unmittelbar vor der Kollision

$t_K$  Zeitpunkt unmittelbar vor der Kollision

Die Endbedingungen entsprechen der oberen Grenze des Integrals

$v'_K$  Kollisionsgeschwindigkeit unmittelbar nach der Kollision

$\omega'_K$  Winkelgeschwindigkeit unmittelbar nach der Kollision

$t'_K$  Zeitpunkt unmittelbar nach der Kollision

$$m \int_{v_K}^{v'_K} dv = m \int_{t_K}^{t'_K} F dt \quad \Rightarrow \quad \text{Kraftstoß oder Stoßantrieb}$$

Sind zwei Körper an einem Stoß beteiligt, so wirkt auf jeden von ihnen ein „Stoßantrieb“, der eine Änderung der Bewegungsgrößen bewirkt. Nach dem Prinzip von „actio gleich reactio“ sind die auf die beiden Körper wirkenden Stoßantriebe betragsmäßig gleich, jedoch jeweils entgegengesetzt gerichtet.

$$\int F_1 dt = - \int F_2 dt$$

Es gelten also folgende Gleichungen:

$$\begin{array}{ll} m_1 \cdot (v'_1 - v_1) = S & \text{bzw.} \quad J_1 \cdot (\omega'_1 - \omega_1) = r_1 \cdot S \\ m_2 \cdot (v'_2 - v_2) = -S & \text{bzw.} \quad J_2 \cdot (\omega'_2 - \omega_2) = -r_2 \cdot S \end{array}$$

$\Rightarrow$  Impulserhaltungssatz in allgemeiner Form

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 + \dots + m_i \cdot v_i = m_1 \cdot v'_1 + m_2 \cdot v'_2 + \dots + m_i \cdot v'_i$$

$\Rightarrow$  Drehimpulserhaltungssatz in allgemeiner Form

$$J_1 \cdot \omega_1 + J_2 \cdot \omega_2 + \dots + J_i \cdot \omega_i = J_1 \cdot \omega'_1 + J_2 \cdot \omega'_2 + \dots + J_i \cdot \omega'_i$$

Der Stoß läuft in zwei Phasen ab

**Kompression** gegenseitiges Eindringen in die jeweils gegnerische Kontur bis zum Erreichen der Maximalkraft und zur Angleichung der Geschwindigkeiten

**Restitution** Trennung der Konturen bis zur verbleibenden Deformation

Der Kräfteverlauf über den Deformationswegen und die Deformationsarbeit (-Energie) kann in einem Feder-Masse-Modell idealisiert (mit linearem Kräfteverlauf) dargestellt werden:

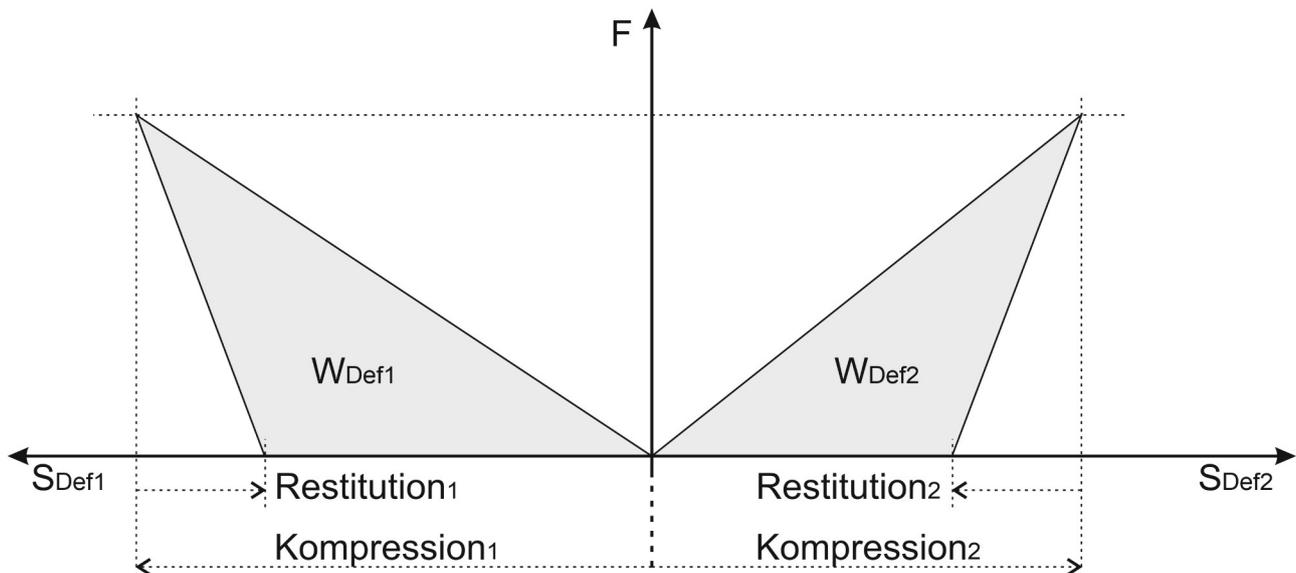


Abb.: schematische Aufteilung der Deformationsarbeit im Feder-Masse Modell

Die Stoßziffer k kennzeichnet den Stoß als

vollkommen elastisch  $\Rightarrow k = 1$

teilelastisch bzw.  $\Rightarrow 0 < k < 1$

vollkommen plastisch  $\Rightarrow k = 0$

$$k = -\frac{(v'_1 - v'_2)}{(v_1 - v_2)} = -\frac{v'_2 - v'_1}{v_2 - v_1} = \frac{\text{Restitution}}{\text{Kompression}} = \frac{\Delta v'_{BN}}{\Delta v_{BN}}$$

Die Stoßziffer ist das Verhältnis der Relativgeschwindigkeiten am Berührungspunkt in Richtung der Berührnormalen.

Voraussetzungen / Einschränkungen bzw. Idealisierungen bei der Anwendung der Stoßgesetze auf Kraftfahrzeugunfälle:

- => es dürfen nur innere Kräfte wirken, äußere Kräfte wie z. B. Reifenkräfte müssen gegenüber den inneren Kräften vernachlässigbar klein sein
- => die Stoßdauer muss klein sein, was zu großen inneren Kräften führt
- => die Massen müssen zeitlich unverändert sein und werden als im Schwerpunkt konzentriert angesehen
- => der Stoß soll in Schwerpunkthöhe erfolgen, die Kräfte sollen parallel zur Fahrbahnebene wirken
- => die Fahrzeuge ändern ihre Lage während der Stoßphase nicht

**Achtung:**

**alle Eingangsgrößen, die hier in den dargestellten Gleichungen verwendet werden, sind toleranzbehaftet. Die Toleranzen werden in den Gleichungen nicht berücksichtigt.**

## Graphischer Ansatz

Bei Anwendung des Impulserhaltungssatzes zur Kollisionsanalyse kann die Vektoreigenschaft des Impulses für eine graphische Lösung ausgenutzt werden. Ziel ist dabei, für beide Fahrzeuge einen geschlossenen Vektorzug „**Einlaufimpuls + Impulsänderung = Auslaufimpuls**“ zu erhalten. Der Vektor der Impulsänderung (Stoßantrieb) muss dabei für beide Beteiligte betragsmäßig gleich (Länge des Vektorpfeils) und entgegengesetzt orientiert sein. Die Konstruktion der Vektorzüge kann auf verschiedene Weisen erfolgen, zum Beispiel nach dem

## Antriebs-Balance-Verfahren (nach Slibar)

Ablauf der Erstellung eines Antriebs-Balance-Diagramms

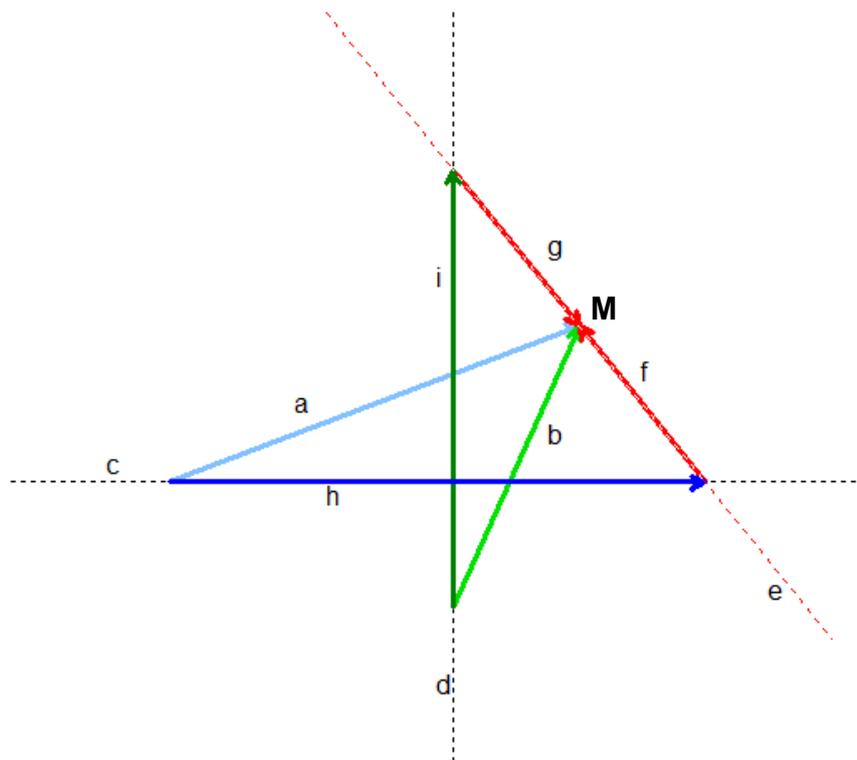
1. Ermittlung der Tangenten an die Schwerpunktsbahnen unmittelbar vor und unmittelbar nach der Kollision  
=> 4 Bewegungsrichtungen  $v_1, v_2, v_1', v_2'$
2. Berechnen der Auslaufgeschwindigkeiten der Fahrzeuge nach der Kollision  
=> 2 Bewegungsgeschwindigkeiten  $v_1', v_2'$
3. Berechnen der Auslaufimpulse (Beträge)  $p_1' = m_1 \cdot v_1'$  und  $p_2' = m_2 \cdot v_2'$
4. Festlegung eines Zeichenmaßstabs  
(x cm Vektorlänge entsprechen welchem Betrag der Auslaufimpulse in kg\*m/s)

Berechnung der Vektorlängen  $i_1' = x \cdot m_1 \cdot v_1'$  und  $i_2' = x \cdot m_2 \cdot v_2'$

5. Zeichnung (s. unten):
  1. Auslaufimpulse mit den Vektorspitzen aneinander im Punkt **M** einzeichnen
    - a: Auslaufimpuls 1
    - b: Auslaufimpuls 2
  2. An den Vektorbeginn des jeweiligen Auslaufimpulses die Einlaufrichtung der jeweiligen Einlaufbewegung einzeichnen (Wirkungslinie des Einlaufimpulses)
    - c: Richtung (Wirkungslinie) des Einlaufimpulses 1
    - d: Richtung (Wirkungslinie) des Einlaufimpulses 2  
(Der Beginn von Einlauf- und Auslaufimpulsvektor liegt im gleichen Punkt)
  3. Eintragen der Stoßantriebe
    - e: Stoßantriebs-Balance so dass  $|f| = |g|$
    - f: Stoßimpuls ("Stoßantrieb") auf FZ 1
    - g: Stoßimpuls ("Stoßantrieb") auf FZ 2

Um geschlossene Vektorzüge zu erhalten, muss die gemeinsame Wirkungslinie e der Stoßantriebe durch den Punkt M gehen. Hier müssen letztendlich auch die Spitzen der Stoßantriebsvektoren liegen. Die Wirkungslinie der Stoßantriebe muss nun so lange um den Punkt M gedreht (ausbalanciert) werden, bis die Längen zu den Schnittpunkten mit den Wirkungslinien der Einlaufimpulse gleich groß sind. Nun können die Vektoren der Einlaufimpulse fertig gestellt werden.

- h: Einlaufimpuls 1
- i: Einlaufimpuls 2



### Auswertung der Zeichnung und weitere Berechnung

Ausmessen der Einlaufimpulslängen  $i_1$  (h) und  $i_2$  (i), sowie der Stoßantriebe  $s_1$  (f) und  $s_2$  (g). Ermittlung der Geschwindigkeiten unter Berücksichtigung des Maßstab und der Massen

#### 1. Einlaufimpulse und Stoßantriebe mit Maßstabsfaktor berechnen

$$J_1 = i_1 / x$$

$$J_2 = i_2 / x$$

$$S_{1,2} = s_{1,2} / x$$

#### 2. Kollisionsgeschwindigkeiten berechnen

$$v_1 = J_1 / m_1$$

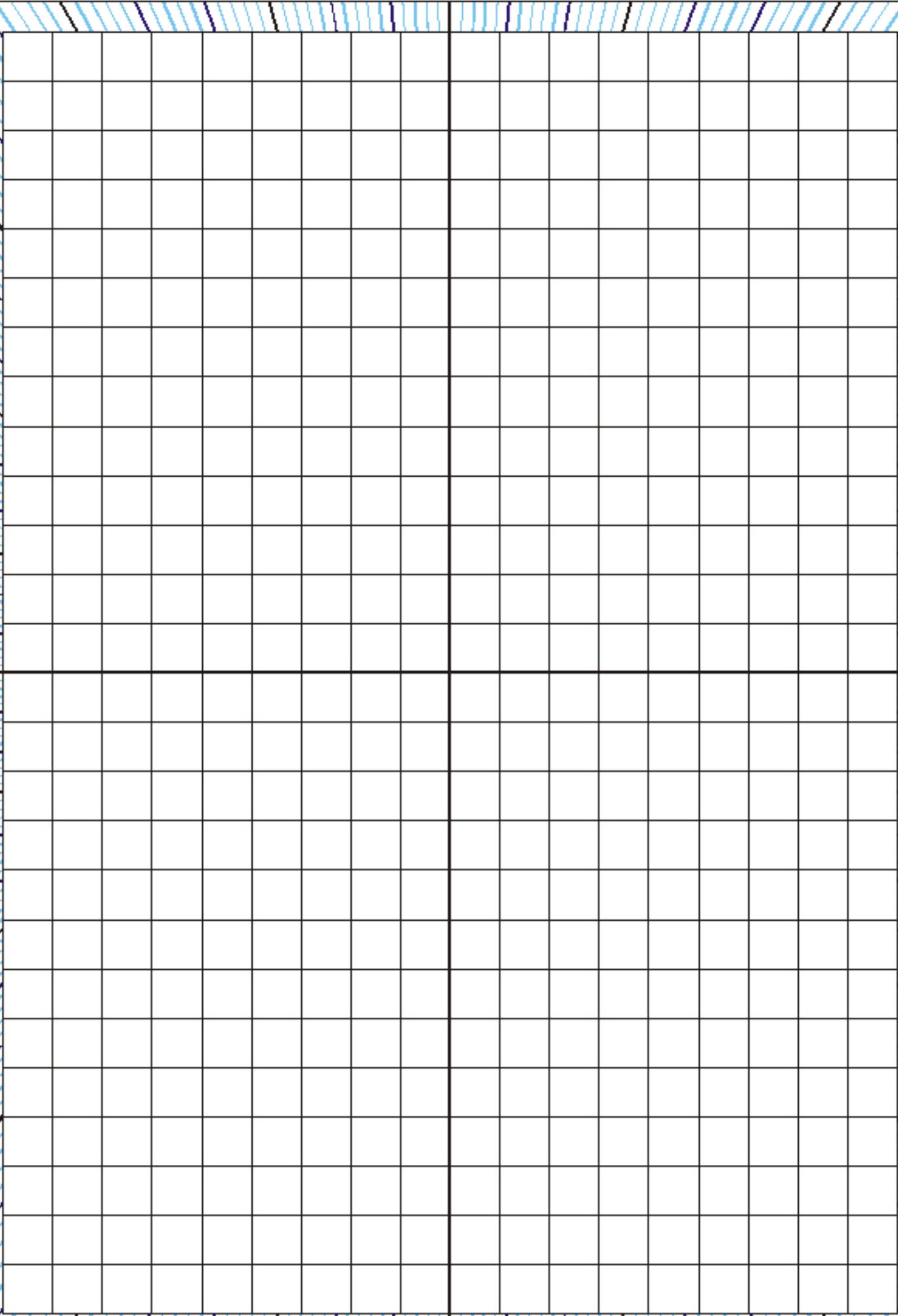
$$v_2 = J_2 / m_2$$

#### 3. Geschwindigkeitsänderung (Betrag und Richtung des Stoßantriebs) berechnen

$$\Delta v_1 = S_1 / m_1$$

$$\Delta v_2 = S_2 / m_2$$

Die folgende Seite bietet ein Hilfsmittel zur Konstruktion des Antriebs-Balance-Diagramms an. Die Pfeilspitzen der Auslauf-Impuls-Vektoren werden zu Beginn in die Mitte des Diagramms gesetzt. Die Winkel können direkt über die Skala am Seitenrand eingezeichnet werden.





**Kollisionsanalyse unter Anwendung des Impulserhaltungssatzes:**

Um rechnerisch eine einfache zweidimensionale Kollisionsanalyse unter Anwendung des Impulserhaltungssatzes durchzuführen (vgl. graphischer Ansatz Vektoradditionsdiagramm), werden folgende Eingangsgrößen benötigt:

			FZ 1	FZ 2
Masse	m	[kg] (aus Fahrzeugdaten und Zuladung)	m <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>
Kurswinkel	NY	[rad] (i.d.R. aus der örtlichen Geometrie)	<b>v<sub>1</sub> = 0</b>	v <sub>2</sub>
Kurswinkel	NY'	[rad] (aus der Auslaufanalyse / Spurenlage)	v' <sub>1</sub>	v' <sub>2</sub>
Auslaufgeschw.	V'	[km/h] (aus der Auslaufanalyse)	V' <sub>1</sub>	V' <sub>2</sub>
bzw.	v'	[m/s]	v' <sub>1</sub>	v' <sub>2</sub>

Die Abszisse (X-Achse) des ortsfesten Koordinatensystems wird in Einlaufrichtung des stoßenden (impulsstärkeren) Fahrzeugs FZ1 gelegt, das heißt, die Einlaufrichtung v<sub>1</sub> ist per Definition gleich 0.

Ausgehend von der allgemeinen Darstellung des Impulserhaltungssatzes:

Summe aller Impulse vor dem Stoß = Summe aller Impulse nach dem Stoß

bzw. 
$$\vec{m}_1 \cdot \vec{v}_1 + \vec{m}_2 \cdot \vec{v}_2 = \vec{m}_1 \cdot \vec{v}'_1 + \vec{m}_2 \cdot \vec{v}'_2$$

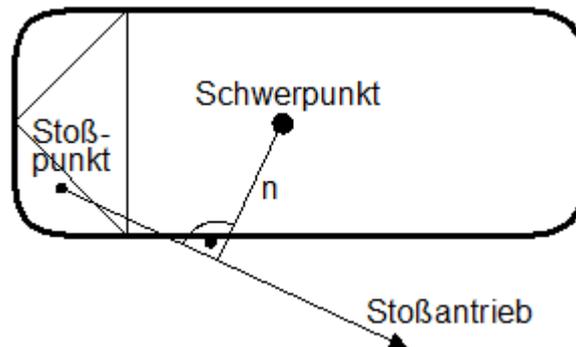
werden über die Kurswinkel zunächst die Komponenten in x- und y-Richtung ermittelt.

Dann gelten im Rechenweg, dessen Abfolge in der folgenden Tabelle zeilenweise dargestellt ist, folgende Beziehungen:

Auslauf	Geschw.-Komponenten	$v_{1x}' = v_1' \cdot \cos v_1'$	$v_{1y}' = v_1' \cdot \sin v_1'$	$v_{2x}' = v_2' \cdot \cos v_2'$	$v_{2y}' = v_2' \cdot \sin v_2'$
	Impulskomponenten	$I_{1x}' = m_1 \cdot v_1' \cdot \cos v_1'$	$I_{1y}' = m_1 \cdot v_1' \cdot \sin v_1'$	$I_{2x}' = m_2 \cdot v_2' \cdot \cos v_2'$	$I_{2y}' = m_2 \cdot v_2' \cdot \sin v_2'$
	Σ Impulskomponenten x/y	$I_x' = I_{1x}' + I_{2x}'$	$I_y' = I_{1y}' + I_{2y}'$		
	Σ Auslaufimpulse {Betrag}	$I' = \sqrt{I_x'^2 + I_y'^2}$			
	Σ Auslaufimpulse {Richtung}	$\alpha = \arctan (I_y' / I_x')$			
Einlauf	Σ Einlaufimpulse {Betrag}	$I = I' = \sqrt{I_x'^2 + I_y'^2}$			
	FZ 2 Impuls (y-Komponente)				$I_{2y} = I_y = I'_{1y} + I'_{2y}$
	FZ 2 Impuls (x-Komponente)			$I_{2x} = I_2 \cdot \tan v_2$	
	FZ 1: I = x-Komponente	$I_1 = I_{1x} = I \cdot \cos \alpha = I_{2x}$			
<b>Kollisionsgeschwindigkeiten</b>	$v_{K1} = I_1 / m_1$		$v_{K2} = \sqrt{I_{2x}^2 + I_{2y}^2} / m_2$		

**Drallsatzkontrolle:**

Der Stoßkrafthebelarm  $n$  entspricht dem (senkrechten) Abstand zwischen dem Schwerpunkt und der Wirkungslinie des Stoßantriebes  $S$ , der im idealisierten Stoßpunkt angreift.

**Induzierte Winkelgeschwindigkeit**

$$\omega' = \frac{S \cdot n}{J}$$

Trägheitsmoment  $J$  aus Tabellenwerken oder näherungsweise

$$J = 0,217 \cdot m \cdot l^2$$

oder

$$J = 0,1269 \cdot m \cdot l \cdot L_F \quad \Leftarrow \text{wird meistens verwendet}$$

Dabei sind:  $l$  = Radstand  
 $L_F$  = Fahrzeuglänge

Berechnung der (stoßbedingten) Winkelgeschwindigkeit zu Beginn der Auslaufrotation:

$$\omega^* = \sqrt{\frac{m \cdot g \cdot w_R \cdot |\Delta\psi| \cdot l}{J}} \cdot \text{sign} \Delta\psi$$

$w_R$  = Rotationswiderstand (i.d.R zwischen 0,15 und 0,35)

Es dürfen keine Gierwinkelrotationen  $\Delta\psi$  berücksichtigt werden, die auf fahrdynamisch bedingte Bogenfahrt zurückzuführen sind.

Die Drallsatzkontrolle, die auf dem Vergleich zwischen der stoßinduzierten Winkelgeschwindigkeit  $\omega'$  und der über die Auslaufbedingungen berechneten "nachgewiesenen" Winkelgeschwindigkeit  $\omega^*$  beruht, wird für beide Fahrzeuge durchgeführt.

$$\omega' \approx \omega^*$$

## EES-Rekonstruktionsverfahren

In vielen Fällen verlaufen die Richtungen der Ein- und Auslaufimpulse weitgehend parallel, so dass sich aus geringsten Unsicherheiten bei den Winkeln sehr große Abweichungen beim Ergebnis (Beträge der Impulse) ergeben. Eine Lösung nur mit Hilfe des Impulserhaltungssatzes ist dann nicht mehr oder nur unter Berücksichtigung großer Unsicherheiten möglich.

Außerdem soll bei der Kollisionsanalyse häufig die "Schwere" des Unfalls, das heißt in der Regel die Deformation der Fahrzeuge (auch in Verbindung mit deren unterschiedlichem Deformationsverhalten) berücksichtigt werden.

Da das Deformationsverhalten der Fahrzeuge in der Regel nicht ohne unverhältnismäßig großen Aufwand rechnerisch zu erfassen ist, wurde die Idee entwickelt, die Deformationsenergie in Form einer energieäquivalenten Geschwindigkeit auszudrücken.

Eine Voraussetzung zur Anwendung dieses Verfahrens ist die Bewertung der Fahrzeugdeformation in Form von EES-Werten (EES = Energy Equivalent Speed). Der besondere Vorteil dieser Methode ist die energetisch richtige Betrachtung von Unfällen mit Abgleiten. Bei diesen Unfällen ist die Geschwindigkeitsänderung nämlich vom Geschwindigkeitsniveau abhängig, auf dem sich der Unfall ereignet. Es tritt ein Unterschied zwischen Geschwindigkeitsänderung und EES auf, der um so größer wird, je stärker das Abgleiten ausgeprägt ist. Der entsprechende Zusammenhang ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

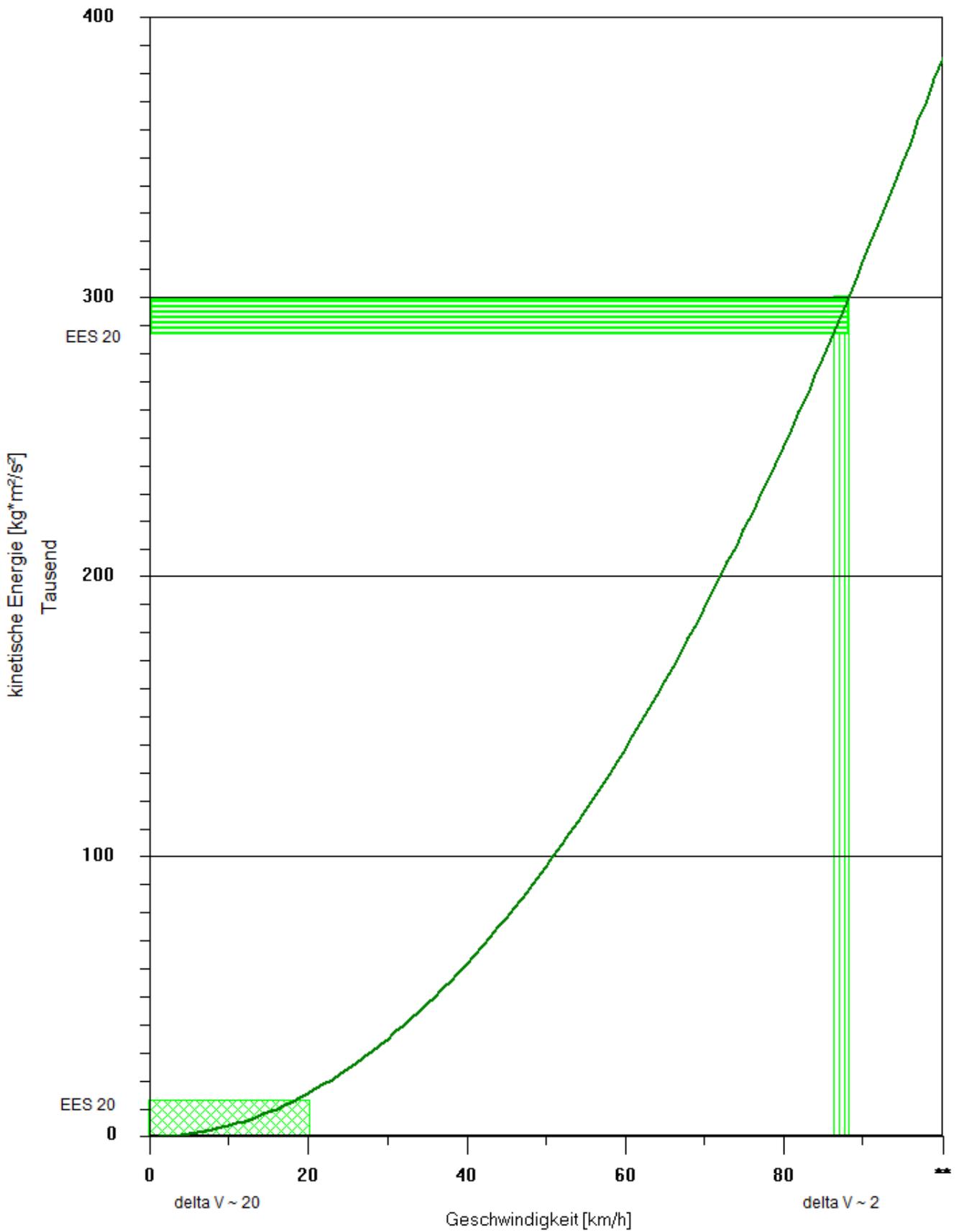
Der EES-Wert stellt den kollisionsbedingten Verlust an kinetischer Energie dar. Anschaulich ist das diejenige Aufprallgeschwindigkeit auf ein ortsfestes Hindernis dar, bei der aufgrund von Erfahrungswerten und / oder Crash-Versuchen ein ähnliches Beschädigungsbild und ein vergleichbarer Umsatz an Deformationsenergie zu erwarten ist, wie am betrachteten Fahrzeug.

Die umgesetzte Deformationsenergie kann so mit Hilfe eines Geschwindigkeitswerts abgeschätzt und berücksichtigt werden.

$$E_{\text{def}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \text{EES}^2$$

Bei geraden, zentralen Stößen kann der EES-Wert ungefähr der kollisionsbedingten Geschwindigkeitsänderung gleichgesetzt werden. Bei hohen Geschwindigkeiten und stark streifendem Charakter der Kollision können sehr starke Beschädigungen / Deformationen auch mit nur geringen kollisionsbedingten Geschwindigkeitsänderungen verbunden sein (siehe Grafik EES-Diagramm).

### EES-Diagramm



Wenn, wie bei einem Auffahrunfall zwischen zwei Fahrzeugen, alle Impulsvektoren annähernd parallel verlaufen, kann das oben beschriebene, grafische Verfahren nach Slibar nicht mehr angewandt werden. Auch rechnerisch weichen dann die Ergebnisse bei nur geringfügig geänderten Winkeleingaben so stark ab, dass keine brauchbaren Ergebnisse zu erwarten sind.

Wenn aber nur eindimensional gerechnet werden kann, so steht für die beiden Unbekannten (Kollisionsgeschwindigkeiten der beiden beteiligten Fahrzeuge) bei alleinigem Einsatz des Impulssatzes auch nur eine Gleichung zur Verfügung.

Die zweite Gleichung kann nun aus dem Energiesatz gewonnen werden:

**Beispiel: EES-Kollisionsanalyse (1-dimensional):**

(gerader zentraler Stoß)

$$E_{\text{def}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot EES^2$$

Für zwei Fahrzeuge gilt dann:

aus dem Energiesatz: 
$$\frac{1}{2} \cdot (m_1 \cdot v_1^2 + m_2 \cdot v_2^2) = \frac{1}{2} \cdot (m_1 \cdot v_1'^2 + m_2 \cdot v_2'^2 + m_1 \cdot EES_1^2 + m_2 \cdot EES_2^2)$$

aus dem Impulssatz: 
$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = m_1 \cdot v_1' + m_2 \cdot v_2'$$

Nach Umformen und Einsetzen folgt daraus:

$$v_1 = \frac{m_2}{m_1 + m_2} \cdot \left( \frac{m_1}{m_2} \cdot v_1' + v_2' + \sqrt{(v_1' - v_2')^2 + \frac{m_1 + m_2}{m_2} \cdot EES_1^2 + \frac{m_1 + m_2}{m_1} \cdot EES_2^2} \right)$$

$$v_2 = v_2' + \frac{m_1}{m_2} \cdot (v_1' - v_1)$$

**EES-Kollisionsanalyse (2-dimensional):**

Um eine einfache zweidimensionale Kollisionsanalyse nach dem EES-Verfahren durchzuführen und ein paar Kontrollwerte zu erhalten, werden folgende Eingangsgrößen benötigt:

		FZ 1	FZ 2
Masse:	(aus Fahrzeugdaten und Zuladung)	$m_1$	$m_2$
Länge:	(zur Ermittlung des Massenträgheitsmoments)	$L_1$	$L_2$
Radstand:	(zur Ermittlung des Massenträgheitsmoments)	$R_1$	$R_2$
Stoßkrafthebelarm:	(fahrzeugbezogen, zur Drallsatzkontrolle)	$sha_1$	$sha_2$
RHO:	(fahrzeugbezogen, zur Drallsatzkontrolle)	$\rho_1$	$\rho_2$
Deformationstiefe:	(zur Berücksichtigung der Struktursteifigkeit)	$dt_1$	$dt_2$
EES:	(aus dem Beschädigungsbild)	$EES_1$	$EES_2$
Kurswinkel NY:	<b>(i.d.R. aus der örtlichen Geometrie)</b>	$v_1 = 0$	$v_2$ (wird hier nicht eingegeben, sondern als Ergebnisbestandteil zur Kontrolle ermittelt)
Kurswinkel NY':	(aus der Auslaufanalyse / Spurenlage)	$v'_1$	$v'_2$
Auslaufgeschw. $V' // v'$	(aus der Auslaufanalyse)	$V'_1 // v'_1$	$V'_2 // v'_2$
Gierwinkel PSI:	(i.d.R. aus den Beschädigungen und der örtlichen Geometrie)	$\psi_1$	$\psi_2$
DELTA-PSI:	(aus der Auslaufanalyse)	$\Delta\psi_1$	$\Delta\psi_2$
Rotationswiderstand:	(je nach Anstoßkonstellation ca. 0,15 – 0,35)	$WR_1$	$WR_2$
Winkelgeschwindigkeit / Gierrate (vor K):	(häufig = 0)	$\omega_1$	$\omega_2$

Dabei wird die Einlaufrichtung (der Kurswinkel) eines Fahrzeugs (zweckmäßigerweise des stoßenden oder impulsstärkeren) gleich Null gesetzt und damit zur Abszisse des orts-festen Koordinatensystems. Der Kurswinkel  $v_1$  ist also per Definition gleich 0.

Ausgehend von der allgemeinen Darstellung des Impulserhaltungssatzes

$$m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2 = m_1 \cdot \vec{v}'_1 + m_2 \cdot \vec{v}'_2$$

und des Energieerhaltungssatzes einschließlich Deformationsenergie;

*(potentielle Energie und thermische Energie werden hier vernachlässigt)*

Summe der Energien vor dem Stoß = Summe der Energien nach dem Stoß

$$E(\text{kin}) = E'(\text{kin}) + E(\text{def})$$

$$E1(\text{transl}) + E2(\text{transl}) + E1(\text{rot}) + E2(\text{rot}) = E1'(\text{transl}) + E2'(\text{transl}) + E1'(\text{rot}) + E2'(\text{rot}) + E1(\text{def}) + E2(\text{def})$$

werden über die Kurswinkel die Geschwindigkeitskomponenten der Auslaufgeschwindigkeiten in x- und y-Richtung ermittelt. Dann werden die Rotationsenergien und die Deformationsenergien zunächst zusammengefasst substituiert durch

$$X = E1'(\text{rot}) + E2'(\text{rot}) + E1(\text{def}) + E2(\text{def}) - E1(\text{rot}) - E2(\text{rot})$$

dann gilt auch 
$$X = E1(\text{transl}) + E2(\text{transl}) - E1'(\text{transl}) - E2'(\text{transl})$$

oder 
$$X = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot v_1^2 + \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot v_2^2 - \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot v_1'^2 - \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot v_1'^2$$

bzw. 
$$2 \cdot X = m_1 \cdot v_1^2 + m_2 \cdot v_2^2 - m_1 \cdot v_1'^2 - m_2 \cdot v_2'^2$$

Der Energiesatz alleine liefert nur eine Gleichung für zwei Unbekannte ( $v_1$  und  $v_2$ ). Aus dem Impulssatz kann  $v_2$  in Abhängigkeit von  $v_1$  dargestellt werden:

$$\vec{v}_2 = \vec{v}_2' + \frac{m_1}{m_2} \vec{v}_1' - \frac{m_1}{m_2} \vec{v}_1$$

In der Energiegleichung wird  $v_2^2$  benötigt:

$$\begin{aligned} v_2^2 &= \left( \vec{v}_2' + \frac{m_1}{m_2} \vec{v}_1' - \frac{m_1}{m_2} \vec{v}_1 \right) \cdot \left( \vec{v}_2' + \frac{m_1}{m_2} \vec{v}_1' - \frac{m_1}{m_2} \vec{v}_1 \right) \\ &= v_2'^2 + v_2' \frac{m_1}{m_2} v_1' \cdot \cos(v_1' - v_2') - v_2' \frac{m_1}{m_2} v_1 \cdot \cos v_2' \\ &\quad + \frac{m_1}{m_2} v_1' \cdot v_2' \cdot \cos(v_1' - v_2') + \left( \frac{m_1}{m_2} \right)^2 v_1'^2 - \left( \frac{m_1}{m_2} \right)^2 v_1' \cdot v_1 \cdot \cos v_1' \\ &\quad - \frac{m_1}{m_2} v_1 \cdot v_2' \cdot \cos v_2' \\ &\quad - \left( \frac{m_1}{m_2} \right)^2 v_1 \cdot v_1' \cdot \cos v_1' + \left( \frac{m_1}{m_2} \right)^2 v_1^2 \end{aligned}$$

$$v_2^2 = v_2'^2 + 2 \frac{m_1}{m_2} v_1' v_2' \cos(v_1' - v_2') - 2 \left( \frac{m_1}{m_2} \right)^2 v_1 v_1' \cos v_1' - 2 \frac{m_1}{m_2} v_1 v_2' \cos v_2' + \left( \frac{m_1}{m_2} \right)^2 v_1'^2 + \left( \frac{m_1}{m_2} \right)^2 v_1^2$$

$$v_2^2 = \left( \frac{m_1}{m_2} \right)^2 v_1'^2 - 2 \frac{m_1}{m_2} v_1 \left( \frac{m_1}{m_2} v_1' \cos v_1' + v_2' \cos v_2' \right) + 2 \frac{m_1}{m_2} v_1' v_2' \cos(v_1' - v_2') + \left( \frac{m_1}{m_2} \right)^2 v_1'^2 + v_2'^2$$

Setzt man diesen Term in die Energiegleichung oben ein, ergibt sich

$$\begin{aligned} 2 \cdot X &= \left[ \left( \frac{m_1}{m_2} \right)^2 v_1'^2 - 2 \frac{m_1}{m_2} v_1 \left( \frac{m_1}{m_2} v_1' \cos v_1' + v_2' \cos v_2' \right) + 2 \frac{m_1}{m_2} v_1' v_2' \cos(v_1' - v_2') + \left( \frac{m_1}{m_2} \right)^2 v_1'^2 + v_2'^2 \right] \\ &\quad + m_1 v_1^2 - m_1 v_1'^2 - m_2 v_2'^2 \end{aligned}$$

$$2 \cdot X = m_1 v_1^2 + \frac{m_1^2}{m_2} v_1'^2 - 2 m_1 v_1 \left( \frac{m_1}{m_2} v_1' \cos v_1' + v_2' \cos v_2' \right) + 2 m_1 v_1' v_2' \cos(v_1' - v_2') + \frac{m_1^2}{m_2} v_1'^2 - m_1 v_1'^2$$

diese Gleichung kann so umgestellt werden, dass man eine quadratische Gleichung der Form

$$a \cdot v_1^2 - b \cdot v_1 + c = 0$$

erhält:

$$\underbrace{\left( m_1 + \frac{m_1^2}{m_2} \right)}_a \cdot v_1^2 - \underbrace{2 m_1 \left( \frac{m_1}{m_2} v_1' \cos v_1' + v_2' \cos v_2' \right)}_b \cdot v_1 + \underbrace{2 m_1 v_1' v_2' \cos(v_1' - v_2') + v_1'^2 \left( \frac{m_1^2}{m_2} - m_1 \right) - 2 \cdot X}_c = 0$$

Diese wird nach dem Schema  $v_{1,2} = \frac{b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$  aufgelöst,

wobei es nur eine sinnvolle Lösung ( $v_1$ ) mit dem positiven Wurzel Ausdruck gibt:

$$v_1 = \frac{m_2}{m_1 + m_2} \left[ \frac{m_1}{m_2} v_1' \cos v_1' + v_2' \cos v_2' + \sqrt{v_1'^2 - 2v_1'v_2' \cos(v_1' - v_2') + v_2'^2 - \left(v_1' \frac{m_1}{m_2} \sin v_1' + v_2' \sin v_2'\right)^2} + 2X \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2}\right) \right]$$

der darin enthaltene Term  $2X$  ist bereits bei der Herleitung dargestellt worden (s.o.).

$v_2 = \sqrt{v_2'^2}$  wobei  $v_2'^2$  ebenfalls bereits bei der Herleitung dargestellt wurde:

$$v_2 = \sqrt{\left(\frac{m_1}{m_2}\right)^2 v_1'^2 - 2\frac{m_1}{m_2} v_1' \left(\frac{m_1}{m_2} v_1' \cos v_1' + v_2' \cos v_2'\right) + 2\frac{m_1}{m_2} v_1' v_2' \cos(v_1' - v_2') + \left(\frac{m_1}{m_2}\right)^2 v_1'^2 + v_2'^2}$$

## Vermeidbarkeitsbetrachtung

Einem Verkehrsunfall liegt im allgemeinen ein Fehlverhalten mindestens eines Verkehrsteilnehmers zugrunde. Ausgangspunkt für eine Vermeidbarkeitsbetrachtung sind hauptsächlich

- unzulässig hohe Annäherungsgeschwindigkeiten
- Hinweise auf eine “nicht sachgerechte” oder “verspätete” Reaktion

Ziel der Vermeidbarkeitsbetrachtung ist es, zu untersuchen, ob bei „richtigem“ Verhalten der Unfall hätte vermieden oder zumindest die Folgen hätten gemindert werden können.

„Richtiges Verhalten“ wird durch den Richter definiert, der sich an den Verkehrsgesetzen, der diesbezüglichen Rechtsprechung und an der individuellen Unfallsituation orientiert. Der technische Sachverständige kann dem Juristen - insbesondere im Hinblick auf die Reaktionsauforderung, d.h. den “richtigen” Zeitpunkt für eine Reaktion - immer nur Vorschläge unterbreiten. Ob diese vom Richter im Einzelfall übernommen werden, unterliegt immer juristischer Würdigung.

Etwas einfacher ist die Sachlage aus technischer Sicht, wenn die Unfallursache in Zusammenhang mit einer unzulässig hohen Annäherungsgeschwindigkeit steht.

Bei der Ermittlung einer Vermeidbarkeitsgeschwindigkeit wird untersucht, welche Geschwindigkeit ein Fahrzeuglenker hätte einhalten müssen, um das Unfallgeschehen - bei sonst unveränderten Prämissen - zu vermeiden.

Da diese Geschwindigkeit

- von der zur Verfügung stehenden Wegstrecke (i.d.R. zwischen Reaktions- und Kollisionspunkt),
- von der erreichbaren Verzögerung des Fahrzeugs und
- von der Zeitspanne zwischen der Reaktion des Fahrers und dem Einsetzen der Bremswirkung (Vorbremszeit)

abhängt, ist eine Vermeidbarkeitsbetrachtung nur sinnvoll, wenn diese Größen zuvor ermittelt werden konnten oder als Prämisse gesetzt werden können, und wenn diese Größen dann während der Vermeidbarkeitsbetrachtung nicht mehr geändert werden.

Nun muss unterschieden werden, ob der Unfall dadurch vermieden werden kann,

... dass der Fahrzeuglenker sein Fahrzeug noch innerhalb der zur Verfügung stehenden Wegstrecke, also noch vor dem Kollisionspartner zum Stillstand bringen kann (**räumliche Vermeidbarkeit**),

oder dadurch,

... dass er mit seinem Fahrzeug den Kollisionspunkt lediglich zu einem späteren Zeitpunkt passiert, so dass der Unfallgegner den Gefahrenbereich rechtzeitig hätte verlassen können (**zeitliche Vermeidbarkeit**).

Die zeitliche Vermeidbarkeit hängt auch vom Verhalten des Unfallgegners und damit von Faktoren ab, die der jeweilige Fahrzeuglenker nicht selbst beeinflussen kann. Aussagen hierzu sind daher nur unter der zusätzlichen Prämisse möglich, dass sich der Unfallgegner in einer definierten Weise verhalten würde, nämlich dass er den Gefahrenbereich mit einer bestimmten Geschwindigkeit bzw. innerhalb einer bestimmten Zeitspanne verlassen würde.

Die für die Vermeidbarkeit zur Verfügung stehende Wegstrecke  $s_{R-K}$  setzt sich in der Regel zusammen aus dem während der Vorbremszeit  $t_V$  ungebremst zurück gelegten Vorbremsweg  $s_{R-B0}$  und einem durch Spurzeichnung dokumentierten Bremsweg  $s_{B0-K}$  vom Einsatz der Bremsung bis zum Kollisionspunkt.

$$s_{R-K} = s_{R-B0} + s_{B0-K} \quad \text{oder} \quad s_{R-K} = v_0 \cdot t_V + \frac{v_0^2 - v_K^2}{2 \cdot a}$$

Wird die für die Vermeidbarkeit zur Verfügung stehende Wegstrecke  $s_{R-K}$  auf diese Weise ermittelt, so wirkt sich die Wahl einer kürzeren Vorbremszeit  $t_V$  insofern günstig für den jeweiligen Fahrzeuglenker aus, weil damit auch  $s_{R-K}$  kleiner wird und der ermittelte Reaktionspunkt näher an den Kollisionspunkt heran rückt. Damit werden die Bedingungen für eine Vermeidbarkeit "härter" und die Vermeidbarkeitsgeschwindigkeit muss kleiner sein.

## Räumliche Vermeidbarkeit

Wenn das Fahrzeug auf der zur Verfügung stehenden Wegstrecke zum Stillstand / Halt **H** kommen soll, gilt

$$s_{R-K} = s_{R-H}$$

oder

$$s_{R-H} = s_{R-B1} + s_{B1-H}$$

Da die Vermeidbarkeitsbetrachtung beim ermittelten Reaktionspunkt beginnt, ergibt sich bei einer anderen (niedrigeren) Ausgangsgeschwindigkeit auch eine andere (geringere) Vorbremsstrecke und damit ein anderer (früherer) Bremseninsatz **B1**.

Bei vorgegebenem  $s_{R-K} = s_{R-H}$  können die beiden anderen Größen nun mit Hilfe der gesuchten zulässigen Vermeidbarkeitsgeschwindigkeit  $V_{zul}$  dargestellt werden:

$$s_{R-H} = V_{zul} \cdot t_V + V_{zul}^2 / 2a$$

wobei **a** hier den Betrag der erreichbaren Verzögerung darstellt. Wird diese Gleichung zunächst als quadratische Gleichung für die Variable  $V_{zul}$  dargestellt

$$\frac{1}{2 \cdot a} \cdot V_{zul}^2 + t_V \cdot V_{zul} - s_{R-H} = 0$$

und dann nach  $V_{zul}$  aufgelöst, ergibt sich als Bedingung für die räumliche Vermeidbarkeit:

$$V_{zul} = \frac{-t_V \pm \sqrt{t_V^2 + 4 \cdot \frac{1}{2 \cdot a} \cdot s_{R-H}}}{2 \cdot \frac{1}{2 \cdot a}}$$

und letztlich

$$V_{zul} = \sqrt{(a \cdot t_V)^2 + 2 \cdot a \cdot s_{R-H}} - a \cdot t_V$$

## Zeitliche Vermeidbarkeit

Wäre das betrachtete Fahrzeug zum Reaktionszeitpunkt langsamer als gefahren, so wäre es um eine Zeitspanne  $\Delta t$  später am Kollisionspunkt angekommen, während dieser Zeit hätte der Unfallgegner den Gefahrenbereich räumen müssen, d.h. er hätte in dieser Zeitspanne (Räumzeit  $t_{K-S}$ ) den Weg  $s_{K-S}$  vom Kollisionspunkt bis in "Sicherheit" zurück legen müssen.

### Bedingungen für die zeitliche Vermeidbarkeit:

$$\Delta t \geq t_{K-S}$$

$$\Delta t \geq \frac{s_{K-S}}{v_K} \quad (\text{bei konstanter Geschwindigkeit})$$

$$\text{bzw.} \quad \Delta t \geq \frac{-v_K + \sqrt{v_K^2 + 2 \cdot a_{K-S} \cdot s_{K-S}}}{a_{K-S}} \quad (\text{bei beschleunigter / verzögerter Bewegung})$$

Bei Einhalten der für die zeitliche Vermeidbarkeit zulässigen Geschwindigkeit  $v_{Zzul}$  legt das betrachtete Fahrzeug während der Vorbremszeit die Wegstrecke

$$s_V = v_{Zzul} \cdot t_V \quad \text{zurück.}$$

Während der Bremsung innerhalb des verlängerten Zeitraums  $t_{B-K} + \Delta t$  bis zum Erreichen des Kollisionspunkts legt das Fahrzeug die Strecke  $s_{B-K}$  zurück:

$$s_{B-K} = v_{Zzul} \cdot (t_{B-K} + \Delta t) - \frac{a}{2} \cdot (t_{B-K} + \Delta t)^2$$

Da der Bremsvorgang innerhalb der Wegstrecke  $s_{R-K}$  stattfindet, gilt:

$$s_{R-K} \geq v_{Zzul} \cdot t_V + v_{Zzul} \cdot (t_{B-K} + \Delta t) - \frac{a}{2} \cdot (t_{B-K} + \Delta t)^2$$

Aufgelöst nach  $v_Z$  ergibt sich die zulässige Geschwindigkeit für die zeitliche Vermeidbarkeit:

$$v_{Zzul} \leq \frac{\frac{a}{2} \cdot (t_{B-K} + \Delta t)^2 + s_{R-K}}{t_{R-K} + \Delta t}$$

Das Fahrzeug hat bei der zeitlichen Vermeidbarkeit am Kollisionspunkt noch eine theoretische Restgeschwindigkeit von:

$$v_{th} = v_{Zzul} - a \cdot (t_{B-K} + \Delta t)$$

( $v_{th}$  muss positiv sein, sonst ist die Kollision zeitlich nicht vermeidbar)

## Ausführungen und Formulierungen im Gutachten

## Gutachtenaufbau

Es gibt keine unbedingten Vorschriften ...  
... aber allgemeine Anforderungen:

### **Gutachten muss folgende Eigenschaften aufweisen:**

Vollständigkeit

Nachvollziehbarkeit

Antwort auf die im Auftrag gestellten Fragen

im Zivilprozeß strikte Beschränkung auf den Auftrag, Stellungnahmen zu anderen Fragestellungen nur, wenn dies zur Klärung der gestellten Fragen erforderlich ist !

### **Gliederungsbeispiel:**

#### **Deckblatt**

mit den wichtigsten Zuordnungsdaten

Aktenzeichen

Vorgang

(Art, Ort, Datum)

Beteiligte

Sachbearbeiter

Auftragsdaten

(wer, wie, wann, über wen)

Auftragseingang

(bei schriftlicher Beauftragung)

Eingang zusätzlicher bzw. angeforderter Unterlagen

Besichtigungen

(wann, wo)

#### **Vorwort**

Bezug auf Auftrag und Auftragsumfang

(je nach örtlichen Gepflogenheiten

zum Teil wörtliche Wiederholung des Auftrags erforderlich)

Zur Verfügung gestellte Anknüpfungspunkte

Tätigkeiten im Rahmen der Gutachtenerstellung

(z.B. Beschaffung weiterer Anknüpfungspunkte,

Erstellung von Skizzen, Anlagen und Diagrammen)

Hinweis auf Besonderheiten (z.B. erschwerende Umstände, Nachteilsatz, Sondergutachten usw.)

Hinweis auf mögliche weiterführende bzw. vertiefende Gutachten, die vom vorliegenden Auftrag nicht abgedeckt waren.

#### **Vorgang**

Kurze Übersicht zur Orientierung,

keine ausführliche Wiedergabe des Akteninhalts

Hervorhebung besonderer Umstände, die für die Auftragserteilung und die aufgeworfenen Fragen ausschlaggebend waren.

**Grundlagen (auf denen das Gutachten aufbaut)**

Daten zu den beteiligten Personen  
Technische Daten der beteiligten Fahrzeuge  
Verletzungen und Beschädigungen  
Straßenverhältnisse und Witterungsbedingungen  
Spuren und Endlagen einschließlich wichtiger Trümmer und Splitter  
Sonstiges  
Diagramscheiben / UDS / EDR-Daten  
Lichtsignalanlagen / Diagramme  
Zeugenaussagen  
Hinweise auf Alkohol / Drogen

**Sachverständige Ausführungen**

**Prämissen** (einschließlich Begründung),  
die aufgrund der verfügbaren Anknüpfungspunkte im weiteren Gutachten gesetzt werden  
(Verzögerungen, Geschwindigkeiten, EES-Werte, gesetzte Gefahrenpunkte,  
vorgeschlagene Reaktionsaufforderung, Vorbremsdauer usw.)

**Kollisionsstellung** (fahrzeugbezogen / fahrbahnbezogen)

**Auslaufanalyse** mit Geschwindigkeiten

**Kollisionsanalyse** mit Geschwindigkeiten

**Einlaufanalyse** mit Geschwindigkeiten

**räumlich - zeitliche Zuordnung** vor der Kollision evtl. mit Weg-Zeit-Diagramm

**Vermeidbarkeitsbetrachtung** (in der Regel für alle Beteiligten)

**Gegebenenfalls Auswirkung geänderter Prämissen**

... bezüglich der erreichbaren Verzögerungen (genaue Werte oder Tendenz)  
... bezüglich der Reaktionsdauer (genaue Werte oder Tendenz)  
... bezüglich ggfs. angesetzter EES-Werte

**Ergebnis**

kurze, auf die wesentlichen Punkte konzentrierte Zusammenfassung  
Stellungnahme zum Beweisbeschluss bzw. zu den im Auftrag enthaltenen Fragen

**Schlusswort**

"Dieses Gutachten wurde unparteiisch und nach bestem Wissen und Gewissen erstellt"

Datum, Unterschrift und Siegel (Stempel)

Hinweise auf Anlagen (Fotos, Skizze, Weg-Zeitdiagramm, Berechnungsblätter)

**Formulierungen, die vermieden werden sollten:**

Technische Mängel am Fahrzeug ... lagen nicht vor.  
Schuld am Unfall hat zweifelsfrei ...  
... aufgrund seines hohen Blutalkoholgehalts ...  
Die Bremsverzögerung des Fahrzeugs ... betrug 7,36 m/s<sup>2</sup>.  
Der Reaktionsverzug des Beteiligten ... betrug mindestens 1,3 s.  
... Verzugsdauer ...  
... mit 85%-iger Sicherheit ... (... zu 85% ...)

**Formulierungen, die nicht so leicht angreifbar sind:**

Bei der Untersuchung ergaben sich keine Hinweise auf unfallursächliche technische Mängel am Fahrzeug C.  
Der Unfall wurde offensichtlich (nach bisherigem Kenntnisstand) dadurch ausgelöst, dass ...  
Bei der Diskussion von Unfallursache und Vermeidbarkeit ist aus technischer Sicht ... Blutalkoholgehalt ... zu berücksichtigen.  
Bei Ansatz einer Bremsverzögerung zwischen 7,0 m/s<sup>2</sup> und 8,5 m/s<sup>2</sup> ...  
Bei Ansatz einer Vorbremszeit von ca. 1,2 s ...  
... kann nicht ausgeschlossen werden, dass ...  
... ergeben sich Hinweise auf ... --> keine %-Angaben

Formulierungen im Gutachten immer so wählen, dass ...

- ... auch völlig unwahrscheinliche Aspekte nicht kategorisch ausgeschlossen werden
- ... die Möglichkeit offen bleibt, im Nachhinein eigene "Fehler" (auch die sollen gelegentlich vorkommen) zu relativieren bzw. durch neue Erkenntnisse zu erklären
- ... die technischen Aspekte hervorgehoben werden
- ... Begriffe vermieden werden, die mit einer juristischen Wertung verbunden sind bzw. sein können

Wenn juristische Überlegungen unumgänglich sind (z.B. bei Fragen der Betriebserlaubnis), muss dies zwischen den Verfahrensbeteiligten klar sein.

## Formelsammlung Verkehrsunfallanalyse und -Rekonstruktion

Masse, Trägheitsmoment, Kraft, Drehmoment, Impuls, Drehimpuls

Masse		$m$				
Trägheitsmoment	$J =$	$m \cdot r^2$				
Kraft	$F =$	$m \cdot a$	$=$	$m \cdot g$		
Drehmoment	$M =$	$J \cdot \alpha$	$=$	$F \cdot l$		
Impuls	$p =$	$m \cdot v$	$=$	$F \cdot t$		
Drehimpuls	$b =$	$J \cdot \omega$	$=$	$M \cdot t$	$=$	$p \cdot r$

Arbeit, Energie und Leistung

Arbeit	$W =$	$F \cdot s$
Potenzielle Energie	$E_{\text{pot}} =$	$m \cdot g \cdot h$
Kinetische Energie	$E_{\text{kin}} =$	$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$
Rotations - Energie	$E_{\text{rot}} =$	$\frac{1}{2} \cdot J \cdot \omega^2$
Deformations - Energie	$E_{\text{def}} =$	$\frac{1}{2} \cdot D \cdot s^2$
Leistung	$P =$	$W / t$

**Das Trägheitsmoment** eines Fahrzeugs um die Hochachse kann aus Tabellenwerken entnommen oder näherungsweise angesetzt werden:

$$J = 0,217 \cdot m \cdot R^2 \quad \text{oder}$$

$$J = 0,1269 \cdot m \cdot R \cdot L \quad \leq \text{ wird meistens verwendet}$$

$R$  = Radstand  
 $L$  = Fahrzeuglänge

Das Geschwindigkeitssymbol **V** wird in Groß- und Kleinschreibung verwendet. Den Schreibweisen werden folgende Einheiten zugeordnet:

$$v \text{ [m/s]}$$

$$V \text{ [km/h]}$$

Alle Größen, die sich kollisionsbedingt ändern, werden für den Zeitpunkt nach der Kollision „gestrichen“ dargestellt.

$V_K$  ist also die Kollisionsgeschwindigkeit (oder Einlaufgeschwindigkeit),  
 $V_K'$  ist die Geschwindigkeit unmittelbar nach der Kollision (oder Auslaufgeschwindigkeit)

## Formelsammlung Verkehrsunfallanalyse und -Rekonstruktion

Konstant beschleunigte / verzögerte Bewegung:

Weg	$s = s_0 + V_0 \cdot t \pm \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$	$s = \frac{v_0 + v_1}{2} \cdot t$	$s = \pm \frac{v_1^2 - v_0^2}{2 \cdot a}$
Geschwindigkeit	$v = V_0 \pm a \cdot t$	$v = \sqrt{v_0^2 \pm 2 \cdot a \cdot s}$	$v = \frac{2 \cdot s}{t}$
Beschleunigung	$a = \frac{v_1 - v_0}{t}$	$a = \frac{v_1^2 - v_0^2}{2 \cdot s}$	$a = \pm \frac{2 \cdot (s - v_0 \cdot t)}{t^2}$
Zeit	$t = \pm \frac{v_1 - v_0}{a}$	$t = \frac{2 \cdot s}{v_0 + v_1}$	$t = \sqrt{\frac{2 \cdot s}{a}}$

Konstant beschleunigte / verzögerte Drehbewegung:

Winkel	$\varphi = \varphi_0 + \omega_0 \cdot t \pm \frac{1}{2} \cdot \alpha \cdot t^2$	$\varphi = \frac{\omega_0 + \omega_1}{2} \cdot t$	$\varphi = \pm \frac{\omega_1^2 - \omega_0^2}{2 \cdot \alpha}$
Winkelgeschwindigkeit	$\omega = \omega_0 \pm \alpha \cdot t$	$\omega = \sqrt{\omega_0^2 \pm 2 \cdot \alpha \cdot \varphi}$	$\omega = \frac{2 \cdot \varphi}{t}$
Winkelbeschleunigung	$\alpha = \frac{\omega_1 - \omega_0}{t}$	$\alpha = \frac{\omega_1^2 - \omega_0^2}{2 \cdot \varphi}$	$\alpha = \pm \frac{2 \cdot (\varphi - \omega_0 \cdot t)}{t^2}$
Zeit	$t = \pm \frac{\omega_1 - \omega_0}{\alpha}$	$t = \frac{2 \cdot \varphi}{\omega_0 + \omega_1}$	$t = \sqrt{\frac{2 \cdot \varphi}{\alpha}}$

**Anhalteweg  $s_{R-H}$  = Vorbremsweg  $s_V$  + Bremsweg  $s_B$ :**  $s_{R-H} = v_R \cdot t_V + \frac{v_R^2}{2 \cdot a}$

**Räumliche Vermeidbarkeit:**

$$v_{Rzul} \leq \sqrt{(a \cdot t_v)^2 + 2 \cdot a \cdot s_{R-K}} - a \cdot t_v$$

**Zeitliche Vermeidbarkeit:**

$$v_{Zzul} \leq \frac{\frac{a}{2} \cdot (t_{B-K} + \Delta t)^2 + s_{R-K}}{t_{R-K} + \Delta t}$$

Das Fahrzeug hat bei der zeitlichen Vermeidbarkeit am Kollisionspunkt noch eine theoretische Restgeschwindigkeit von:  $v_{th} = v_{Zzul} - a \cdot (t_{B-K} + \Delta t)$

( $v_{th}$  muss positiv sein, sonst ist die Kollision zeitlich nicht vermeidbar)

## Formelsammlung Verkehrsunfallanalyse und -Rekonstruktion

### Kurvenradius R in Abhängigkeit von Sehnenlänge s und Sehnenhöhe h:

$$R = \frac{s^2}{8 \cdot h} + \frac{h}{2}$$

### Kurvengeschwindigkeit v<sub>Kurve</sub> in Abhängigkeit vom Kurvenradius R und der Querbeschleunigung a<sub>q</sub>:

$$v_{\text{Kurve}} = \sqrt{R \cdot a_q}$$

Die **Stoßziffer k** ist das Verhältnis der Relativgeschwindigkeiten am Berührungspunkt in Richtung der Berührnormalen (BN).

$$k = -\frac{(v_1' - v_2')}{(v_1 - v_2)} = -\frac{v_2' - v_1'}{v_2 - v_1} = \frac{\text{Restitution}}{\text{Kompression}} = \frac{\Delta v'_{\text{BN}}}{\Delta v_{\text{BN}}}$$

### Kollisionsanalyse unter Anwendung des Impulserhaltungssatzes:

Ausgehend von der allgemeinen Darstellung des Impulserhaltungssatzes:

Summe aller Impulse vor dem Stoß = Summe aller Impulse nach dem Stoß

bzw. 
$$m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2 = m_1 \cdot \vec{v}_1' + m_2 \cdot \vec{v}_2'$$

werden über die Kurswinkel zunächst die Komponenten in x- und y-Richtung ermittelt.

Dann gelten im Rechenweg, dessen Abfolge in der folgenden Tabelle zeilenweise dargestellt ist, folgende Beziehungen:

↓	Auslauf	Geschw.-Komponenten	$v_{1x}' = v_1' \cdot \cos v_1'$	$v_{1y}' = v_1' \cdot \sin v_1'$	$v_{2x}' = v_2' \cdot \cos v_2'$	$v_{2y}' = v_2' \cdot \sin v_2'$
		Impulskomponenten	$I_{1x}' = m_1 \cdot v_1' \cdot \cos v_1'$	$I_{1y}' = m_1 \cdot v_1' \cdot \sin v_1'$	$I_{2x}' = m_2 \cdot v_2' \cdot \cos v_2'$	$I_{2y}' = m_2 \cdot v_2' \cdot \sin v_2'$
		Σ Impulskomponenten x/y	$I_x' = I_{1x}' + I_{2x}'$	$I_y' = I_{1y}' + I_{2y}'$		
		Σ Auslaufimpulse {Betrag}	$I' = \sqrt{I_x'^2 + I_y'^2}$			
		Σ Auslaufimpulse {Richtung}	$\alpha = \arctan(I_y' / I_x')$			
		Σ Einlaufimpulse {Betrag}	$I = I' = \sqrt{I_x'^2 + I_y'^2}$			
		FZ 2 Impuls (y-Komponente)				$I_{2y} = I_y = I'_{1y} + I'_{2y}$
		FZ 2 Impuls (x-Komponente)			$I_{2x} = I_2 \cdot \tan v_2$	
		FZ 1: I = x-Komponente	$I_1 = I_{1x} = I \cdot \cos \alpha = I_{2x}$			
↓	Einlauf	Kollisionsgeschwindigkeiten	$v_{K1} = I_1 / m_1$		$v_{K2} = \sqrt{I_{2x}^2 + I_{2y}^2} / m_2$	

**Kollisionsanalyse / Anstoßverlust bei Fußgängerunfall:**

(Prämisse: Fußgänger steht oder quert und hat keine relevante Eigengeschwindigkeit in Richtung der Fahrzeugbewegung)

**Kollisionsgeschwindigkeit des Fahrzeugs**

$$V_K = V_K' \cdot (1 + f \cdot m_{FG}/m_{FZ})$$

$V_K'$ : Geschwindigkeit des KFZ nach Kollision

f: Anstoßfaktor (ca. 0,7 bei PKW mit Motorhaube, bei steiler Front größer)

$m_{FG}$ : Masse des Fußgängers

$m_{FZ}$ : Masse des Fahrzeugs

**EES-Kollisionsanalyse (1-dimensional):**

(idealisiert: gerader zentraler Stoß)

$$v_1 = \frac{m_2}{m_1+m_2} \cdot \left( \frac{m_1}{m_2} \cdot v_1' + v_2' + \sqrt{(v_1' - v_2')^2 + \frac{m_1+m_2}{m_2} \cdot EES_1^2 + \frac{m_1+m_2}{m_1} \cdot EES_2^2} \right)$$

$$v_2 = v_2' + \frac{m_1}{m_2} \cdot (v_1' - v_1)$$

**EES-Kollisionsanalyse (2-dimensional):**

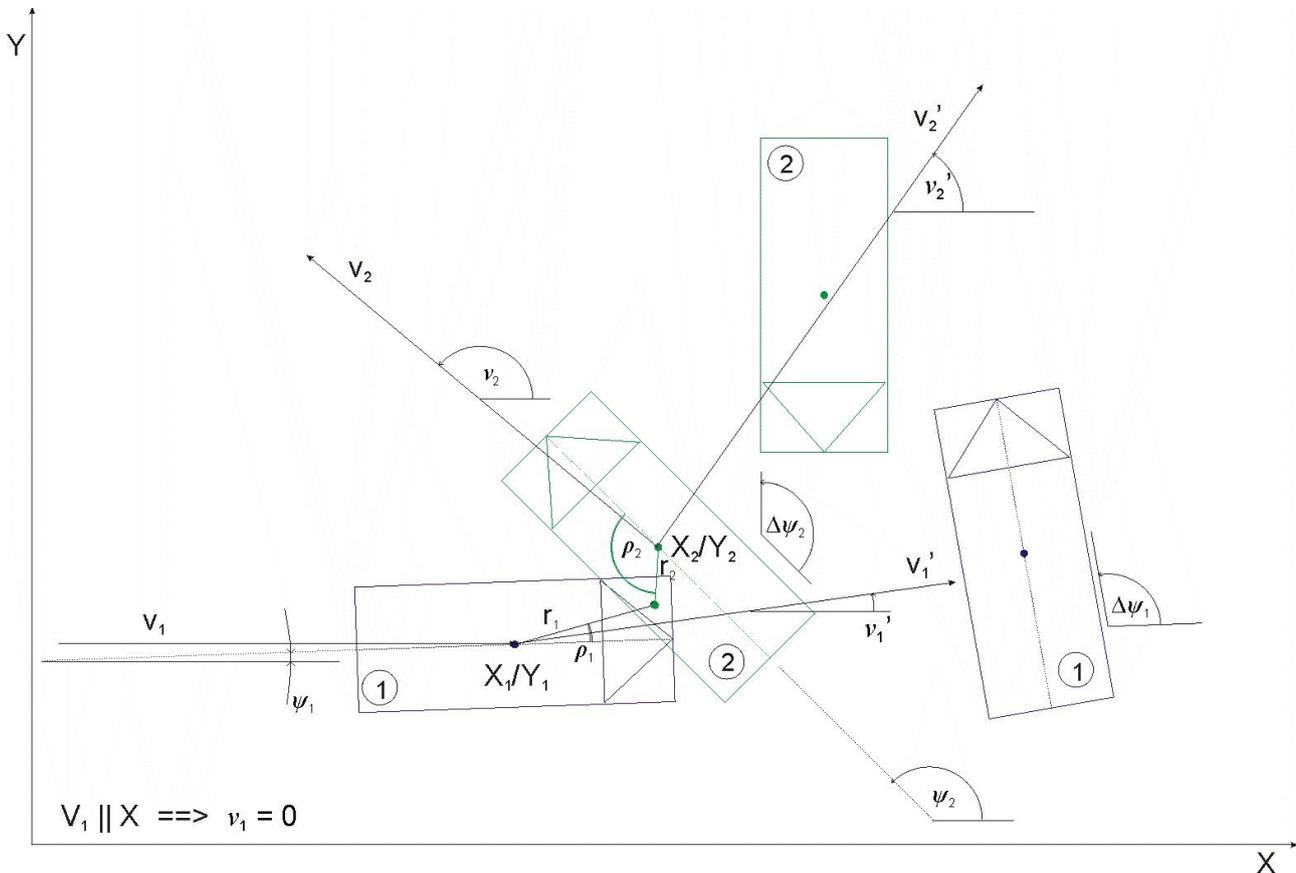
$$v_1 = \frac{m_2}{m_1+m_2} \left[ \frac{m_1}{m_2} v_1' \cos v_1' + v_2' \cos v_2' + \sqrt{v_1'^2 - 2 v_1' v_2' \cos(v_1' - v_2') + v_2'^2 - \left( v_1' \frac{m_1}{m_2} \sin v_1' + v_2' \sin v_2' \right)^2 + 2X \left( \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)} \right]$$

$$\text{mit } 2 \cdot X = m_1 v_1'^2 + \frac{m_1^2}{m_2} v_2'^2 - 2 m_1 v_1' \left( \frac{m_1}{m_2} v_1' \cos v_1' + v_2' \cos v_2' \right) + 2 m_1 v_1' v_2' \cos(v_1' - v_2') + \frac{m_1^2}{m_2} v_1'^2 - m_1 v_1'^2$$

$$v_2 = \sqrt{\left( \frac{m_1}{m_2} \right)^2 v_1'^2 - 2 \frac{m_1}{m_2} v_1' \left( \frac{m_1}{m_2} v_1' \cos v_1' + v_2' \cos v_2' \right) + 2 \frac{m_1}{m_2} v_1' v_2' \cos(v_1' - v_2') + \left( \frac{m_1}{m_2} \right)^2 v_1'^2 + v_2'^2}$$

## Formelsammlung Verkehrsunfallanalyse und -Rekonstruktion

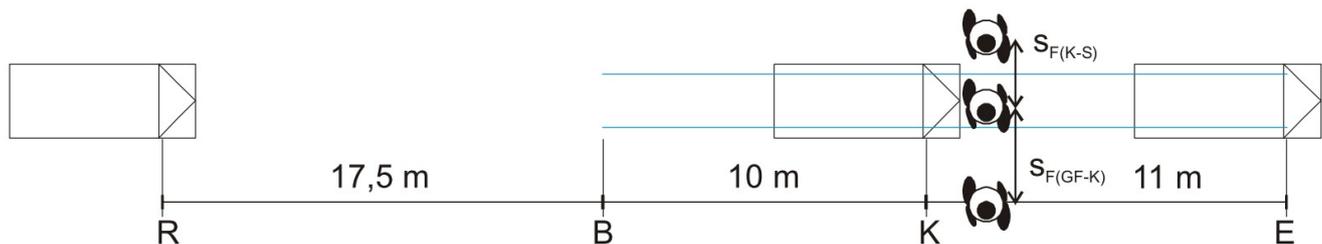
Für die Kollisionsanalyse relevante Größen und Definitionen:



- $x_1/y_1$ : Koordinaten des Schwerpunkts von Fahrzeug 1
  - $V$ : Kollisionsgeschwindigkeit in km/h (Definition:  $V_1$  parallel zur X-Achse)
  - $v$ : Kollisionsgeschwindigkeit in m/s (Definition:  $v_1$  parallel zur X-Achse)
  - $V'$ : Geschwindigkeit nach Kollision in km/h
  - $v'$ : Geschwindigkeit nach Kollision in m/s
  - $\omega$ : Winkelgeschwindigkeit vor dem Stoß
  - $\omega'$ : Winkelgeschwindigkeit nach dem Stoß
  - $v$ : Bewegungsrichtung des Schwerpunkts vor Kollision (Definition:  $v_1 = 0$ ; s.o.)
  - $v'$ : Bewegungsrichtung des Schwerpunkts nach Kollision
  - $\psi$ : Gierwinkel; Ausrichtung der Fahrzeuglängsachse zur X-Achse des gewählten Koordinatensystems
  - $\Delta\psi$ : Drehung während des Auslaufs zwischen Kollision und Endstellung
  - $\varphi$ : auch verwendet für  $\Delta\psi$
  - $\beta$ : Schwimmwinkel (zwischen der Bewegungsrichtung des Schwerpunkts und der Ausrichtung der Fahrzeuglängsachse)
- $$\beta = v - \psi$$
- $r$ : Abstand Schwerpunkt - (idealisierter) Stoßpunkt
  - $\rho$ : Winkel zwischen der Fahrzeuglängsachse und der Verbindungslinie zwischen Schwerpunkt und (idealisiertem) Stoßpunkt

## Beispiel 1

Nach der Aufnahme eines Fußgängerunfalls wurde folgende Skizze erstellt:



### Randbedingungen:

Tageslicht, trockene asphaltierte Fahrbahn

zwei Bremsblockierspuren, Länge jeweils 21 m

Spurunregelmäßigkeit (hier K) ca. 11 m vor Spurende (Endstand der PKW-Vorderachse)

Unfallmasse des PKWs ca. 1200 kg

Unfallmasse des Fußgängers ca. 75 kg

Unfallstelle innerorts, höchstzulässige Geschwindigkeit  $V_{zul} = 50$  km/h

Weg des Fußgängers vom Bordsteinrand bis zur Kollision  $S_{F(GF-K)} = 2,5$  m

Weg des Fußgängers vom Kollisionspunkt bis in Sicherheit  $S_{F(K-S)} = 1,2$  m

### Prämissen (Rechenansatz für nicht sicher bekannte Werte):

Vorbremszeit (von Reaktion bis Spurzeichnungsbeginn)  $t_{R-B} = 1,0$  s

erreichbare Verzögerung über der Spurzeichnung mindestens:  $a = 7,0$  m/s<sup>2</sup>

Anstoßfaktor für den Fußgängerunfall  $= 0,7$

durchgehend konstante Gehgeschwindigkeit des Fußgängers  $v_{FG} = 1,5$  m/s

### Fragestellungen:

Wie schnell war der PKW?

War die Reaktion des PKW-Lenkers der Verkehrssituation angemessen?

Wer hätte das Unfallgeschehen unter welchen Bedingungen vermeiden können?

### Unter Verwendung der Formelsammlung und ggfs. der zur Verfügung gestellten Rechenhilfen kommt man (rein rechnerisch) zu folgendem Ergebnis:

Geschwindigkeit des PKW unmittelbar nach der Kollision:  $= 44,7$  km/h

Kollisionsgeschwindigkeit des PKW:  $= 46,6$  km/h

Reaktionszeitpunkt des PKW-Lenkers vor Kollision:  $= 1,7$  s

Vorbremsweg des PKW-Lenkers vor Spurzeichnung:  $= 17,5$  m

Reaktionsort des PKW-Lenkers vor Kollision:  $= 27,5$  m

Position des Fußgängers (vor K) bei Reaktion des PKW-Lenkers  $= 2,5$  m

==> Reaktion des PKW-Lenkers ist nachvollziehbar

räumliche Vermeidbarkeitsgeschwindigkeit:  $= 49,8$  km/h

vom Fußgänger benötigte zusätzliche Zeitspanne bis Sicherheit:  $= 0,8$  s

zeitliche Vermeidbarkeitsgeschwindigkeit:  $= 51,2$  km/h

==> wenn man davon ausgeht, dass der PKW-Lenker 50 km/h fahren durfte, ...

... war der Unfall für ihn räumlich knapp nicht vermeidbar

... war der Unfall für ihn zeitlich vermeidbar (wenn FG nicht stehen bleibt)

Diskutieren Sie die Auswirkungen geänderter Prämissen!

Welche Änderungen führen zu einem (für den PKW-Lenker) günstigeren Ergebnis?

Rechnungen zu obigem Beispiel unter Anwendung der Rechenhilfen:

Auslauf (PKW)	$v_{End}$	a	s	rückwärts ->	$vk'$	$Vk'$	t		
	0,00	-7,00	11,00		12,41	44,67	1,77		
Anstoßverlust (Fußgänger-Kollision):	m(FZ)	m(FG)	Anstoßfaktor	$Vk'$	->	$vk$	$Vk$		
	1200	75	0,7	44,67	->	12,95	46,63		
Bremsweg vor Kollision	$Vk$	a	s	rückwärts ->	$v0$	$V0$	t		
	46,63	-7,00	10,00		17,54	63,16	0,66		
Vorbremabschnitt	$V0$	a	s	->	v	V	t		
	63,16	0,00	17,54	->	17,54	63,16	1,00		
Summe Reaktion - Kollision			27,54				1,66		
Fußgänger Weg und Zeit zwischen $R_{PKW-Lenker}$ und Kollision	$V0$	a	s	->	v	V	t		
	5,40	0,00	2,48	->	1,50	5,40	1,66		
Anhalten aus Anfangsgeschwindigkeit	$Vo$	a	tv	->	s(B-H)	s(R-H)	t(R-H)		
s(B-H) Weg von Bremsbeginn bis Halt	63,16	-7,00	1,00	->	21,98	39,53	3,51		
	50,00	-7,00	1,00	->	13,78	27,67	2,98		
Vermeidbarkeit (räumlich)	s(R-K)	a	tv	->	v(zul)	V(zul)			
s(R-K) Wegstrecke von Reaktion - Kollision	27,54	-7,00	1,00	->	13,85	49,85			
Vermeidbarkeit (zeitlich)	sG(K-S)	vG(K)	aG	->	DELTA tG				
	1,20	1,50	0,00	->	0,80				
	$Vo$	s(R-K)	t(R-K)	am	tv	->	v(zul)	V(zul)	$V_{th (+)}$
	63,16	27,54	1,66	-7,00	1,00	->	14,24	51,25	14,56

## Beispiel 2

### Unfall zwischen Motorrad (1 Aufsasse) und PKW (2 Insassen)

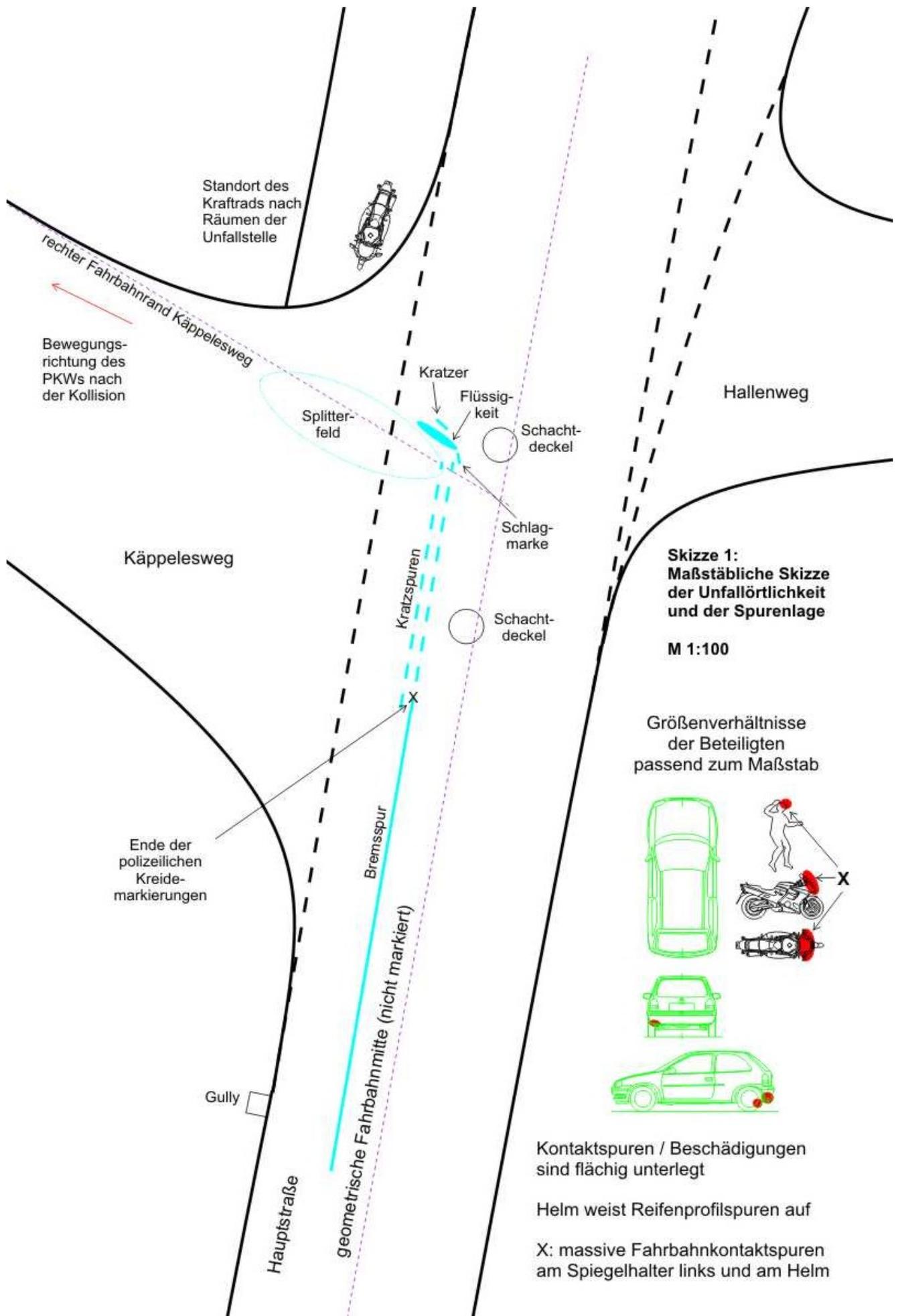
Die Angaben der Beteiligten zum Unfallhergang widersprachen sich.

Der Motorradfahrer gab an, er habe vor sich den PKW an den rechten Fahrbahnrand fahren und (subjektiv) bis zum Stillstand abbremsen sehen. Für ihn habe so ausgesehen, als wolle der PKW-Lenker am rechten Fahrbahnrand anhalten. Um nicht von einer sich öffnenden Fahrertür getroffen zu werden, habe er sich entschlossen, auf der linken Fahrbahnseite (mit ausreichendem seitlichen Sicherheitsabstand) am PKW vorbei zu fahren. Als der PKW plötzlich wieder anfuhr und nach links zog, habe er eine Vollbremsung eingeleitet. Daraufhin sei das Vorderrad weg geschmiert und er sei gegen das Heck des PKWs gerutscht.

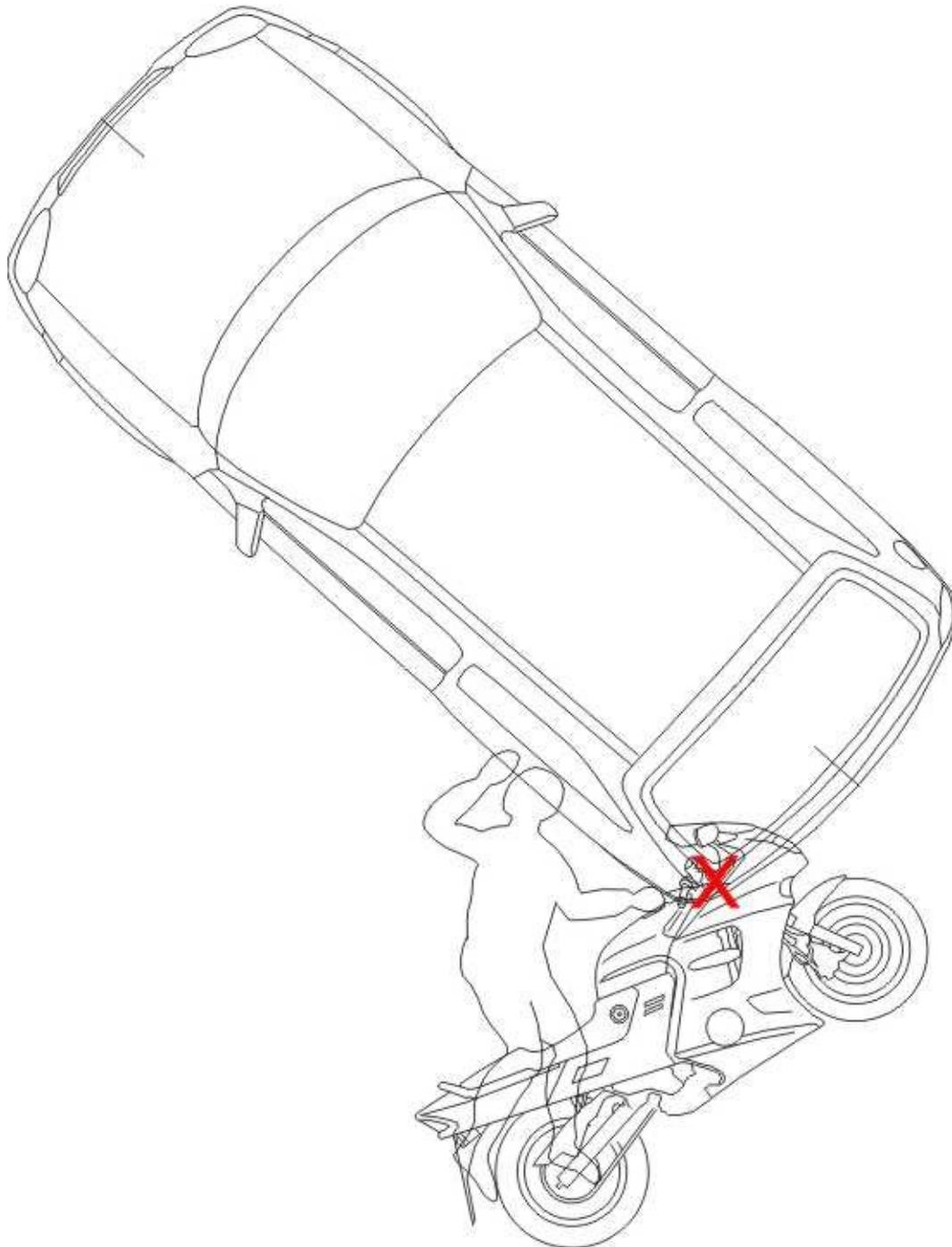
Beide PKW-Insassen gaben an, sie seien ortskundig und haben genau gewusst, wo sie abbiegen wollten. Der PKW-Fahrer habe lange vor der Abbiegung geblinkt und habe sich ganz normal an der Fahrbahnmitte eingeordnet. Dabei habe er auch nach hinten geschaut und kein weiteres Fahrzeug wahrgenommen. Noch bevor er aber zum eigentlichen Abbiegevorang ansetzen konnte, sei das Motorrad von hinten auf den PKW aufgefahren.

Die polizeiliche Unfallaufnahme war (selbst nach einer zweiten Besichtigung der Unfallstelle und Berücksichtigung der von einem Sachverständigen ergänzend markierten Spurenlage) laienhaft falsch!

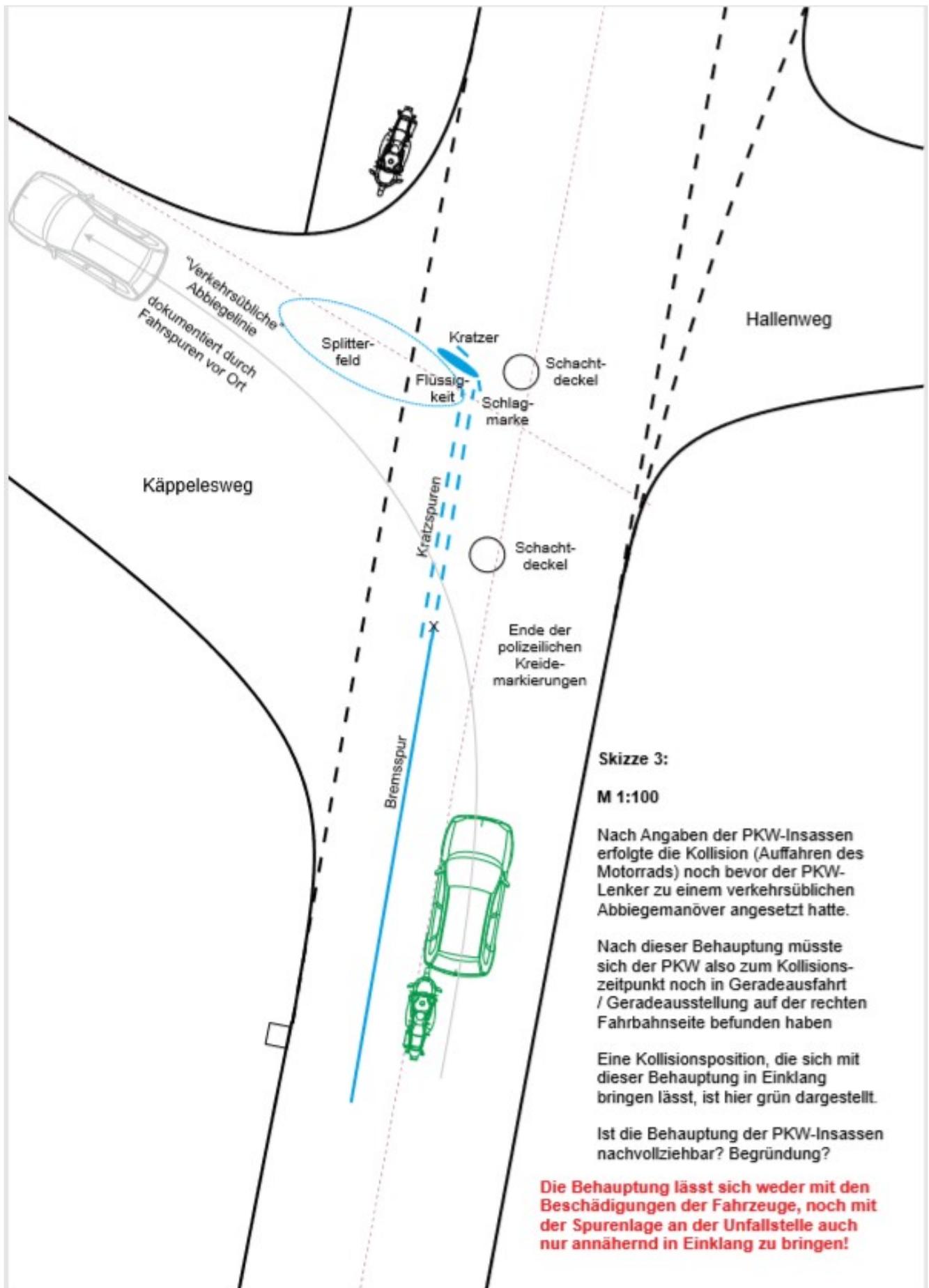
Wie beurteilen Sie den Unfallhergang? (Spurenlage und Beschädigungen; siehe Skizze)



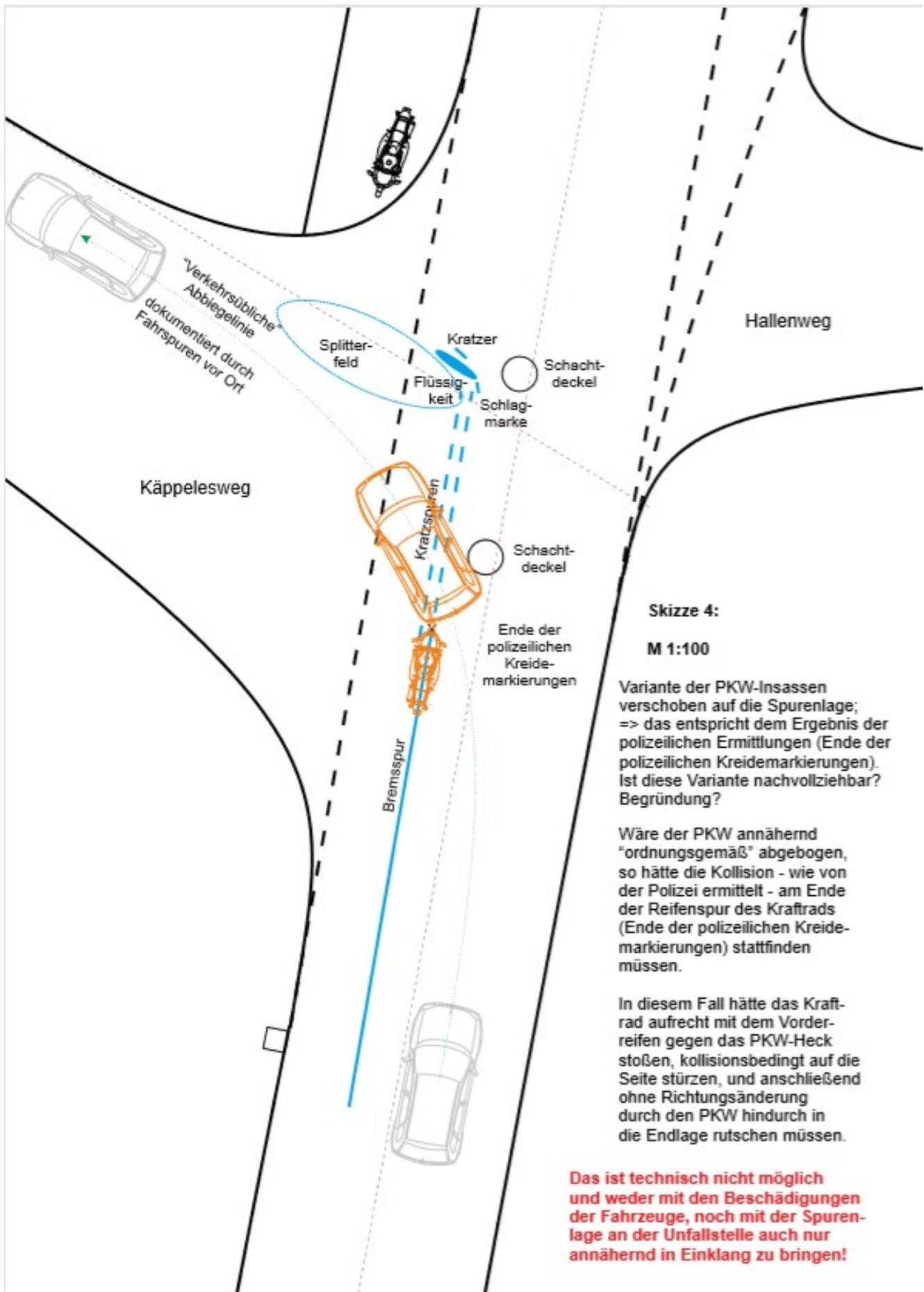
Relative (fahrzeugbezogene) Kollisionsstellung  
aus den Spuren und Beschädigungen an den Fahrzeugen,  
sowie am Helm und an der Kleidung des Kraftradlenkers



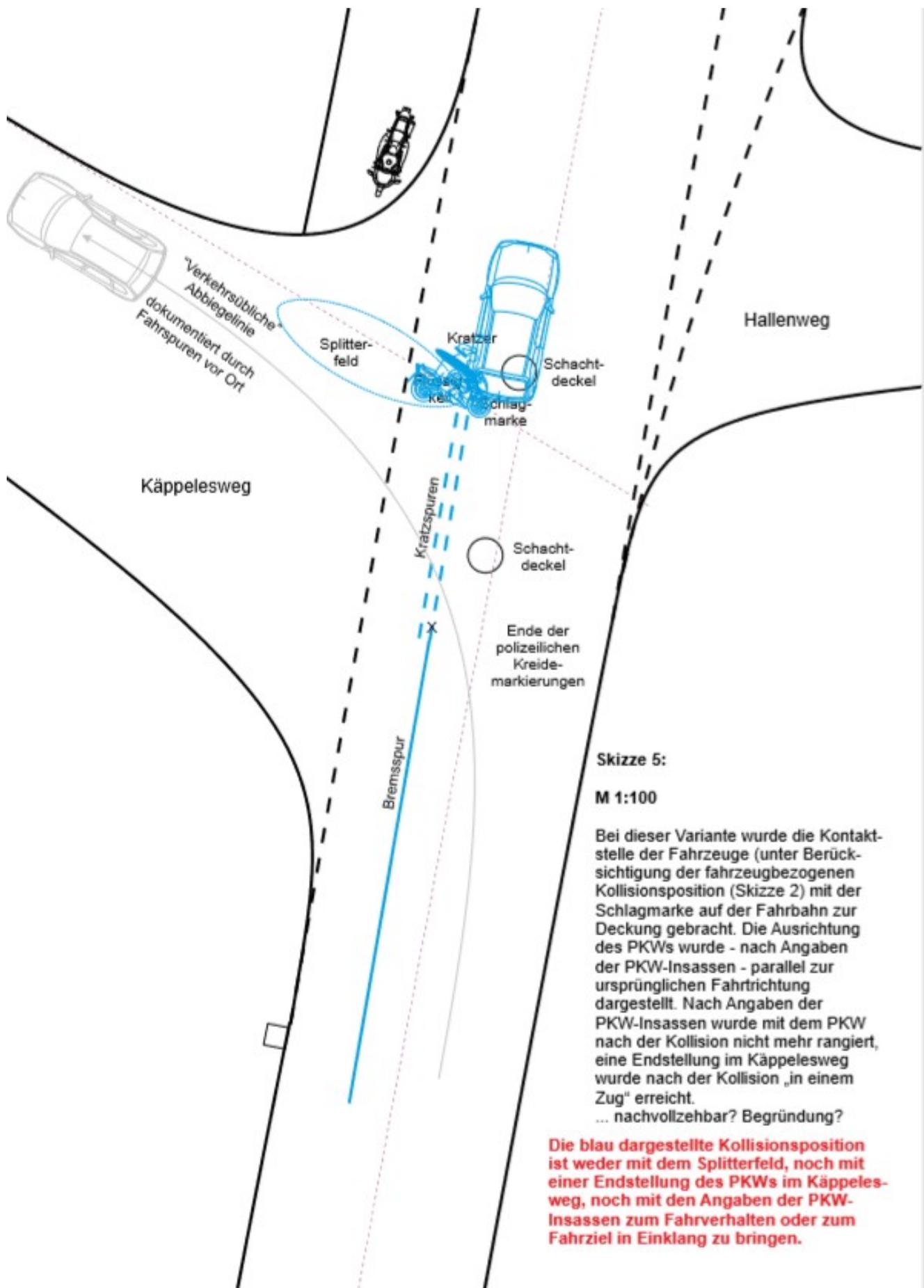
Das rote Kreuz markiert die Stelle am Motorrad (Spiegelhalterung links),  
die die Schlagmarke auf der Fahrbahn erzeugte



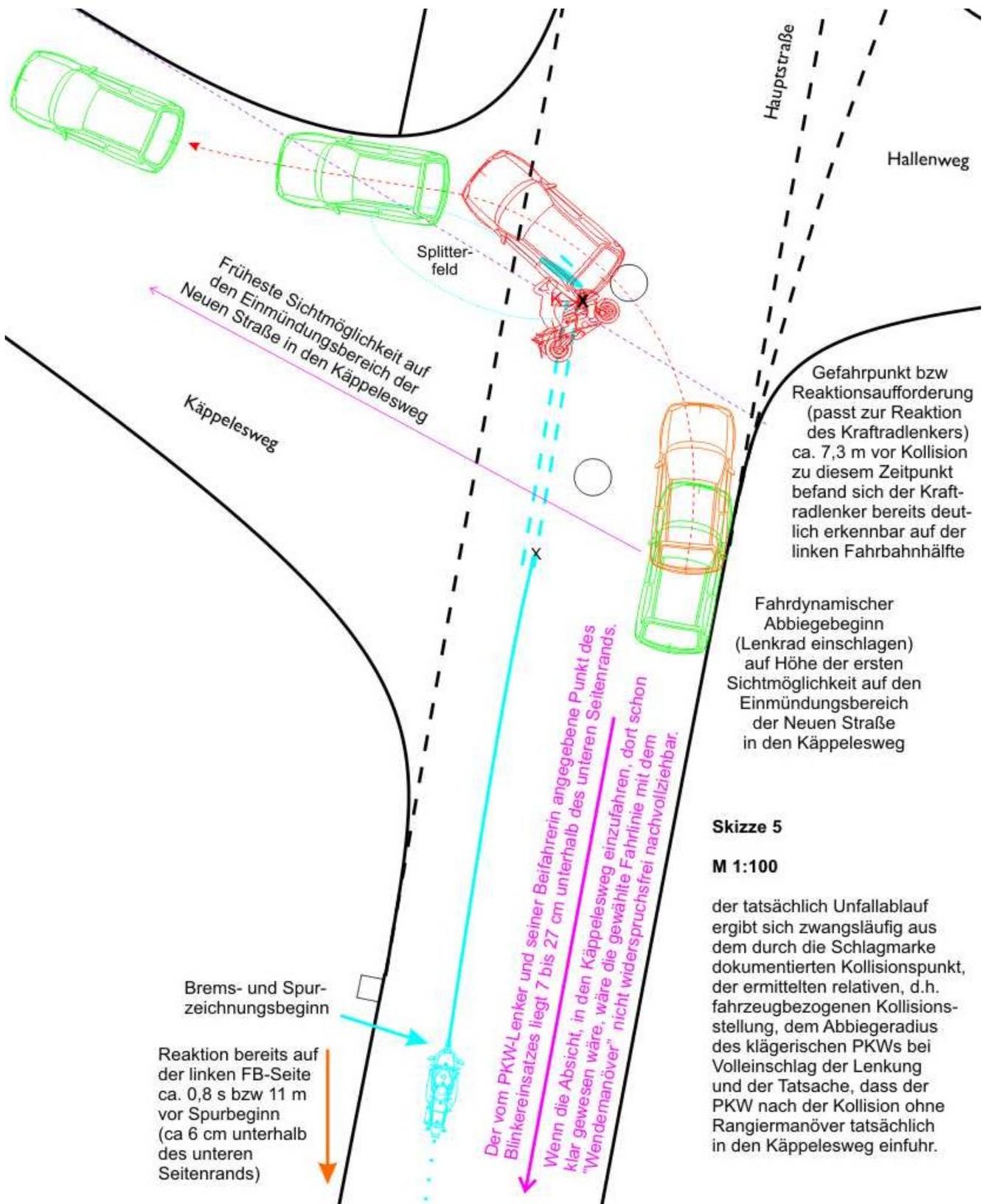
So funktioniert 's nicht!



... so auch nicht!



... und so auch nicht!



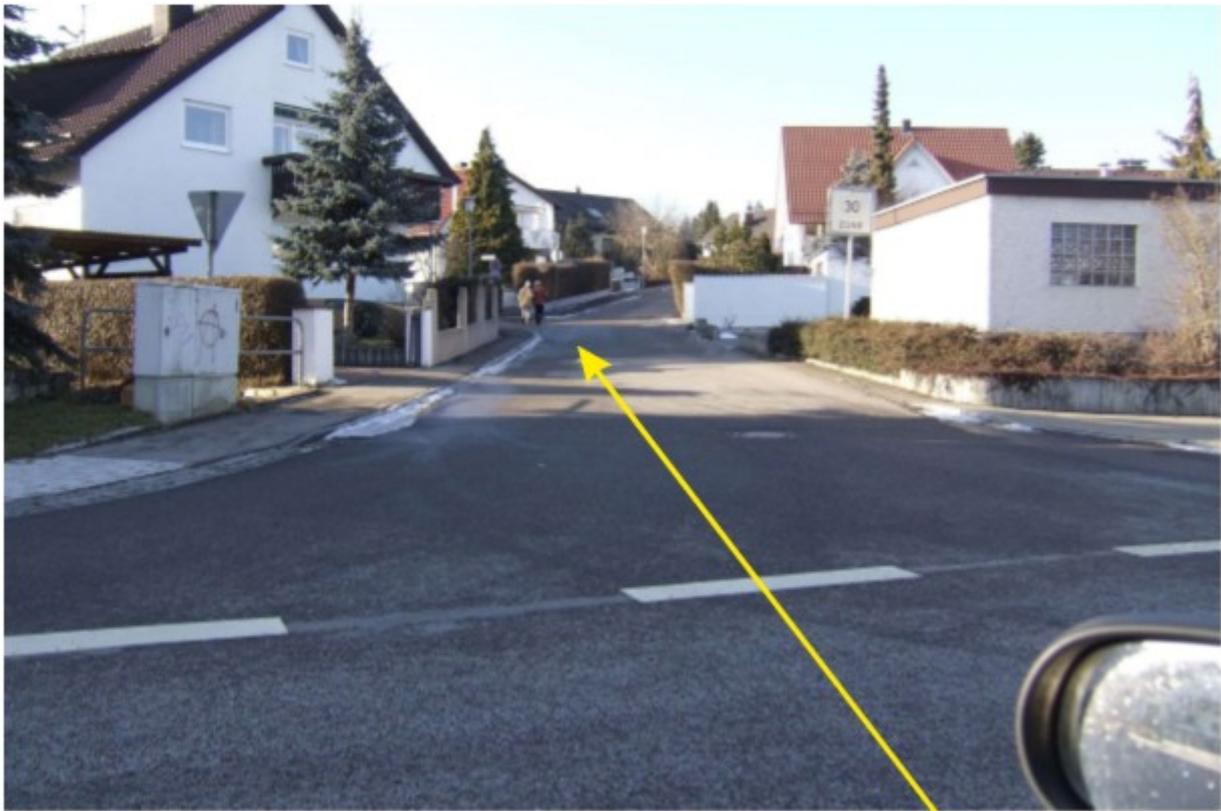
So ist 's richtig rekonstruiert !

Der PKW-Lenker fährt rechts ran, um sich zu orientieren und zieht dann - ohne sich um den rückwärtigen Verkehr zu kümmern - doch noch nach links.

Diskutieren Sie, ob der Motorradfahrer den Unfall hätte vermeiden können, indem er nach rechts ausgewichen und hinter dem PKW vorbei gefahren wäre.

Wann hätte er sich dazu entschließen müssen?

Was, wenn der PKW dann doch noch stehen geblieben wäre?



Blick vom rechten Fahrbahnrand der Hauptstraße auf die Einmündung der  
„Neue Straße“ in den Käppelesweg



Kollisionsstellung anhand der Lage der Schlagmarke auf der Fahrbahn nachgestellt  
mit einem vergleichbaren Kleinwagen



Blick vom Fahrersitz zum Kollisionszeitpunkt.  
Der Eindruck eines normalen Abbiegevorgangs zum Zeitpunkt der Kollision  
(des „Weckrufs“) ist nicht nachvollziehbar.



Blick vom Beifahrersitz zum Kollisionszeitpunkt.  
Der Eindruck eines normalen Abbiegevorgangs zum Zeitpunkt der Kollision  
ist nicht nachvollziehbar.