Möglichkeiten und Grenzen der Wahrnehmbarkeit leichter Pkw-Kollisionen

Ingenieurwissenschaftliche Untersuchung zur Beurteilung von PKW-Unfällen mit Unfallflucht

Hartmuth Wolff

München 1992

lit ok

vom Verfasser überreicht

M. Loose

9.4.92

Vorwort

Diese Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als Versuchsingenieur und Leiter der Gruppe Forschung/Fahrzeugdiagnose im Allianz-Zentrum für Technik (AZT) GmbH, Institut Kraftfahrzeugtechnik, in Ismaning bei München.

Herrn Professor Dr.-Ing. M. Danner, Geschäftsführer des AZT und Direktor der Allianz-Versicherungs AG, danke ich ganz herzlich für die Anregungen zu dieser Arbeit, seine Betreuung und für die Schaffung der organisatorischen Rahmenbedingungen, die das umfangreiche Versuchsprogramm erst ermöglichten.

Mein Dank gilt ebenso Herrn Prof. Dr. med. W. Müller-Limmroth für die wissenschaftliche Beratung und die Berichterstattung im Promotionsausschuß.

Gleichzeitig danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. G. Woschni für die Übernahme des Vorsitzes im Promotionsausschuß.

Besonderer Dank gebührt Herrn Prof. Dr. med. W. Eisenmenger und Herrn Dr. med. Th. Gilg für die tatkräftige Unterstützung bei der Blutalkoholbestimmung im Rahmen der Wahrnehmbarkeitsversuche.

Nicht zuletzt gilt mein Dank allen Mitarbeitern des AZT sowie allen Diplomanden und Semestranden, die durch ihren persönlichen Einsatz zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Inhalt

1. **Einleitung** 1

2. **Unerlaubtes Entfernen vom Unfallort** 2
   2.1 Der Paragraph 142 StGB 2
   2.2 Zur Problematik der Unfallflucht 3

3. **Wahrnehmungsgrenzen für lineare Bewegungen** 6
   3.1 Untersuchungen zur absoluten Wahrnehmungsschwelle linearer Bewegungen 6
   3.2 Die Ermittlung realer Wahrnehmbarkeitsgrenzen im Kraftfahrzeug 7
      3.2.1 Vorversuche 7
      3.2.2 Versuchsfahrzeug 9
      3.2.3 Meßtechnik 9
      3.2.4 Versuchsdurchführung 10
         3.2.4.1 Allgemeine Versuchsbedingungen 10
         3.2.4.2 Ablenkung der Versuchspersonen 11
      3.2.5 Globalauswertung 13
      3.2.6 Wahrnehmung der Fahrzeugverzögerung 14
      3.2.7 Einfluß von Alter und Geschlecht 18
      3.2.8 Einfluß der Zeitstruktur des Beschleunigungssignals 20
      3.2.9 Das Beschleunigungs-Ruck-Kriterium (BRK) 22

4. **Alkohol und Unfallflucht** 26
   4.1 Alkohol im Straßenverkehr 26
      4.1.1 Gesetzliche Vorschriften und Auslegungen 26
      4.1.2 Unfallgeschehen 31
   4.2 Alkohol und Unfallflucht 34

5. **Einfluß von Alkohol auf die Wahrnehmung** 37
   5.1 Blutalkoholbestimmung 37
   5.2 Versuche unter Alkoholeinfluß 38
   5.3 Auswertung 39
   5.4 Zusammenfassung 44

6. **Kollisionsfremde Fahrzeugbeschleunigungen** 45
   6.1 Insassenaktionen 45
   6.2 Fahrbahnunebenheiten und Hindernisse 50
   6.3 Bremsmanöver 58

7. **Kraftübertragung zwischen Personenkraftwagen** 64
   7.1 Quasistatische Druckkräfte 64
   7.2 Fahrzeugwiderstände in Längsrichtung 66

8. **Verformungsverhalten von Pkw-Karosserien** 71
8.1 Versuchsfahrzeuge 71
8.2 Meßtechnik 72
8.2.1 Kraftmessung 72
8.2.2 Beschleunigungsmessung 73
8.2.3 Geschwindigkeitsmessung 74
8.2.4 Meßwerterfassung 74
8.3 Definition der Anstoßstellen am gestoßenen Fahrzeug 76
8.4 Glasbruchverhalten von Scheinwerfern und Rückleuchten 77
8.4.1 Scheinwerfer 77
8.4.2 Rückleuchten und Blinker 79
8.5 Kraft-Deformations-Verhalten von Blechteilen 81
8.6 Auswirkungen von Kunststoff-Seitenbeplankungen auf das Schadenbild 85

9. **Wahrnehmbarkeit von Fahrzeug/Fahrzeug-Kollisionen** 87
9.1 Rotationsbewegungen 87
9.1.1 Untersuchungen zur absoluten Wahrnehmungsschwelle für Rotationen 87
9.1.2 Rotationsbeschleunigungen bei leichten Kollisionen 88
9.1.3 Auswertungen der Nickschwingungen (Z-Rotation) 89
9.1.4 Auswertung der Gierbewegungen (Y-Rotationen) 92
9.1.5 Bewertung der Fahrzeugrotationen im Hinblick auf die Wahrnehmbarkeit 98
9.2. Lineare Fahrzeugverzögerungen und ihre Beurteilung nach dem BRK 101

10. **Einfluß der Stoßstangenbauart auf das Kollisionsgeschehen** 106

11. **Hinweise für die Beurteilung realer Unfallsituationen** 113

12. **Zusammenfassung** 119

13. **Literaturverzeichnis** 123

14. **Anhang** 137

ALLIANZ - ZENTRUM FÜR TECHNIK GMBH

(Leiter: Hon. Prof. Dr.-Ing. M. Danner)

Möglichkeiten und Grenzen der Wahrnehmbarkeit leichter Pkw-Kollisionen

Ingenieurwissenschaftliche Untersuchung zur Beurteilung von PKW-Unfällen mit Unfallflucht

Hartmuth Wolff

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Maschinenwesen der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ. Prof. Dr.-Ing. G. Woschni
Prüfer der Dissertation: 1. Hon. Prof. Dr.-Ing. M. Danner
2. Univ. Prof. Dr. med. W. Müller-Limmroth, em.

Die Dissertation wurde am 30.9.1991 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 22.1.1992 angenommen.

1. Einleitung

Rangiervorgänge beim Ein- und Ausparken oder im Rahmen von Wendemanövern führen nicht selten zu Kollisionen mit geparkten Fahrzeugen oder Hindernissen am Straßenrand. Selbst bei erheblichem Fremdschaden weist das Verursacherfahrzeug oft nur unbedeutende oder gar keine Beschädigungen auf, so daß der Schädiger den Unfallort aus eigener Kraft verlassen und sich der Feststellung seiner Person, seines Fahrzeugs und der Art seiner Beteiligung entziehen kann. Führt die Fandung nach dem Verursacher zum Erfolg, so ist im Rahmen der Anklage nach §142 StGB zu klären, ob ein vorsätzliches bzw. bedingt vorsätzliches Handeln nachgewiesen werden kann. Dies ist der Fall, wenn der Verursacher den Unfall bemerkt oder zumindest für möglich gehalten haben mußte.

Dem technischen Sachverständigen stehen bisher nur wenige wissenschaftlich fundierte Veröffentlichungen zur Beurteilung der Bewegungsabläufe bei leichten Kollisionen zur Verfügung.
Die Frage der akustischen Wahrnehmbarkeit wurde von Welther [128] ausführlich untersucht. Dabei stellte sich u.a. heraus, daß die Bedeutung akustischer Erscheinungen geringer ist, als vielfach angenommen wird. Die gute Dämpfung der Übertragungswege und die Möglichkeit der Überdeckung durch Störgeräusche im Fahrzeug läßt den Nachweis einer akustischen Wahrnehmung oft nicht zu.
Die wesentlichen Informationen über eine Kollision erhält der Fahrer eines Pkw aus den Fahrzeugbewegungen durch taktil-vestibuläre Wahrnehmungen. Auch hierzu hatte Welther einige Grundlagen erforscht, gleichzeitig aber auf die Notwendigkeit weiterer Untersuchungen hingewiesen.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden kollisionsbedingte und kollisionsunabhängige Fahrzeugverzögerungen meßtechnisch erfaßt und in ihrem zeitlichen Verlauf analysiert. Durch die synchrone Messung von Deformationskräften wird der Zusammenhang zum Schadenumfang am gegnerischen Fahrzeug hergestellt. Eine separate, vom Kollisionsgeschehen getrennte Untersuchung der Wahrnehmungsschwellen - auch unter dem Einfluß von Störungen wie Ablenkung und Alkohol - ermöglicht die Definition eines Kriteriums für die sichere Wahrnehmbarkeit von Fahrzeugverzögerungen.

2. Unerlaubtes Entfernen vom Unfallort

2.1 Der Paragraph 142 StGB

Die Rechtsgrundlage zahlreicher Prozesse und technisch-medizinischer Gutachten ist der Paragraph 142 des Strafgesetzbuches. Er hat folgenden Wortlaut [118]:

(1) Ein Unfallbeteiligter, der sich nach einem Unfall im Straßenverkehr vom Unfallort entfernt, bevor er

1. zugunsten der anderen Unfallbeteiligten und der Geschädigten die Feststellung seiner Person, seines Fahrzeugs und der Art seiner Beteiligung durch seine Anwesenheit und durch die Angabe, daß er am Unfall beteiligt ist, ermöglicht hat oder
2. eine nach den Umständen angemessene Zeit gewartet hat, ohne daß jemand bereit war, die Feststellungen zu treffen,

wird mit Freiheitsstrafe bis zu drei Jahren oder mit Geldstrafe bestraft.

(2) Nach Absatz 1 wird auch ein Unfallbeteiligter bestraft, der sich

1. nach Ablauf der Wartefrist (Absatz 1 Nr. 2) oder
2. berechtigt oder entschuldigt

vom Unfallort entfernt hat und die Feststellungen nicht unverzüglich nachträglich ermöglicht.

(3) Der Verpflichtung, die Feststellungen nachträglich zu ermöglichen, genügt der Unfallbeteiligte, wenn er den Berechtigten (Absatz 1 Nr.1) oder einer nahegelegenen Polizeidienststelle mitteilt, daß er an dem Unfall beteiligt gewesen ist, und wenn er seine Anschrift, seinen Aufenthalt sowie das Kennzeichen und den Standort seines Fahrzeugs angibt und dieses zu unverzüglichen Feststellungen für eine ihm zumutbare Zeit zur Verfügung hält. Dies gilt nicht, wenn er durch sein Verhalten die Feststellungen absichtlich vereitelt.

(4) Unfallbeteiligter ist jeder, dessen Verhalten nach den Umständen zur Verursachung des Unfalls beigetragen haben kann.

Verschiedene Kommentare und Publikationen (z.B. Bär [5], Dreher [19], Geppert [26], Grüner [39], Hauser [53]) sowohl juristischer als auch medizinischer Natur haben die vielfältigen Aspekte des § 142 StGB dargestellt. Dennoch muß davon ausgegangen werden, daß die Mehrzahl der Kraftfahrer den genauen Wortlaut nicht kennt und sich - zumindest in besonderen Situationen - der Gefahr eines Strafprozesses aussetzt.

2.2 Zur Problematik der Unfallflucht

Die Unfallflucht weist - vor allem nach Sachschadenunfällen - extreme Steigerungen auf. Von 1965 bis 1980 stieg nach Hauser [53] im Bundesgebiet die Zahl der

- zugelassenen Pkw um 150%
- Verkehrsunfälle mit Sachschäden über DM 1.000 um 313%
- Unfälle mit Sachschaden und Geflüchteten um 691%.

Geppert [26] bezeichnet die Unfallflucht als ein Massendelikt, dessen Dunkelziffer mit durchschnittlich etwa 1:10 vermutet wird.
Das Vergehen der Verkehrsunfallflucht umfaßt Taten mit sehr unterschiedlichem Unrechtsgehalt, vom "Kotflügelfall" auf dem Parkplatz mit geringfügigem Sachschaden bis zur Flucht auf der Landstraße, auf der Schwerverletzte liegen bleiben. Mehr als die Hälfte aller Unfallfluchtdelikte werden nach solchen Verkehrsunfällen begangen, bei denen der Täter auf ein parkendes Fahrzeug oder einen anderen Gegenstand auffährt oder beim Parkmanöver gegen ein parkendes Fahrzeug stößt. In weit geringerem Maße finden sich Fluchtfälle nach Zusammenstößen zwischen fahrenden Fahrzeugen.
Allgemein werden zwei völlig verschiedene Motivgruppen herausgestellt. Zur einen Gruppe gehört die Angst vor Bestrafung im weitesten Sinne. Sie dominiert mit einem Anteil von mindestens 55 bis 60%. Die zweite Gruppe kann man etwa mit dem Begriff "Vermeidung von Unannehmlichkeiten" beschreiben. Dieser vielschichtigen Gruppe wird man einen Anteil von 40 bis 45% zumessen können. Der Erhaltung des Schadenfreiheitsrabattes in der Kraftfahrzeug-Haftpflichtversicherung kommt nach Middendorf [95] eine weit geringere Bedeutung zu als allgemein angenommen wird. Eine Studie ergab lediglich einen Anteil von 6 bis 9% für diese Motivgruppe, wobei jedoch Frauen überproportional beteiligt waren. Weiterhin stellte er fest, daß Frauen rücksichtsloser und egoistischer bei der Unfallflucht handelten, jedoch waren sie

nach Unfällen mit Getöteten in keinem Fall an der Unfallflucht beteiligt. Nach bislang vorliegenden Ergebnissen empirischer Untersuchungen lassen sich jedenfalls keine Hinweise finden, denen zufolge Täter in erster Linie flieht, weil er zur Begleichung des von ihm verursachten Schadens nicht Willens wäre. Mit anderen Worten: Die Mehrheit aller Täter flieht aus Gründen, die in keinerlei direktem Zusammenhang mit dem im § 142 StGB geschützten "privaten Beweissicherungsrecht" stehen.
Geschütztes Rechtsgut ist nicht das öffentliche Interesse an einer Strafverfolgung und auch nicht das Interesse der Allgemeinheit an lückenloser Erfassung von Verkehrsunfällen und deren Verursacher im Interesse der Verkehrssicherheit, sondern nur und ausschließlich das private Beweissicherungsrecht der Unfallbeteiligten und der Unfallgeschädigten (Geppert [26]).
Die amtliche Begründung zur Neufassung des § 142 StGB versucht zu beruhigen, daß der nur "mittelbare Zwang" zur Selbstbelastung "keine vom Gesetz erstrebte, sondern nur eine - im Interesse der Verkehrssicherheit allerdings durchaus willkommene - Nebenfolge der Anwendung des auf den Schutz anderer Interessen gerichteten Tatbestandes" ist. Der Bundesgerichtshof ließ in Zusammenhang mit der Rechtspflicht zur unverzüglichen Ermöglichung nachträglicher Feststellungen von der grundsätzlichen Wahlmöglichkeit des § 142 Abs. 2 jedoch nicht mehr viel übrig (BGH ST 29, 138 ff) und dem Unfallbeteiligten/Täter insbesondere bei Wochenend- oder nächtlichen Unfällen letztlich nur den Weg zur Polizei und damit den Zwang zur Selbstbelastung übrig. Dies dürfte mehr sein als nur das Akzeptieren einer nicht unerwünschten Nebenwirkung.
Die in § 142 StGB geforderten "unverzüglichen" Feststellungen bedeuten nicht unbedingt "sofort". Nur schuldhafte Verzögerungen können eine Verletzung der Verpflichtung darstellen. Voraussetzung der Unverzüglichkeit ist jedoch, daß der Unfall noch nicht ermittelt bzw. die Identität des Verursachers noch nicht festgestellt ist, also kein zusätzlicher Ermittlungsaufwand verursacht wurde und keine Rechtsnachteile für den Geschädigten entstanden sind. Damit setzt sich der Verursacher einem unwägbaren Risiko aus, wenn er die Unfallstelle verläßt, da der Zeitpunkt der Entdeckung und Einleitung von Fandungsmaßnahmen oft vom Zufall abhängt.
Unbefriedigend ist auch die gängige Praxis, den zulässigen Zeitraum umso kürzer anzusetzen, je höher der Schaden ist. Bei einer Erheblichkeitsgrenze, die meist bei 1000,- bis 1200,- DM, teilweise auch bis 1800,- DM angesetzt wird, kann der Verursacher einer Schramme im Kotflügel eines billigen Kleinwagens (Reparaturkosten 500,- DM) Einstellung wegen Geringfügigkeit erhoffen oder

allenfalls eine geringe Strafe mit Fahrverbot erwarten, während bei gleicher Beschädigung eines teuren Luxuswagens (Reparaturkosten 2000,- DM) die Entziehung der Fahrerlaubnis droht.
Stellt man Beschuldigte, die sich verspätet melden, jenen gleich, die sich überhaupt nicht melden, so wird zukünftig jede Motivation für eine freiwillige Meldung als Unfallverursacher entfallen, meint Zabel [132].
Der Verkehrsgerichtstag 1986 schlug daher - anknüpfend an seine Empfehlungen aus dem Jahre 1982 - erneut vor, daß straffrei bleiben soll, wer nach einem Unfall mit lediglich Sachschaden durch freiwillige Meldung innerhalb von 24 Stunden bei dem Geschädigten, einer Polizeidienststelle oder einer sonstigen Einrichtung verhindert, daß der dem Geschädigten aus dem Unfall erwachsende Ersatzanspruch beeinträchtigt wird.
Für den Tatbestand des unerlaubten Entfernens vom Unfallort reicht bedingter Vorsatz aus, d.h. bedingtes Wissen = Für-möglich-halten genügt.
Trotzdem weist Grüner [39] darauf hin, daß das Wissen um den Verkehrsunfall durchaus nicht immer dort gegeben ist, wo es auf den ersten Blick so scheint. Wahrnehmung ist kein passiver Vorgang. Nur bei geeigneter Schaltung der attentionellen Station werden die peripheren Reize dem Großhirn gemeldet. Störungen sind insbesondere dort möglich, wo zahlreiche Reize besondere Anforderungen an die Konzentrationsleistungen stellen.
Starke Ablenkung (Beispiel: Dame auf dem Beifahrersitz) kann zu einer röhrenförmigen Einengung der Aufmerksamkeit führen und Wahrnehmungs- sowie Auffassungsstörungen bewirken.
Ein Unfallreiz kann auch durch einen unmittelbar folgenden, sehr starken und u.U. emotional höchst wirksamen Reiz überdeckt werden, z.B. bei einer Beinahe-Kollision mit einem LKW.
Alkoholbedingte Wahrnehmungs- und Auffassungsstörungen sind nach Grüner [39] in Betracht zu ziehen, da erhebliche Verschiebungen der Reizschwellen vorkommen können. Dieser Aspekt wird in Kapitel 5 dieser Arbeit näher analysiert.
Alkohol stellt nur eines der Mittel dar, welches die Leistungsfähigkeit des Kraftfahrers vermindern und zu Wahrnehmungs- und Auffassungsstörungen bzw. -erschwerungen führen können. Insbesondere Medikamente im Übermaß oder im Zusammenwirken mit geringen Alkoholmengen lassen ausgeprägte Apperzeptionsstörungen erwarten.

3. Wahrnehmungsgrenzen für lineare Bewegungen

3.1 Untersuchungen zur absoluten Wahrnehmungsschwelle linearer Bewegungen

Angaben zur absoluten Wahrnehmbarkeitsgrenze von linearen Bewegungen weisen erhebliche Streuungen auf. Dies ist darauf zurückzuführen, daß in den verschiedenen Untersuchungen nicht nur unterschiedliche Belastungsrichtungen betrachtet wurden, sondern darüber hinaus sich die eingeleiteten Signale auch in ihrem Amplituden- und Frequenzverhalten stark unterschieden. Nach einer Auswertung von 18 verschiedenen Untersuchungsberichten kam Gundry [49] zu der Aussage, daß Schwingungen mit Frequenzen unter 1 Hz primär vom Vestibularapparat wahrgenommen werden. Unter weitgehendem Ausschluß der übrigen Sinne (z.B. durch Dunkelheit und Rauschsignale im Kopfhörer) wurden absolute Wahrnehmungsschwellen zwischen 3 und 20 mg [1]) für die Wahrnehmung periodischer Schwingungen ermittelt.
Bei steigenden Frequenzen tritt die Bedeutung des Vestibularapparates in den Hintergrund, die Wahrnehmungen erfolgen zunehmend über die Rezeptoren für Oberflächen- und Tiefensensibilität. Längsbeschleunigungsvorgänge werden von Kraftfahrzeugfahrern überwiegend mit den Druckrezeptoren im Rücken aufgenommen, während die Mechanorezeptoren der Gesäßregion Hinweise über Seitenabweichungen und Schleuderbewegungen an das Zentralnervensystem signalisieren (Müller-Limroth [99]).
Die in Versuchen ermittelten Wahrnehmungsgrenzen decken sich weitgehend mit den Erfahrungen bei Erdbeben. Intensitäten der Stärke III auf der bis XII reichenden modifizierten Mercalli-Skala entsprechen Bodenbeschleunigungen von etwa 5 mg und werden nur von wenigen Personen verspürt. Erst die Stufe VI, die bereits leichte Schäden an Gebäuden hervorruft, wird mit 20 bis 50 mg von allen gespürt (Industriekalender der Allianz Versicherungs-AG).
Die Wahrnehmungsschwellen für nichtperiodische Beschleunigungen liegen deutlich höher und zeigen eine klare Abhängigkeit von der Impulsdauer. Meiry [85] ermittelte auf einem linear beschleunigten Schlitten eine Wahrnehmungsschwelle, die von 8 mg bei 3 s Einwirkdauer auf 90 mg bei 1 s Einwirkdauer anstieg. Kirkpatrick [67] fand eine Wahrnehmungswahrscheinlichkeit von 75% für Beschleunigungen zwischen 13 und 18 mg bei Signallängen von 1,5 bis 0,5 s. Welther [128] stellte bei ersten Schlittenversuchen zur Wahrnehmung leichter Kollisionen einen Bereich bis 75 mg für nicht wahrgenommene Stöße ohne Berücksichtigung von Signalform und -dauer fest.

1: 1 g = Erdbeschleunigung = 9,81 m/s^2
1 mg = 0,001 g = 9,81 mm/s^2 ≈ 1 cm/s^2

Diese Versuchsergebnisse zeigen, daß die absolute Wahrnehmungsschwelle für Beschleunigungen deutlich unter 100 mg liegt. Solche geringen Werte setzen jedoch voraus, daß der Proband mit äußerster Konzentration auf ein Beschleunigungssignal wartet und darüber hinaus von anderen Sinneseindrücken weitgehend isoliert ist. Während diese Randbedingungen in speziellen Versuchen gut eingehalten werden, können sie im normalen Straßenverkehrsgeschehen in der Regel nicht erwartet werden. Eine Anwendung absoluter Grenzwerte als Kriterium für die Wahrnehmbarkeit leichter Kollisionen bei Rangiermanövern ist daher nicht möglich.

3.2 Die Ermittlung realer Wahrnehmbarkeitsgrenzen im Kraftfahrzeug

Gelegentliche Fahr- und Kollisionsversuche von Sachverständigen oder Verbänden zur Demonstration der Wahrnehmung leichter Kollisionen führten mitunter zu der irreführenden Feststellung, daß praktisch sämtliche Anstöße wahrnehmbar waren. Für derartige Tests gelten jedoch die gleichen Einschränkungen wie für Versuche zur absoluten Wahrnehmungsschwelle. Es ist naheliegend, daß eine Versuchsperson, die ein Anstoßsignal innerhalb einer Zeitspanne von wenigen Sekunden erwartet, dieses mit einer relativ niedrigen Wahrnehmungsschwelle identifizieren kann. Die Übertragbarkeit auf ein reales Unfallgeschehen ist jedoch fragwürdig.

In der realen Unfallsituation befindet sich der Fahrer in einem bewegten Fahrzeug. Neben Schwingungen in drei Ebenen wirken gleichzeitig optische und akustische Reize auf ihn ein. Die Bedienung des Fahrzeugs erfordert darüber hinaus diverse Aktivitäten mit Händen und Füßen. Diese Situation sollte im Rahmen der vorliegenden Arbeit durch den nachfolgend beschriebenen Versuchsaufbau annähernd simuliert werden. Ziel war es, getrennt von tatsächlichen Kollisionen gleichmäßige, gut reproduzierbare Beschleunigungssignale zu erzeugen.

3.2.1 Vorversuche

Bei der Untersuchung realer Kollisionsgrößen hat Weide [S16] maximale Beschleunigungen bis zu 700 mg gemessen, die innerhalb von 0,1 und 0,3 s erreicht wurden. Um eine auf konkrete Kollisionen übertragbare Wahrnehmungsgrenze definieren zu können, mußten gleichwertige Reize simuliert werden, wobei vor allem der Grenzbereich um 200 mg relevant war.

Maiershofer [S8] versuchte, über die Variation des Lenkwinkels ein Querbeschleunigungsspektrum zu erzeugen. Der Proband saß bei den Wahrnehmbarkeitsversuchen quer zur Fahrtrichtung, so daß die Beschleunigungen bei Kurvenfahrt für ihn vor- bzw. rückwärts wirkten. Bei diesem Versuchsaufbau zeigte sich, daß, bedingt durch die weiche Fahrwerksabstimmung, auch mit extremen Lenkmanövern keine Anstiegszeiten unter 0,3 s zu erreichen waren. Darüber hinaus war die Vergleichbarkeit der einzelnen Versuche untereinander nur bedingt gewährleistet.
Im Gegensatz dazu konnten die gewünschten Beschleunigungsanstiege in Fahrtrichtung durch Gasgeben oder Bremsen problemlos erreicht werden. Beim Beschleunigen mittels Gaspedal entstanden jedoch immer wieder starke Schwingungen, die wahrscheinlich auf Elastizitäten im Antriebsstrang zurückzuführen waren und eine Einordnung der Beschleunigungsgröße unmöglich machten. Mit Bremsmanövern ließen sich dagegen die Verzögerungen gut dosieren. Um zu starke Nickbewegungen durch das Einfedern beim Bremsen zu vermeiden, wurde die Bremskraft mit Hilfe der Handbremse auf die Hinterräder übertragen.
Das Beschleunigungsspektrum sollte mit einer Abstufung von etwa 40 mg erzeugt werden. Die serienmäßige Rastereinteilung der Handbremse erwies sich hierfür als zu grob. Deshalb wurde der Handbremshebel mit einem verstellbaren Anschlag versehen, wodurch eine gut kontrollierbare Abstufung zu erreichen war.
Die Variation des zeitlichen Anstiegs geschah über die Schnelligkeit der Bremsbetätigung durch den Fahrer. Damit unterlag sie zwar auch dessen individuellem Einschätzungsvermögen, jedoch zeigte sich schon nach kurzer Eingewöhnung eine gute Reproduzierbarkeit in der angestrebten Abstufung der Anstiege von 0,1 / 0,3 / 0,5 s.
Grundsätzlich wirken in einem Fahrzeug Quer-, Längs- und Vertikalbeschleunigungen auf die Insassen. Die kollisionsabhängige Beschleunigung tritt fast ausschließlich in Längsrichtung und hier - weil die typische Unfallsituation aus einer Rückwärtsfahrt entspringt - nach hinten gerichtet auf. Nach Welther [128] lag der Anteil der Rückwärtsfahrt bei aktenkundigen Unfallfluchtfällen deutlich über 50%. Die übrigen Fahrzeugbeschleunigungen sind als Störquellen zu werten.
Im Rahmen der Vorversuche wurden alle drei Beschleunigungskomponenten gemessen. Es war zu klären, ob Quer- und Vertikalbeschleunigungen einen merklichen Einfluß auf die Gesamtbeschleunigung ausüben.
Selbst bei Versuchen mit sehr kurzem Anstieg und maximaler Beschleunigung konnte belegt werden, daß die Resultierende aus den drei Koordinatenrichtungen nur um wenige mg bzw. maximal 5% von der Längsbeschleunigung abwich.

Bei den eigentlichen Reaktionsversuchen wurde daher auf die dreidimensionale Messung verzichtet und nur die Längsbeschleunigung aufgezeichnet.

3.2.2 Versuchsfahrzeug

Als Versuchsfahrzeug kam ein VW-Bus zum Einsatz. Das Fahrzeug bot genügend Platz für Proband, Bediener und umfangreiche Meßtechnik mit der dazu gehörenden Stromversorgung.
Die mittlere Sitzbank wurde um 180° gedreht, so daß der Proband mit dem Rücken zur Fahrtrichtung saß. Dadurch wurde beim Bremsen eine Kollision beim rückwärtigen Einparken simuliert.
Die Sicht nach außen wurde durch Abdeckungen abgeschirmt, damit der Proband Nickbewegungen des Fahrzeugs optisch nicht wahrnehmen konnte.
Am Fahrzeugboden wurde eine Kontaktleiste so vor den Füßen des Probanden befestigt, daß er sie mühelos und schnell betätigen und damit dem Rechner seine Wahrnehmung mitteilen konnte.
Die Kommunikation zwischen Versuchsleiter und Fahrer bezüglich Aufnahmebereitschaft des Rechners und Versuchsbeginn erfolgte über Lichtsignale, die für den Probanden nicht einsehbar waren, so daß dieser keine unerwünschten Hilfsinformationen erhalten konnte.

3.2.3 Meßtechnik

Zur Messung der Verzögerung wurde ein piezoresistiver Beschleunigungsaufnehmer (Endevco 2262/25) mit einem Magnetfuß direkt an einer Querstrebe unterhalb des Probandensitzes befestigt. Das Beschleunigungssignal war auf +/- 1 g für den gesamten Meßbereich kalibriert, wodurch sich eine sehr hohe Auflösung ergab. Zur Unterdrückung hochfrequenter Störimpulse kam ein 10 Hz-Tiefpaßfilter zum Einsatz. Die gewählte Grenzfrequenz stellte bei erwarteten maximalen Signalfreqenzen bis 5 Hz einen guten Kompromiß aus geringster Verfälschung und guter Auswertbarkeit dar.
Die erforderlichen Meßverstärker und Filter wurden auf einem Gestell im Kofferraum befestigt und mit der Karosserie verschraubt. Ein Spannungswandler mit 300 VA sorgte für die Umsetzung der 12 V Gleichspannung aus der mitgeführten

Batterie in die benötigte Wechselspannung 220 V. Für den PC stand ein eigener 120 VA Spannungswandler zur Verfügung.
Die Datenaufzeichnung erfolgte auf einem tragbaren Personalcomputer Toshiba T3200, der mit einer schnellen Meßdatenerfassungskarte (ISC-16) mit integriertem AD-Wandler ausgerüstet war. Das Softwarepaket SIGNALYS sorgte für die Steuerung der Datenerfassung und die Darstellung der Kurven.

3.2.4 Versuchsdurchführung

3.2.4.1 Allgemeine Versuchsbedingungen

Um mögliche Quer- oder Vertikalbeschleunigungen weitgehend auszuschließen, wurde als Versuchsstrecke eine frisch geteerte, gerade Straße mit einer Länge von 2 km gewählt. Während der Versuche hielt der Fahrer eine konstante Geschwindigkeit von 60 km/h ein, die sich als am besten geeignet erwiesen hatte. Hier kamen einerseits Unregelmäßigkeiten der Bremstrommel nicht mehr zur Auswirkung, andererseits hielten sich die durch Straßenunebenheiten erzeugten Vertikalbeschleunigungen in Grenzen.
Beschleunigungen, Abbremsungen und Lenkmanöver waren möglichst zu vermeiden. Durch diese Rahmenbedingungen konnte ein weitgehend stationärer Zustand simuliert werden, bei dem die Identifizierung der gewünschten Versuchsbeschleunigungen eindeutig war und nicht durch überlagernde Einflüsse gestört wurde.

Der Proband hatte die Anweisung, beim Bemerken einer Beschleunigung oder Verzögerung mit dem Fuß die Kontaktleiste zu betätigen, und zwar SOBALD und SOLANGE er eine Beschleunigung oder Verzögerung bemerkte. Das dadurch dem Rechner zugeführte Spannungssignal dokumentierte die Reaktion synchron zur gemessenen Beschleunigung, ohne daß eine Befragung der Testpersonen notwendig war.
Damit keine Rückschlüsse aus Fahr- oder Motorgeräuschen gezogen werden konnten, wurde der Bus mit lauter Radiomusik beschallt. Zusätzlich setzte der Proband Gehörschutzkapseln auf, so daß eine eventuelle Zuordnung von Fahr- oder Bremsgeräuschen nicht mehr möglich war.

3.2.4.2 Ablenkung der Versuchspersonen

Unter realen Bedingungen ist der Fahrer eines Kraftfahrzeuges einer Flut von Informationen ausgesetzt, die seine Aufmerksamkeit mehr oder minder beanspruchen. Das kann ein Gespräch mit dem Beifahrer sein oder auch schon das Hupen anderer Verkehrsteilnehmer. Wenn dann mehrere Reize gerade in der manchmal schwierigen Situation des Parkierens zusammen kommen, kann das zu einer Erhöhung der Wahrnehmbarkeitsschwelle führen. Um eine obere Grenze für nicht wahrgenommene Beschleunigungen bei leichten Kollisionen festlegen zu können, sollte auch bei den Versuchsreihen eine gewisse Ablenkung erzeugt werden.
Maiershofer [S8] hat bei seinen Versuchen zunächst das Abspielen eines Videofilms als Ablenkung verwendet. Dabei zeigte sich, daß schlecht zu kontrollieren war, ob sich der Proband tatsächlich auf den Film konzentrierte oder nur auf Beschleunigungen achtete. Als weitaus besser geeignet erwies sich die Verwendung eines Videospiels. Es wurde der Videocomputer Philips Videopac G 7000 mit Videospiel "Space monster", Joystick und dazugehörigem Monitor installiert. Der Proband mußte aktiv am Spielgeschehen teilnehmen. Das Spiel erforderte seine Konzentration und erzeugte damit eine gewisse Ablenkung. Natürlich war auch hier eine nicht unerhebliche Bandbreite der Konzentration möglich, zumal die Spielergebnisse nicht in die Bewertung einbezogen werden konnten. Durch Beobachtung des Versuchsleiters wurden jedoch Unregelmäßigkeiten korrigiert.
Bild 3.1 zeigt die Versuchskabine im VW-Bus mit dem Versuchsleiter bei der Rechnerbedienung und einem Probanden im Hintergrund.
Verschiedene Versuchspersonen wurden zusätzlich durch den Versuchsleiter direkt angesprochen und dadurch besonders stark abgelenkt.
Bei einigen Personen ergab sich im Test eine deutlich über dem Durchschnitt liegende Wahrnehmbarkeitsschwelle. Die Bedienung des Videospiels erzeugte bei ihnen eine erhebliche Ablenkung. Um diesen Einfluß zu konkretisieren, wurden einige Testreihen ohne Videospiel durchgeführt. Die Probanden konnten sich voll auf die Wahrnehmung der Versuche konzentrieren. Wie die übrigen Testpersonen waren sie dabei akustisch durch Gehörschutzkapseln und optisch durch Sichtabdeckungen vor Informationen aus der Umgebung abgeschirmt, aus denen sie Folgerungen auf eine Versuchsanregung hätten ziehen können.

Bild 3.1 Versuchseinrichtungen im VW-Bus

3.2.5 Globalauswertung

Die Bewertung der Probandenreaktion erfolgte in drei Stufen:

- Keine Reaktion:	0
- verspätet reagiert:	1
- sofort reagiert:	2

Zeigte der Proband eine Reaktion, so wurde diese hinsichtlich ihrer Tendenz weiter differenziert:

- unsicher wahrgenommen:	1
- deutlich wahrgenommen:	2

Als "unsicher wahrgenommen" beurteilte man solche Reaktionen, bei denen der Proband nur eine sehr kurze, nicht der Länge des Beschleunigungsreizes entsprechende Reaktion zeigte, Bild 3.2. Damit konnte ohne persönliche Wertung der einzelnen Versuchsperson eine einheitliche Eingruppierung vorgenommen werden.
50 Personen wurden einem Beschleunigungsspektrum von 40 bis 450 mg ausgesetzt. Geringere Beschleunigungen als 40 mg erschienen wenig sinnvoll, da Werte in dieser Größenordnung schon durch schnelle Bewegungen eines Mitfahrers erzeugt werden können. Da das Spektrum für alle Probanden gleichartig gestaltet war, konnte eine statistische Gesamtauswertung pauschal ohne Berücksichtigung der jeweiligen konkreten Beschleunigungsmeßwerte erfolgen.

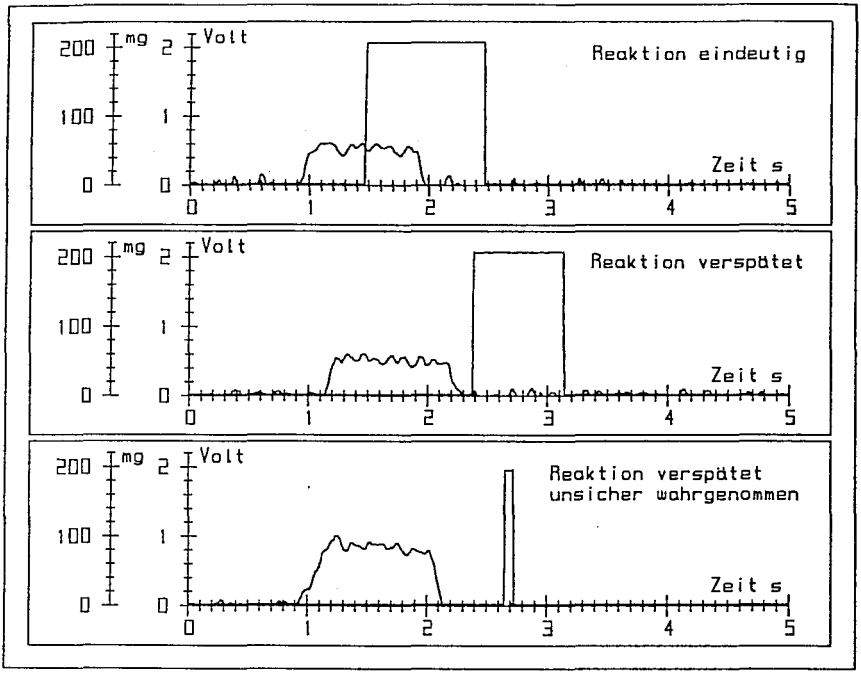


Bild 3.2 Beschleunigungskurven mit unterschiedlicher Probandenreaktion

3.2.6 Wahrnehmung der Fahrzeugverzögerung

Die Darstellung der Probandenreaktionen über der Beschleunigung (mit Ablenkung) liefert Bild 3.3. Da nicht bei jeder Beschleunigung die gleiche Anzahl von Versuchen durchgeführt wurde, sollte immer nur die Verteilung der Wahrnehmungsstärken über einem schmalen mg-Bereich verglichen werden. Es zeigte sich, daß deutliche Wahrnehmungen ab 100 mg zu verzeichnen waren. Gleichzeitig blieben jedoch selbst Versuche bis zu 350 mg bei stärkerer Ablenkung unbemerkt. Der Bereich bis 150 mg läßt eine Häufung von nicht und schwach wahrgenommenen Versuchen erkennen.

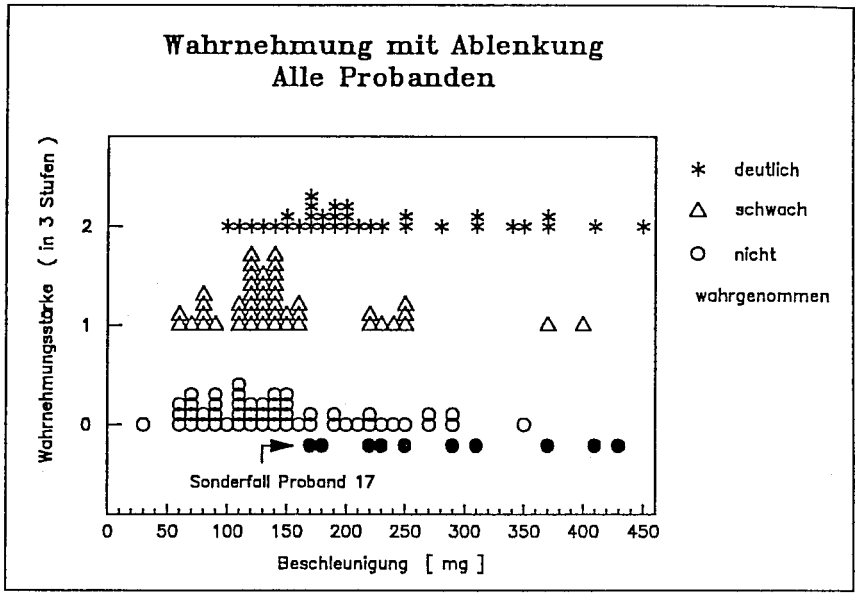


Bild 3.3 Wahrnehmungsstärken mit Ablenkung

Einen Sonderfall stellen die Meßwerte von Versuchsperson 17 dar: Dieser Proband (w, 43 Jahre) besaß keinen Führerschein und konnte daher nur auf Erfahrungen als Beifahrerin zurückgreifen. Die meist "sportliche" Fahrweise des Ehemannes hatte zur Folge, daß KEINE Verzögerung bis 450 mg als ungewöhnliches Ereignis, welches die Betätigung des Kontaktes gerechtfertigt hätte, bewertet wurde. In die Gesamtauswertung wurden diese Versuche daher als atypisch nicht mit einbezogen. Auch wenn es sich hier sicher um einen Einzelfall handelt, so zeigt sich doch deutlich die Problematik, die bei einer Bewertung möglicher Wahrnehmungen durch Fahrzeugpassagiere zu beachten ist. Da Beifahrer selten die Handlungen des Fahrers genau verfolgen, dürfte die Einstufung einer Verzögerung hinsichtlich ihrer Entstehung (Bremsung oder Kollision) in Grenzfällen kaum nachvollziehbar sein.

Bild 3.4 zeigt die Verteilung der Wahrnehmungen OHNE Ablenkung. Es wird deutlich, daß alle Versuche oberhalb 220 mg wahrgenommen wurden, auch wenn die Reaktion nicht immer eine deutliche Zuordnung erkennen ließ.

Während sich nicht wahrgenommene Versuche unter 100 mg häuften, wurden die Reaktionen zwischen 100 und 170 mg überwiegend als "schwach wahrgenommen" interpretiert. Oberhalb 150 mg ist eine Zunahme der deutlich wahrgenommen Versuche festzustellen.

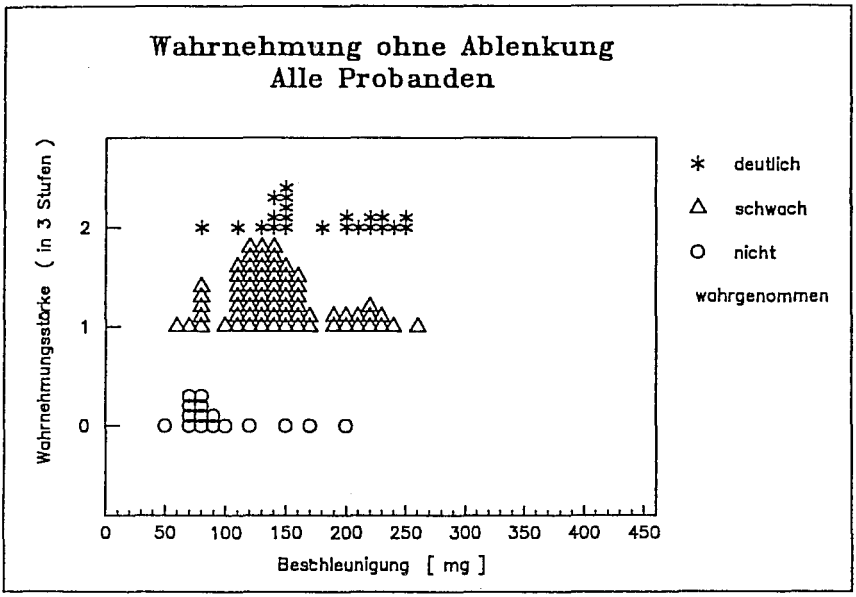


Bild 3.4 Wahrnehmungsstärken ohne Ablenkung

Für die weitere Analyse des Aufmerksamkeitseinflusses wurden die Testpersonen verschiedenen Gruppen zugeordnet.

1. Aufmerksam
Als "aufmerksam" wurden die Tests bezeichnet, die ohne jegliche Ablenkung bei voller Konzentration auf die zu erwartende Verzögerung abliefen.

2. Ohne Ablenkung
"Ohne Ablenkung" lautete die Bewertung für Versuche, die keine Aktionen der Probanden erforderlich machte (Film auf Monitor) oder bei denen die Testperson das Videospiel ohne Konzentration lediglich beiläufig betätigte. Die Entscheidung fiel aufgrund der Beobachtungen während der Fahrt.

3. Mit Ablenkung

Bei ausreichender Konzentration auf des Videospiel sowie bei zusätzlicher Ablenkung durch persönliche Ansprache lautete die Definition "mit Ablenkung". Aus dieser Gruppe wurden einzelne Testpersonen zusätzlich getrennt betrachtet, wenn sich beim Videospiel ein extremer Ehrgeiz feststellen ließ oder eine direkte Ansprache erfolgte. Diese Bedingung ist unter dem Begriff "starke Ablenkung" erfaßt.

Bild 3.5 zeigt die prozentuale Wahrnehmung aller Gruppen in Abhängigkeit von der Beschleunigung.

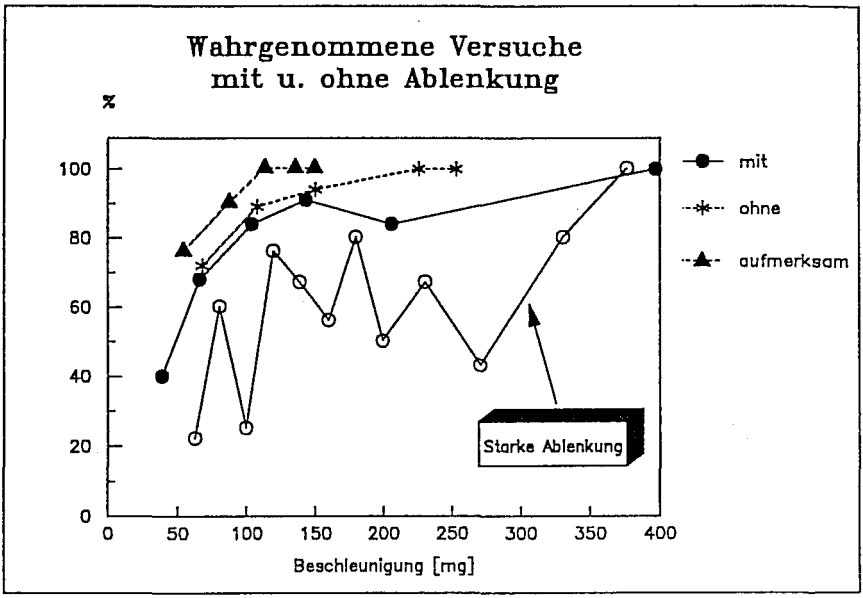


Bild 3.5 Wahrgenommene Versuche mit u. ohne Ablenkung

Bei konzentrativer Aufmerksamkeit ohne Ablenkung wurden bereits 75% der Versuche mit Meßwerten um 50 mg bemerkt, ab 100 mg waren alle Verzögerungen wahrnehmbar. Dieses Ergebnis deckt sich mit den o.g. Versuchen zur Ermittlung der absoluten Wahrnehmbarkeitsschwelle.

Ohne nennenswerte Ablenkung, aber mit reduzierter Konzentration (Gruppe 2) stieg die Wahrnehmunghäufigkeit von 72% bei 60 mg auf über 90% bei 140 mg, eine hundertprozentige Wahrnehmung erfolgte jedoch erst bei Werten ab 220 mg.
Trotz Ablenkung (Gruppe 3) wurden schon bei sehr geringen Werten von 40 mg 40% der Versuche registriert. Die Wahrnehmbarkeitskurve steigt dann bis 110 mg schnell auf etwa 83% Wahrnehmung, bleibt jedoch bis ca. 250 mg in dem Bereich zwischen 80 und 90% Wahrnehmung. Hier kommt der hohe Ablenkungsgrad besonders zum Tragen. Erst oberhalb 350 mg wurde auf alle Versuche reagiert.
Wie groß der Einfluß gezielter Ablenkung sein kann, zeigt die Kurve der stark abgelenkten Testpersonen, die aus der Gruppe 3 zusätzlich separat untersucht wurden.
Unter 100 mg schwankt der Anteil erkannter Versuche zwischen 20 und 60%, zwischen 100 und 350 mg ergibt sich eine Bandbreite von 45 bis 80%.
Erst oberhalb von 350 mg war unter allen Bedingungen eine zweifelsfreie Wahrnehmbarkeit gegeben.
Dieses Ergebnis macht deutlich, daß besondere äußere Einflüsse, die in jedem Einzelfall jedoch nachgewiesen und begründet sein müssen, einen Kraftfahrer so stark ablenken können, daß unter Normalbedingungen klar wahrnehmbare Verzögerungen nicht erkannt werden.

3.2.7 Einfluß von Alter und Geschlecht

Die Ergebnisse der einzelnen Testpersonen unterscheiden sich bezüglich der Wahrnehmungshäufigkeit erheblich:
Bei 50 Personen im Alter von 21 - 59 Jahren (Mittelwert = 33, Standardabweichung s=10,8) wurden bei einer Bandbreite von 0 bis 54,1% im Mittel 18,2% der Verzögerungssignale nicht wahrgenommen (s=15,13). Acht Probanden nahmen sämtliche Versuche wahr, jeweils 19 lagen zwischen 1 und 20% sowie zwischen 21 und 40% nicht wahrgenommener Versuche. Drei Personen nahmen sogar über 40% der Signale nicht wahr. Die weiblichen Testpersonen lagen im Mittel mit 16,75% (s=17,47) etwas besser als die männlichen mit 19,1% (s=13,74), jedoch wurden bei ihnen die absolut höchsten Einzelwerte ermittelt, Bild 3.6.

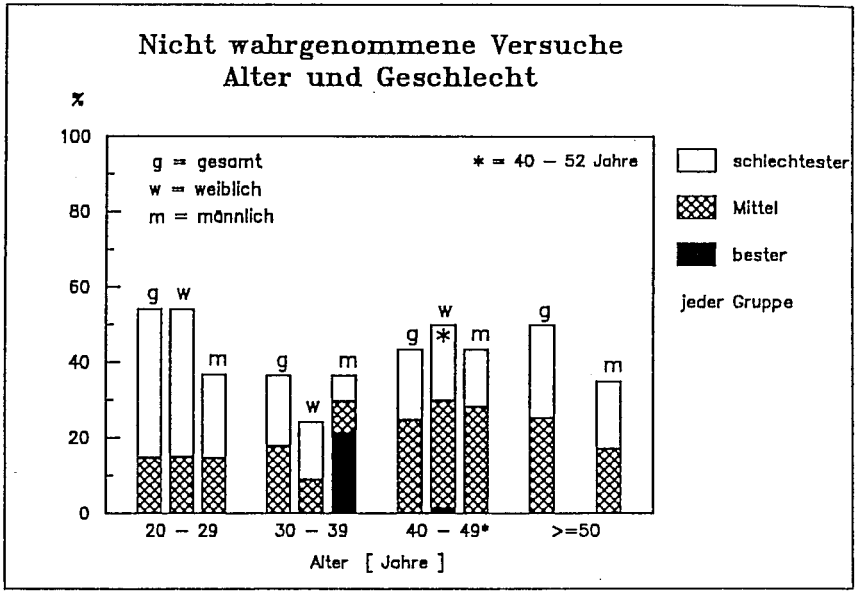


Bild 3.6 Einfluß von Alter und Geschlecht

Die Altersabhängigkeit zeigt pauschal eine von 14,68% unter 30 Jahren auf 25,27% über 50 Jahren steigende Ausfallquote, jedoch fanden sich in allen Altersgruppen Personen, die sämtliche Versuche bemerkten. Bei getrennter Betrachtung der weiblichen und männlichen Teilnehmer erzielten die Frauen zwischen 30 und 40 Jahren mit 8,88% den besten, die gleichaltrigen Männer und die Frauen über 40 die schlechtesten Mittelwerte (29,67 bzw. 29,87%). Die Männer über 50 überraschten mit einem unter dem Gesamtdurchschnitt liegenden Mittelwert von 17,05%. Eine gute Übereinstimmung zwischen den Geschlechtern zeigt die Gruppe unter 30 Jahre: 14,58 (m) und 14,85 (w). Der höchste Einzelwert war ebenfalls in dieser Altersgruppe (w) zu finden.

Diese Ergebnisse machen deutlich, daß individuelle Faktoren offensichtlich einen größeren Einfluß haben als Alter und Geschlecht - eine Feststellung, die sich auch in anderen medizinischen Tests bestätigt. Aus der Tatsache, daß eine bestimmte Person eine Fahrzeugverzögerung bemerkt hat, kann daher nicht ohne weiteres auf die Wahrnehmung einer zweiten Person geschlossen werden.

3.2.8 Einfluß der Zeitstruktur des Beschleunigungssignals

Die im Rahmen der Wahrnehmbarkeitsversuche erzielten Signallängen lagen schwerpunktmäßig zwischen 0,6 und 1,0 s bei einer Gesamtbandbreite von 0,35 bis 3,0 s. Im Gegensatz dazu liefern reale Kollisionen Beschleunigungszeiten von 0,2 bis 0,8 s mit einer deutlichen Häufung im Bereich um 0,4 s.
Durch das vom Probanden ausgelöste Triggersignal war nicht nur die Reaktion als solche, sondern auch der exakte Auslösezeitpunkt zu erkennen. Bei der Auswertung war festzustellen, daß der Reaktionspunkt bei Tests mit längerer Signaldauer weit vor dem Ende des Beschleunigungssignals lag, wie der Vergleich von Versuchen mit variierter Anstiegszeit deutlich macht, Bild 3.7. Dies bedeutet, daß der Signallänge keine Bedeutung zukommt und die Übertragbarkeit der Wahrnehmbarkeitsversuche auf das Kollisionsgeschehen gesichert ist.

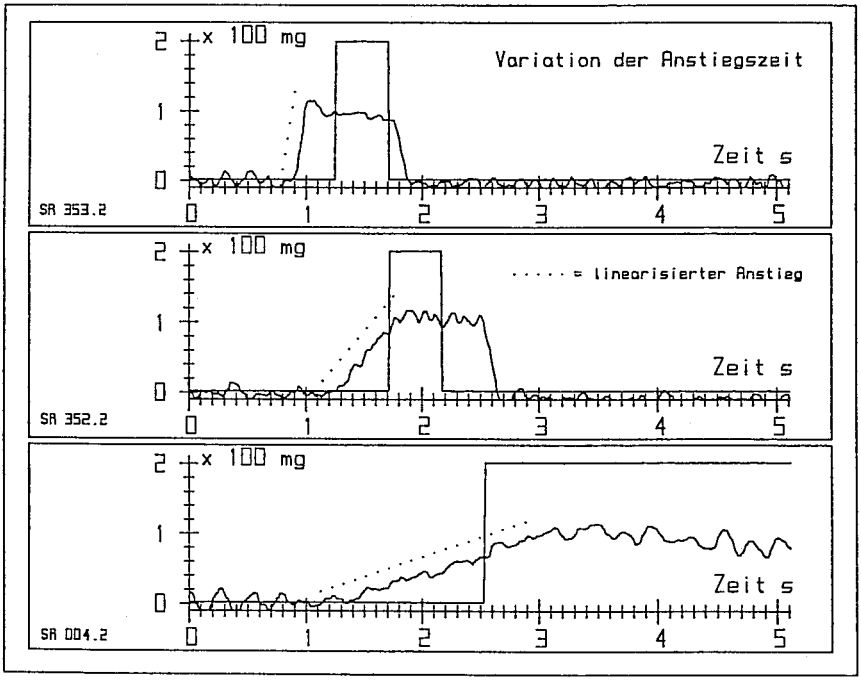


Bild 3.7 Beispiele variierter Anstiegszeiten

Für die Wahrnehmung war in diesen Fällen nicht das (zeitlich später erreichte) Maximum der Abbremsung, sondern ein um die Reaktionszeit vor dem Trigger liegender Wert relevant. Als typische Reaktionszeit konnten 0,2 - 0,3 s für alle Probanden festgestellt werden. Dieser relativ niedrige Wert erklärt sich aus der Anordnung der Kontaktleiste unmittelbar unter dem Fuß des Probanden.
Eine wesentliche Bedeutung für die Wahrnehmung einer Beschleunigung kommt dem zeitlichen Anstieg des Signals zu. Es ist anzunehmen, daß hierin die Erklärung zu finden ist, warum Beschleunigungen gleicher Stärke unterschiedlich wahrgenommen werden. Die Mechanorezeptoren des Körpers adaptieren konstante Kräfte sehr schnell, was sich sowohl an Kleidungstücken als auch am Beispiel der permanent wirkenden Gravitation illustrieren läßt.
Zur Analyse des Beschleunigungsanstiegs - gleichbedeutend mit dem Ruck - hinsichtlich seines Einflusses auf die Wahrnehmbarkeit wurde der Anstieg ohne Berücksichtigung geringfügiger Schwingungen linearisiert ermittelt. Die Steigung ist in Bild 3.7 durch eine punktierte Linie (zur besseren Erkennbarkeit seitlich verschoben) dargestellt. Sowohl die zum Erreichen des Maximums notwendige Anstiegszeit als auch der nach der Formel

$$\dot{a} = \text{Ruck} = da/dt \qquad (3.1)$$

berechnete Ruck wurden zusammen mit der Beschleunigung ausgewertet.

3.2.9 Das Beschleunigungs-Ruck-Kriterium

Bei einer globalen Darstellung der wahrgenommenen und nicht wahrgenommenen Versuche in Abhängigkeit von Anstiegszeit oder Ruck ergibt sich zunächst ein ähnliches Bild wie bei alleiniger Betrachtung der maximalen Beschleunigung in Bild 3.3 - beide Punktfelder überdecken nahezu gleichmäßig fast den gesamten Bereich. Betrachtet man jedoch die nicht wahrgenommenen Versuche allein, so wird eine Grenzlinie deutlich, oberhalb der sämtliche Beschleunigungssignale wahrgenommen wurden, Bild 3.8. Diese Linie läßt sich mit der Geradengleichung

$$a_{grenz} = B \cdot t + C \qquad (3.2)$$

beschreiben, wobei "t" die linearisierte Anstiegszeit der Beschleunigung darstellt. Sie beweist die bisherige Vermutung einer Zeitabhängigkeit der Beschleunigungswahrnehmung. Anders als bei absoluten Wahrnehmungsschwellen im unteren Bereich wird hierdurch eine Obergrenze definiert, die - nach dem Grundsatz "in dubio pro reo" - für alle Personen gelten kann.

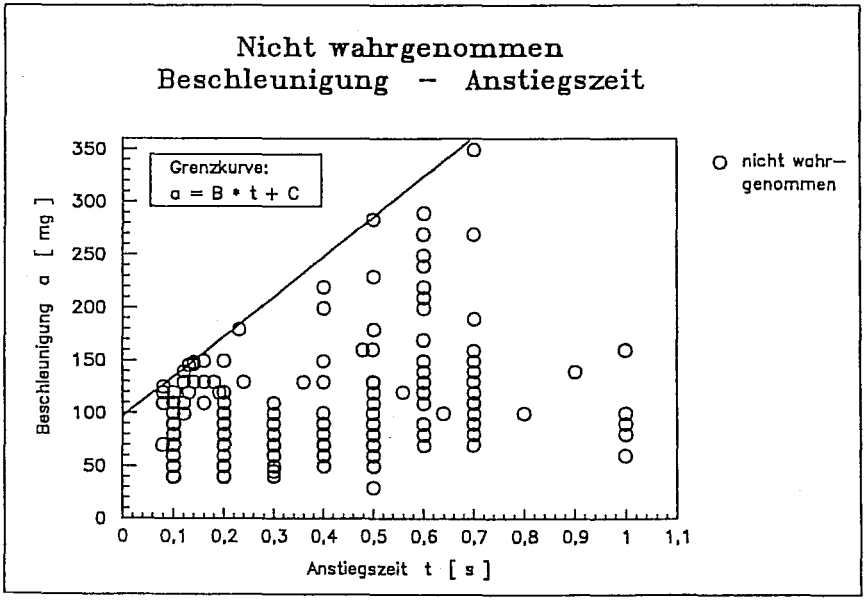


Bild 3.8 Beschleunigung über Anstiegszeit

Eine entsprechende Darstellung der Beschleunigung über dem Ruck zeigt Bild 3.9. Unter Verwendung der gleichen Konstanten wie in (3.2) ergibt sich die Grenzkurve zu

$$a_{grenz} = C \cdot \text{Ruck} / (\text{Ruck} - B) \tag{3.3}$$

Innerhalb des gesamten Versuchsspektrums von 2347 Tests an 50 Probanden lag kein einziger nicht wahrgenommener Versuch oberhalb dieser Linie.

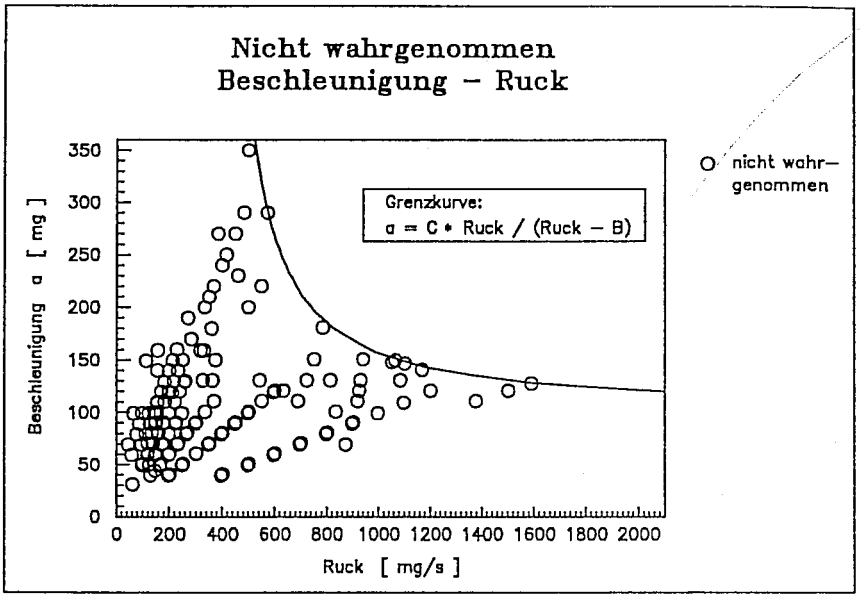


Bild 3.9 Beschleunigung über Ruck

Die Konstanten wurden anhand der vorliegenden Meßwerte bestimmt: B = 378, C = 97. Mit diesen Werten lauten die Formeln für die Grenzkurven

$$a_{grenz} = 378 \cdot t + 97 \tag{3.4}$$

und

$$a_{grenz} = 97 \cdot \text{Ruck} / (\text{Ruck} - 378) \tag{3.5}$$

Für diese Grenzkurvenbeschreibung (Gleichung 3.4 und 3.5) wird die Bezeichnung

"Beschleunigungs - Ruck - Kriterium (BRK)"

eingeführt.

Das BRK beschreibt keine Wahrnehmbarkeitsgrenze, da auch unterhalb der Grenzkurve eine große Zahl von Versuchen wahrgenommen wurde. Es kennzeichnet vielmehr eine Obergrenze, oberhalb der - auch bei Ablenkung - aus dem Gesamtspektrum von 2347 Versuchen keine nicht wahrgenommenen Versuche mehr vorkamen.

Seine Gültigkeit wurde nachgewiesen für den Bereich $0{,}08 \leq t \leq 1{,}0$ bzw. $500 \leq \text{Ruck} \leq 16400$. Mathematisch zulässig ist Ruck > 378, jedoch werden bereits bei Ruck < 419 Grenzbeschleunigungen über 1000 mg errechnet, die eine zahlenmäßige Angabe nicht mehr als realistisch erscheinen lassen. Aus diesem Grunde werden bei späteren Berechnungen Werte von $a_{grenz} > 1000$ durch die Angabe $a_{grenz} = 999$ ersetzt.

Bei fehlender Ablenkung und konzentrierter Aufmerksamkeit liegen die Grenzwerte tiefer.

Die Auswertung der Versuche ohne besondere Ablenkung (Gruppe 2, Kap. 3.2.6) läßt eine Grenzkurve ziehen, bei der die Berechnungsfaktoren B und C auf 80% der o.g. Werte reduziert wurden ($B = 302$, $C = 78$), Bild 3.10. Die statistische Absicherung ist wegen der niedrigeren Versuchszahlen jedoch geringer. Es lagen alle nicht wahrgenommenen und auch alle unsicher wahrgenommenen Versuche der Gruppe 2 unterhalb der Grenzlinie. Mit nur geringer Abweichung im Bereich weicher Stöße (mit geringem Ruck) läßt sich eine Grenzkurve auch durch Reduzierung der absoluten Grenzbeschleunigung a_{grenz} um den Faktor 0,7 angeben, was eine einfache Berechnung bei bekannten Werten von a_{grenz} ermöglicht.

Bei normaler Aufmerksamkeit und ohne besondere äußere Beeinflussung stellt die reduzierte Grenzkkurve den Bewertungsmaßstab für die Wahrnehmbarbeit dar. Der Bereich zwischen der absoluten und der reduzierten Grenzkurve wird als Grenzbereich definiert, der von der individuellen Situation des Fahrers abhängt. Es müssen besondere Umstände (z.B. eine starke Ablenkung) vorliegen, um Beschleunigungssignale in diesem Bereich bis zur absoluten Grenzwertkurve nicht wahrzunehmen.

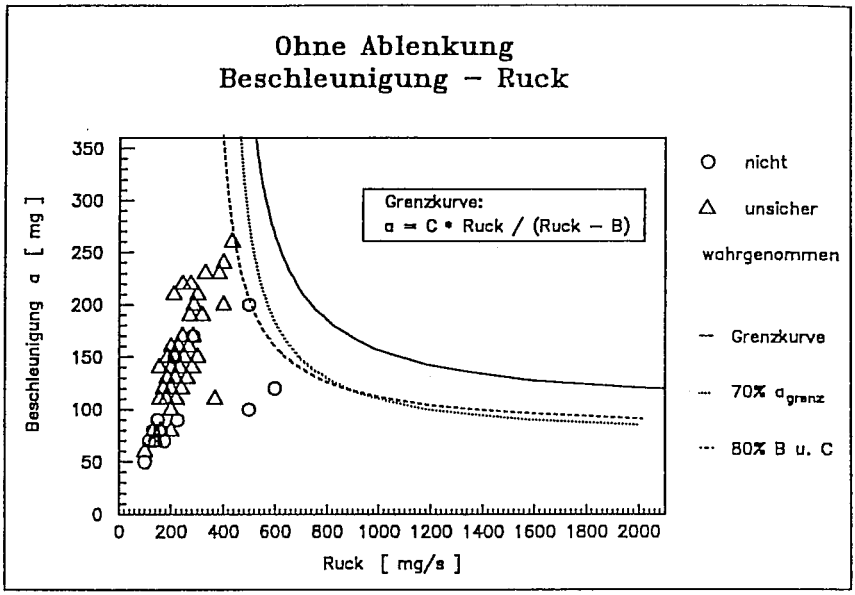


Bild 3.10 Definition eines Grenzbereichs

4. Alkohol und Unfallflucht

4.1 Alkohol im Straßenverkehr

4.1.1 Gesetzliche Vorschriften und Auslegungen

Nach § 316 StGB wird wegen sogenannter folgenloser Trunkenheit am Steuer mit Freiheitsstrafe bis zu 1 Jahr oder mit Geldstrafe bestraft,
"wer im Verkehr ein Fahrzeug führt, obwohl er infolge des Genusses alkoholischer Getränke oder anderer berauschender Mittel nicht in der Lage ist, das Fahrzeug sicher zu führen."
Zusätzlich wird die Fahrerlaubnis für mindestens 6 Monate entzogen.
Wegen Straßenverkehrsgefährdung (§ 315c StGB) hat sich zu verantworten, "wer im Straßenverkehr ein Fahrzeug führt, obwohl er infolge des Genusses alkoholischer Getränke oder anderer berauschender Mittel oder infolge geistiger oder körperlicher Mängel nicht in der Lage ist, das Fahrzeug sicher zu führen ... und dadurch Leib oder Leben eines anderen oder fremde Sachen von bedeutendem Wert gefährdet."
In diesem Fall kann eine Freiheitsstrafe bis zu 5 Jahren oder eine Geldstrafe verhängt werden.
Die Rechtsprechung stützte sich bis 1966 im wesentlichen auf ein Urteil des Bundesgerichtshofs vom 5.11.53 (AZ 3 StR 504/53), wonach ohne weitere Prüfung der konkreten Umstände des Einzelfalles "Fahruntüchtigkeit" anzunehmen war, wenn bei einem Kraftfahrer eine Blutalkoholkonzentration (BAK) von 1,5‰ nachgewiesen wurde.
Dieser Wert, der als Grenzwert der absoluten Fahruntüchtigkeit in die Literatur einging, stieß auf zunehmende Kritik. Er wurde allgemein als zu hoch angesehen.
Diesem Einwand hatte der Bundesgerichtshof bereits im o.g. Urteil mit dem Satz Rechnung getragen, daß "in aller Regel schon bei einem Blutalkoholgehalt von 0,5‰ die psycho-physische Leistungsfähigkeit meßbar gestört ist, und daß Fahruntüchtigkeit im Einzelfall schon von diesem Wert an aufwärts vorliegen kann. Bei einem Alkoholgehalt von 1‰ ist die Leistung bereits so beeinträchtigt, daß die meisten Menschen fahruntüchtig sind...".
Dennoch hatte der BGH, um jeden Zweifel auszuschalten, der den Angeklagten belasten könnte, den absoluten Grenzwert der Fahruntüchtigkeit auf 1,5‰ festgesetzt, um der - wenn auch geringen - Schwankungsbreite der sogenannten

Wittmarkschen Reaktion, Ungenauigkeiten der etwaig erforderlichen Rückrechnung und möglicher individueller Unterschiede Rechnung zu tragen.

In einem späteren Urteil vom 20.3.1959 (AZ 4 StR 306/58) wurde der Zustand der Fahruntüchtigkeit durch den BGH dahingehend definiert, daß in ihm "eine so erhebliche Einbuße an den für die Sicherheit des Straßenverkehrs erforderlichen Funktionen und Reaktionsabläufen infolge Lockerung der Hemmungen und geistig-seelischer wie körperlicher (psycho-physischer) Leistungsausfälle bestehe, daß Fahrtüchtigkeit im Sinne einer Beherrschung des die Lenkung eines Fahrzeugs im Verkehr bildenden Gesamtvorganges nicht mehr angenommen werden könne". Nach dieser Definition des BGH ist ein Kraftfahrer nur dann fahrtüchtig, wenn er sämtliche im Straßenverkehr vorkommenden Gefahrensituationen durch rasches, angemessenes und zielbewußtes Handeln zu meistern vermag (Lundt u. Jahn [79]).
Angesichts dieser Anforderungen liegt der Verdacht sehr nahe, daß schon der nüchterne Kraftfahrer im Großstadtverkehr heute vielfach überfordert ist.
Nach dem Gutachten des Bundesgesundheitsamtes von 1966 [79] ist im Bereich zwischen 1,0 und 1,1‰ JEDER Mensch fahruntüchtig.
Gemäß einer Tabelle von Freudenberg [25] liegt die Gefährlichkeit eines Kraftfahrers mit 1,0 -1,1‰ in Bezug auf Unfälle mit Getöteten etwa 6 mal so hoch wie bei einem Nüchternen. Zwischen statistischen Ergebnissen und den Resultaten der experimentellen Alkoholforschung besteht eine weitgehende Übereinstimmung, daß in diesem BAK-Bereich jeder Mensch alkoholbedingte Leistungsminderungen und Persönlichkeitsveränderungen aufweist, die mit der Teilnahme am Straßenverkehr nicht mehr vereinbar sind.
Da die Rechtsprechung nach dem Grundsatz in dubio pro reo von dem biologisch höchsten Wert auszugehen hat, kam nicht der von medizinischer Seite vorgeschlagene Mittelwert von 1,05‰, sondern eine BAK von 1,1‰ als Grundwert zum Ansatz. Hierzu wurde ein Sicherheitszuschlag von 0,15‰ hinzugerechnet. Zum Abfangen aller Unsicherheitsfaktoren wurde der Beweisgrenzwert auf 1,3‰ aufgerundet.
Dabei war auch berücksichtigt, daß die Alkoholbeeinflussung im ansteigenden Teil der BA-Kurve stärker ist als im fallenden (BGH-Beschluß vom 9.12.66). Da in der postresorptiven Phase die Ernüchterung und körperliche Erholung schneller eintritt, als es dem Blutalkoholwert entspricht, war der Grenzwert für die absolute Fahrunsicherheit außerordentlich hoch anzusetzen.
Nach PONSOLD, Lehrbuch der gerichtlichen Medizin, können 0,4‰ in der Anflutungsphase und 0,8‰ in der Abbauphase einander entsprechen (Below [6]).

Nach diesem Gutachten hatte der BGH in seinem Beschluß vom 9.12.1966 entschieden, daß jeder Mensch, der eine Blutalkoholkonzentration von mindestens 1,3‰ zur Tatzeit aufweist, mit Sicherheit als untauglich zum Führen von Kraftfahrzeugen anzusehen ist. Es handelt sich hierbei um den Beweisgrenzwert der absoluten Fahruntüchtigkeit, der - weil für jedem Menschen zutreffend - unwiderlegbar ist. Bei einer BAK von 1,3‰ und mehr sind in der Regel weitere Beweiserhebungen nicht notwendig; auf den Nachweis äußerer Trunkenheitsmerkmale oder anderer Ausfallerscheinungen kommt es also nicht an.

Schon 1957 definerte der BGH: Absolute Fahruntüchtigkeit bedeutet, daß kein Kraftfahrer, auch nicht der an Alkohol gewöhnte, mit Aussicht auf Beachtung oder Erfolg noch geltend machen kann, auf ihn träfen die Erkenntnisse der ärztlichen Wissenschaft nicht zu.
"Absolut" oder "unbedingt" schließt die Möglichkeit eines Gegenbeweises aus.

In seiner neuesten Entscheidung (AZ 4 StR 297/90) hat der BGH den Grenzwert der absoluten Fahruntüchtigkeit auf 1,1‰ gesenkt. Das Gericht ging aufgrund der seit langem vorliegenden wissenschaftlichen Erkenntnisse davon aus, daß die Fahrtüchtigkeit eigentlich schon bei 1,0‰ erlischt. Angesichts verbesserter Meßgenauigkeit der Nachweisverfahren wurde der bisher recht hoch angesetzte Sicherheitszuschlag auf 0,1‰ reduziert.
Mit der Änderung des Straßenverkehrsgesetzes vom 20.7.1973 wurde zusätzlich zum Grenzwert der absoluten Fahruntüchtigkeit ein sogenannter Gefahrengrenzwert eingeführt:
Nach 24a StVG handelt ordnungswidrig, wer im Straßenverkehr ein Kraftfahrzeug führt, obwohl er 0,8‰ und mehr Alkohol im Blut oder eine Alkoholmenge im Körper hat, die zu einer solchen BAK führt.
Wenn dieses Limit bei einer Routinekontrolle festgestellt wird, sieht das Gesetz - übrigens auch ohne daß ein Unfall oder auffälliges Fahrverhalten vorlag - lediglich Bußgeld und ein sogenanntes Fahrverbot vor, jedoch noch keinen Führerscheinentzug. Fahrverbot bedeutet, daß der Betroffene seinen Führerschein spätestens nach 3 Monaten bei der zuständigen Behörde wieder abholen kann. Der Entzug der Fahrerlaubnis und damit auch die Sperre für die Wiedererteilung dauert hingegen mindestens 6 Monate, in besonderen Fällen bis zu 5 Jahre. Diese Maßnahme greift erst beim Überschreiten des Promillewertes für die absolute Fahruntüchtigkeit, also ab 1,1‰.

Nach der Tabelle von Freudenberg [25] liegt die Gefährlichkeit eines Kraftfahrers in Bezug auf Verkehrsunfälle mit Getöteten bei einer BAK von 0,6 - 0,7‰ um den Faktor 3 über der eines nicht alkoholisierten Kraftfahrers. Unter Berücksichtigung der 1966 üblichen Blutalkoholbestimmungsmethoden ergab sich, daß ein damit ermittelter Wert von 0,8‰ und mehr mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit, nämlich mit einer solchen von 99,58%, eine Überschreitung der verkehrsgefährdenden BAK von 0,6 bis 0,7‰ anzeigt. Aufgrund dessen wurde der Wert von 0,8‰ als "Gefahrengrenzwert" eingeführt.
Gerchow [28] stellt anhand von Forschungsergebnissen fest, daß im Bereich ab 0,7 bis 0,8‰ die Mehrheit, also über 50% aller Menschen bereits fahruntüchtig sind.
§ 24 StVG dient als Auffangtatbestand zur Anwendung bei BAK 0,8 ..1,1‰ ohne zusätzliche Anzeichen für eine Fahrunsicherheit im Sinne § 316 StGB durch Alkohol. Immerhin hat eine Umfrage bei den Landesjustizverwaltungen ergeben, daß bis zu 32% der Verurteilten wegen fahrlässiger Tötung infolge Trunkenheit im Straßenverkehr eine BAK zwischen 0,8 und 1,3‰ hatten (Metter [87]).
§ 24 StVG hat nur subsidiäre Natur, d.h. es kann durchaus früher, im Einzelfall ab 0,3‰ nach § 316 StGB verurteilt werden, wenn zusätzlich Beweisanzeichen für eine Fahruntüchtigkeit bestehen !

Bei einer Tatzeit-BAK von 1,1‰ und mehr liegt ein Straftatbestand vor; bei Werten unterhalb 1,1‰ kann ein solcher gegeben sein, wenn zusätzliche Beweisanzeichen festgestellt werden, die eine individuelle Fahruntüchtigkeit belegen.

Bereits 1973 hat die WHO eine Senkung des kritischen Grenzwertes von 0,8 auf 0,5‰ vorgeschlagen. Dieser Empfehlung sind verschiedene Länder, z.B. im skandinavischen Bereich, gefolgt. In der Luftfahrt besteht bei diesem Wert bereits absolute Fluguntüchtigkeit, d. h. diese Grenze entspricht hier dem Wert von 1,1‰ im Straßenverkehr. Einige Ostblockstaaten gehen noch einen Schritt weiter und verordnen konsequent die 0,0 Promillegrenze, die zur Zeit (Stand September 1991) auch noch auf dem Gebiet der ehemaligen DDR gilt.

Promillegrenzen in Europa	
Belgien	0,5
Bulgarien	0,0
Dänemark	0,8
Deutschland (West)	0,8
Deutschland (Ost)	0,0
Finnland	0,5
Frankreich	0,8
Griechenland	0,8
Großbritannien	0,8
Irland	0,8
Italien	0,8
Jugoslawien PKW	0,5
Jugoslawien LKW	0,0
Luxemburg	0,8
Niederlande	0,5
Norwegen	0,5
Österreich	0,8
Polen	0,2
Portugal	0,5
Rumänien	0,0
Schweden	0,2
Schweiz	0,8
Tschechoslowakei	0,0
Türkei	0,0
UdSSR	0,0
Ungarn	0,0

Quelle: Autohaus 6 / 91

Tabelle 4.1 Gesetzliche Vorschriften in Europa

4.1.2 Unfallgeschehen

Zu den typischen Unfällen unter Alkoholeinfluß gehören das Abkommen von der Fahrbahn und Auffahrunfälle. Bei Kurvenunfällen führen Kritiklosigkeit und Enthemmung zu einer überhöhten Fahrgeschwindigkeit. Beim Motorradfahren kommt als ungünstiges Moment hinzu, daß die Hornhautempfindlichkeit der Augen herabgesetzt ist, so daß die Stärke des Fahrtwindes und damit die Geschwindigkeit falsch eingeschätzt werden. Wegen der Beeinträchtigung des Sehvermögens wird der Krümmungsradius der Kurve nicht richtig eingeschätzt (Metter [87]).
Das Abkommen von der geraden Fahrbahn ist ein besonders deutlicher Hinweis auf Alkoholeinwirkung.
Auffahrunfälle stehen an zweiter Stelle unter den alkoholverdächtigen Fahrweisen. Dabei handelt es sich hauptsächlich um das Auffahren auf ordnungsgemäß geparkte oder an Straßenkreuzungen haltende Fahrzeuge. Diese Unfälle erklären sich im wesentlichen durch die alkoholbedingt verlängerte Reaktionszeit des Fahrers.
Alkoholisierte Fahrer neigen auch dazu, unbewegte Gegenstände zu übersehen. Besonders verdächtig auf Alkoholeinfluß ist aber - ausreichende Fahrpraxis vorausgesetzt - das Fahren gegen Begrenzungspfosten, Masten, Häuser, Zäune, das Überfahren von Bürgersteigen und Inseln sowie Kollisionen bei einfachen Fahr- und Wendemanövern.

Einen eigenen Unfalltypus stellen Unfälle infolge Ermüdung oder Übermüdung dar. Als Übermüdung bezeichnet man länger andauernde und stärker ausgeprägte Ermüdungserscheinungen, die grobe körperliche Störungen, die illusionäre Verkennung einer Verkehrssituation mit unfallträchtigem Fehlverhalten oder das Einschlafen am Steuer zur Folge haben. Nach Böcher (Zit. in Metter [87]) entsprechen die Auswirkungen einer schlaflosen Nacht einer BAK von 1,0‰. Die Frühsymptome der Ermüdung zeigen sich z.B. in einer Lidschwere, Frösteln, Gähnen und Durstgefühl. Sie treten stufenweise auf und sind jedermann aus eigenem Erleben bekannt.

Die meisten Unfälle, die aus einer Kombination von Alkohol und Ermüdung resultieren, ereignen sich zur Nachtzeit.
Grüner, Ludwig, Trabant [47] fanden in ihren Versuchen, daß die alkoholbedingten Ausfallerscheinungen (bei Alkoholgaben von 0,7 u. 1,0 g/kg Körpergewicht) bei Nacht, besonders nach Mitternacht, erheblich größer waren als am Tage.

Zwischen 2.00 und 4.00 h ist ohnehin die physiologische Leistungsfähigkeit auf ihrem Tiefpunkt. Diesen Einfluß konnten die Versuchspersonen teilweise in nüchternem Zustand noch durch Willensanspannung kompensieren, nicht jedoch unter Alkohol.
Es muß angenommen werden, daß die Leistungsausfälle noch wesentlich stärker sind als gewöhnlich nach dem Ergebnis von Versuchen am Tage angenommen wird.
Aus einem Kollektiv von je 1000 nüchternen und alkoholsierten Unfällen wurden von Heifer [54] die folgenden Zahlen gegenübergestellt. Das Verhältnis der Häufigkeiten mit und ohne Alkohol ist durch den Wert Al:Nü angezeigt. Hohe Zahlen kennzeichnen typische Alkoholunfallarten.

Unfallart	Nüchtern	Alkohol	Al:Nü
A Radfahrer stürzt	0	26	unendl.
B Kradfahrer stürzt	8	61	7,3
C Abkommen in Kurve	29	110	5,5
D Abkommen gerade	45	235	5,2
E Koll. Gegenverk.	89	158	1,8
F Koll. park. Fzg.	83	126	1,5
G Koll. Hindernis	19	27	1,4
H Streif. Mitverkehr	74	51	0,7
I Koll. Fußgänger	93	38	0,4
J Vorfahrtverletz.	163	44	0,3
K Parken, Rangieren	127	32	0,3

Tabelle 4.2 Zahlenangaben zu Bild 4.1

Vorfahrtverletzungen und Kleinkollisionen beim Parken und Rangieren sind somit keinesfalls als typische Alkoholunfälle anzusehen. Die grafische Darstellung macht den Einfluß auf die verschiedenen Unfalltypen noch deutlicher, Bild 4.1.

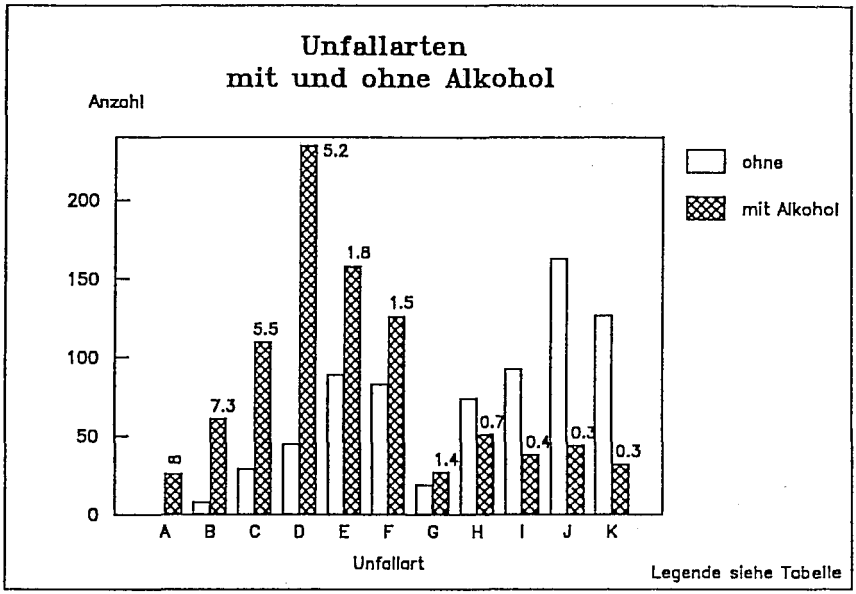


Bild 4.1 Unfallarten und Alkohol nach Heifer [54]

Biechteler, Enhuber u. Meidl [8] berichten über die Auswertung mehrerer tausend Strafakten aus dem Landkreis Regensburg 1958- 64. Jeweils 500 Fälle mit und ohne Alkohol kamen zur Darstellung.
Ohne Alkohol dominierten Vorfahrtsverletzungen sowie das Nichtbeachten von Halte- u. Sperrschildern mit 46%.
Mit Alkohol war diese Gruppe nur zu 6,8% vertreten. Dagegen dominierten Nichtrechtsfahren und Abkommen von der Fahrbahn mit 57,9% (nüchtern nur 6,4%).
Die Promillegruppe 1,51 - 2,0‰ war mit 43,7% am stärksten vertreten. Aber auch der BAK-Bereich 0,81 - 1,5‰ machte noch 33,6% des Kollektivs aus. Frauen, nüchtern mit 9% betroffen, hatten in der Alkoholgruppe nur einen Anteil von 0,45%.

4.2 Alkohol und Unfallflucht

Nach gefestigtem Zahlenmaterial unterschiedlicher Quellen kann gemäß Geppert [26] heute als weitgehend sicher davon ausgegangen werden, daß etwa die Hälfte aller Fluchtfälle mit mehr oder weniger hohem Alkoholkonsum des Täters in Zusammenhang steht.
Ein wesentliches Fluchtmotiv ist zweifelsfrei die Teilnahme am Straßenverkehr unter Alkoholeinfluß und das Bemühen des Täters, dem Entzug der Fahrerlaubnis, der von den Betroffenen als Strafe empfunden wird, zu entgehen. Weitere typische Delikte, die durch eine Flucht verschleiert werden sollen, sind z.B. das Fahren ohne Fahrerlaubnis oder Diebstahl des Tatfahrzeugs.
Nach Piper (Zit. in Middendorf [95]) fuhren 41,9% der von ihm untersuchten ungelernten Arbeiter zum Zeitpunkt des Unfalls ohne Fahrerlaubnis.

Die tatsächliche Alkoholquote ist naturgemäß nicht exakt feststellbar, weil die Täter den Unfallort gerade deshalb vorzeitig und unerlaubt verlassen, damit der Blutalkohol nicht festgestellt werden kann. Daß sie mit der Verschleierung des Blutalkoholgehalts oftmals Erfolg haben, liegt auf der Hand, selbst wenn später die Täterermittlung gelingen mag.
Staak und Mittermeyer [120] haben bei der Auswertung von 2203 Unfallfluchtfällen Alkoholbeeinflussung in 19,7% nachgewiesen, bei weiteren 41,9% bestand Verdacht ohne Nachweis. Die nachweisbaren Blutalkoholkonzentrationen lagen in der Mehrzahl (79%) zwischen 1,0 und 2,5‰.

Weitere statistische Zahlen:
- Bemerkenswert ist der relativ hohe Anteil der Fluchtfälle in den ersten beiden Jahren des Führerscheinbesitzes (30,9%).
- Der größte Teil der Unfallflüchtigen wurde aus der Berufsgruppe der Arbeiter ermittelt (44,8%).
- Der tageszeitliche Vergleich zwischen Verkehrsunfällen, Unfallflucht und Unfallflucht in Trunkenheit spricht signifikant für die Alkoholisierung und die Angst vor den daraus resultierenden strafrechtlichen Folgen als Fluchtmotiv.
- Bei Frauen geht der Trend dahin, daß sie etwa ihrem Anteil an der Unfallverursachung auch an der Unfallflucht beteiligt sind. Die alkoholbedingte Unfallbeteiligung ist mit 4,8% jedoch erheblich unter der der allgemeinen Unfallverursachung mit 17 bis 18%.

Brettel, Gerchow, Großpietsch [10] fanden bei der Auswertung von Polizeiakten des Jahres 1969 3259 Fälle von Unfallflucht.
- In dieser Studie waren Frauen an Unfallflucht relativ stärker beteiligt als es ihrem Anteil an Unfällen entsprach.
- Insgesamt wurde in 56,6% der Unfälle mit Alkoholisierten von diesen Unfallflucht begangen.
- Bei Unfällen mit Fahrerflucht war bei den Männern zu fast 40%, bei den Frauen weniger als 20% Alkoholbeeinflussung vorhanden.
- Geschiedene standen 3 mal so häufig unter Alkohol als ohne Alkohol.
- Zwischen 6.00 und 18.00 h ereigneten sich 60,6% der Fluchtfälle ohne Alkohol und nur 18,6% mit Alkohol.
- Diese Verhältnisse drehten sich während der Nacht genau um: Zwischen 22.00 und 6.00 h begingen 57,1% der Alkoholunfalltäter und nur 16,6% der Nichtalkoholtäter Unfallflucht.
- Am Wochenende standen gut 50% der unfallflüchtigen Kraftfahrer unter Alkohol, zwischen 24.00 und 4.00h waren es sogar mehr als 60%.

Obwohl eigentlich nicht die Strafverfolgung, sondern nur das private Feststellungs- und Beweissicherungsinteresse der Unfallbeteiligten von dem durch § 142 StGB geschützten Rechtsgut erfaßt wird - was allerdings durchaus nicht alle Gerichte so verstehen -, ist quasi die Absicht, der Strafverfolgung zu entgehen, das häufigste Fluchtmotiv.

Der Alkohol senkt die Reizschwelle für die Auslösung von Primitivreaktionen, zu denen auch der Fluchttrieb gehört. Der Alkohol bewirkt, daß der Täter der psychischen Belastung nach einem Unfall weniger gewachsen ist, sich umso leichter über gewissensmäßige Bedenken hinwegsetzt und die für ihn einfachste und

bequemste Lösung (die Flucht) vorzieht. Unfallflucht hat sich als typisches Alkoholdelikt erwiesen. Dies zeigt sich auch darin, daß Alkoholtäter die Unfallstelle dreimal so häufig zu Fuß verlassen wie nüchterne Unfallbeteiligte (Tendenz zur Flucht um jeden Preis) und daß sie mehr als 20 mal so häufig wie diese trotz eigener Verletzung Unfallflucht begehen.
Nach Händel (Zit. in Hauser [53]) ist in Kraftfahrerkreisen die Auffassung weit verbreitet, daß es kein Zeichen von Klugheit sei, nach einem Unfall in Trunkenheit von der Möglichkeit zur Flucht keinen Gebrauch zu machen.
Nichtbemerken des Unfallgeschehens wurde nach Staak und Mittermeyer [120] ohne Alkoholbeeinflussung in 37,8% der Fälle angegeben, unter Alkoholeinfluß überraschenderweise deutlich seltener, nämlich nur in 26,6% der Fälle. Dies könnte den Annahmen einer schlechteren Wahrnehmungsfähigkeit unter Alkohol (z.B. nach Grüner [44]) widersprechen.

5. Einfluß von Alkohol auf die Wahrnehmbarkeit

Ergänzend zu der Untersuchung des allgemeinen Wahrnehmungsvermögens (s. Kapitel 3) wurden 18 der 50 Testpersonen mit zusätzlichem Alkoholgenuß auf ihr taktil-vestibuläres Wahrnehmungsvermögen hin untersucht. Der Versuchsaufbau blieb unverändert, jedoch wurden das Beschleunigungsspektrum begrenzt und die Anstiegszeiten nicht variiert.
Gegenstand der Untersuchung war die Frage, ob unterhalb der vom Gesetzgeber mit Sanktionen bedrohten, derzeit gültigen Grenzwerte von 0,8 bzw. 1,1‰ Einschränkungen bei der Wahrnehmung von Beschleunigungen auftreten.

5.1 Blutalkoholbestimmung

Um bei den Alkoholversuchen eine schnelle und unkomplizierte Kontrolle des Promillegehalts zu ermöglichen, wurde das Analysengerät Siemens Alkomat M52052-A zur Bestimmung der Atemalkoholkonzentration (AAK) verwendet, Bild 5.1.
Der Alkomat ist ein kompaktes Analysengerät, das nach dem Prinzip der Infrarot-Absorption arbeitet. Durch den Einsatz eines Mikroprozessors in Verbindung mit einer Ablaufsteuerung wird eine sichere Durchführung der Messung gewährleistet. Die Digitalanzeige informiert den Benutzer über den Programmstatus und teilt ihm mit, welche Schritte einzuleiten sind.
Die Meßergebnisse werden digital angezeigt und mittels Drucker dokumentiert.
Da sich die gemessenen Atemalkoholwerte nicht mit ausreichender Sicherheit auf einen Blutalkoholwert übertragen lassen, wurde jeweils am Abschluß der zweiten Meßreihe von jeder Testperson eine Blutprobe entnommen. Die BAK-Bestimmung erfolgte im Institut für Rechtsmedizin der Universität München nach dem gaschromatographischen Verfahren.

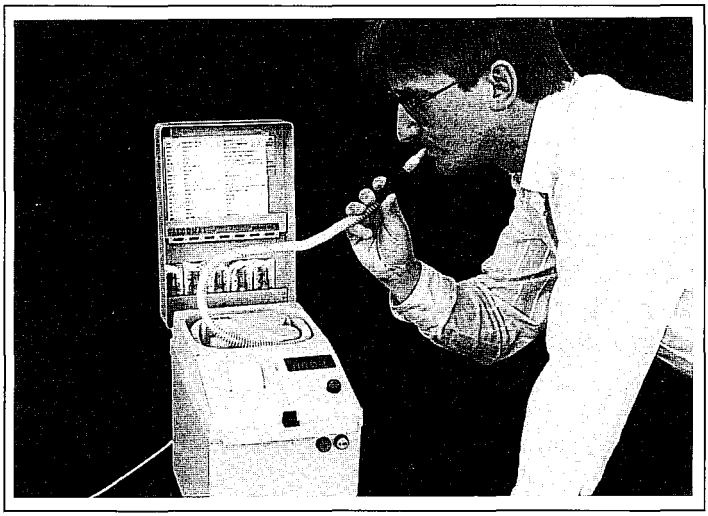


Bild 5.1 Alkomat zur Atemalkoholbestimmung

5.2 Versuche unter Alkoholeinfluß

Um mögliche Veränderungen der Wahrnehmbarkeitsschwelle durch Alkoholeinfluß beurteilen zu können, wurden zwei Promilleniveaus angestrebt. Bei Werten zwischen 0,3 und 0,5‰ treten in der Regel erste Beeinträchtigungen des Reaktions- und Koordinationsvermögens auf, während bei 0,8 bis 1,0‰ die allgemeine Fahrtüchtigkeit schon sehr in Zweifel gezogen werden muß. Diese Kriterien gaben den Ausschlag, die anzustrebenden Blutalkoholwerte auf 0,5 und 1,0‰ festzulegen.

Für alle Personen wurde aus Größe, Gewicht, Alter und Geschlecht die jeweilige Alkoholmenge errechnet.
Da die Versuche weder in der Phase der stärksten Anflutung, noch während der Elimination durchgeführt werden sollten, wurde ein genauer Zeitplan vorgegeben.
Die Probanden waren angehalten, ein leichtes, nicht zu fettes Mittagessen zu sich zu nehmen. Anschließend wurde mindestens eine Stunde Pause bis zum Trinkbeginn eingehalten, damit die Versuche nicht durch eine eventuell aufkommende Verdauungsmüdigkeit beeinträchtigt wurden.

In der ersten Trinkphase hatte der Proband 30 Minuten Zeit, die für ihn errechnete Alkoholmenge in Form von Bier oder Wein zu sich zu nehmen, um einen Blutalkoholwert von etwa 0,5‰ zu erreichen. Hierzu waren 0,35 bis 0,5 l Wein oder 1,0 bis 1,25 l Bier nötig. Danach war eine Trinkpause von 15 Minuten vor dem Versuch vorgesehen, die allerdings bei einigen Biertrinkern nicht ganz eingehalten werden konnte, da sie Schwierigkeiten hatten, die große Flüssigkeitsmenge innerhalb der vorgegebenen 30 Minuten vollständig zu sich zu nehmen.
Ca. 45 Minuten nach Trinkbeginn begann die 15 minütige Testfahrt, nach deren Ende dann sofort der Atemalkoholtest mit dem Siemens-Alkomat stattfand.
Anschließend wiederholten sich Trinkzeit, Pause und Testfahrt für den zweiten Durchgang im gleichen Zeitablauf wie bei der ersten Trinkphase. Zusätzlich wurde nach der zweiten Testfahrt eine Blutprobe für die BAK-Bestimmung entnommen.

Drei Personen erklärten sich bereit, über die Grenze von 1,0 Promille hinaus Alkohol zu sich zu nehmen. Die dabei erzielten Alkolwerte schwankten zwischen 1,2 und 1,86‰, die Bestimmung erfolgte mittels Alkomat und Blutprobe.

5.3. Auswertung

18 Personen wurden, nachdem sie schon nüchtern an den Testfahrten teilgenommen hatten, nochmals in insgesamt 846 Versuchen unter Alkoholeinfluß geprüft.
Bei 16 Personen wurden zwei verschiedene Alkoholniveaus getestet. Die tatsächlich erreichten Werte der ersten Stufe lagen bei durchschnittlich 0,42‰ (0,26...0,69, s=0,108), die der zweiten Stufe bei 0,83‰ (0,65...1,10, s=0,133).
Der AAK-Anzeige des Siemens Alkomat war durchschnittlich um 0,10‰, maximal um 0,21‰ höher als die im Labor bestimmte BAK.
Die drei Personen mit höherem Alkoholkonsum erreichten Werte von 1,86, 1,22 und 1,2‰. Tabelle 5.1 zeigt eine Globalauswertung aller Versuche.

	GESAMT		OHNE Alkohol		MIT Alkohol	
Gesamt	2084	100,00%	1238	100,0%	846	100,0%
nicht wahrgenommen	393	18,86%	239	19,3%	154	18,2%
schwach wahrgenommen	223	10,70%	129	10,4%	94	11,1%
verspätet reagiert	205	9,84%	111	9,0%	94	11,1%

Tabelle 5.1 Versuchsergebnisse mit und ohne Alkohol

Es wird deutlich, daß sich der Anteil der nicht wahrgenommenen Versuche mit und ohne Alkohol kaum unterscheidet. In nüchternem Zustand wurden 19,3%, unter Alkoholeinfluß 18,2% der Verzögerungssignale nicht wahrgenommen. Die um einen Prozentpunkt besseren Werten mit Alkohol bieten keine gesicherte Grundlage, um hieraus eine besondere Tendenz abzuleiten, wenngleich dieser Effekt durch die anregenden Einflüsse geringer Alkoholmengen durchaus erklärbar sein könnte.
Auch bei einer Unterscheidung nach Alkoholstufen ergibt sich kein anderes Bild. Damit läßt sich als Ergebnis feststellen, daß die Wahrnehmung schwacher Beschleunigungssignale durch geringe Alkoholmengen nicht beeinträchtigt wird.

Deutlicher tritt der Einfluß des Alkohols auf die Reaktionsverzögerung zutage. 9% verzögerte Reaktionen nüchtern stehen 11,1% unter Alkohol gegenüber. Die Aufschlüsselung nach Alkoholisierungsgrad verdeutlicht den Einfluß noch mehr, Tabelle 5.2.
Bei Blutalkoholwerten bis max. 1,0‰ war der Unterschied zu den Nüchternversuchen mit 9,95% und 10,34% gegenüber 9% noch gering. Bei höheren BAK kam es jedoch im Vergleich zu den Werten ohne Alkohol zu einer Steigerung um 100% auf 18,75% verspäteter Reaktionen. Die aus zahlreichen anderen Alkoholversuchen bekannte Reaktionszeitverlängerung zeigte sich also auch hier deutlich.

Alkoholisierungsgrad	Gesamt		Verspätet	
- ohne Alkohol	1238	100 %	111	8,97%
- leicht alkoholisiert	348	100 %	36	10,34%
- mittel alkoholisiert	402	100 %	40	9,95%
- stark alkoholisiert	96	100 %	18	18,75%

Tabelle 5.2 Verspätet reagiert - Einfluß des Alkoholisierungsgrades

Vergleicht man den Einfluß der Ablenkung durch das Videospiel auf die Anzahl der nicht wahrgenommenen Versuche, so wird eine sehr starke Abhängigkeit deutlich. Während ohne Ablenkung und ohne Alkohol 9,7% der Tests nicht wahrgenommen wurden, stieg deren Anteil unter Ablenkung auf über das Doppelte, nämlich auf 19,3%, Tabelle 5.3.

Bedingung	Gesamt		Nicht wahrgenommen	
- ohne Ablenkung	72	100 %	7	9,72%
- mit Ablenkung	1238	100 %	239	19,31%
- mit Alkohol und Ablenkung	846	100 %	154	18,20%

Tabelle 5.3 Nicht wahrgenommen - Einfluß von Alkohol und Ablenkung

Auch in dieser Tabelle wird deutlich, daß durch Alkohol keine weitere Verschlechterung, eher eine leicht positive Tendenz festzustellen ist. Unter Alkoholeinfluß und Ablenkung wurden 18,2% der Versuche nicht wahrgenommen.

Wie die graphische Auswertung der Versuche in Abhängigkeit von der Beschleunigung zeigt, wurden schon bei sehr geringen Werten von 40 mg und trotz Ablenkung etwa 40% der Versuche registriert, Bild 5.2. Die Wahrnehmungskurve steigt bis 100 mg schnell auf etwa 75% Wahrnehmung und nähert sich dann langsam der 100% - Grenze. Im Bereich von 120 bis 160 mg wurden knapp über 90% aller Versuche bemerkt. Ab 170 mg wurden ohne Alkohol alle Versuche wahrgenommen. Die prozentuale Wahrnehmung im Nüchternzustand ist als durchgezogene Kurve dargestellt.
Die gestrichelte Linie zeigt den Alkoholeinfluß auf die Probanden. Es wird deutlich, daß diese Kurve nahezu im gesamten Bereich in geringem Abstand über der Nüchternkurve liegt, d.h. das Wahrnehmungsvermögen war unter Alkoholeinfluß nicht schlechter, sondern geringfügig besser als nüchtern. Lediglich die 100%-Grenze wurde mit 190 mg etwas später erreicht.

In Bild 5.3 wurden nur die Versuche ausgewertet, die SICHER wahrgenommen wurden, d.h., die der Proband durch eine dem Beschleunigungssignal angemessene Triggerbetätigung gekennzeichnet hatte. Hier pendelt die Alkoholkurve (gestrichelt) ohne abweichende Tendenz um die Nüchternkurve, so daß das Ergebnis mit und ohne Alkohol als praktisch gleichwertig bezeichnet werden muß. Auch hier gab es bei den höheren Beschleunigungen ein gewisses Nachlassen der Leistung. Nüchtern wurden ab 195 mg, alkoholisiert ab 210 mg alle Versuche wahrgenommen.
Wird die Alkoholkurve in getrennte Darstellungen für die drei Alkoholisierungsgrade aufgesplittet, so ergibt sich Bild 5.4.

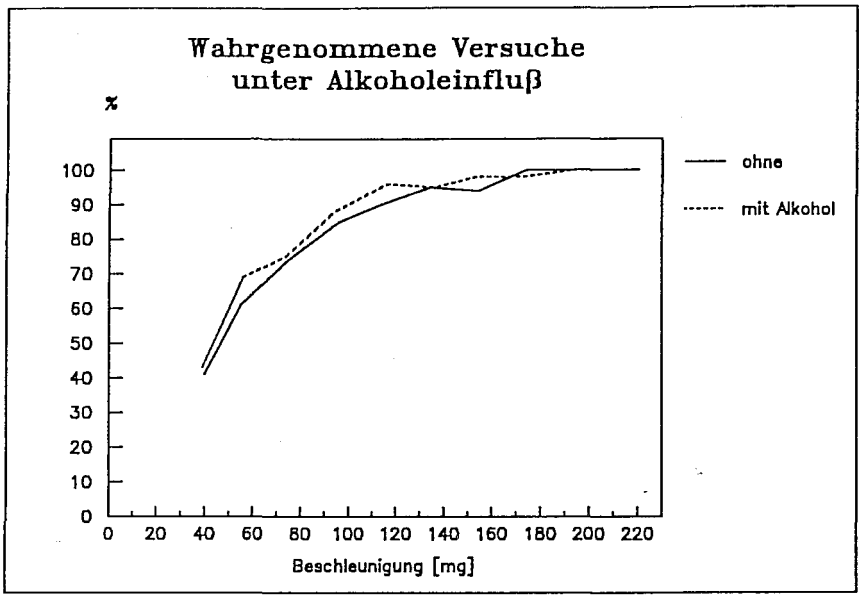


Bild 5.2 Alkoholeinfluß auf die Wahrnehmung

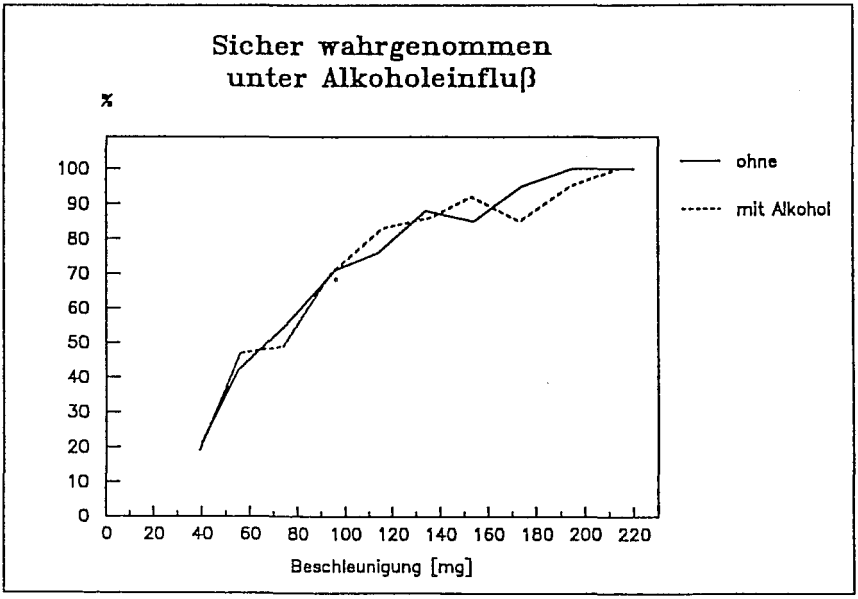


Bild 5.3 Alkoholeinfluß auf die Wahrnehmung

Hier wird sehr deutlich, daß die geringeren Alkoholwerte keine Beeinträchtigung bewirkten, bei stärkerer Alkoholisierung (1,2 bis 1,86‰) jedoch ein deutlicher Leistungsabfall zu verzeichnen war.
Bei Betrachtung der drei Einzeluntersuchungen kommt man allerdings zu dem Schluß, daß bei hohen Alkoholkonzentrationen wohl weniger die Wahrnehmbarkeitsgrenze angehoben wird, sondern vielmehr das stark beeinträchtigte gesamte Koordinations- und Reaktionsvermögen für das Ergebnis verantwortlich ist.

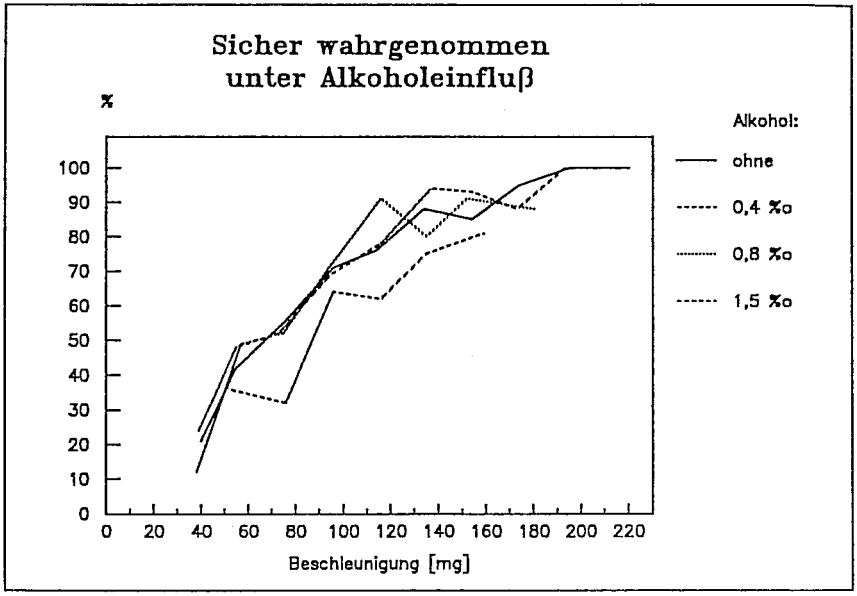


Bild 5.4 Einfluß des Alkoholisierungsgrades

5.4 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Testreihe mit 18 Probanden zeigte sich, daß ab 200 mg (2 m/s²) sämtliche Versuche unter Ablenkung durch ein Videospiel sowie mit und ohne Alkoholeinfluß wahrgenommen wurden.
Der Einfluß von Alkohol kann bis zu einem Promillegehalt von 1,0‰ als bedeutungslos angesehen werden. Lediglich die Reaktionszeit verlängerte sich etwas im Vergleich zu den nüchtern gefahrenen Versuchen. Selbst bei höheren Alkoholkonzentrationen zeigte sich in den drei untersuchten Fällen keine wesentliche Verschlechterung. Hier kommt der Abnahme des allgemeinen Koordinations- und Reaktionsvermögens die weitaus größere Bedeutung zu.
Damit ist nachgewiesen, daß Blutalkoholkonzentrationen, die nach den verkehrsrechtlichen Bestimmungen geduldet werden, keine Einschränkung der Wahrnehmungsfähigkeit für geringfügige Kollisionsbeschleunigungen bewirken.
Ein unfallflüchtiger Kraftfahrer kann somit nicht eine geringfügige, nicht strafbedrohte Alkoholisierung als Maßgabe für abweichende Bewertungskriterien geltend machen.

6. Kollisionsfremde Fahrzeugbeschleunigungen

Unabhängig von Kollisionen werden Fahrzeugbewegungen durch Einwirkungen unterschiedlicher Art hervorgerufen. Als wesentliche Einflußparameter können

- Aktionen der Fahrzeuginsassen
- Unebenheiten und Hindernisse auf der Fahrbahn
- Brems- und Antriebskräfte

Fahrzeugbeschleunigungen und Verzögerungen bewirken. Amplituden und Frequenzverhalten solcher Signale sind zu überprüfen, um Verwechslungsmöglichkeiten oder gar Verdeckungserscheinungen bei leichten Kollisionen zu klären.

6.1 Insassenaktionen

Das Umdrehen des Fahrers auf seinem Platz, wie es für rückwärtige Rangiervorgänge üblich ist, hat im Normalfall nur unbedeutende Fahrzeugreaktionen zur Folge. Gemessen wurden resultierende Fahrzeugbeschleunigungen unter 20 mg, die Y- und Z-Rotationen (Definition siehe Kapitel 9.12) erreichten Amplituden bis $6°/s^2$. Verbindet der Fahrer die Rückwärtsdrehung jedoch mit einer Positionsänderung des gesamten Körpers auf der Sitzfläche, so erhöhen sich die Meßwerte etwa um den Faktor 3, Bild 6.1.
Die resultierende Fahrzeugbeschleunigung errechnete sich zu 30 bis 40 mg, wobei die Komponenten in X- und Z-Richtung dominierten, ihre jeweiligen Maxima jedoch zu unterschiedlichen Zeitpunkten auftraten.
Die Amplituden der Y- und Z-Rotation erreichten Werte zwischen 8 und $16°/s^2$. Bei dieser größten Y-Amplitude wurden Drehgeschwindigkeiten von maximal 0,5°/s erreicht, Bild 6.2. Ein Drehwinkel war praktisch nicht feststellbar. Die gedämpft verlaufende Sinusschwingung begann mit einer Frequenz von ca. 3,4 Hz, die auch bei den Kollisionsversuchen mit Rotationsmessung deutlich dominierte. Dies berechtigt zu der Annahme, daß es sich hierbei um die Resonanzfrequenz des Versuchsfahrzeugs um die Hochachse handelte. Die geringe Amplitude schließt eine Verwechslung mit kollisionsbedingten Fahrzeugreaktionen weitgehend aus. 79% der Y-Rotationen lagen oberhalb der genannten Werte. Die Gefahr einer Verwechslung oder Überdeckung besteht somit nur bei Ereignissen ohne ausgeprägten Rotationsanteil. Derartige Kollisionen wurden ausnahmslos in den Bereich "nicht sicher wahrnehmbar" eingeordnet.

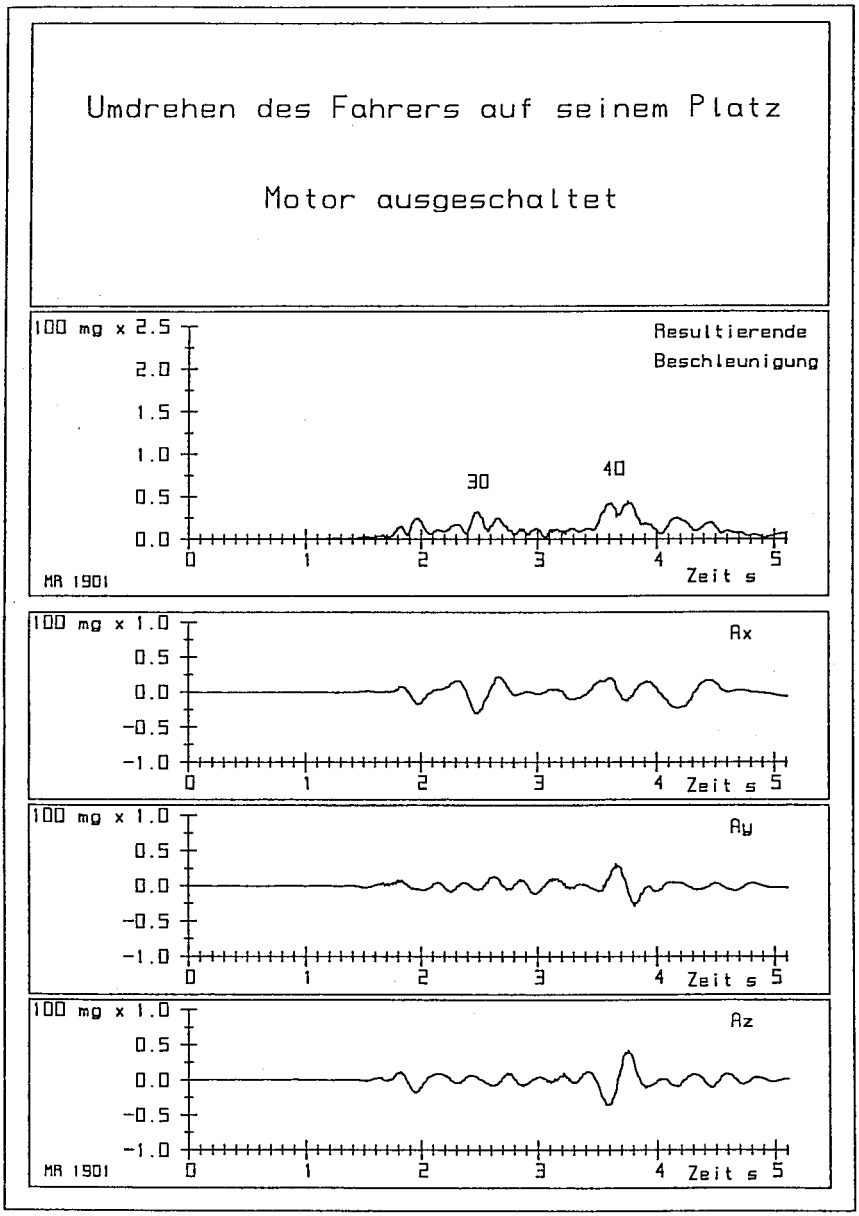


Bild 6.1 Bewegungen des Fahrers

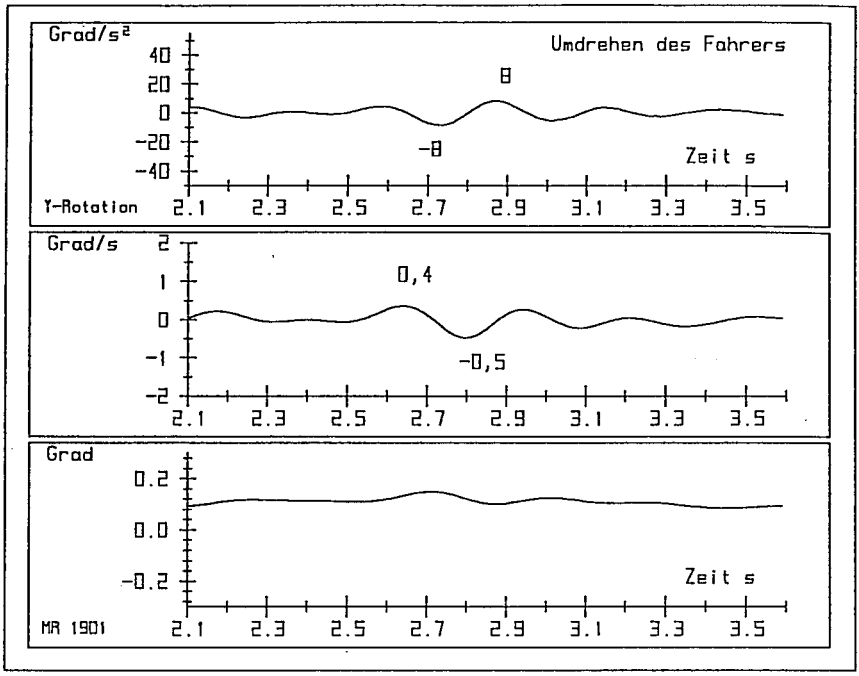


Bild 6.2 Winkelbeschleunigung, Drehgeschwindigkeit, Drehwinkel

Das Schließen der Beifahrertür erzeugte, obwohl es sich hierbei mehr um eine quer zur Fahrtrichtung wirkende Betätigungskraft handelte, ein deutliches Beschleunigungssignal in X-Richtung, Bild 6.3.

Die resultierende Beschleunigung von 65 mg kann nur solche Pkw/Pkw-Berührungen kaschieren, die in Signalverlauf und Größe ähnlich sind. Dabei handelt es sich ausschließlich um Kollisionen, die keine oder fast keine Beschädigung am Gegner hervorrufen. Der Vergleich mit Kollision 1235 zeigt einen sehr ähnlichen Verzögerungsverlauf, Bild 6.4. Charakteristisch für diese Kollisionen ist eine weitgehend elastische Deformation bei geringen Aufprallgeschwindigkeiten, z.B. im Bereich von Türen und Seitenteil. Sobald es dort zu deutlich sichtbaren bleibenden Deformationen kommt, hat dies eine wesentliche Verlängerung und/oder Erhöhung des Beschleunigungssignals zur Folge.

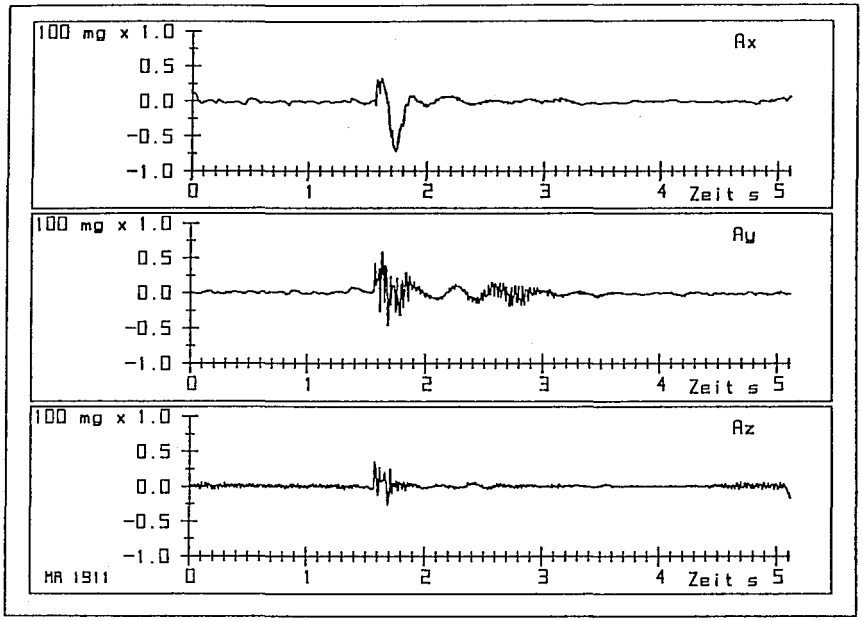


Bild 6.3 Schließen der Beifahrertür

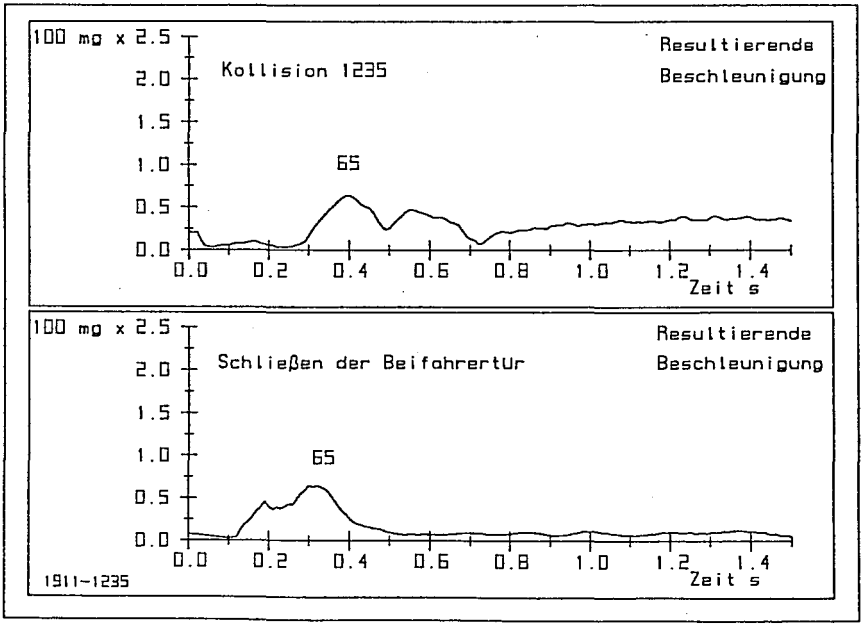


Bild 6.4 Vergleich mit Kollisionsversuch

Das Zurechtrücken von Insassen auf der Rücksitzbank stellt eine weitere Störquelle dar, die vom Fahrer unbeeinflußte Fahrzeugbewegungen zur Folge hat. Neben einer deutlichen Beschleunigungskomponente in X-Richtung dominieren wegen der in der Nähe der Hinterachse positionierten Rücksitzbank eindeutig die linearen und rotatorischen Z-Komponenten, Bild 6.5. Mit Werten von knapp $40°/s^2$ erzeugten die Insassen stärkere Nickbeschleunigungen, als bei Versuchen mit fraglicher Wahrnehmbarkeit überhaupt auftraten. Die resultierende Fahrzeugbeschleunigung erreicht mit 70 bis 80 mg Werte und Signalverläufe, wie sie bei quasistatischen Kontakten zwischen zwei Fahrzeugen gemessen wurden.

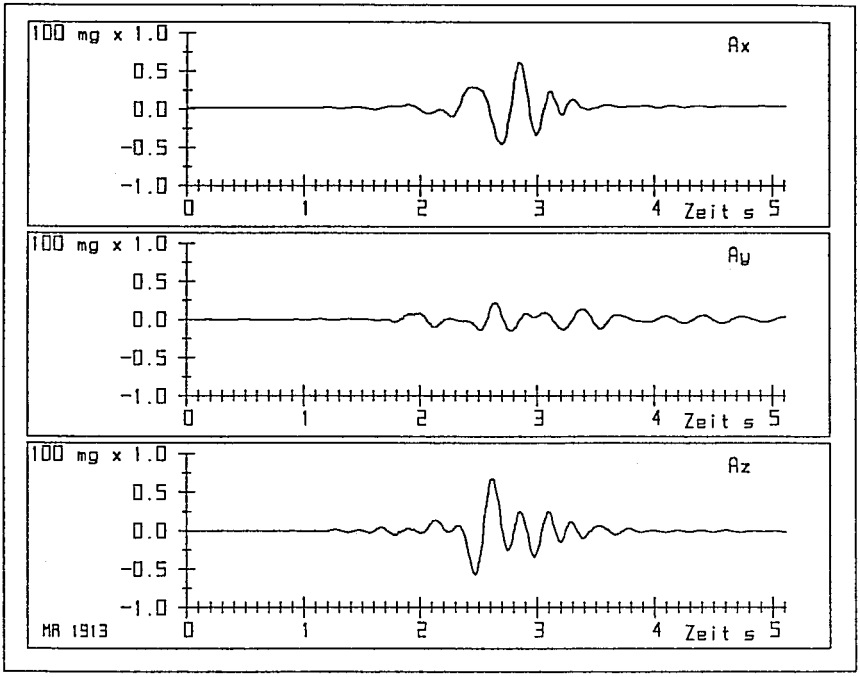


Bild 6.5 Bewegungen der Rücksitzpassagiere

6.2 Fahrbahnunebenheiten und Hindernisse

Unebenheiten auf der Fahrbahn oder Kontakte mit dem Bordstein sind sehr häufige Begründungen von Beschuldigten, die eine leichte Kollision nicht bemerkt haben wollen.
Bereits Welther [128] hat anhand einiger Beispiele den Einfluß von Anfahrwinkel und -geschwindigkeit bei konstanter Hindernishöhe dargestellt und darauf hingewiesen, daß "Strukturen unfallbedingter Fahrzeugerschütterungen bei 'weichen' Kollisionen denen kollisionsfremder Erschütterungen ähnlich sein können."

Für die vorliegende Arbeit wurden in 240 Versuchen die folgenden Parameters systematisch untersucht:

- Hindernishöhe
- Anfahrgeschwindigkeit
- Fahrzeugtyp
- Reifenart
- Fahrtrichtung
- Anfahrwinkel
- Anfahrposition

Als dominierende Einflußgrößen stellten sich eindeutig Hindernishöhe und Anfahrgeschwindigkeit heraus. Hindernisse bis zu einer Höhe von 40 mm wurden sehr leicht überrollt und erzeugten resultierende Fahrzeugverzögerungen zwischen 30 und 90 mg (alle Versuche zur Variation der Hindernishöhe fanden bei Anfahrwinkeln zwischen 45 und 60° statt).

Bild 6.6 läßt die geringe Schwankungsbreite um die eingezeichnete Mittelwertgerade bis zu Hindernishöhen von ca. 70 mm erkennen. Dies bedeutet, daß in diesem Bereich der Einfluß der Anfahrgeschwindigkeit relativ gering ist. Bei größeren Hindernishöhen macht sich bemerkbar, daß der horizontale Anteil X der Reaktionskraft F_R zwischen Reifen und Bordstein (Bild 6.7) wegen der sinusförmigen Abhängigkeit schon ab Hindernishöhen von 100 mm 80% der Reaktionskraft beträgt. Ein Überrollen des Hindernisses wird dadurch bei geringen Geschwindigkeiten kaum noch möglich, so daß die Reaktionskraft der elastischen Reifenfeder im wesentlichen von der Anfahrgeschwindigkeit abhängt.

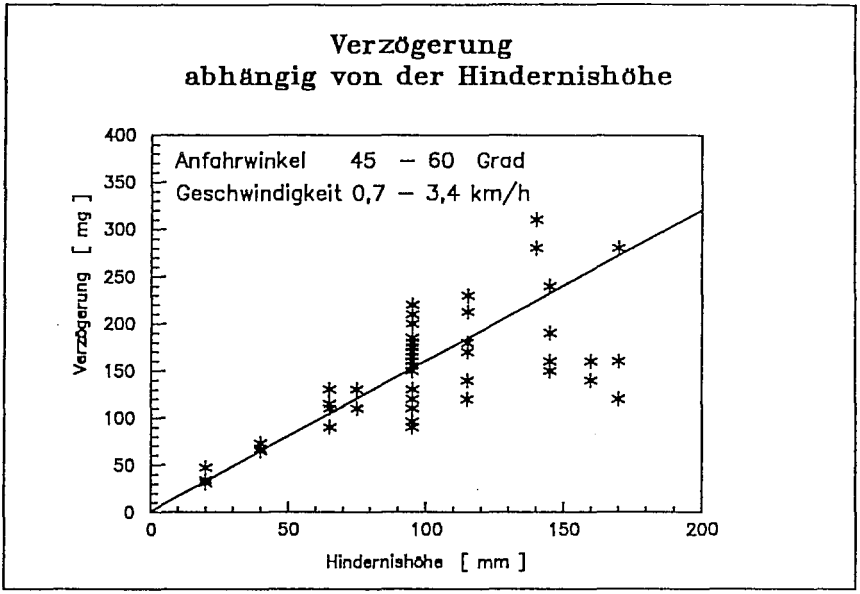


Bild 6.6 Verzögerungen bei Bordsteinkontakten

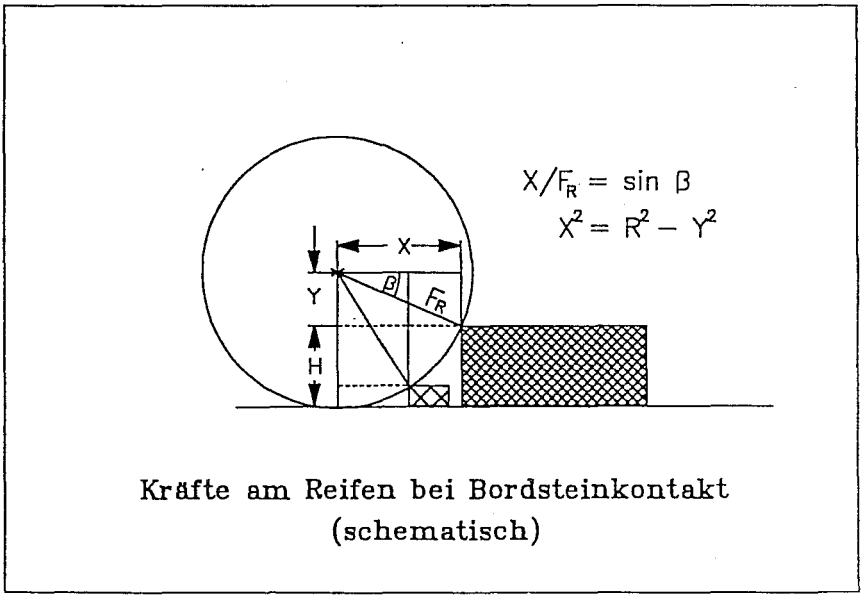


Bild 6.7 Geometrie beim Reifen/Bordstein-Kontakt

Bei einer auf die Geschwindigkeit normierten Darstellung der Verzögerung reduziert sich das Streufeld deutlich, Bild 6.8. Während bis 100 mm Bordsteinhöhe eine lineare Abhängigkeit besteht, fällt auf, daß etwa ab der Höhe des halben dynamischen Radhalbmessers (für das Versuchsfahrzeug 120 mm) nahezu kein weiterer Anstieg erfolgt.

Der Einfluß des Anfahrwinkels zwischen Reifen und Bordstein ist im Bild 6.9 zu erkennen. Im Bereich zwischen 45 und 90° zeigt sich eine klare Abhängigkeit vom Sinus des Anfahrwinkels. Der Bereich unterhalb 45° wurde in dieser Studie nicht behandelt. Die im Rahmen der Dissertation Welther [128] gefahrenen Randsteinkollisionen mit Anstoßwinkeln unter 10° lassen jedoch erwarten, daß bei sehr kleinen Anfahrwinkeln durch Klemm- und Reibeffekte über dem Sinusverlauf liegende Verzögerungen zu erwarten sind.

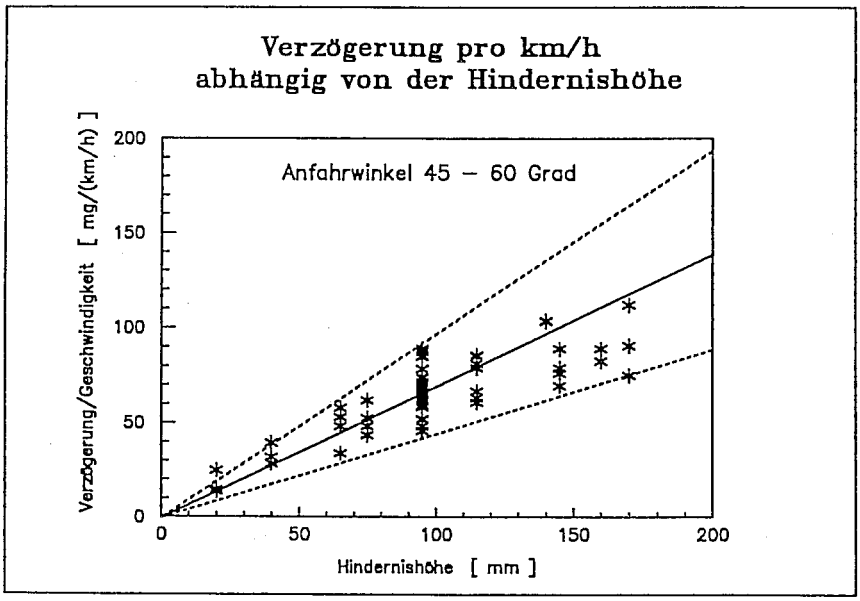


Bild 6.8 Einfluß der Hindernishöhe

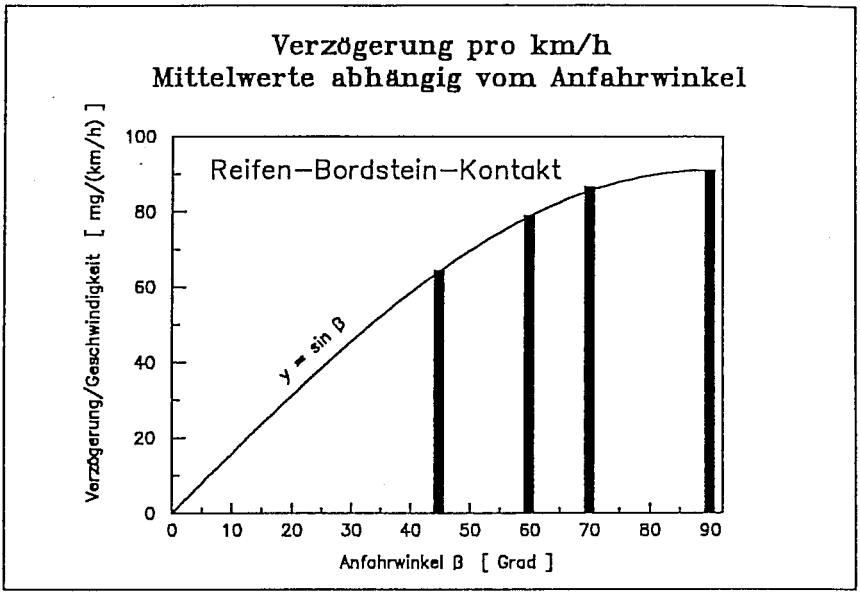


Bild 6.9 Einfluß des Anfahrwinkels

Während die Verwendung eines anderen Versuchsfahrzeugs (BMW 525i) sowie unterschiedliche Reifenfabrikate keine wesentlichen Abweichungen aus dem normalen Streubereich erkennen ließen, wirkte sich eine Massenerhöhung des Einzelfahrzeugs direkt auf den Verzögerungswert aus. Durch eine Gewichtserhöhung von 30% (Zuladung von 4 Personen im VW-Passat) reduzierte sich die Fahrzeugverzögerung um 27%.

Die Fahrzeugverzögerung zeigte weiterhin eine klare Abhängigkeit vom Reifenluftdruck, jedoch kann der Einfluß üblicher Luftdruckschwankungen als unbedeutend angesehen werden. Eine Luftdruckabsenkung des Standardwertes von 1,8 bar auf 1,4 bar (- 22%) zeigte keine abweichenden Resultate. Erst bei 1,0 bar (- 44%) sank auch die Fahrzeugverzögerung um 18%. Stärker wirkte sich eine Erhöhung des Reifenluftdrucks aus: Eine Steigerung um 0,4 bar (22%) erhöhte die Fahrzeugverzögerung um 19,5%, eine Luftdrucksteigerung um 0,8 bar (44%) führte zu 35,5% höheren Meßwerten.

Unterschiedliche Anstoßpunkte (Vorderrad, Hinterrad) sowie verschiedene Fahrtrichtungen (vorwärts, rückwärts) ließen in Abhängigkeit von der konstruktiven Gestaltung der Radaufhängung Unterschiede im Verzögerungssignal erkennen. Eine charakteristische Änderung zeigte sich in der Steigung des Verzögerungssignals, die bei vorwärts gerichtetem Anstoß deutlich größer war als in Rückwärtsfahrt. Dadurch entstand der Eindruck eines härteren Anstoßes. Die Maximalwerte lagen jedoch innerhalb der gleichen Bandbreite.

Die beim Reifen/Bordstein-Kontakt entstehenden Fahrzeugverzögerungen lassen sich mit der Formel

$$a = K \cdot v \cdot H \cdot \sin \beta \qquad (6.1)$$

abschätzen. Der Faktor K wurde aus den Versuchen mit 90°-Anstoß empirisch ermittelt und beträgt 0,9. Die Verzögerung ergibt sich in mg, wenn die Hindernishöhe H in mm und Anfahrgeschwindigkeit v in km/h eingesetzt wird.
Der Vergleich dieser Rechnung mit den Meßwerten liefert eine mittlere Abweichung von 2,9% bei ausgekuppelt rollendem Fahrzeug und Anstoßwinkeln über 40°. Bei einer Standardabweichung von s=17,9 lagen die am stärksten abweichenden Einzelwerte bei - 49 bzw. +43,8%.
Wirken während des Bordsteinkontakts zusätzliche Antriebskräfte, die naturgemäß vom Fahrer über Gaspedal und Kupplung in einem weiten Bereich variiert werden können, so liegt die erreichte Fahrzeugverzögerung im Mittel (92 Versuche) um 32% niedriger.

Reifen/Bordstein-Kontakte können nach den vorliegenden Ergebnissen zweifelsfrei Fahrzeugverzögerungen in einer Höhe erzeugen, wie sie auch bei leichten Kollisionen mit anderen Fahrzeugen auftreten. Ein Vergleich der Signalcharakteristiken zeigt jedoch im Zeitverhalten deutliche Unterschiede. Während das Verzögerungssignal bei Bordsteinkontakten einen nahezu halbkreisförmigen Impuls darstellt, Bild 6.10 ergeben sich aus Pkw/Pkw-Kollisionen eher sinusförmige bis dreieckige Verzögerungsimpulse, Bild 6.11.

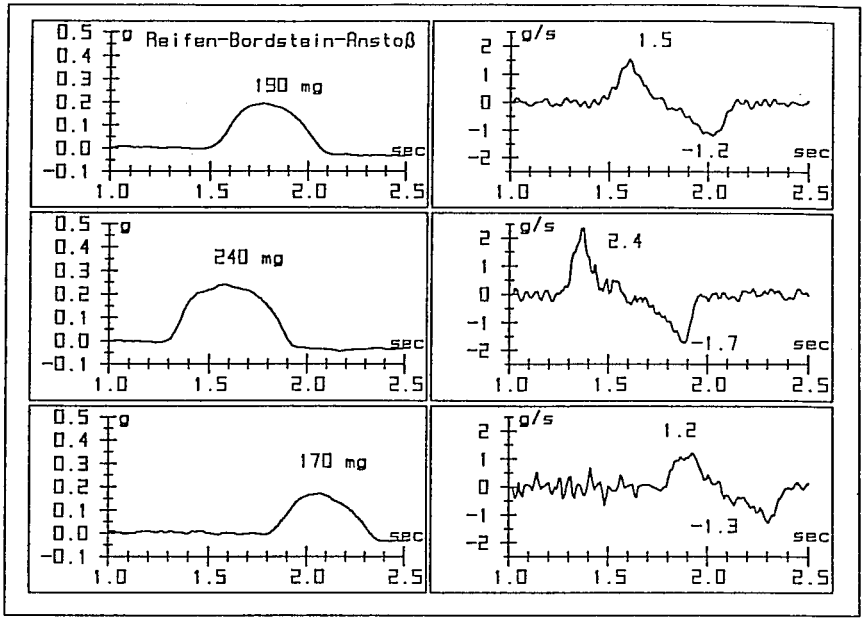


Bild 6.10 Verzögerung und Ruck - Bordsteinkontakt

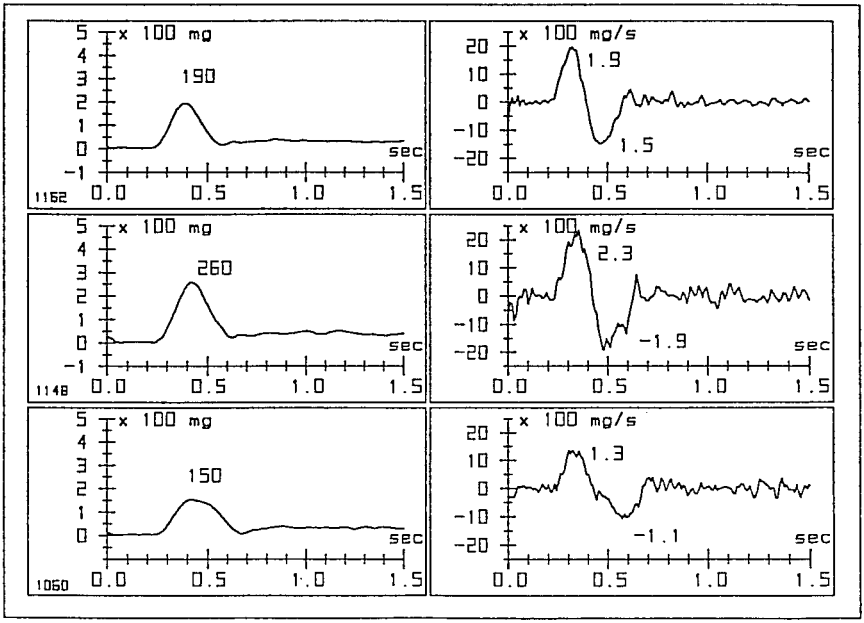


Bild 6.11 Verzögerung und Ruck - Kollision

Dies gilt in jedem Fall für Kollisionen mit Beschädigung des Gegners und wahrnehmbaren Anstoßverzögerungen. Sehr deutlich wird der Unterschied in der Zeitstruktur bei Betrachtung des differenzierten Signals, also des Rucks. Während die absoluten Amplituden das gleiche Niveau erreichen, ist der Zeitabstand zwischen positivem und negativem Maximum bei Bordsteinkontakten etwa doppelt so lang wie während der Kollision. Darüberhinaus kommt das stoßende Fahrzeug bei einer Pkw/Pkw-Kollision praktisch zum Stillstand, während die vollelastische Reifenfeder eine Rückwärtsbewegung des Wagens nach Erreichen des Verzögerungsmaximums bewirkt. Dies bedeutet, daß die Geschwindigkeitsänderung bei gleicher Kontaktverzögerung durch einen Reifen/Bordstein-Anstoß etwa doppelt so hoch ist wie bei einer Pkw/Pkw-Kollision. Die entstehende Rückwärtsfahrt und die im deutlichen Zeitabstand liegenden Verzögerungsflanken liefern damit dem Kraftfahrzeugfahrer eine zuverlässige Basis, um Reifenkontakte von Karosseriekollisionen zu unterscheiden.

Für eine bestimmte Auswahl von Kollisionen trifft diese Bewertung jedoch nicht zu. Vollelastische Pkw/Pkw-Stöße können ein gleichartiges Signalverhalten aufweisen wie Bordsteinkontakte, Bild 6.12. Derartige Kollisionen sind jedoch für die Praxis ohne Bedeutung, da sie aufgrund ihrer geringen maximalen Verzögerungen nicht wahrgenommen werden müssen und wegen der vollelastischen Rückverformung keine bleibenden Schäden am Gegner hinterlassen.
Einen Sonderfall bilden Stöße mit hohem elastischen Anteil und dennoch sichtbarer bleibender Deformation. Diese seltene Kombination wurde bei zwei Anstößen von vorn an die hintere Kante des Radausschnitts ermittelt, Nr. 1143 u. 1154 in Bild 6.13.
Ein weiterer Einzelfall (Nr. 1160) mit sehr hohem elastischen Verformungsanteil beim Anstoß gegen die Türmitte tendiert in seinem Signalcharakter schon eher zu den kollisionstypischen Formen. Auch diese drei Fälle liegen bei Anwendung des BRK unterhalb der sicher wahrnehmbaren Verzögerung.

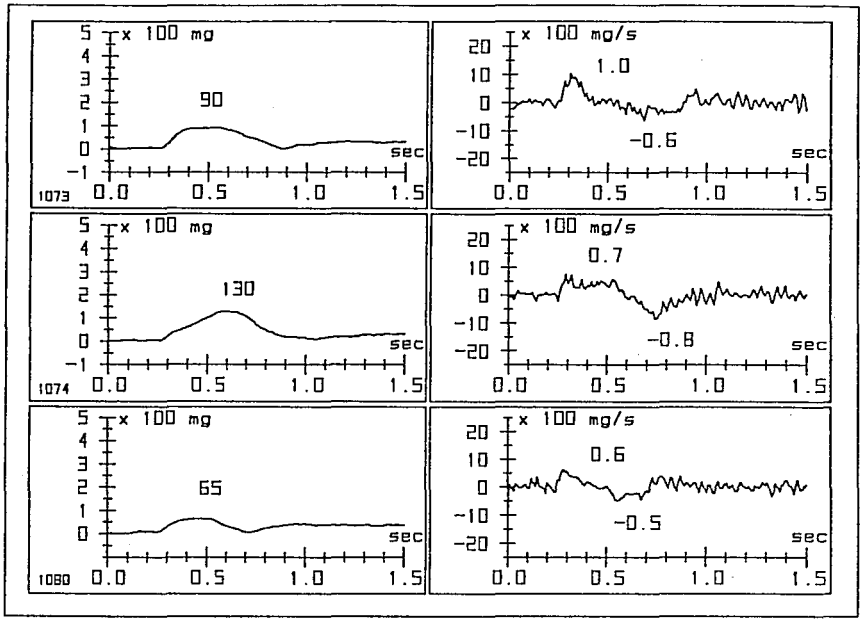


Bild 6.12 Häufige Vergleichskollisionen ohne Schaden

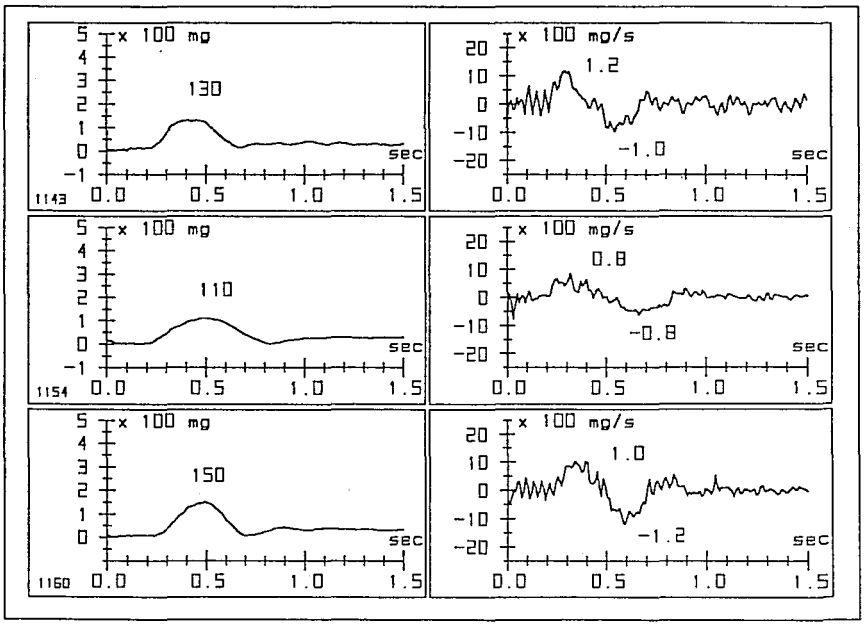


Bild 6.13 Seltene Vergleichskollisionen mit Schaden

6.3 Bremsmanöver

Durch die Betätigung der Betriebsbremse können Verzögerungen erreicht werden, die mit Werten bis ca. 800 mg den Bereich leichter Kollisionen nicht nur überdecken, sondern in den meisten Fällen überschreiten. Zumindest hinsichtlich der resultierenden Fahrzeugverzögerung können Verdeckungserscheinungen und Verwechslungsmöglichkeiten gegenüber leichten Kollisionen nicht von vornherein ausgeschlossen werden. Bremsmanöver bei Rangiervorgängen verdienen daher besondere Beachtung.

Normale Bremsmanöver, bei denen die Bremsverzögerung ohne äußeren Zwang vom Fahrer frei gewählt wird, liefern in der Mehrzahl Werte zwischen 200 und 400 mg. Höhere Verzögerungen werden allgemein als unangenehm empfunden und daher nur bei entsprechender Notwendigkeit erzeugt.

Die Auswertung verschiedener Bremsungen vor einer roten Verkehrsampel läßt eine hohe Reproduzierbarkeit gleicher Bremsvorgänge bei erfahrenen Kraftfahrern erkennen. Bild 6.14 zeigt zwei normale Abbremsungen ohne äußere Beeinflussung, die mit 320 und 330 mg eine bis auf 10 mg identische Abbremsverzögerung ergaben. Noch überraschender ist das Ergebnis des Zeitverlaufs: In beiden Fällen wurde exakt das gleiche Anstiegsmaximum von 170 mg/s erzeugt.

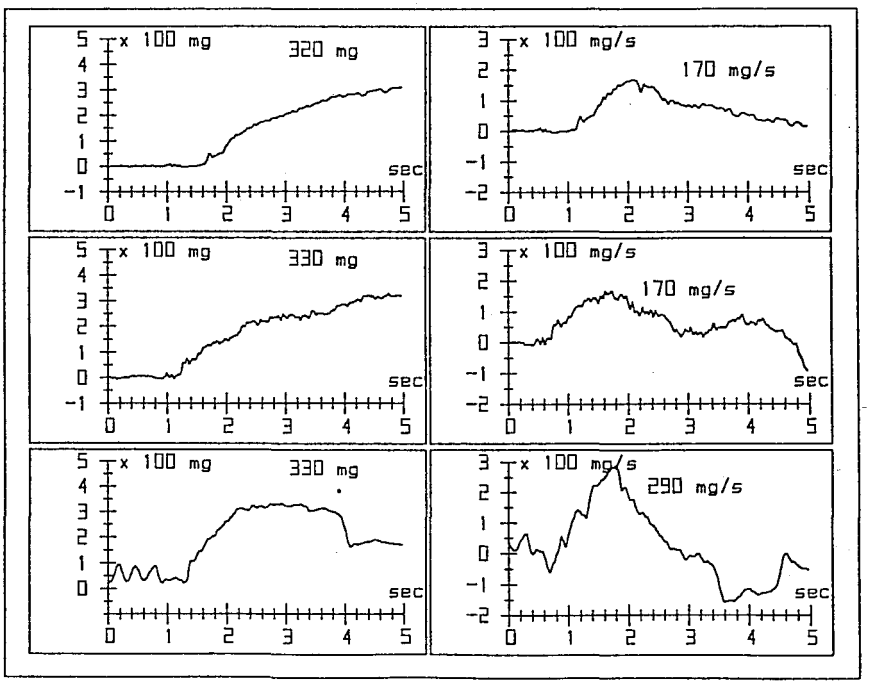


Bild 6.14 Bremsverzögerungen und Bremsruck

Der dritte Kurvenverlauf stellt eine Bremsung unter gleichen Voraussetzungen dar, bei dem die Abbremsung jedoch zügiger erfolgen sollte. Diese Aufgabe erfüllte der Fahrer nicht durch die Erzeugung einer höheren Bremsverzögerung, sondern durch eine stärkere Pedalbetätigung in der Anfangsphase. Dies hatte zur Folge, daß wiederum der gleiche Verzögerungswert von 330 mg aufgebaut wurde, diesmal jedoch mit einer Anstiegsflanke von 290 mg/s, also einem um 70% steileren Anstieg.
Diese hohe Präzision bei der Wiederholung berechtigt zu der Annahme, daß eine die Bremsung überlagernde Kollision oberhalb der Wahrnehmbarkeitsgrenze - die zu einer um mindestens 50% erhöhten Verzögerung führt - damit jedem geübten Fahrer eine klare Information über den Anstoß liefert. Eine andere Bewertung wäre lediglich bei Fahranfängern oder bei Fahrzeugen mit offensichtlichen Bremsendefekten, die eine Dosierung nicht zulassen, zu erwarten.
Notbremsungen können im Gegensatz zu normalen Abbremsungen in ihrer Signalcharakteristik durchaus Pkw/Pkw-Kollisionen größerer Heftigkeit ähneln, Bild 6.15.

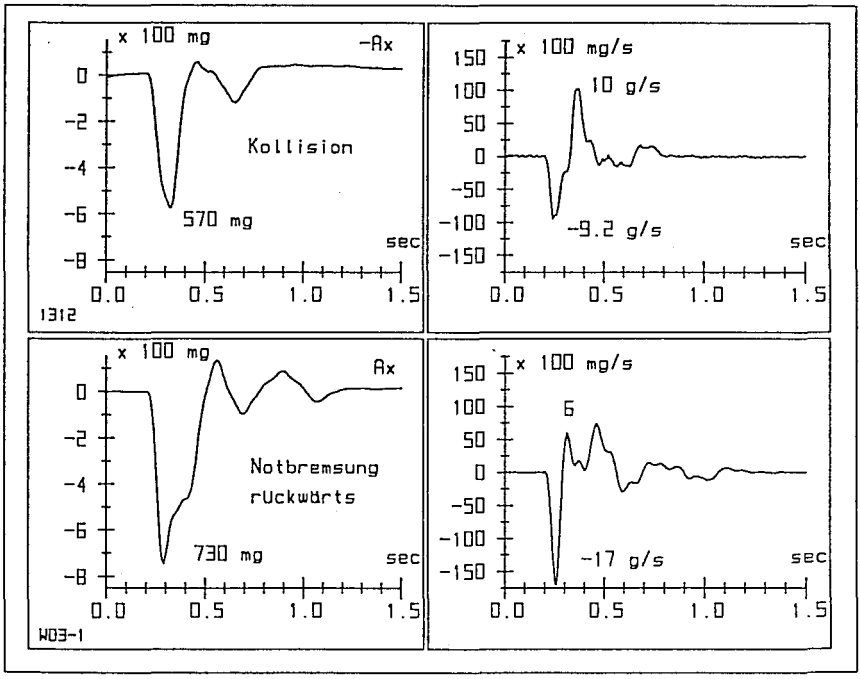


Bild 6.15 Vergleich Notbremsung - Kollision

Die hier dargestellten Verzögerungskomponenten in X-Richtung sind kaum zu unterscheiden, die rückwärts ausgeführte Notbremsung zeigt sogar eine fast doppelt so hohe Anstiegsflanke wie die Kollision. Dennoch bietet sich eine klare Unterscheidungsmöglichkeit zwischen beiden Situationen an, da die Kollision - ein Anprall gegen die hintere Fahrzeugecke - von massiven Y-Rotationen begleitet war. Darüberhinaus ist die Signalähnlichkeit nur bei einer Notbremsung gegeben, für die ein Grund vorgelegen haben muß. Aus juristischer Sicht darf daher der Vorwurf des bedingten Vorsatzes angenommen werden, wenn sich der Kraftfahrer nach einer derartigen Situation von der Unfallstelle entfernt, ohne sich über die genaue Lage vergewissert zu haben.
Fällt eine Notbremsung mit einer mittelstarken Kollision direkt zusammen, Bild 6.16 so kommt es zu einer direkten Addition der Signale und zu einem verstärkten Beschleunigungsanstieg. Die ca. 50%ige Erhöhung beider Werte läßt keinen Raum für etwaige Verwechslungen.

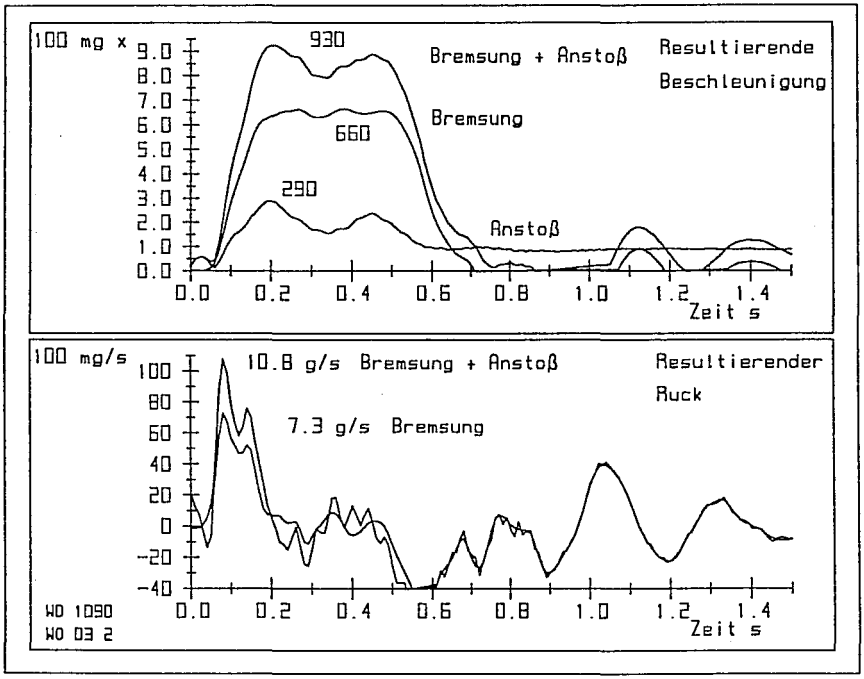


Bild 6.16 Überlagerung von Kollision und Bremsung, zeitgleich

Folgt die Kollision dagegen erst mit einem Zeitversatz, jedoch noch innerhalb des Beschleunigungssignals der Notbremsung, so ergibt sich ein völlig anderes Signalverhalten, Bild 6.17. Der Ruck bleibt nahezu unverändert und liefert keinen konkreten Hinweis auf den Anstoß. Die maximale Verzögerung steigt von 660 auf 860 mg, jedoch liegen beide Werte im Bereich möglicher Bremsverzögerungen bei voller Betätigung des Bremspedals. Die zu erwartende maximale Bremsverzögerung während einer kurzen Notbremsung ist auch bei Kenntnis des Fahrbahnzustandes von einem normalen Kraftfahrer kaum genau abzuschätzen. Der für sich allein klar wahrnehmbare Anstoß (unter 45° gegen das Rücklicht mit Glasbruch) wurde nur von mäßigen Rotationsschwingungen begleitet und könnte daher durch die Notbremsung nicht widerlegbar verdeckt werden. Für die juristische Bewertung gilt jedoch auch in diesem Fall, daß eine Notbremsung kaum grundlos ausgeführt wird und sich der Kraftfahrer daher davon überzeugen muß, ob tatsächlich keine Berührung mit dem gegnerischen Fahrzeug stattgefunden hat. Im Gegensatz dazu kann ein Beifahrer, der die Aktivitäten des Fahrers nicht beobachtet hat, nicht unbedingt auf die Ursache der Verzögerung schließen.

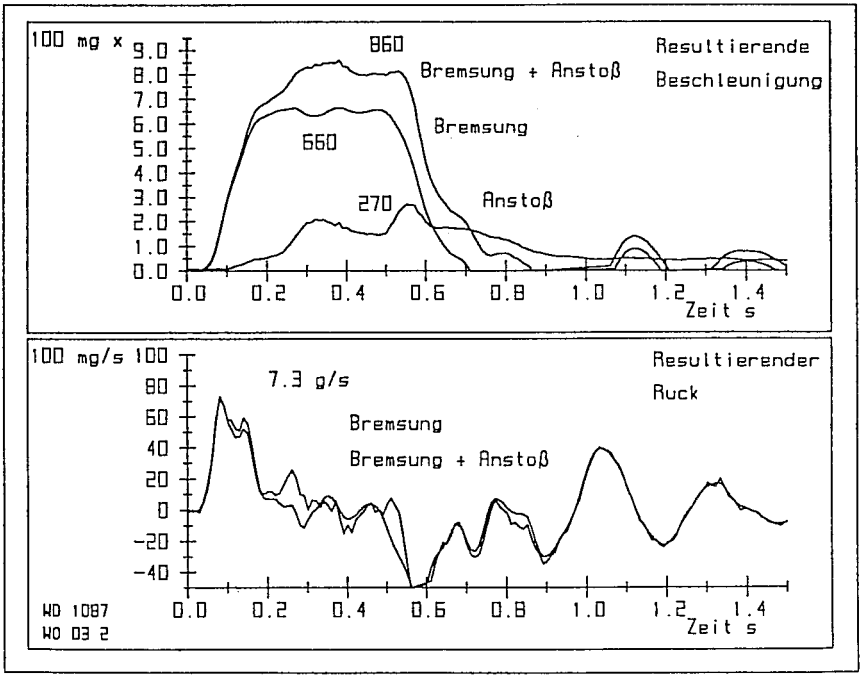


Bild 6.17 Überlagerung von Kollision und Bremsung, versetzt

Die wesentlichen Unterschiede zwischen Kollision, Reifen/Bordstein-Anstoß und Rangierbremsung sind in den Bildern 6.18 und 6.19 zu erkennen. Die Kollision ist dadurch gekennzeichnet, daß eine halbsinusähnliche Fahrzeugverzögerung auftritt, deren Flanken einen kurzen Zeitabstand (ca. 200 ms) aufweisen. Die Geschwindigkeitsänderung erfolgt dergestalt, daß nach Stillstand am Gegner nahezu kein Rückprall entsteht. Das Verzögerungssignal beim Reifen/Bordstein-Anstoß weist bei gleicher Maximalamplitude eine wesentlich größere Fläche auf, die eine stärkere Geschwindigkeitsänderung bedingt. Es kommt zu einem elastischen Rückprall in der zweiten Stoßphase. Der Zeitabstand der Anstiegs- und Abstiegsflanken liegt mit etwa 400 ms rund doppelt soweit auseinander wie bei der vergleichbaren Kollision. Die Rangierbremsung ist vor allem dadurch gekennzeichnet, daß das Verzögerungssignal längere Zeit auf einem konstanten Niveau bleibt. Der Anstiegsflanke folgt daher keine ausgeprägte negative Steigung. Die Abbremsung bleibt nahezu konstant bis zum Stillstand, wodurch wegen der längeren Signaldauer eine wesentlich größere Geschwindigkeit abgebaut wird als bei Anstoßvorgängen.

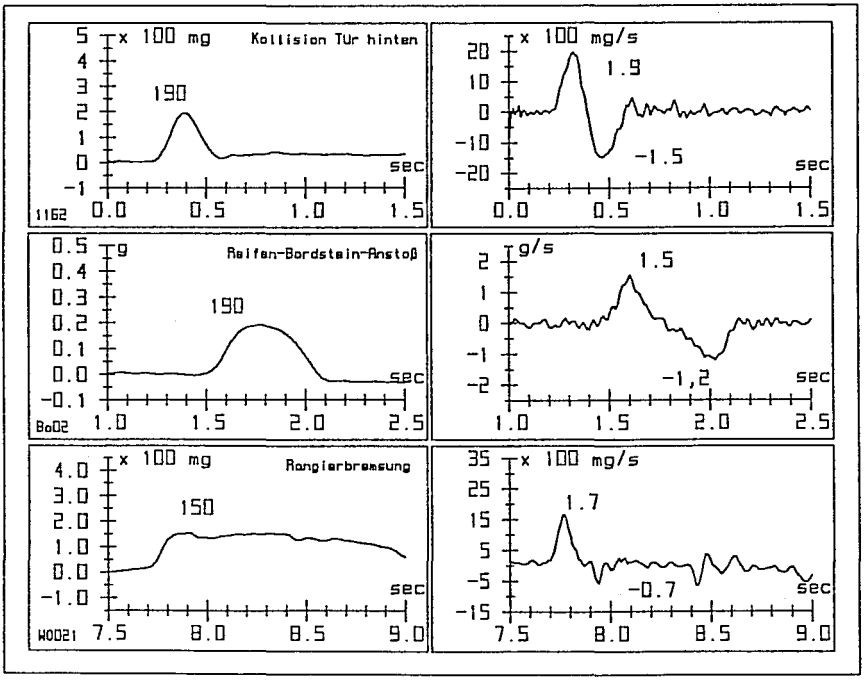


Bild 6.18 Vergleich Verzögerung und Ruck

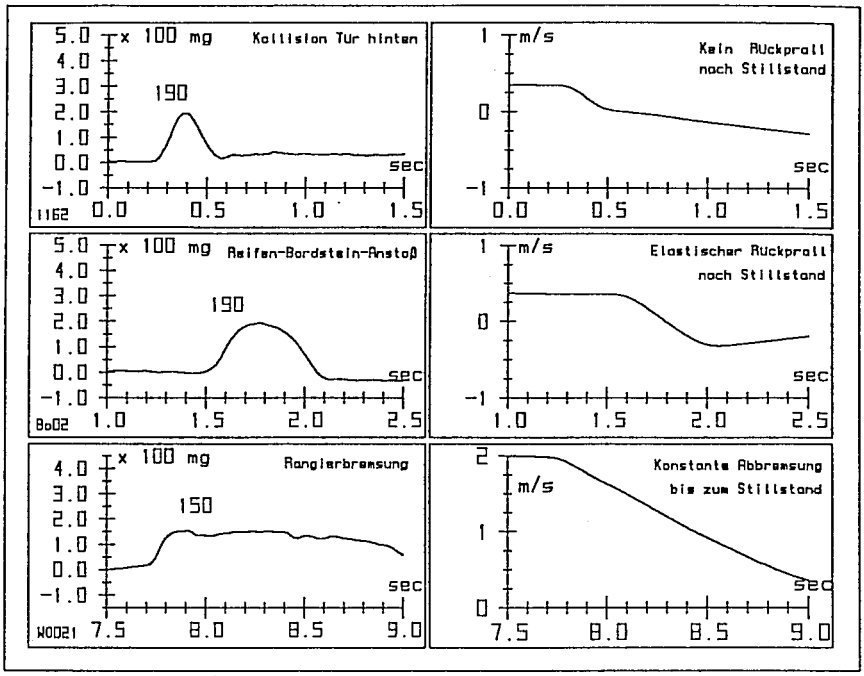


Bild 6.19 Vergleich Verzögerung und Geschwindigkeit

7. Kraftübertragung zwischen Personenkraftwagen

7.1 Quasistatische Druckkräfte

Findet der Besitzer eines geparkten Kraftfahrzeugs an seinem Wagen eine Deformation vor, so wird allgemein zurückgeschlossen, daß eine Kollision stattgefunden hat. Wenngleich diese Vermutung in den meisten Fällen stimmen dürfte, so muß sie jedoch nicht in jedem Fall zutreffen.
Eine Beule im Karosserieblech entsteht durch die Einwirkung einer Kraft. Diese Kraft kann durch eine dynamische Kollision, also beim Aufprall eines bewegten Fahrzeugs entstanden sein, wobei in diesem gemäß der Beziehung $F = k \cdot m \cdot a$ entsprechende Verzögerungen aufgetreten sind. Da jedes Kraftfahrzeug jedoch über eine integrierte Kraftquelle - den Motor - verfügt, kann es auch allein über die Antriebskräfte Kontaktkräfte auf feste Hindernisse oder geparkte Fahrzeuge übertragen, ohne daß dynamische Massenkräfte zusätzlich im Spiel sein müssen. Diese Situation ist dann vorstellbar, wenn die gegnerischen Pkw bei Beginn eines Rangiervorganges nur einen Abstand von wenigen Millimetern haben. Speziell bei Automatik-Fahrzeugen ist durch die Kriechneigung bei nicht oder unzureichend betätigter Bremse eine derartige Ausgangssituation vorstellbar. Aus diesem Grunde wurden an fünf unterschiedlichen Pkw mit Getriebeautomatik die Kräfte gemessen, die in Abhängigkeit von der Motordrehzahl auf ein festes Hindernis übertragen werden können. Zur Untersuchung standen die Typen

Audi 80 1,8 S	(66 KW)
Mercedes Benz W 126 Turbo-Diesel	(105 KW)
Opel Ascona 1,6 D	(44 KW)
Opel Vectra 2,0 i	(85 KW)
VW Käfer 1500	(33 KW)

zur Verfügung. Es wurde die Kraftübertragung auf eine an der Wand befestigte einachsiale Kraftmeßdose bei allen zur Verfügung stehenden Fahrstufen untersucht. Die Meßwerte sind in Bild 7.1 dargestellt.
Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Bei Leerlaufdrehzahl übten die Fahrzeuge 500 bis 1100 N im Vorwärtsgang und 400 bis 1600 N im Rückwärtsgang auf das feste Hindernis aus.
2. Bei Vollgas bis zur Festbremsdrehzahl wurden Kräfte zwischen 4200 und 6800 N (vorwärts) bzw. 3200 bis 9000 N (rückwärts) gemessen.

3. Die Motorleistung ist für die verfügbaren Kräfte nicht maßgebend. Entscheidend dürften die Charakteristik des Drehmomentenwandlers sowie die Antriebsübersetzungen sein. Technische Unterlagen hierüber stehen dem Sachverständigen jedoch nicht zur Verfügung.
4. Im Rückwärtsgang wurden mehrheitlich höhere Kräfte gemessen als in der Vorwärtsfahrstufe. Dies steht in Einklang mit der meist stärkeren Übersetzung im Rückwärtsgang.

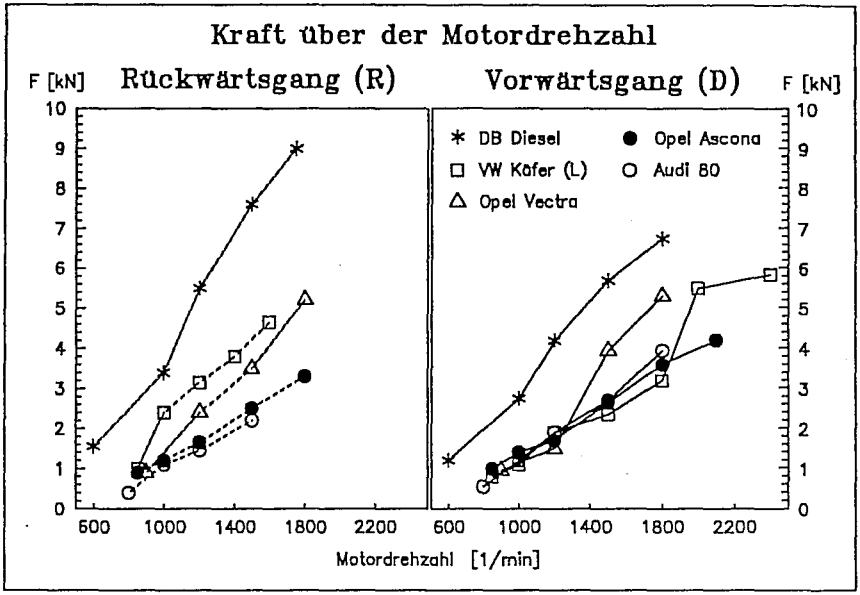


Bild 7.1 Druckkräfte von Automatikfahrzeugen

Die Messungen machen deutlich, daß bereits bei Leerlaufdrehzahl durch reines Drücken weiche Karosserieteile des Gegners erheblich beschädigt werden können. Bei einer etwas erhöhten Drehzahl von 1300 Umdrehungen sind Druckkräfte im Bereich von 1 bis 3 kN bei Mittelklasse-Fahrzeugen zu erwarten. Nur 30 % der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Kollisionsversuche erzeugten höhere Kräfte. Selbst an relativ harten Fahrzeugstellen (z.B. im Bereich der B-Säule) sind unter statischer Belastung in der genannten Größenordnung leichte Deformationen möglich.

Insbesondere bei Fahrzeugen mit Getriebeautomatik ist bei der Beurteilung konkreter Unfälle - unter der Voraussetzung geeigneter räumlicher und sonstiger Parameter - die Möglichkeit einer quasistatischen Kraftübertragung auf den Unfallgegner in Erwägung zu ziehen.

7.2 Fahrzeugwiderstände in Längsrichtung

Bei den üblichen Parkpositionen parallel zur Bordsteinkante stehen sich die gegnerischen Fahrzeuge mit ihren Stoßstangen gegenüber. Eine dynamische Kollision, die Schäden hervorruft, kann beim Kontakt dieser sehr stabilen Fahrzeugteile fast immer in den Bereich der klaren Wahrnehmbarkeit eingeordnet werden. Auch in dieser Konstellation sind jedoch quasistatische Kraftübertragungen möglich. In der großen Mehrzahl der Fälle wird es hierbei zu keinen Schäden kommen, da die Stoßfänger die Kräfte aufnehmen. Am Beispiel des untersuchten Audi 80 zeigte sich jedoch, daß der Stoßfänger in Wagenmitte sehr weich nachgab und Beschädigungen der darüberliegenden Karosseriebleche vor Erreichen der Festbremsdrehzahl möglich waren.
Da Fahrzeuge, die von einem anderen in Wagenlängsrichtung geschoben werden, die Tendenz zum Wegrollen aufweisen und Unfallzeugen entsprechende Bewegungen des gestoßenen Fahrzeugs gelegentlich angeben, wurde an dem Versuchsfahrzeug VW-Passat exemplarisch ermittelt, wie sich der Einfluß von angezogener Handbremse und/oder eingelegtem Gang auf die Wegrolleigenschaften auswirkt. Da bei dem Frontantriebsfahrzeug die Handbremse auf die Hinterräder wirkte, wurden verschiedene Kombinationen berücksichtigt. Als schiebendes Fahrzeug kam der Opel Ascona 1,6 D Automatik zum Einsatz.

Die gemessenen Kräfte sind in Bild 7.2 zusammengefaßt. Die Angabe der Stoßstangenart bezieht sich nur auf das Versuchsfahrzeug VW-Passat. Der schiebende Opel Ascona war stets mit dem Originalkunststoff-Stoßfänger ausgerüstet.
Es wird deutlich, daß - entsprechend der Getriebeübersetzung - der erste und der Rückwärtsgang mit 1,9 bis 2,2 kN die größten Widerstände erzeugten.
Bis zum Erreichen der Maximalkraft erfuhr das drückende Fahrzeug nur sehr geringe Beschleunigungen im Bereich von 60...70 mg. Bei fortgesetztem Gasgeben setzte sich schließlich das gedrückte Fahrzeug ruckartig in Bewegung, wodurch es im weiteren Verlauf zu heftigen Schwingungen beider Fahrzeuge kam. Dies führte

zu Schwingungsamplituden von +/- 160 mg mit einzelnen höheren Spitzen bis über 400 mg (Gänge R/1/2). Bei eingelegtem Rückwärtsgang war eine Anschubkraft von 2,2 kN erforderlich, bei eingelegtem zweiten Gang setzte sich das Fahrzeug bereits bei 1,1...1,6 kN in Bewegung.

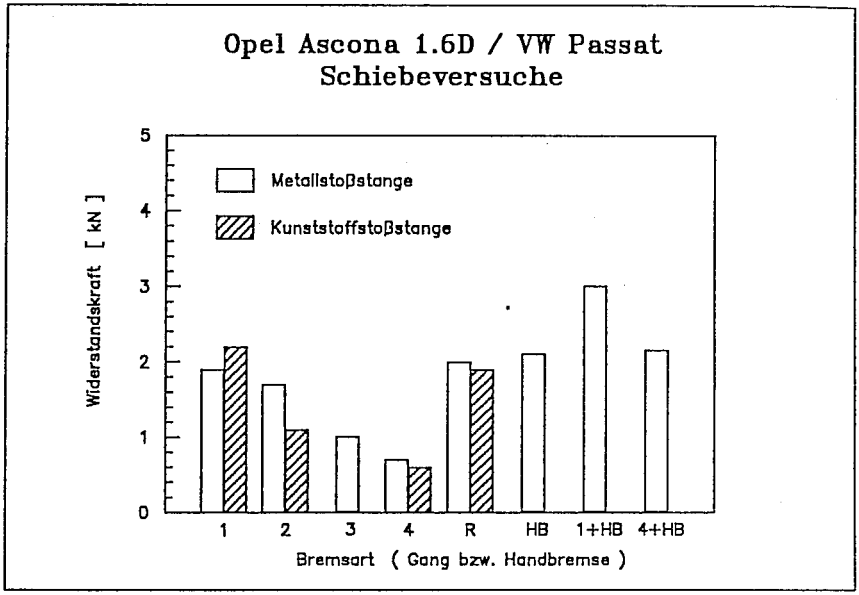


Bild 7.2 Fahrzeugwiderstände gegen Wegschieben

Auffällig ist, daß während des erstmaligen Nachgebens - wie auch beim Rückwärtsgang - noch keine hohen Beschleunigungen auftraten. Erst beim fortgesetzten Schieben über eine Wegstrecke von ca. 0,5 m kam es zu stark ausgeprägten, klar wahrnehmbaren Beschleunigungen, Bild 7.3. Während auch noch mit eingelegtem dritten Gang eine - wenn auch geringere - Schwingungstendenz auftrat, ließ sich das Fahrzeug im vierten Gang mit nur 0,7 kN und kaum wahrnehmbaren 35 mg problemlos verschieben, Bild 7.4.
Bei fest angezogener Handbremse und Getriebe im Leerlauf setzte der VW-Passat dem Gegner eine Widerstandskraft von 2 kN entgegen. Da es zu keinem ruckartigen

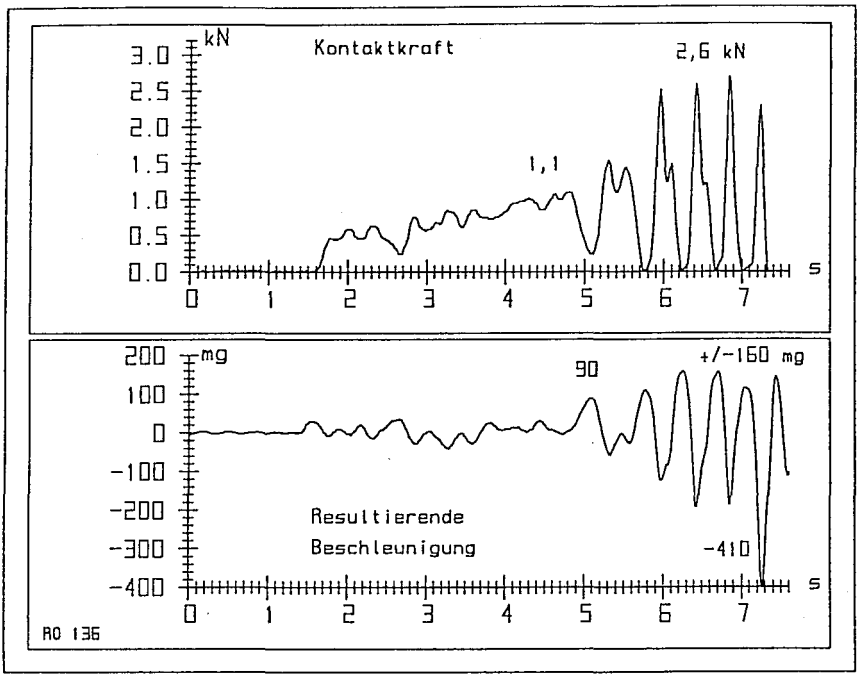


Bild 7.3 Schiebeversuch bei eingelegtem 2. Gang

Durchdrehen des Motors kam, ließ sich das Fahrzeug gleichmäßig und ohne Schwingungserscheinungen bewegen. Dies gilt auch bei zusätzlich eingelegtem vierten Gang, dessen Einfluß bei angezogener Handbremse völlig unterging. Wurde zusätzlich zur Handbremse der erste Gang eingelegt, so ergab sich der maximal mögliche Widerstand. Bei einer Druckkraft von 3 kN drehte ein Antriebsrad des Opel Ascona durch, so daß es nicht mehr gelang, den VW-Passat zu bewegen.
Im realen Unfallgeschehen kann nur selten davon ausgegangen werden, daß der Abstand zwischen beiden Fahrzeugen beim Lösen der Bremse tatsächlich gleich Null ist. Durch ergänzende Versuche wurde ermittelt, welche Kraft- und Beschleunigungsspitzen bei größerem Ausgangsabstand entstehen.
Bild 7.5 zeigt bereits bei 1 cm Abstand eine Kraftspitze von 1,2 kN und Verzögerungen des stoßenden Fahrzeugs um 70 mg. Beim Einsatz einer starren Stoßstange erhöhten sich die Werte um ca. 25%.

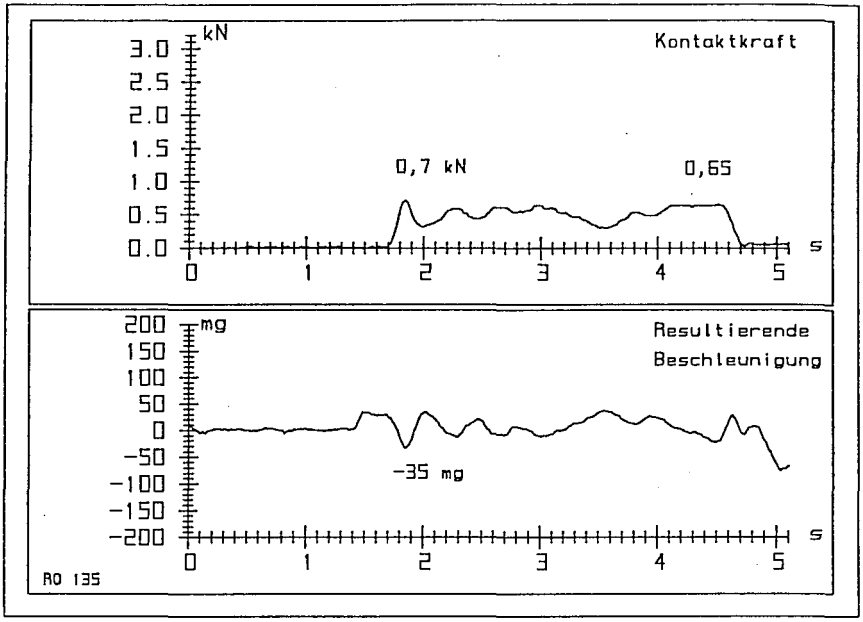


Bild 7.4 Schiebeversuch bei eingelegtem 4. Gang

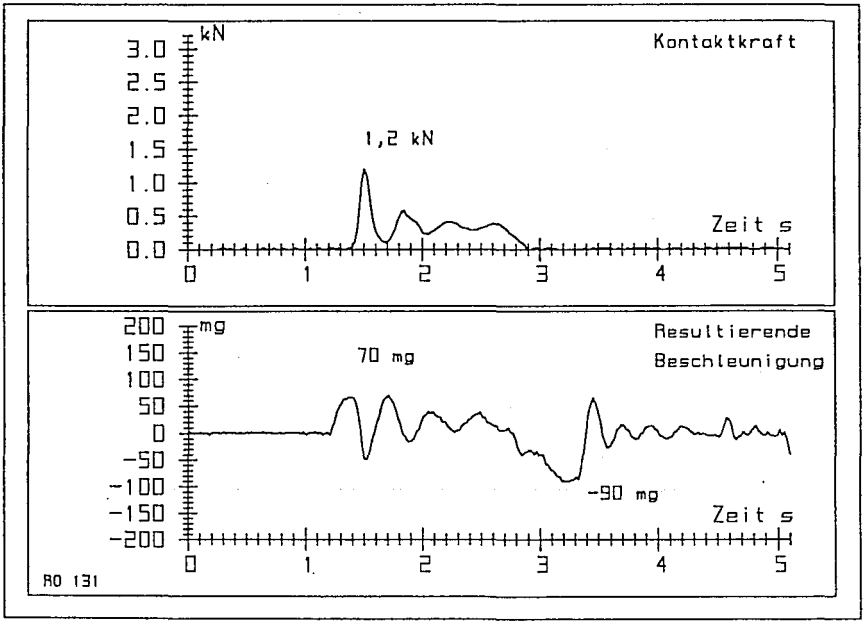


Bild 7.5 Anstoßimpuls bei 1 cm Abstand

Wesentlich höhere Spitzenwerte resultierten aus einem Anfangsabstand von 10 cm, Bild 7.6. Spitzenkräfte von 2,7 kN verbunden mit Verzögerungen von 170 mg und zwei weitere Schwingungsspitzen machten diesen Aufprall deutlich wahrnehmbar. Der Einfluß der starren Stoßstange war bei höherer Aufprallgeschwindigkeit größer, die Spitzenkraft betrug 4,1 kN. In allen Fällen setzte sich das Fahrzeug nach Lösen der Fußbremse mit Leerlaufdrehzahl in Fahrstufe D in Bewegung.

Nur bei sehr geringen Fahrzeugabständen im Bereich um 1...2 cm und beim Vorhandensein nachgiebiger Stoßfänger kann somit damit gerechnet werden, daß der Anstoß an das gegnerische Fahrzeug unbemerkt bleibt.

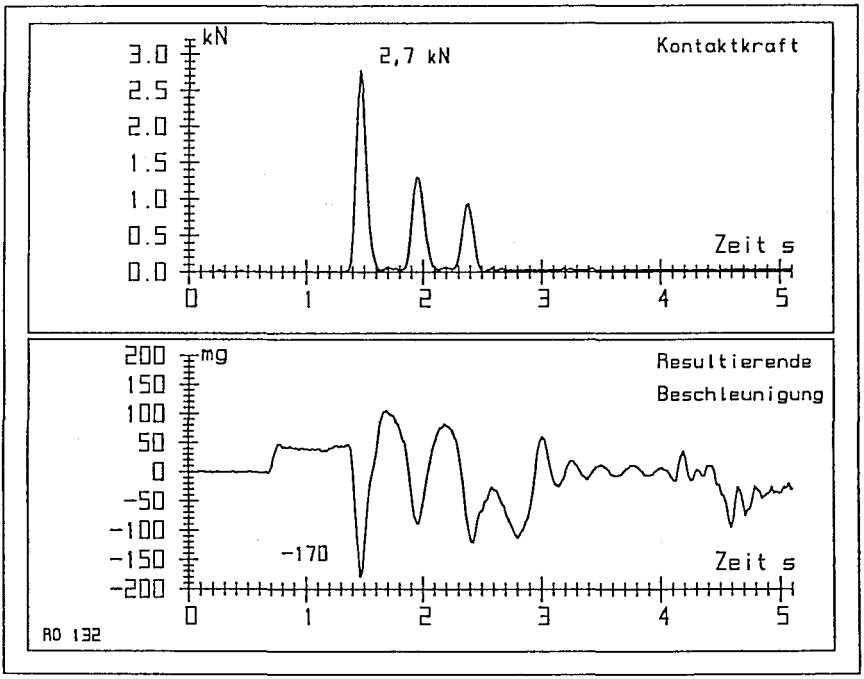


Bild 7.6 Anstoßimpuls bei 10 cm Abstand

8. Verformungsverhalten von Pkw-Karosserien

Das Deformationsverhalten der Karosseriepartien, die bei einer leichten Kollision in Mitleidenschaft gezogen werden, hat einen wesentlichen Einfluß auf die Wahrnehmbarkeit der Kollision durch den Unfallverursacher. Zur Erforschung der Zusammenhänge zwischen Anstoßkraft, Fahrzeugverzögerung im stoßenden und Schadenumfang am gegnerischen Fahrzeug wurden über 500 quasistatische und dynamische Kollisionsversuche an 15 Personenkraftwagen durchgeführt. Zur Sicherstellung gleicher Ausgangsbedingungen wurde die Auswertung im Rahmen dieser Arbeit auf 307 Versuche an fünf verschiedenen Pkw-Typen beschränkt.

8.1 Versuchsfahrzeuge

Als gestoßene Fahrzeuge wurden folgende Typen verwendet:

- BMW 728
- Daimler Benz 350 SE
- VW Golf
- Peugeot 504
- Renault 21

Mit Ausnahme von VW Golf und BMW waren die Blechstrukturen der Fahrzeugkarossen neuwertig. Positionen mit starken Rostschäden wurden im Versuchsprogramm entweder ausgelassen oder entsprechend dokumentiert.
Als stoßendes Fahrzeuge kam bei allen durchgeführten Versuchen ein VW Passat LS, Baujahr 1976 zum Einsatz. Das Fahrzeuggewicht betrug in versuchsfertigem Zustand ca. 920 kg. Zur Aufnahme einer Kraftmeßeinrichtung wurde die vordere Stoßstange durch ein massives L-Profil ersetzt, welches mit den serienmäßigen Stoßstangenhaltern an der Karosserie befestigt war. Eine zusätzliche Schubstrebe verhinderte die Torsion der Aufhängung bei höheren Anstoßpositionen.

8.2 Meßtechnik

8.2.1 Kraftmessung

Die vom stoßenden Fahrzeug auf den Kollisionspartner aufgebrachten Kräfte wurden mit Hilfe eines Dreikomponentendynamometers der Firma Kistler gemessen. Dieses ursprünglich zur Schnittkraftbestimmung an Werkzeugmaschinen entwickelte Meßgerät wurde mit der Stoßstangenecke eines Opel Manta (verchromtes Stahlprofil) versehen, Bild 8.1. Für die dominierende Belastungsrichtung (X-Richtung) stand ein Meßbereich von 20 kN zur Verfügung, in Y- und Z-Richtung waren Kraftmessungen bis zu 10 kN möglich. Für jede Meßrichtung kam ein eigener Ladungsverstärker zum Einsatz.
Zusätzlich wurde die Stoßstangenecke mit einer Gummileiste (Originalteil VW) versehen.

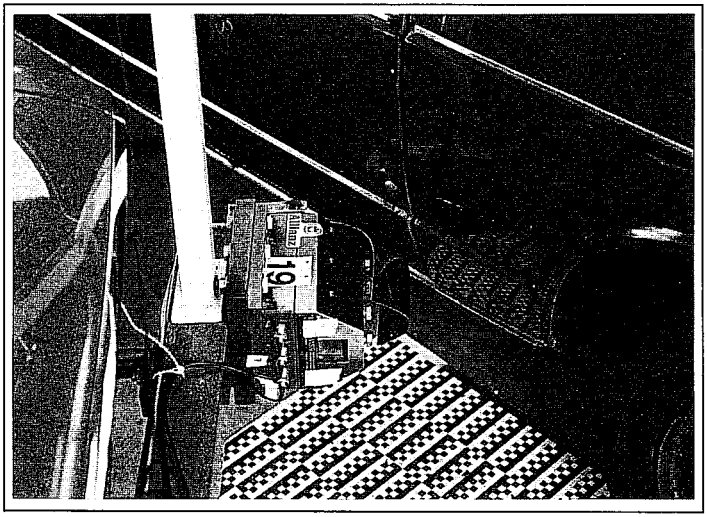


Bild 8.1 Kraftmeßdose mit Meßstoßstange

8.2.2 Beschleunigungsmessung

Die Beschleunigungsmessung des Versuchsfahrzeugs VW Passat erfolgte durch drei piezoresistive Beschleunigungsaufnehmer (Endevco 2262/25), die in einem Aluminiumblock als dreidimensionales Orthogonalsystem zusammengefaßt wurden. Der Aufnehmerblock wurde auf dem Mitteltunnel am Befestigungspunkt für das Fahrergurtschloß befestigt. Durch die Kalibrierung auf 10 V = 1 g war die Auflösung auch sehr kleiner Beschleunigungen möglich.
Für die Messung der Rotationsbeschleunigungen kamen pro Drehachse zwei piezoresistive Beschleunigungsaufnehmer (Endevco 7265A-HS, 20g) zum Einsatz, die in gleicher Höhe und gleichem Abstand vor sowie hinter dem Fahrer montiert wurden. Bild 8.2 zeigt den hinteren Aufnehmerblock für die Y- und Z-Komponente an der Trennwand zum Kofferraum.
Die Berechnung der Rotationsbeschleunigung erfolgte mit der Formel

$$Y_{ROT} = C \cdot (A_{Yvorn} - A_{Yhinten}) \quad [°/s^2] \qquad (8.1)$$

Aus den geometrischen Hebelverhältnissen der Aufnehmer in Einbaulage ergab sich eine Kalibrierung von 10 V = 292 °/s^2.

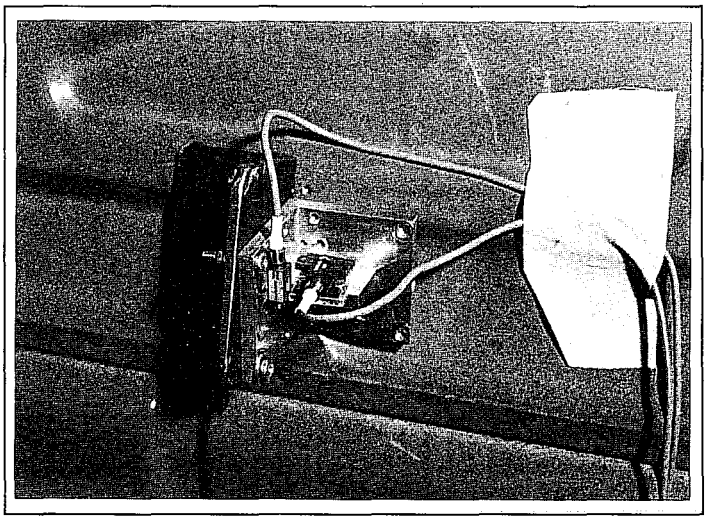


Bild 8.2 Meßaufnehmer für Rotationsbeschleunigungen

8.2.3 Geschwindigkeitsmessung

Zur Ermittlung der Geschwindigkeit unmittelbar vor der Kollision kam eine Videokamera zum Einsatz, die oberhalb der Kraftmeßdose am stoßenden Fahrzeug montiert war. Sie zeichnete die Bewegung der Stoßstangenecke über ein Meßraster auf, wodurch eine Geschwindigkeitsberechnung möglich wurde. Eine durch die Kraftmessung angesteuerte Leuchtanzeige signalisierte darüber hinaus den Stoßbeginn (Ansprechschwelle ca. 30 N). Dies erlaubte einerseits die Ermittlung der dynamischen Gesamtdeformation und andererseits eine Koordinierung der Filmaufzeichnung mit den Meßkurven.

8.2.4 Meßwerterfassung

Die für die Versorgung der Meßaufnehmer und zur Aufzeichnung der Meßwerte erforderlichen Geräte befanden sich außerhalb der Versuchsfahrzeuge in einem separaten Meßwagen. Die Datenerfassung erfolgte nach Tiefpaßfilterung (60 Hz) zunächst auf Magnetband, bei späteren Versuchen direkt in einem tragbaren Personalcomputer Toshiba T3200 mit Meßdatenerfassungskarte ISC16. Hochfrequentes Rauschen wurde durch nachträgliche Glättung mit der Methode des gleitenden Mittelwertes über +/- 3 Meßpunkte weitgehend eliminiert.

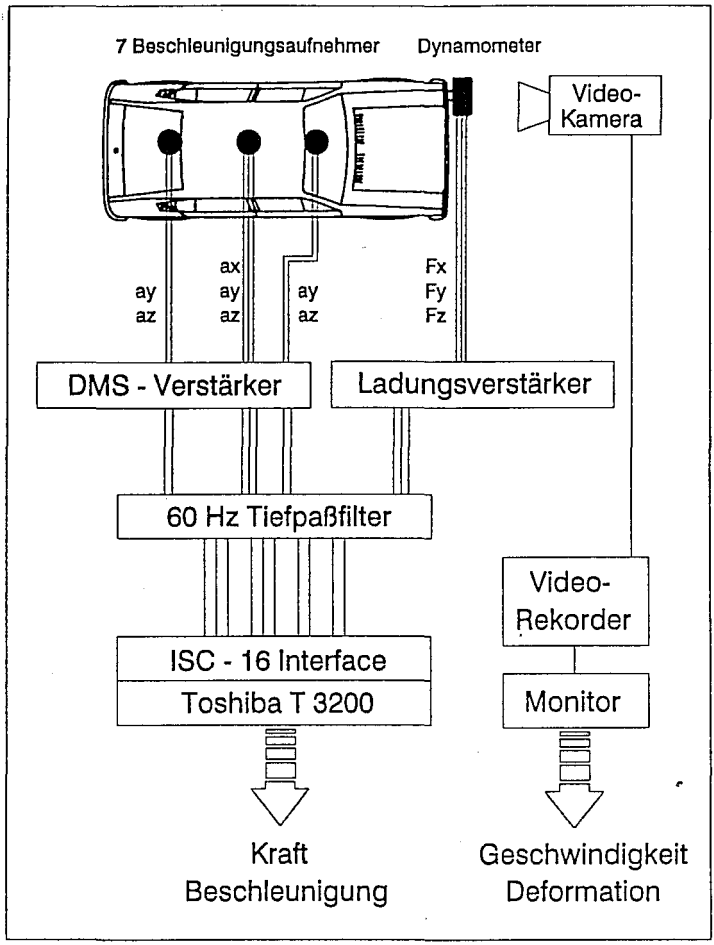


Bild 8.3 Blockdiagramm Meßdatenerfassung

8.3 Definition der Anstoßstellen am gestoßenen Fahrzeug

Zur eindeutigen Identifizierung und numerischen Auswertung wurden sämtliche Anstoßpositionen am gestoßenen Fahrzeug durch eine Ziffernkombination gekennzeichnet, die Position und Stoßrichtung eindeutig definiert. Das Ziffernschema hat das Format PP.R (z.B. 14.2). Die ersten beiden Zahlen kennzeichnen die Lage der Stoßstelle am Fahrzeug (z.B. Türspalt A-Säule), wobei die erste Ziffer zusätzlich den Karosserieabschnitt erkennen läßt:

0 = Front
1 = Seite vor B-Säule
2 = Seite hinter B-Säule
3 = Heck

Die Ziffer nach dem Punkt kennzeichnen die Richtung der Krafteinwirkung. Es bedeutet:

.1 = von vorn (an der Fahrzeugseite)
.2 = von hinten (an der Fahrzeugseite)
.3 = von der Mitte nach außen (an Front und Heck)
.4 = von außen zur Mitte (an Front und Heck)

Bild 8.4 gibt eine Übersicht über die Lage der Stoßpositionen.

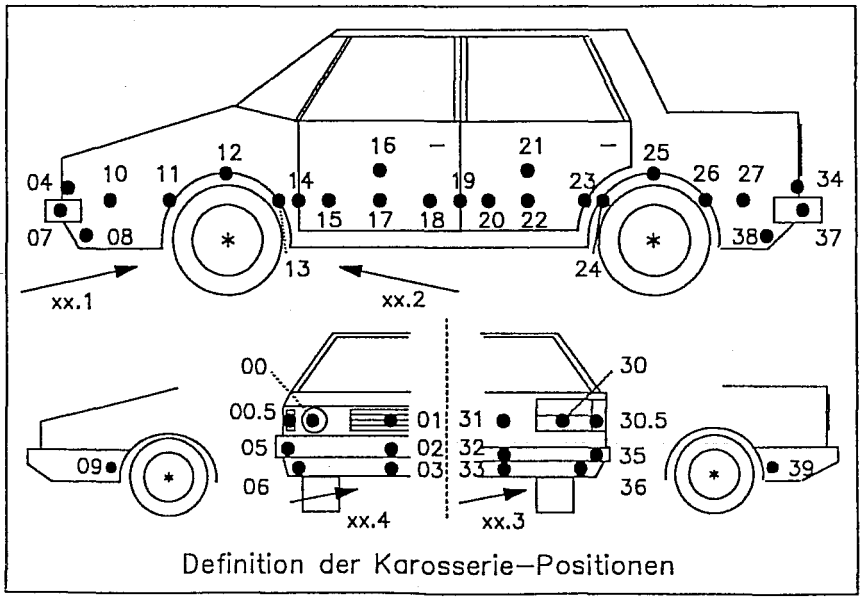


Bild 8.4 Lage der Anstoßpunkte

An den Positionen 04 und 34 befinden sich bei einigen Fahrzeugmodellen die Blinker. Um eine Unterscheidung zu Blechteilen zu ermöglichen, wurden hierfür die Positionen 0.5 und 30.5 eingeführt. Die Stoßrichtung wurde durch Addition der betreffenden Kennziffer kodiert (0.7: Blinker vorn, Anstoß von hinten).

8.4. Glasbruchverhalten von Scheinwerfern und Rückleuchten

Scheinwerfer und Rückleuchten bestehen aus Glas oder Kunststoff und unterscheiden sich dadurch in ihrem Verhalten bei einer Kollision deutlich von anderen Anstoßstellen im Bereich der aus Stahlblech gefertigten Karosserie. Der Bruch einer Beleuchtungseinrichtung wird in gutachtlichen Stellungnahmen nicht selten als besonderes Ereignis hinsichtlich der Wahrnehmbarkeit - vor allem im Hinblick auf die akustischen Begleiterscheinungen - bewertet.
Im Rahmen der vorliegenden Arbeit konnten 53 quasistatische und dynamische Kollisionen gegen Beleuchtungseinrichtungen untersucht werden.

8.4.1 Scheinwerfer

Die Streuscheiben der Hauptscheinwerfer haben sich als ein überraschend stabiles Fahrzeugteil herausgestellt. Die typische Bruchkraft lag zwischen 3 und 5,5 kN. Mit einer Ausnahme blieben Scheinwerfergläser bei Belastungen unter 3 kN unbeschädigt. Lediglich ein Scheinwerfer brach bei einem dynamischen Aufprall mit 2,9 km/h bei 1,8 kN. Möglicherweise wies dieser Scheinwerfer einen nicht erkannten Vorschaden auf. Bild 8.5 macht die markante Bruchgrenze im Bereich von 3 kN deutlich.
Hinsichtlich der Wahrnehmbarkeit für den Unfallverursacher lassen zerstörte Scheinwerfer keine Zweifel entstehen. Sämtliche Kollisionen waren von Verzögerungen über 170 mg begleitet und erwiesen sich als klar wahrnehmbar. Dies gilt auch für den einzigen quasistatisch erzeugten Glasbruch, der durch das plötzliche Nachgeben und die anschließende Abbremsung im Scheinwerfergehäuse ein eindeutiges Verzögerungssignal lieferte. Die Meßwerte sind im Bild 8.6 zusammengefaßt. Darüber hinaus waren alle Versuche mit Glasbruch - zumindest unter den gegebenen Versuchsbedingungen - auch akustisch auffällig.

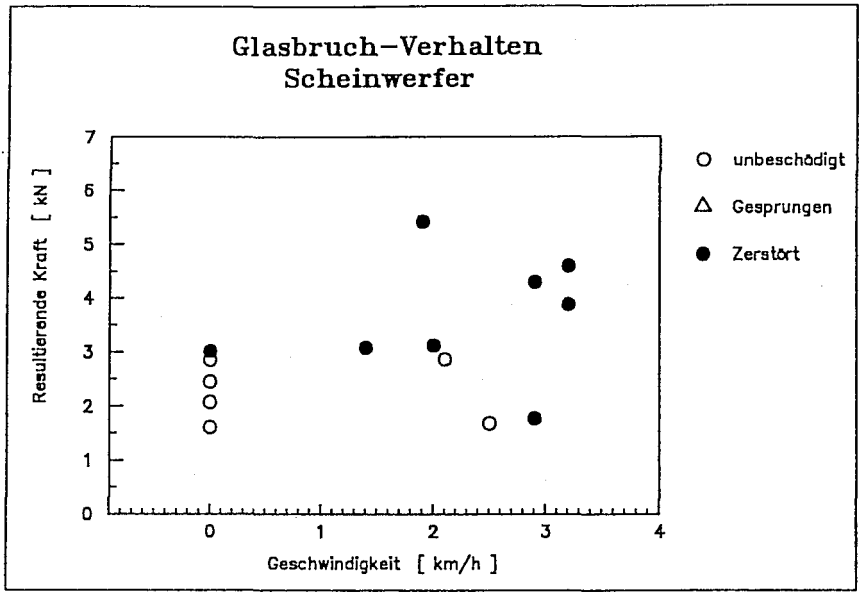


Bild 8.5 Bruchkräfte Scheinwerfer

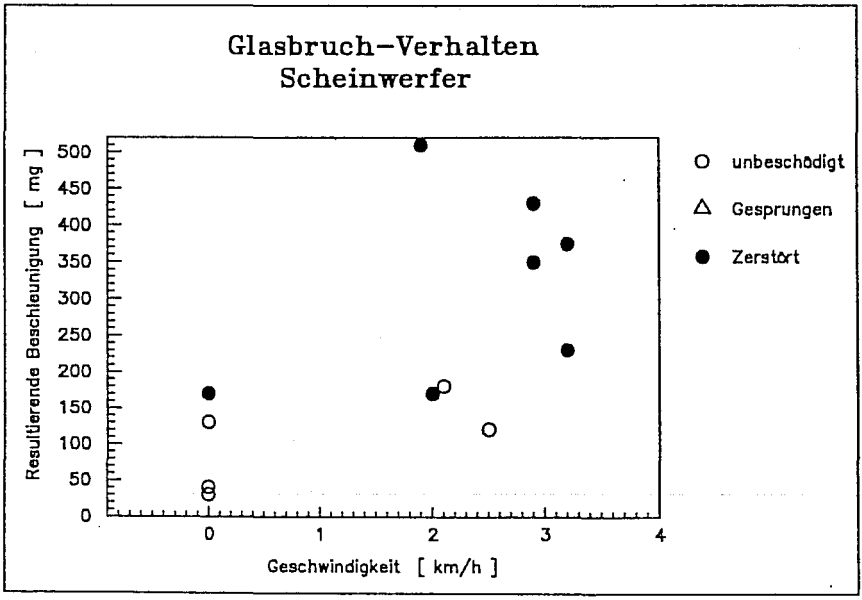


Bild 8.6 Fahrzeugverzögerungen beim Glasbruch

8.4.2 Rückleuchten und Blinker

Im Gegensatz zu Scheinwerferstreuscheiben bestehen die Rückleuchteneinheiten und Blinker von Pkw aus Kunststoff. Durch die z.T. stark verrippte und unterteilte Ausführung findet man bei diesen Leuchten - anders als bei Scheinwerfergläsern - nicht selten Beschädigungen in Form von Rissen und Sprüngen ohne stärkere Zerstörung der Gehäuseoberfläche.
Je nach Art der Belastung und der Anstoßstelle brechen Kunststoffleuchten bereits bei Kräften ab etwa 1,0 kN. Die Art der Beschädigung hängt dabei nicht allein von der einwirkenden Stoßkraft ab. Während einzelne Leuchten Kräfte bis zu 5,8 kN ohne Beschädigung verkrafteten, kamen Sprünge im Bereich von 0,9 bis 4,1 kN und stärkere Beschädigungen von 1,0 bis 6,3 kN vor, Bild 8.7.

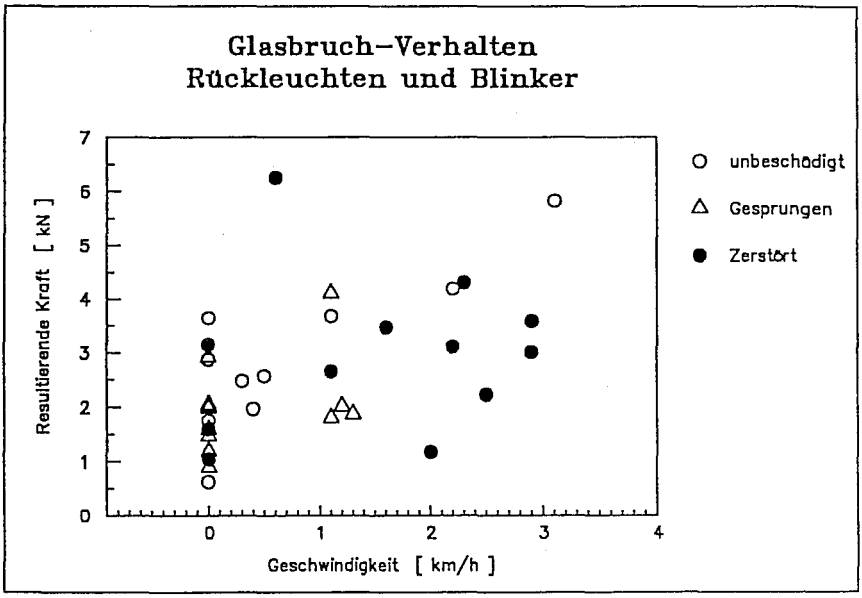


Bild 8.7 Bruchkräfte Rückleuchten

Bei dynamischen Versuchen lagen sämtliche Stoßkräfte oberhalb 1,8 kN, sofern sich die Krafteinwirkung auf die Karosserie richtete. Eine geringere Kraft (1,2 kN) erzeugte lediglich eine Kollision, bei der das stoßende Fahrzeug von außen schräg

durch die vorspringende Blinkerkappe fuhr, ohne weitere Teile dabei zu belasten. Die resultierende Fahrzeugverzögerung betrug in diesem Fall nur 60 mg, so daß dieser Schaden vom Verursacher nicht bemerkt werden mußte. Alle übrigen dynamischen Anstöße mit Zerstörung der Leuchteinheit ließen keinen Zweifel an der Wahrnehmbarkeit der stoßbedingten Verzögerung aufkommen. Die Meßwerte lagen zwischen 150 und 590 mg, Bild 8.8.
Bei Anstößen, die lediglich Sprünge im Kunststoffgehäuse zur Folge hatten, führte die Anwendung des Beschleunigungs-Ruck-Kriteriums für dynamische Kollisionen zu einer Einstufung in den Grenzbereich (70% a_{grenz}).
Anders als bei der Beschädigung eines Scheinwerfers können Rückleuchten und Blinker durch quasistatische Krafteinwirkung und mit minimalen Fahrzeugreaktionen (20 - 120 mg) angebrochen oder zerstört werden. Die hierzu notwendigen geringen Kräfte (ab ca. 0,9 kN) führen zu keinen auffälligen Fahrzeugreaktionen, so daß die Wahrnehmung solcher Schäden in Frage gestellt werden muß. Der Sachverständige sollte daher vor einer pauschalen Bewertung sorgfältig prüfen, ob im konkreten Unfallgeschehen ein quasistatischer Belastungsfall vorgelegen haben kann.

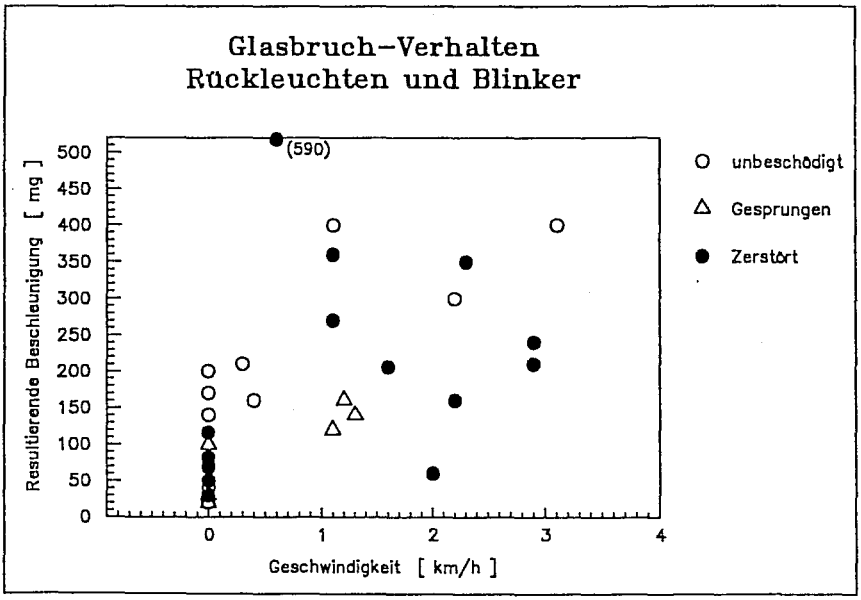


Bild 8.8 Fahrzeugverzögerungen beim Bruch der Rückleuchten

8.5 Kraft-Deformationsverhalten von Blechteilen

Eine punktuelle Deformation an der Pkw-Karosserie ist stets auf eine Krafteinwirkung zurückzuführen. Diese Kraft muß jedoch nicht zwangsläufig aus einem dynamischen Vorgang entstanden sein, der entsprechende Verzögerungen des Verursacherfahrzeugs zur Folge hatte. Um mögliche Unterschiede im Schadenbild zu untersuchen, wurden die zur Verfügung stehenden Testfahrzeuge auf der einen Seite durch quasistatisches Drücken mit schleifender Kupplung, auf der anderen Seite durch einen antriebsfrei erfolgenden dynamischen Anstoß beschädigt. Um unkontrollierbare Schleif- und Abgleitvorgänge zu vermeiden, erfolgten die Belastungen unter einem Winkel von 45° zur Wagenlängsachse. Einige ergänzende Versuche wurden unter 30° durchgeführt. Die Aufprallgeschwindigkeiten lagen zwischen ca. 0,5 und 3 km/h. Bereits oberhalb 2,2 km/h erwiesen sich alle Tests nach dem Beschleunigungs-Ruck-Kriterium als zweifelsfrei wahrnehmbar, so daß höhere Kollisionsgeschwindigkeiten nicht sinnvoll waren.
Sofern der erste Anstoß an einer bestimmten Karosserieposition zu keiner bleibenden Deformation führte, wurde die gleiche Stelle im folgenden Versuch einer größeren Belastung ausgesetzt. Die entstandenen Schäden wurden vermessen und fotografisch dokumentiert.

Quasistatische Deformationskräfte wurden bis zu einer Obergrenze von 3,5 kN erzeugt. Es ergab sich, daß das Schadenbild und die Deformationstiefe allein von der Höhe der aufgebrachten Kraft abhingen, d.h. daß keine Unterschiede zwischen statischen und dynamischen Versuchen bei gleicher Maximalkraft auftraten. Bild 8.9 zeigt, bei welchen Deformationskräften Schäden an den Positionen der Karosserieseite auftraten. Es fällt auf, daß die Positionen 14, 19 und 23, gefolgt von 24 die höchsten Kräfte ohne bleibende Beschädigung aufnahmen. Die Türspalten im Bereich der A-, B- und C-Säule stellen daher die widerstandsfähigsten Karosseriepositionen dar.
Als weicheste Karosserieposition stellte sich die Hinterkante des vorderen Radausschnitts (13) dar. Da hier einfache Bleche meist ohne Abstützung in den Radauschnitt ragen, ein zu erwartendes Ergebnis. Es traten bleibende Deformationen bereits bei Kräften von nur 300 N auf. Auf nahezu gleichem Niveau folgten die Positionen 11, 15, 16, 17 und 20 bis 22, also die Vorderkante des Radausschnitts am Vorderrad sowie die Außenhaut der Türen vorn und hinten.

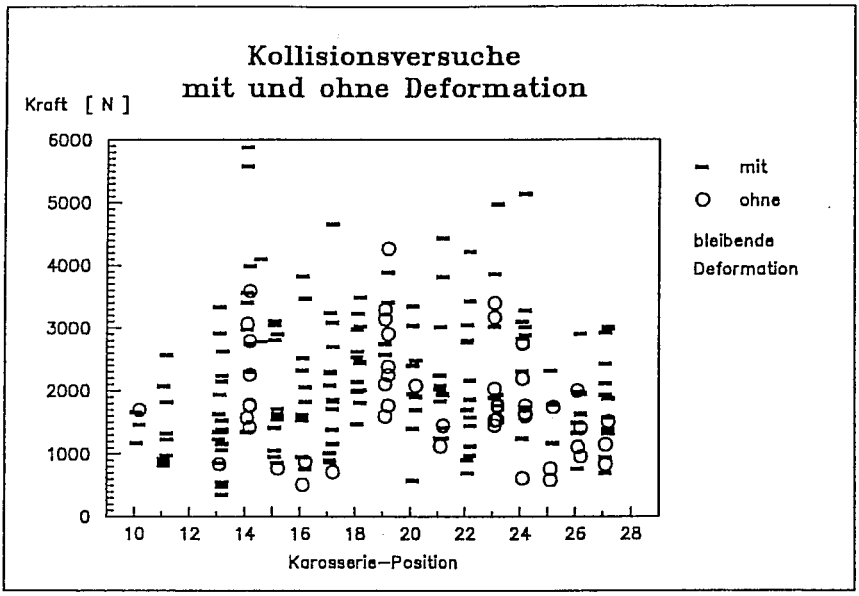


Bild 8.9 Stoßkräfte mit und ohne Deformation

Das konkrete Verformungsverhalten wird durch die Darstellung des Verhältnisses von Stoßkraft zu bleibender Deformation deutlicher, Bild 8.10. In dieser Darstellung wird auch die große Streuung der Meßwerte deutlich. Werte über 6000 N pro Millimeter traten vor allem bei weitgehend elastischen Deformationen auf, deren verbleibende Deformationstiefe unter 1 mm lag. Da das Rechenergebnis für diesen Fall wenig aussagekräftig ist, wurde auf die Darstellung der konkreten Werte verzichtet und statt dessen ein Symbol oberhalb 6000 N/mm dargestellt.

Der elastische Deformationsanteil schwankte je nach Stoßkraft und Karosserieposition zwischen 5 und 100%. Geringe Elastizität zeigten vor allem die Stoßpositionen 11, 13 und 21. Mehrheitlich lag der elastische Anteil zwischen 65 und 100%, Bild 8.11.

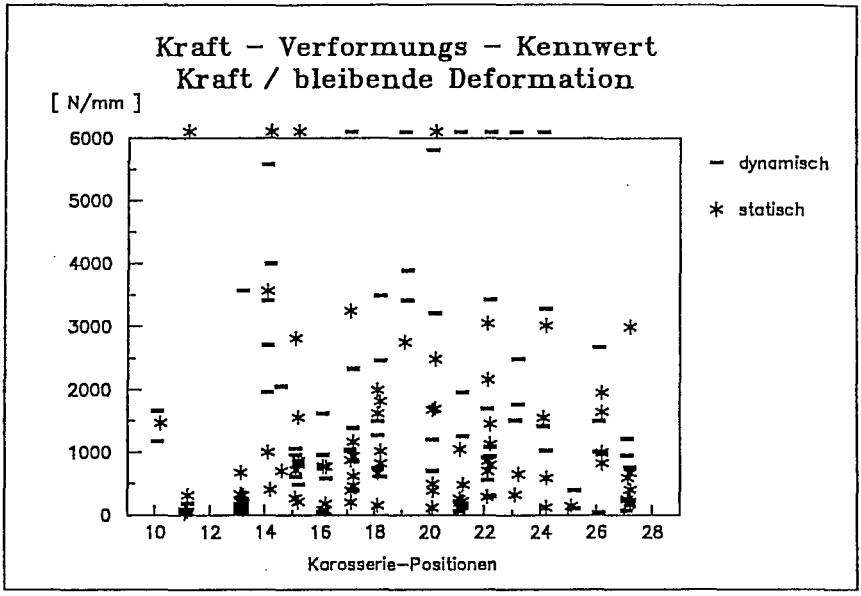


Bild 8.10 Dynamische und quasistatische Versuche

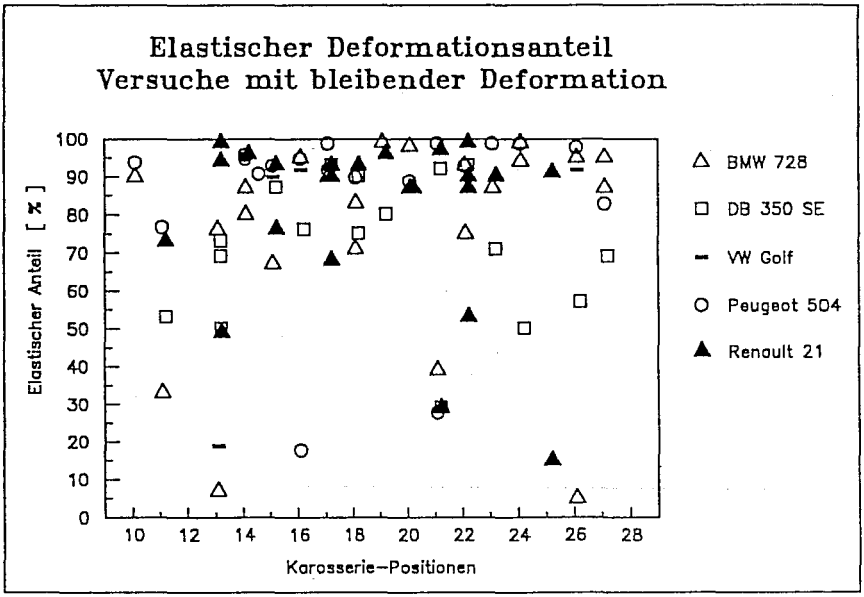


Bild 8.11 Elastizität der Blechteile

Um bei bekannter Kollisionsgeschwindigkeit Rückschlüsse auf die Höhe der Deformationskraft zu ermöglichen, wurde der Quotient aus Stoßkraft und Kollisionsgeschwindigkeit als Kraftkennwert berechnet. Er macht deutlich, welchen Widerstand die jeweilige Karosserieposition dem gegnerischen Fahrzeug bei bestimmter Aufprallgeschwindigkeit entgegensetzt, Bild 8.12. Besonders gekennzeichnet wurden in dieser Grafik einige Positionen des Fahrzeugs Mercedes Benz 350 SE. Die Karosserie dieses Pkw zeichnete sich gegenüber den anderen Testfahrzeugen durch eine höhere Steifigkeit aus. Die markierten Meßpunkte liegen zum Teil deutlich über dem übrigen Feld. Dies bedeutet, daß die charakteristischen Eigenschaften eines bestimmten Fahrzeugtyps als Folge von Formgebungen oder speziellen Materialeigenschaften bei der Beurteilung des Kollisionsgeschehens stets beachtet werden müssen.

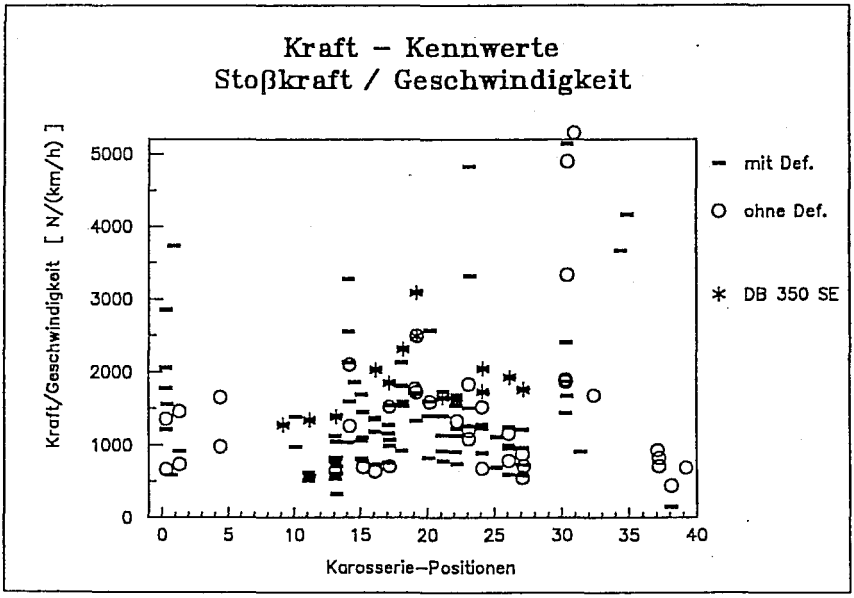


Bild 8.12 Geschwindigkeitsabhängigkeit der Stoßkraft

8.6 Einfluß von Kunststoff-Seitenbeplankungen auf das Schadenbild

Seit einigen Jahren werden verschiedene Fahrzeugtypen, speziell die Mercedes-Baureihen, mit Seitenbeplankungen als Schutz gegen Steinschlag und geringfügige Anstöße versehen. Im Rahmen dieser Arbeit stand ein Fahrzeug der S-Klasse (W126) für Aufprallversuche zur Verfügung.
Es zeigte sich, daß die Kunststoffteile z.T. Kräfte bis in den Bereich von 2 - 3 kN ohne sichtbare Beschädigungen aufnahmen. Leider bedeutet dies nicht, daß keine Schäden entstanden sind. Unter dem Kunststoff fanden sich teilweise erhebliche Blechdeformationen, wie Bild 8.13 (Versuch 1358) zeigt. Die vollständigen Meßdaten dieses Versuchs befinden sich im Anhang. Wenn dieser klar wahrnehmbare dynamische Stoß einen pflichtbewußten Kraftfahrer zur Betrachtung des geschädigten Fahrzeugs veranlaßt hätte, wäre er dennoch anschließend mit der Überzeugung, keinen Schaden verursacht zu haben, weiter gefahren.
Auch bei quasistatischen Krafteinwirkungen wurde ein gleichartiges Verhalten festgestellt. Eventuelle Deformationen der Kunststoffteile erscheinen von außen meist als unbedeutend, wenn sich das Teil nicht durch Beschädigung der Befestigungselemente löst und dadurch der gesamte Schadenumfang offensichtlich wird.
Da es unrealistisch ist, die Kunststoffbeplankungen routinemäßig auf Verdacht zu entfernen, um das darunter liegende Blech zu begutachten, sollte aber zumindest bei äußeren Beschädigungen - auch minimalen Ausmaßes - eine Kontrolle der Blechpartien erfolgen, um Folgeschäden, z.B. durch Korrosion, zu verhindern. Dieser Hinweis kann naturgemäß nur für den Halter eines solchen Fahrzeugs gelten. Ein Unfallgegner wird einen verdeckten Schaden weder erwarten, noch kann er vorsorglich Teile an einem geparkten Fahrzeug demontieren.

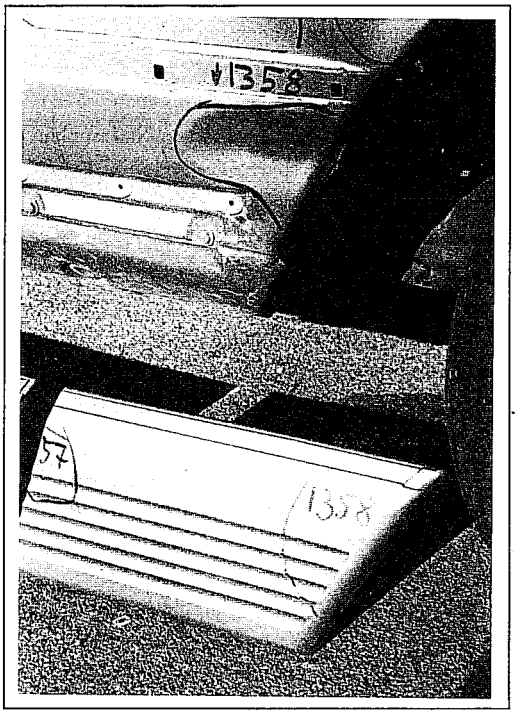


Bild 8.13 Blechschaden unter der Abdeckung

9. Wahrnehmbarkeit von Fahrzeug/Fahrzeug-Kollisionen

9.1 Rotationsbewegungen

9.1.1 Untersuchungen zur absoluten Wahrnehmungsschwelle für Rotationen

Forschungsergebnisse über die Wahrnehmung von Rotationsgeschwindigkeiten und -beschleunigungen sind fast ausschließlich in der englischsprachigen Literatur und hier speziell in luft- und raumfahrtmedizinischen Veröffentlichungen zu finden. Abgestellt auf die Probleme beim Aufenthalt im Weltraum wurde der Einfluß lange anhaltender Drehbewegungen im Hinblick auf Luftkrankheit und Wahrnehmungsschwellen untersucht. Die Versuche waren gezielt auf die Erforschung des Vestibularsystems ausgelegt, welches eine gewisse Reaktionszeit zur Wahrnehmung benötigt. Die gewählte Einwirkdauer lag daher meist im Bereich von mehreren Sekunden.

Clark und Stewart [15] fanden bei Drehungen einer geschlossenen Kabine um die Z-Achse der sitzenden Versuchsperson Wahrnehmungsschwellen im Bereich von 0,05 bis 2,20°/s^2. Die Beschleunigungsdauer betrug 10 s.
Bei einer Impulsdauer von 3,3 s untersuchten Benson, Hutt u. Brown [7] die Wahrnehmungsschwelle von Drehgeschwindigkeiten. Der am häufigsten registrierte Grenzwert lag bei 1,5°/s mit Streuungen zwischen 0,5 und 5,0°/s.
Bedingt durch die lange Impulsdauer ist eine Übertragung der Ergebnisse auf die Verhältnisse im Kraftfahrzeug nicht möglich. Die Dauer kollisionsbedingter Fahrzeugbeschleunigungen liegt bei leichten Kollisionen zwischen 0,1 und 0,8 s.
Zahlreiche weitere Versuchsergebnisse scheiden unabhängig von der Einwirkdauer zur Übertragung auf die Verhältnisse im Kraftfahrzeug völlig aus, weil Drehbewegungen um alle drei Achsen, bevorzugt jedoch Rollbewegungen an liegenden, angegurteten Personen untersucht wurden.

Anstoßbedingte Rotationen sind gekennzeichnet durch eine kurzzeitige Schüttelbewegung des Fahrzeugs. Die Übertragung auf den Menschen erfolgt über Sitzfläche und Rückenlehne, zusätzlich können die Schwingungen an den Kontaktstellen von Händen und Füßen erfaßt werden. Durch die kurze Schwingungsdauer ist eine Einwirkung auf den Kopf des Fahrers kaum möglich, da die Übertragung von der Karosserie über Sitz, Gesäß, Oberkörper und Halswirbelsäule zum Kopf sehr stark entkoppelt ist. Selbst bei linearen Beschleunigungen

größerer Amplitude hatte Welther [128] feststellen müssen, daß willkürliche Kopfbewegungen der Versuchspersonen meist größere Beschleunigungssignale erzeugten als die zu untersuchende Kollision.
Aus diesem Grunde ist weitgehend auszuschließen, daß eine Wahrnehmung der Rotationen über das - hierfür eigentlich zuständige - Vestibulärsystem erfolgt. Die von der Raumfahrtmedizin ermittelten Grenzwerte können wegen der völlig unterschiedlichen Randbedingungen keine Anwendung im Unfallgeschehen des Straßenverkehrs finden.
Weiterhin gilt für alle zitierten Versuchsreihen, daß die ermittelten absoluten Wahrnehmungsschwellen nur unter den jeweils gegebenen Testbedingungen Gültigkeit haben. Durch die völlige Abschirmung andere Einflüsse und Ausschaltung der übrigen Sinnesorgane (dunkle Versuchszelle, verbundene Augen, Kopfhörer mit Rauschsignalen usw.) wurde eine speziell gerichtete Aufmerksamkeit erzeugt, die unter den Bedingungen in einem Kraftfahrzeug nicht gegeben sein kann. Absolute, isoliert ermittelte Wahrnehmbarkeitsschwellen eignen sich daher ausschließlich als Beurteilungskriterium für die Frage, welche Einwirkungen wahrgenommen werden können, nicht aber zur Bestimmung der Werte, die wahrgenommen werden müssen.

9.1.2 Rotationsbeschleunigungen bei leichten Kollisionen

Neben den am Fahrzeugtunnel gemessenen linearen Beschleunigungen in X-,Y- und Z-Richtung können zusätzlich Rotationen um jede dieser Achsen sowie Kombinationen davon auftreten.
Gierbewegungen (Drehungen um die Hochachse Z) sind bei seitlichen Krafteinwirkungen auf die vorderen oder hinteren Fahrzeugenden (z.B. Stoßstangenecken) zu erwarten, wie sie bei winkligen Kollisionen typisch sind. Seitliche Verschiebungen der Anstoßstellen und damit Drehungen um die Hochachse lassen sich besonders bei Abgleitvorgängen vermuten. Da diese Rotationen durch eine in Y-Richtung des fahrzeugfesten Koordinatensystems wirkende Kraft hervorgerufen werden, wird im folgenden die Bezeichnung "Y-Rotation" verwendet.
Nickschwingungen (um die Querachse Y) entstehen durch Vertikalkräfte an den Fahrzeugenden oder durch im Schwerpunkt angreifende Massenkräfte, die die beim Bremsen typische dynamische Achslastverlagerung mit einem Einfedern der Vorderachse und einem Ausfedern der Hinterachse zur Folge haben. Analog zu der Y-Rotation wird für die Nickbewegung der Begriff "Z-Rotation" bei der

Datenverarbeitung verwendet, da die Nickbewegungen auf eine Krafteinwirkung in Z-Richtung zurückgeführt werden können.
Als weitere Rotationskomponente können Rollbewegungen um die X-Achse entstehen, wenn eine Vertikalkraft im Bereich der Fahrzeugseitenlinie oder eine Horizontalkraft in Y-Richtung mit großem Abstand vom Schwerpunkt angreift.
Für die vorliegende Untersuchung wurden Fahrzeugkollisionen ausschließlich mit der linken vorderen Stoßstangenecke ausgeführt, die einen Verstellbereich von 400 bis 650 mm über der Fahrbahnoberfläche zuließ. Die Schwerpunkthöhe des Versuchsfahrzeugs VW-Passat ist aus den technischen Unterlagen nicht zu entnehmen. Die Bandbreite gängiger Pkw liegt jedoch zwischen 500 und 650 mm, so daß die Stoßeinleitung auf das Versuchsfahrzeug in unmittelbarer Nähe der Schwerpunkthöhe oder aber darunter erfolgte. Dies bedeutet, daß die Stoßkräfte kaum Roll- oder Nickschwingungen hervorrufen konnten, die für das Unfallgeschehen von Bedeutung wären. Zusätzlich behindert die Reibkraft zwischen den Kontaktstellen eine Vertikalbewegung.
Die Videodokumentation der Versuche bestätigte, daß bei dem gewählten Versuchsaufbau Rollbewegungen zu vernachlässigen waren. Aus diesem Grunde wurde auf die Messung dieser Rotationskomponente verzichtet. Im Gegensatz dazu zeigten sich vereinzelt Nickbewegungen bei Abgleitvorgängen, die die Erfassung der Z-Rotation trotz der oben begründeten Fragwürdigkeit sinnvoll erscheinen ließ.
Im Rahmen dieser Arbeit wurde bei 147 dynamischen Kollisionsversuchen eine Messung und Auswertung der Nick- und Gierbewegungen vorgenommen.

9.1.3 Auswertungen der Nickschwingungen (Z-Rotation)

Die durch den Fahrbetrieb hervorgerufenen Nickschwingungen - zurückzuführen auf Brems- und Antriebskräfte oder Bodenunebenheiten - können hohe Werte erreichen. Bereits das Zurechtrücken eines Insassen auf der Rücksitzbank führte zu Amplituden zwischen 30 und $40°/s^2$, (s. Kapitel 6.1).
Die höchste stoßbedingte Amplitude erreichte $63°/s^2$. Nur 6 von 146 ausgewerteten dynamischen Versuchen lagen über $40°/s^{2°}$, wobei es sich stets um harte, bereits aufgrund der linearen Fahrzeugverzögerung klar wahrnehmbare Kollisionen handelte. Darüberhinaus kam es meist durch Abrutschvorgänge (z.B. an der Kante des Radausschnitts) zu einem Doppelstoß, der die hohen Z-Amplituden bewirkte, Bild 9.1.

Versuchs-Nr.:	1363	Beschädigtes Fahrzeug: DB W126
$V_{Anprall}$:	1.9 km/h	45°
Kontaktstelle:	24.2	vordere Kante Radausschnitt Hinterrad
Bleibende Deformation:		15 x 30 x 1 mm (L x H x T)

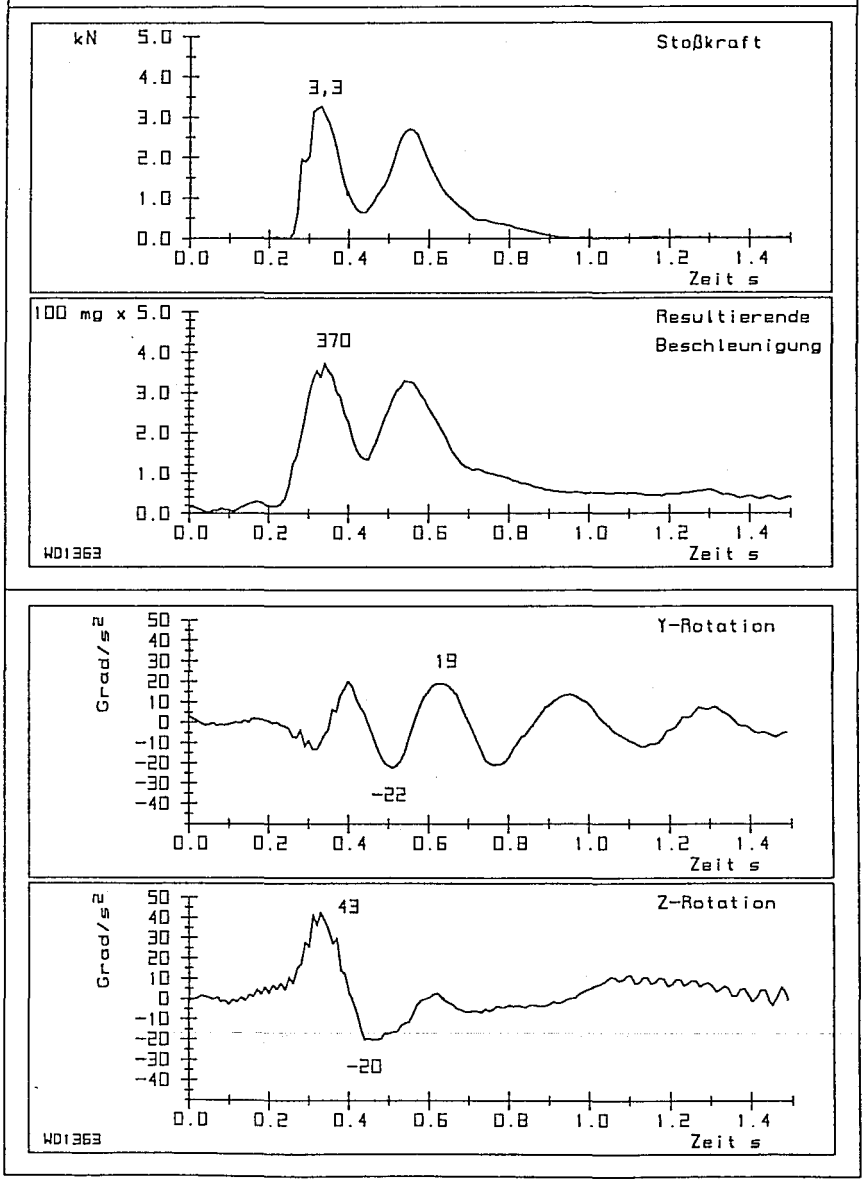


Bild 9.1 Meßwerte Versuch Nr. 1363

Diese Ergebnisse machen deutlich, daß Nickschwingungen für die Wahrnehmbarkeit leichter Fahrzeugkollisionen keine wesentliche Bedeutung haben. Die Meßwerte überstiegen bei keinem der Kollisionsversuche mit fraglicher Wahrnehmbarkeit das Grundniveau, welches durch Insassenbewegungen oder Fahrbahnunebenheiten vorgegeben wird. Bild 9.2 zeigt ergänzend, daß eine Abhängigkeit der Z-Rotation von der resultierenden Fahrzeugverzögerung nicht besteht. Die Darstellung das Rucks führt zu einem gleichartigen Ergebnis. Auf weitere Analysen dieser Rotationskomponente wurde daher verzichtet.

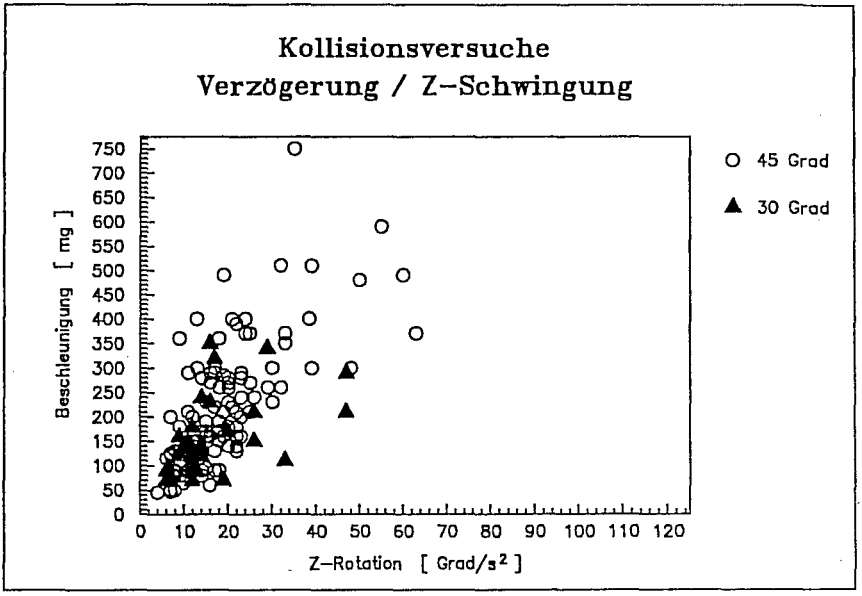


Bild 9.2 Zusammenhang Beschleunigung - Z-Rotation

9.1.4 Auswertung der Gierbewegungen (Y-Rotationen)

Für die Entstehung von Y-Rotationen kommen zwei grundsätzlich unterschiedliche Bewegungsmechanismen in Betracht. Die folgenden Ausführungen beziehen sich dabei stets auf einen Anprall mit der linken vorderen Stoßstangenecke entsprechend der Versuchskonstellation.

1. Anstoß mit Schwingung

Bleibt das stoßende Fahrzeug mit der Kontaktstelle am Gegner hängen, so bewirken die im Schwerpunkt angreifenden Massenkräfte ein Drehmoment gegen den Uhrzeigersinn. Hieraus resultiert eine Schwingung, die mit einer Drehbeschleunigung gegen den Uhrzeigersinn beginnt, anschließend die Richtung umkehrt und ausschwingt, Bild 9.3.

Beim Aufprall mit 1,7 km/h unter 45° auf den Türspalt an der A-Säule entstand eine Amplitude von 80°/s². Durch Integration berechnete sich eine Winkelgeschwindigkeit von - 1,8 bzw. + 2,0°/s. Die weitere Integration lieferte einen Drehwinkel von 0,13°.

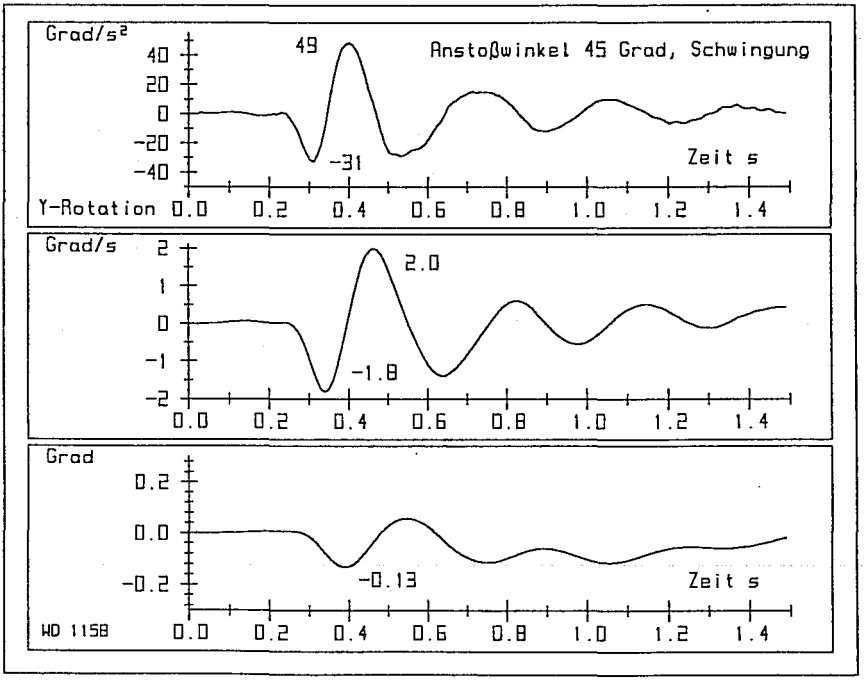


Bild 9.3 Y-Rotation bei Schwingungsvorgang

2. Anstoß mit Abgleiten

Wird bei gleicher Anstoßstelle und Geschwindigkeit der Anstoßwinkel verringert, so kann es zu Abgleitvorgängen kommen, Bild 9.4.

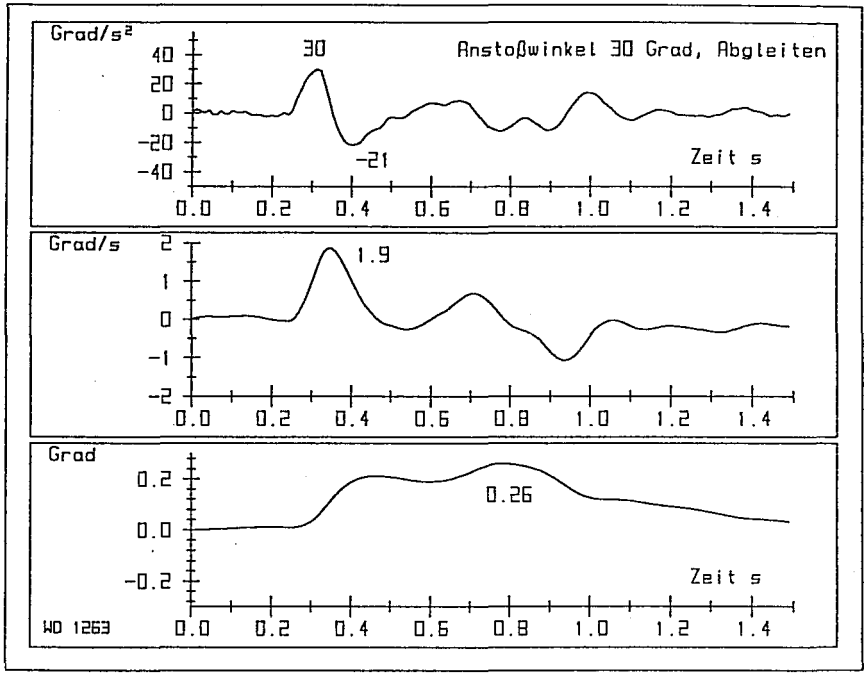


Bild 9.4 Y-Rotation bei Abgleitvorgang

Die Winkelbeschleunigung zeigte einen positiven Anstieg, der eine Drehung im Uhrzeigersinn nachweist. Die maximale Amplitude lag bei 51°/s².

Die Winkelgeschwindigkeit erreichte mit 1,9°/s praktisch den gleichen Wert wie zuvor, jedoch wird deutlich, daß kein ausgeprägter Schwingungsvorgang zustande kam. Der Drehwinkel stieg auf 0,26° und blieb über einen längeren Zeitabschnitt konstant.

Die Neigung zum Abgleiten ist umso größer, je spitzer der Anstoßwinkel ist. Abgleitvorgänge traten daher bei den Kollisionen mit 30° häufiger auf als bei 45°-Stößen. Bei 45°-Kollisionen kam es dann zum Abgleiten, wenn harte, glatte Fahrzeugteile getroffen wurden. Als typisches Beispiel sei hier der Aufprall gegen das Scheinwerferglas ohne Glasbruch genannt.

Der stärkste Abrutschvorgang mit gleichzeitig der stärksten Y-Rotation aller Versuche wurde bei einer Kollision unter 45° gegen das Rücklicht eines Mercedes Benz (Aufprallgeschwindigkeit 3,1 km/h) festgestellt, Bild 9.5.

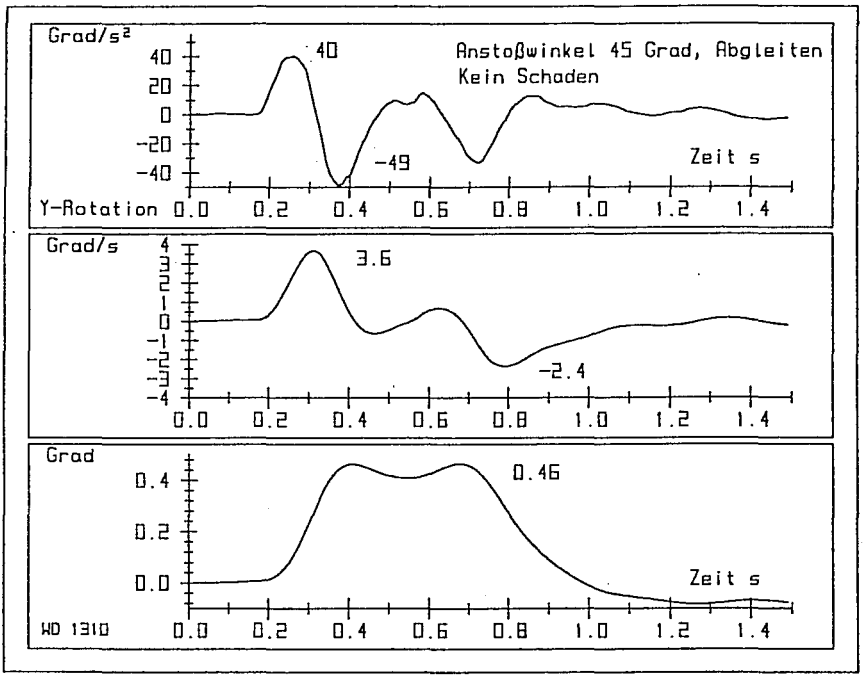


Bild 9.5 Sehr starker Abgleitvorgang

Die Rotationsbeschleunigung erreichte eine Amplitude von 89°/s², die Winkelgeschwindigkeit lag bei 3,6°/s². Der maximale Auslenkungswinkel errechnete sich zu 0,46°.

Angesichts des subjektiv eindrucksvollen Abgleitvorgangs erscheint der berechnete Drehwinkel als erstaunlich gering. Die gefilterte Ausgangskurve setzt der Genauigkeit nach einer zweimaligen Integration naturgemäß Grenzen. Dennoch müßten die berechneten Größen mit den tatsächlichen Gegebenheiten annähernd übereinstimmen.

Zur Kontrolle des Bewegungsablaufes innerhalb der X-Y-Ebene konnte die Videoaufzeichnung der mitfahrenden Kamera ausgewertet werden. Es ergab sich eine maximale Seitwärtsbewegung der Wagenfront um ca. 30 mm, wobei eine

Ableseunsicherheit von 5 mm zu berücksichtigen ist. Unter der Annahme, daß bei einer seitlichen Krafteinwirkung auf die vordere Stoßstangenecke das Fahrzeug eine Drehbewegung um die Hinterachse ausführt, ergibt sich aus der berechneten Winkelauslenkung von 0,46° bei einem Drehradius von 3400 mm (Abstand Hinterachse - Stoßpunkt) eine Seitwärtsverschiebung von 27,3 mm. Damit liefert die Rechnung unter Berücksichtigung der Ablesegenauigkeit am Videomonitor eine gute Übereinstimmung mit der Bildauswertung.
Der geringe Drehwinkel erklärt sich aus der Tatsache, daß nicht nur das stoßende Fahrzeug eine Ausweichbewegung durchführt, sondern gleichfalls das gestoßene. Diese Feststellung gilt grundsätzlich für alle Arten der Kollision, wobei häufig deutlich stärkere Bewegungen des gestoßenen Fahrzeugs zu verzeichnen waren.
Eine Häufigkeitsverteilung über die maximalen Schwingungsamplituden der Y-Rotation zeigt Bild 9.6. 75% aller Meßwerte lagen unterhalb $40°/s^2$, der Mittelwert des Gesamtspektrums betrug 32°/s.
Eine Analyse der Schwingungsfrequenzen macht deutlich, daß sich die Y-Rotationen auf das Spektrum zwischen 2,3 und 7,1 Hz bei einem Mittelwert von 3,9 Hz eingrenzen lassen, Bild 9.7. Das Balkendiagramm entstand durch die Zusammenfassung von Frequenzbandbreiten mit 1 Hz.

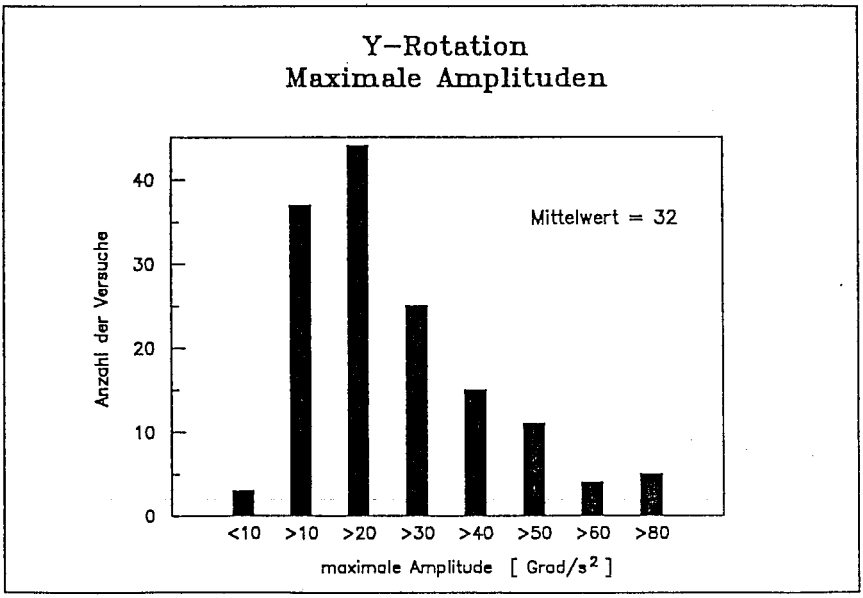


Bild 9.6 Häufigkeitsverteilung der Schwingungsamplituden

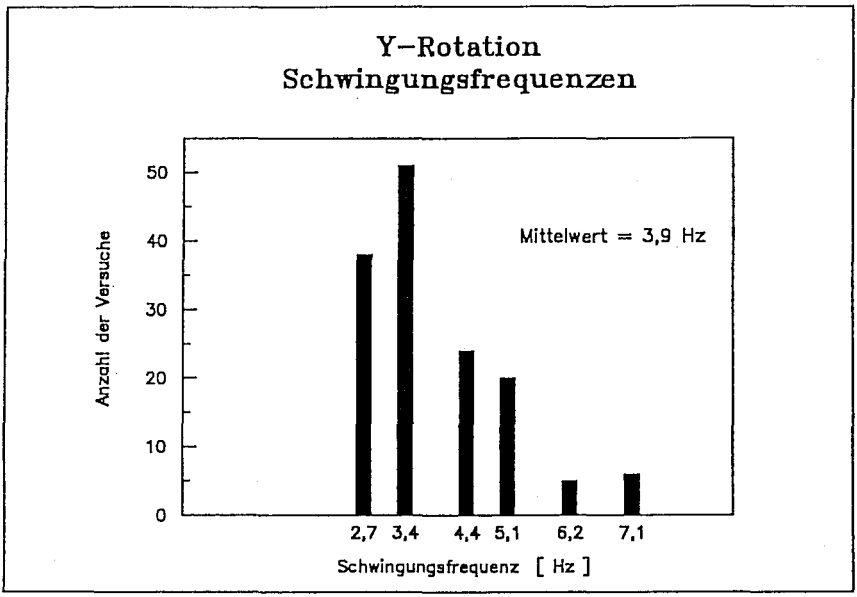


Bild 9.7 Häufigkeitsverteilung der Frequenzen

Die Darstellung der Schwingungsamplituden über der Frequenz zeigt ein weites Feld gleichmäßig verteilter Meßpunkte welches deutlich macht, daß die Amplitudengröße nicht von der Frequenz abhängt, d.h., daß sich eine einzelne typische Resonanzfrequenz nicht darstellt. 90% der Versuchsergebnisse liegen jedoch zwischen 2,3 und 5 Hz, Bild 9.8.

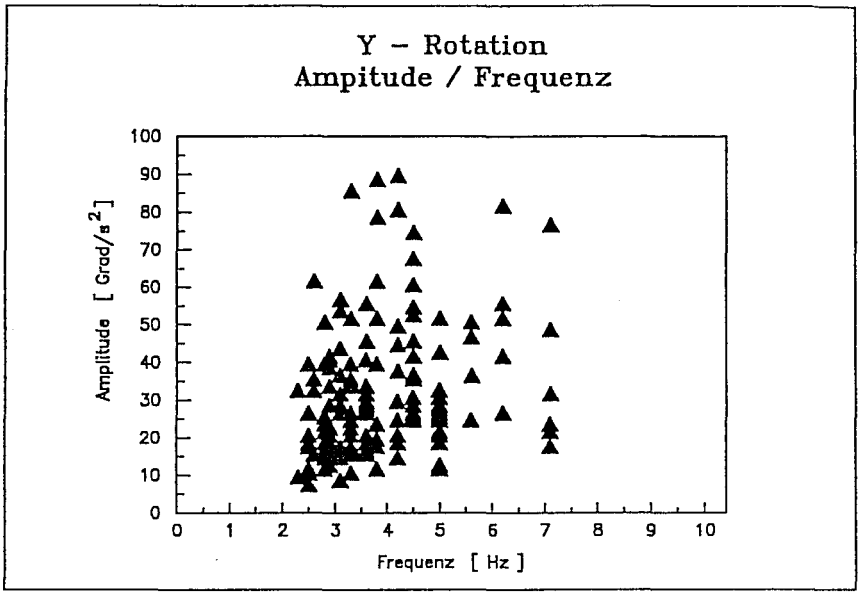


Bild 9.8 Amplituden-Frequenz-Verteilung

Ein Einfluß der Aufprallgeschwindigkeit auf Frequenz und Schwingungsamplitude ist zwar tendenziell erkennbar, jedoch stellt die Härte des getroffenen Fahrzeugteils den stärkeren Einflußfaktor dar. Bei Geschwindigkeiten bis zu 1,0 km/h wurden Y-Schwingfrequenzen von 2,3 bis maximal 5 Hz gemessen. Oberhalb 2 km/h lag die niedrigste Frequenz bei 3,1 Hz. Schwingungsamplituden von 78 und 76°/s^2 wurden sowohl bei 0,6 als auch bei 3,2 km/h Aufprallgeschwindigkeit registriert. Die niedrigsten Amplituden um 10°/s^2 konnten Geschwindigkeiten bis 1,5 km/h zugeordnet werden, während oberhalb 2 km/h keine Meßwerte unter 23°/s^2 mehr gemessen wurden.

Eine Gegenüberstellung der Y-Rotation mit der resultierenden Fahrzeugverzögerung führt ebenso zu keiner Korrelation wie der Vergleich mit dem linearen Ruck, Bild 9.9. Gleiches gilt für die Auswertung der Rotationsänderung, also den Y-Ruck.

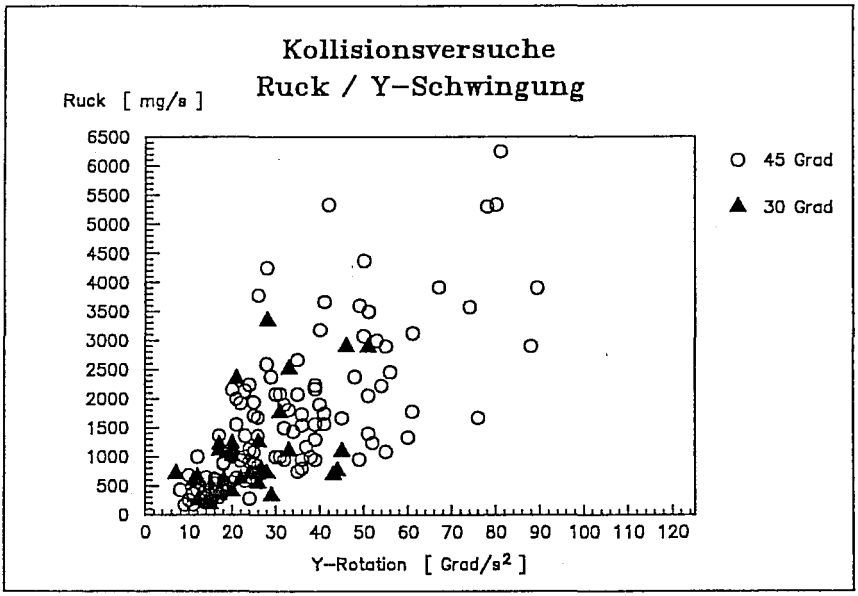


Bild 9.9 Zusammenhang Ruck - Y-Rotation

9.1.5 Bewertung der Fahrzeugrotationen im Hinblick auf die Wahrnehmbarkeit

Im Abschnitt 9.1.4 wurde dargelegt, daß Nickschwingungen nur in Zusammenhang mit hohen, deutlich wahrnehmbaren Fahrzeugverzögerungen auftreten. Dieser Rotationskomponente (Z-Rotation) kommt daher keine besondere Bedeutung für die Wahrnehmbarkeit eines Anstoßes zu.
Im Gegensatz dazu muß die Y-Rotation als ein geeignetes Signal zum Erkennen eines Anstoßes berücksichtigt werden.
Zwar treten die stärksten Y-Rotationen bei Kollisionen auf, die keine Schäden am gestoßenen Fahrzeug hinterlassen und daher nicht aktenkundig werden, jedoch sind

auch andere Pkw/Pkw-Kontakte von Gierbewegungen des Unfallverursachers begleitet.
Die Versuchsauswertung führte zu dem Ergebnis, daß zwischen der linearen Fahrzeugverzögerung und der Gierbewegung keine Abhängigkeit gegeben ist, d.h. es treten sowohl Paarungen von starker Verzögerung mit hohen Y-Rotationen auf als auch Kombinationen von niedriger Fahrzeugverzögerung mit starker Rotation und umgekehrt.
Für die Anwendung des vorgeschlagenen Verzögerungs-Ruck-Kriteriums ist die Rotationskomponente bei größeren Verzögerungen ohne Bedeutung, da sie die Wahrnehmung allenfalls verstärkt, aber an dem Bewertungsergebnis nichts ändert.
Probleme können sich dagegen bei einer Einstufung im Grenzbereich oder darunter ergeben.
Im Grenzbereiches zwischen sicherer und fraglicher Wahrnehmbarkeit aufgrund des Verzögerungs-Ruck-Kriteriums (Bild 3.10) wurden maximale Y-Rotationen bis $40°/s^2$, Drehgeschwindigkeiten zwischen 0,7 und 1,7°/s sowie Drehwinkel im Bereich von 0,1 bis 0,25° festgestellt, der Y-Ruck lag zwischen 64 und $136°/s^3$.
Unterhalb des Grenzbereiches lagen alle Amplituden der Y-Rotation unter $30°/s^2$ mit Ausnahme eines Abgleitvorgangs am Scheinwerfer ohne Beschädigung.
Nachdem auf keinerlei anwendbare Grenzwerte früherer Studien zurückgegriffen werden kann, müßten Wahrnehmbarkeitsgrenzen für Rotationen durch umfangreiche Versuchsreihen ermittelt werden.
Die Aussagen der Testpersonen während der Versuche lassen darauf schließen, daß für die Auffälligkeit von Rotationen - wie bei linearen Verzögerungen - der zeitliche Verlauf, also der Ruck ein wesentliches Kriterium darstellt. Da weiterführende Studien dieser Art den Rahmen der vorliegenden Arbeit gesprengt hätten, werden die folgenden Hinweise anhand der vorhandenen Meßergebnisse und Beobachtungen erstellt:

1. Überschreitet die gemessene Fahrzeugbeschleunigung den aus dem Ruck berechneten Grenzwert gemäß BRK, so ist die Kollision klar wahrnehmbar und eine Berücksichtigung von Rotationen nicht erforderlich.

2. Speziell im Grenzbereich, aber auch in einigen Fällen nicht sicherer Wahrnehmbarkeit der linearen Verzögerung können Rotationserscheinungen die Wahrnehmbarkeit der Kollision erhöhen.
Dies ist besonders dann zu beachten, wenn beim Eindrücken von Karosserieteilen Flächen oder Kanten entstehen, die dem Eindringen einen progressiven Widerstand

entgegensetzen und ein Hängenbleiben oder Abgleiten des stoßenden Fahrzeugs bewirken.
Der Aufprall unter 30° gegen die Fahrertür kurz vor der B-Säule führt entweder zu einer hohen Linearverzögerung, wenn die Stoßstangenecke in der Einbeulung hängenbleibt (VNR 1150) oder zu einer deutlichen Rotation, sofern es zu einem Abgleiten kommt (VNR 1260).
Eine gleichartige Situation kann aus dem Aufprall auf eine Karosseriekante wie den Radlauf entstehen, sofern der Anstoß auf die Kante gerichtet ist (z.B Position 26.1 VNR 1255). Bei entgegengesetzter Stoßrichtung (z.B. 13.2, VNR 1054) gibt der Radlauf dagegen relativ weich nach, ohne daß zusätzliche Rotationen auftreten.

9.2. Lineare Fahrzeugverzögerungen und ihre Beurteilung nach dem BRK

Das Beschleunigungs-Ruck-Kriterium (BRK) wurde unter der Maßgabe definiert, daß oberhalb der Grenzlinie sämtliche Beschleunigungen wahrgenommen wurden. Durch die Wahl dieser hohen Schwelle könnte der Eindruck entstehen, daß die Mehrzahl realer Kollisionen nun unterhalb dieser Grenzlinie liegen würde. Bild 9.10 macht deutlich, daß diese Einschätzung nicht zutrifft. Die Darstellung aller dynamischen Kollisionen mit den Kurven des BRK zeigt, daß 55% der im Geschwindigkeitsbereich bis 3 km/h erfolgten Anstöße sicher wahrnehmbar waren. 15% der Versuche fanden sich im Grenzbereich wieder, wobei auch hier deutlich wird, daß die Wahl der unteren Grenzbereichslinie als 70% a_{grenz} oder 80% der Berechnungsfaktoren B und C praktisch gleichwertig ist. Nur 35% der dynamischen Kollisionen wurden nach dem BRK als unsicher wahrnehmbar eingestuft. Definitionsgemäß bedeutet dies, daß solche Kollisionen zwar unter Umständen wahrgenommen werden können, nicht aber wahrgenommen werden müssen.
Ein Vergleich dieser Einstufung mit der subjektiven Beurteilung der Testfahrer ergab keine Diskrepanzen.

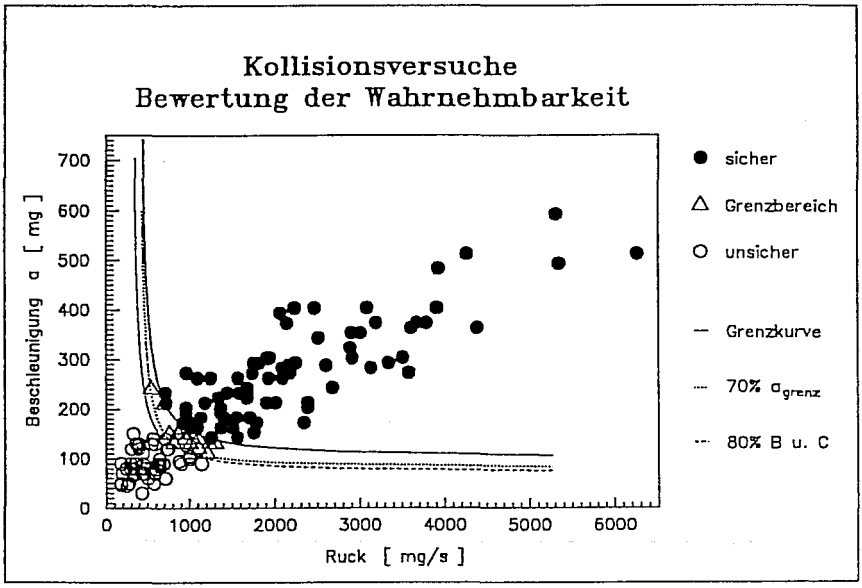


Bild 9.10 Beschleunigungs-Ruck-Kriterium bei Kollisionen

Der Zusammenhang zwischen Wahrnehmbarkeit und bleibender Deformation in Abhängigkeit von der beschädigten Karosserieposition ist in Bild 9.11 dargestellt. Zusätzlich zu der Bewertung nach dem BRK in drei Stufen wurden die durch quasistatisches Drücken erreichte maximale Deformationen aufgetragen.

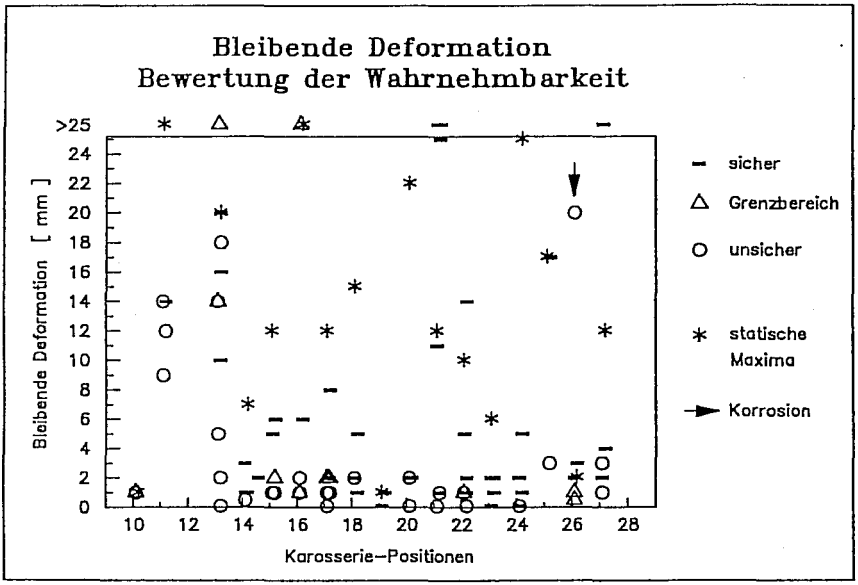


Bild 9.11 Wahrnehmbarkeit und bleibende Deformation

Es fällt auf, daß an allen Karosseriepositionen hohe bleibende Deformationen durch quasistatische Krafteinwirkungen hervorgerufen werden konnten. In den meisten Fällen lagen die statisch erzeugten Werte sogar höher als bei den dynamischen Versuchen. Dies ist darauf zurückzuführen, daß die dynamischen Versuche nur mit geringen Aufprallgeschwindigkeiten gefahren wurden.

Als eindeutig widerstandsfähigste Karosserieposition ist der Türspalt an der B-Säule (Nr. 19) zu identifizieren. Sämtliche Deformationen lagen unter 2 mm und waren klar wahrnehmbar. Auch die Türspalten an A- und C-Säule (Position 14 und 23) waren nur schwer zu deformieren. Dynamisch wurden Eindrückungen bis 3 mm, statisch bis 7 mm erreicht. Auch hier waren alle Kollisionen mit einer Ausnahme zweifelsfrei wahrnehmbar. Der einzige nicht sicher wahrzunehmende Anstoß an

Position 14 erfolgte unter 30° mit Abrutschen in den Türbereich, wo ein Lackkratzer hinterlassen wurde. Die Deformation lag daher eigentlich im Bereich der Position 15.
Im Türbereich wurden statische Deformationen zwischen 10 und 32 mm erzeugt. Die dynamischen Deformationen lagen meist unter 10 mm, erreichten im Einzelfall jedoch bis zu 41 mm. Ab 5 mm bleibender Deformationstiefe fanden sich keine unsicher wahrnehmbaren Versuche mehr. Lediglich ein Testaufprall unter 30° mit einer Anstoßhöhe von 65 mm wurde bei einer bleibenden Deformation von 41 mm dem Grenzbereich zugeordnet. Geringere Anstoßwinkel lassen im Bereich weicher Karosserieteile ein deutliches Abfallen der Verzögerungswerte erwarten.

Eine besondere Nachgiebigkeit ist erneut bei den Positionen 11 und 13 zu erkennen. Deformationen von 14 bzw. 18 mm Tiefe wurden erzeugt, ohne sicher wahrnehmbare Fahrzeugverzögerungen zu erzeugen. Diese Positionen lassen keine Deformationsgrenze erkennen, die zu einer sicheren Wahrnehmbarkeit führen müßte.
Unter Position 26 ist ein Versuch eingezeichnet, der den Einfluß starker Korrosion deutlich macht. Während bei intakter Karosserie Deformationen ab 2 mm Tiefe klar wahrnehmbar waren, gab das stark korrodierte Fahrzeugteil 20 mm bleibend nach, ohne sicher wahrnehmbare Fahrzeugverzögerungen zu bewirken (Bild 9.11, siehe Pfeil).

Die Auswertung des elastischen Deformationsanteils ergab keinen einheitlichen Zusammenhang mit der Fahrzeugverzögerung.

Die Darstellung der beim Deformationsvorgang aufgetretenen Kräfte macht deutlich, daß bei Werten über 2000 N keine Kollisionen nach dem BRK mehr als "unsicher wahrnehmbar" zu klassifizieren waren, Bild 9.12.

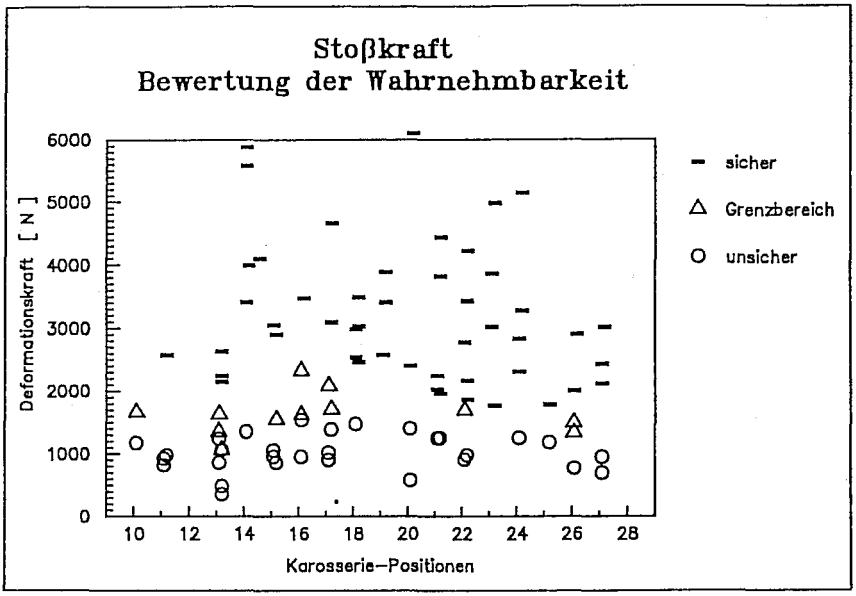


Bild 9.12 Wahrnehmbarkeit und Stoßkraft

Einen wesentlichen Einflußfaktor im Kollisionsgeschehen stellt die Aufprallgeschwindigkeit dar. Bild 9.13 läßt erkennen, daß Kollisionen ohne bleibende Deformation schwerpunktmäßig bis 1,8 km/h, in einem Fall auch noch bei 2,1 km/h (Position 27) vorkamen. Überraschend deutlich ist das Ergebnis, daß ab 1,8 km/h keine Versuche mit unsicherer Wahrnehmbarkeit mehr auftraten. Bei 2,1 km/h wurden die höchsten Werte fraglicher Wahrnehmbarkeit (Grenzbereich) registriert. Dies bedeutet, daß unter den gegebenen Versuchsbedingungen (Anstoßwinkel 30 bis 45°, Metallstoßstange) sämtliche Kollisionen ab 2,2 km/h Aufprallgeschwindigkeit deutlich wahrnehmbar waren. Bei den besonders unnachgiebigen Stoßpositionen 14 und 23 lag diese Grenze bereits bei 1,5 km/h, und an der Position 19 kamen ausschließlich klar wahrnehmbare Fahrzeug/Fahrzeug-Kontakte zustande.

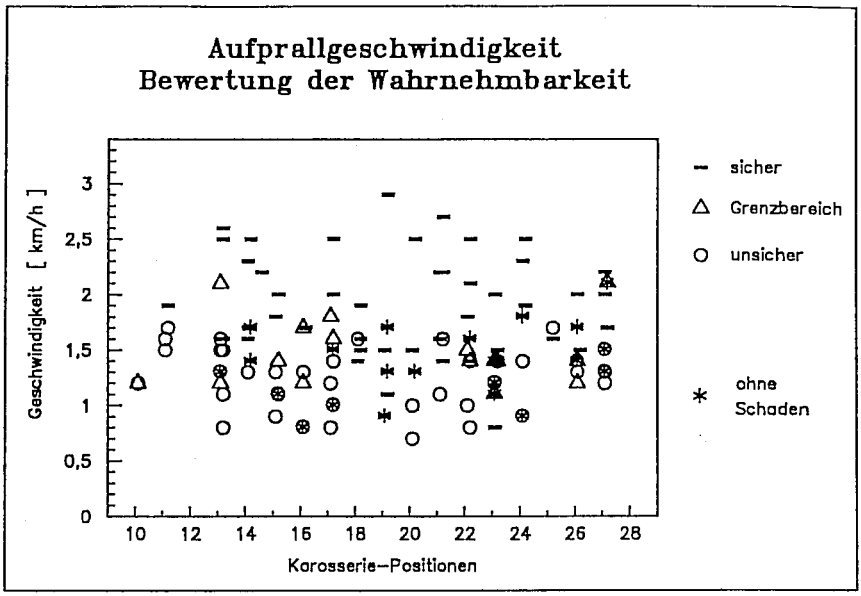


Bild 9.13 Wahrnehmbarkeit und Aufprallgeschwindigkeit

10. Einfluß der Stoßstangenbauart auf das Kollisionsgeschehen

Sämtliche quasistatischen und dynamischen Kollisionsversuche gegen andere Fahrzeuge wurden mit dem Versuchsfahrzeug VW Passat und der sehr stabilen Meßstoßstange ausgeführt. Diese Stoßstangenecke aus verchromten Stahl mit einer dünnen Gummileiste stellt gewissermaßen das Bezugsnormal für alle Tests dar.
Im heutigen Straßenverkehr sind derartige Stoßfänger nur noch selten anzutreffen. Moderne Pkw verfügen über Kunststoff-Stoßfänger, die sich zwar äußerlich ähneln, aufgrund ihrer Konstruktion - insbesondere des Unterbaues - jedoch erhebliche Unterschiede bezüglich Härte und Nachgiebigkeit aufweisen.
Zum Vergleich des Meßfahrzeuges mit realen Fahrzeugen moderner Konstruktion wurden ergänzende Kollisionen mit drei Fahrzeugen der Typen Opel Omega, Mazda 626 und Volvo 480 durchgeführt.
Um definierte Versuchsbedingungen zu schaffen, wurden die Vergleichsmessungen beim Aufprall gegen eine massive Betonwand mit vorgesetzter Blechplatte gefahren. Bild 10.1 zeigt die Ergebnisse der 45° Kollisionen. Es wird deutlich, daß sich bei allen Fahrzeugen eine annähernd lineare Abhängigkeit zwischen Aufprallgeschwindigkeit und Fahrzeugverzögerung feststellen läßt. Lediglich der Mazda 626 zeigt etwas größere Streuungen um die Mittelwertgrade. Weiterhin wird deutlich, daß die Verzögerungen am Meßfahrzeug mit starrer Stoßstange mehr als doppelt so hoch sind wie bei den übrigen Fahrzeugen. Auch zwischen den Originalfahrzeugen sind die Differenzen erheblich. Während Opel Omega und Mazda 626 nahezu gleich liegen, ergeben sich für den Volvo 480 um etwa 40% höhere Werte.
Die Mittelwertgeraden der einzelnen Fahrzeuge errechnen sich wie folgt:

1. Meßfahrzeug	636 mg/(km/h)	100 %
2. Opel Omega	221 mg/(km/h)	35 %
3. Mazda 626	207 mg/(km/h)	33 %
4. Volvo 480	306 mg/(km/h)	48 %
Mittelwert (2.-4.)	245 mg/(km/h)	40 %

Für ergänzende Messungen wurde am Versuchsfahrzeug VW Passat eine Kunststoffstoßstangenecke (VW Polo) angebracht. Die durch ein nicht ausgefülltes Dreieck gekennzeichnetes Meßwerte liegen gut innerhalb des Bereiches realer Fahrzeugstoßstangen.

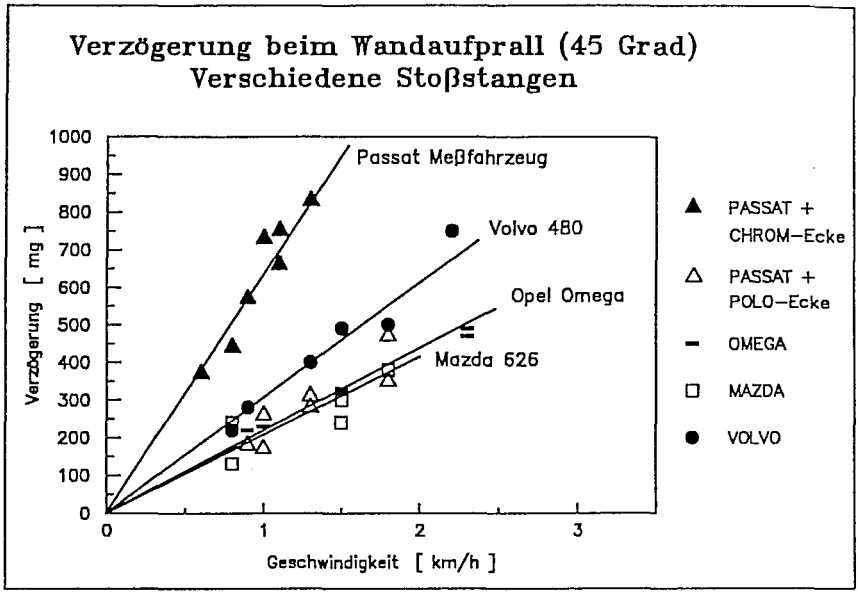


Bild 10.1 Stoßfängereinfluß auf die Verzögerung (45°)

Für die Kollisions-Reihenversuche wurde dennoch die Meßstoßstange aus Stahl verwendet, da der Kunststoff-Stoßfänger des Polo zum einen schon nach den Wandkollisionen eine deutliche Materialermüdung erkennen ließ, zum anderen durch die zur Aufnahme in der Kraftmeßdose notwendige massive Unterkonstruktion ohnehin nicht als realistische Stoßstange bezeichnet werden kann.

Bild 10.2 zeigt die Ergebnisse der Vergleichsstöße bei einem Aufprallwinkel von 15°. Die Meßpunkte der realen Fahrzeug liegen hier dichter zusammen und liefern einen Mittelwert von 67 mg/(km/h). Dies sind 35% der Werte des Meßfahrzeuges (189 mg/(km/h)).

Bei geringen Stoßwinkeln kommt der Formgebung des Stoßfängers eine besondere Bedeutung zu. Dies wird am Beispiel des Opel Omega besonders deutlich. Die seitlichen Stoßfängerteile sind so geformt, daß sie bereits beim Kollisionswinkel von 15° (bezogen auf die Fahrzeugmittelachse) mit ihrer Oberfläche nahezu parallel gleitend auf die Wand auftreffen. Hieraus resultieren fast konstante, geschwindig-

keitsunabhängige Fahrzeugverzögerungen zwischen 80 und 90 mg beim Opel Omega.
Für die Beurteilung realer Kollisionen muß daher deutlich darauf hingewiesen werden, daß nicht der Winkel der Fahrzeuglängsachsen zueinander, sondern der Winkel der sich berührenden Fahrzeugflächen für die Beurteilung der Wahrnehmbarkeit entscheidend ist.

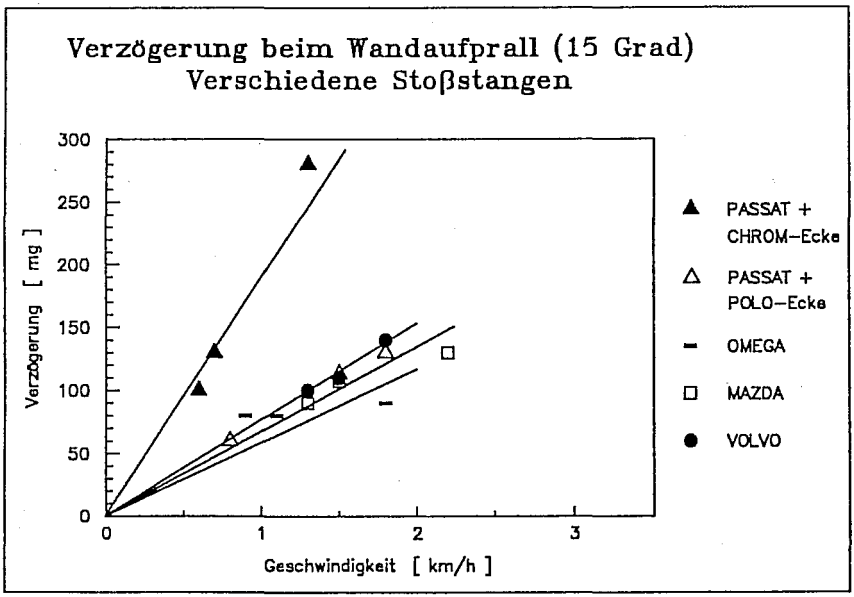


Bild 10.2 Stoßfängereinfluß auf die Verzögerung (15°)

Die Kollisionen unter 75° zeigten ein ähnliches Bild wie beim Aufprallwinkel 45°. Aufgrund der einseitigen Aufhängung ergaben sich bei der Meßstoßstange jedoch unrealistische Verdrehungen, so daß die gemessenen Fahrzeugverzögerungen nicht mehr realistisch waren. Auf eine graphische Darstellung dieser Messungen wurde daher verzichtet. Die Originalfahrzeuge erreichten Werte zwischen 394 (Mazda) und 493 mg/(km/h) (Opel Omega). Dabei erwies sich der Opel Omega erstmals härter als der Volvo 480 mit einem Wert von 433 mg/(km/h). Der Mittelwert dieser Fahrzeuge lag bei 440 mg/(km/h).

Bild 10.3 stellt die Winkelabhängigkeit in einer gemeinsamen Graphik dar. Für das Meßfahrzeug wurde im Anstoßwinkelbereich 15 - 45° ein Mittelwert von 14,1 (+/- 2,0) mg/(km/h)/° ermittelt. Die Vergleichsfahrzeuge erreichten für den Anstoßwinkelbereich von 15 - 75° einen mittleren Wert von 5,7 mg/(km/h)/°. Die Abweichungen der Einzelwerte betrugen ebenfalls +/- 2,0 bzw. ca. 40%.

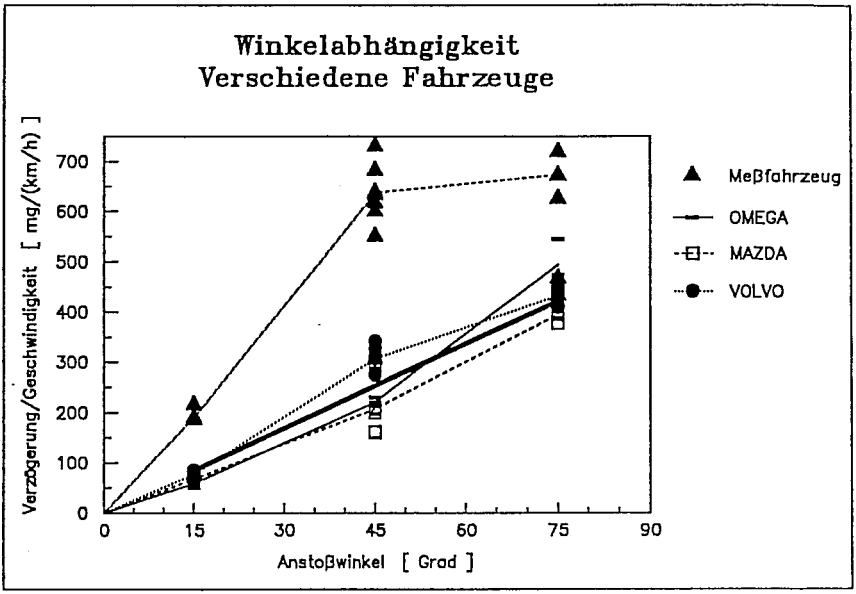


Bild 10.3 Einfluß des Stoßwinkels

Der Vergleich von Fahrzeug/Fahrzeug-Kollisionen mit einem Wandaufprall zeigt erwartungsgemäß, daß die große Mehrzahl der Fahrzeug/Fahrzeug-Kollisionen deutlich geringere resultierende Verzögerungen erzeugt als ein Aufprall gegen das feste Hindernis, selbst unter Zugrundelegung der weichen Stoßstange des Opel Omega, Bild 10.4. Es fällt jedoch auf, daß einige Fahrzeugstellen dem stoßenden Fahrzeug einen gleich hohen Widerstand entgegensetzen wie die Wand. In diesen Fällen - und nur in diesen - lassen sich die zu erwartenden Verzögerungen bei einem Fahrzeug mit Kunststoff-Stoßfänger entsprechend den Meßergebnissen des Stoßfängervergleichs umrechnen, d.h. man kann erwarten, daß die tatsächlichen

Werte bei etwa 40% der Meßwerte des Meßfahrzeugs liegen. Alle beim Wandaufprall aufgetretenen Stoßkräfte lagen, bedingt durch die Härte des Anstoßes, oberhalb 1700 N. Da geringere Kräfte nicht untersucht wurden, ist auch eine Übertragung des festgestellten Stoßfängereinflußes auf weichere Anstöße nicht zulässig. Aus dem Gesamtspektrum dynamischer Fahrzeug/Fahrzeug-Kollisionen, die in der Mustersammlung dokumentiert wurden, fällt etwa ein Drittel der Fälle in diesen Kraftbereich. Mit weicher werdenden Hindernissen ist, entsprechend der Reihenschaltung zweier unterschiedlicher Federn, damit zu rechnen, daß der Einfluß des Stoßfängers geringer wird.

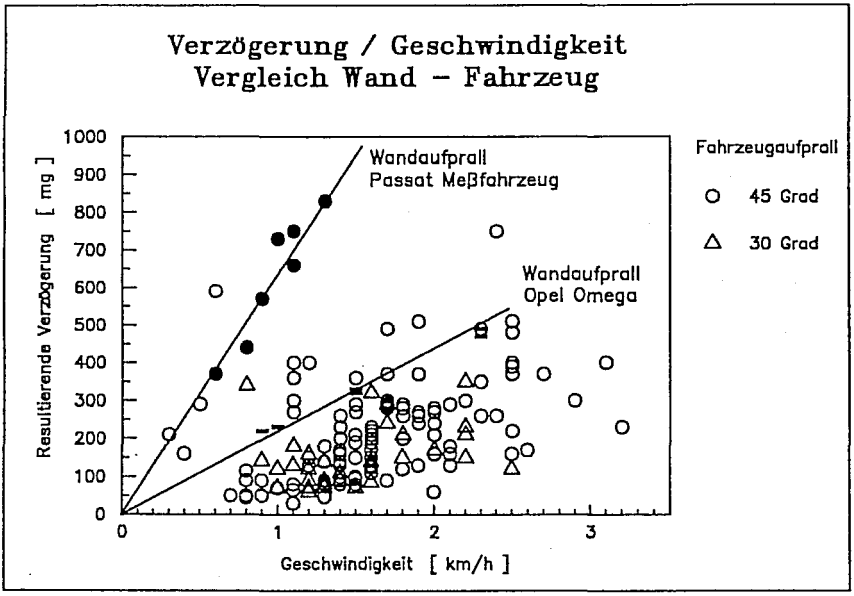


Bild 10.4 Verzögerungsvergleich Wandaufprall - Fahrzeugkollision

Bedingt durch die größere Masse des Opel ist der Unterschied der Stoßkräfte zwischen Opel und VW deutlich geringer als die Differenz der Verzögerungen. Da die Kräfte am Opel nicht direkt gemessen werden konnten, wurden sie unter Zugrundelegung des beim Passat ermittelten Korrekturfaktors k aus der Formel $F = k \cdot m \cdot a$ berechnet. Sie lagen bei ca. 60% der am Meßfahrzeug festgestellten Kräfte, Bild 10.5.

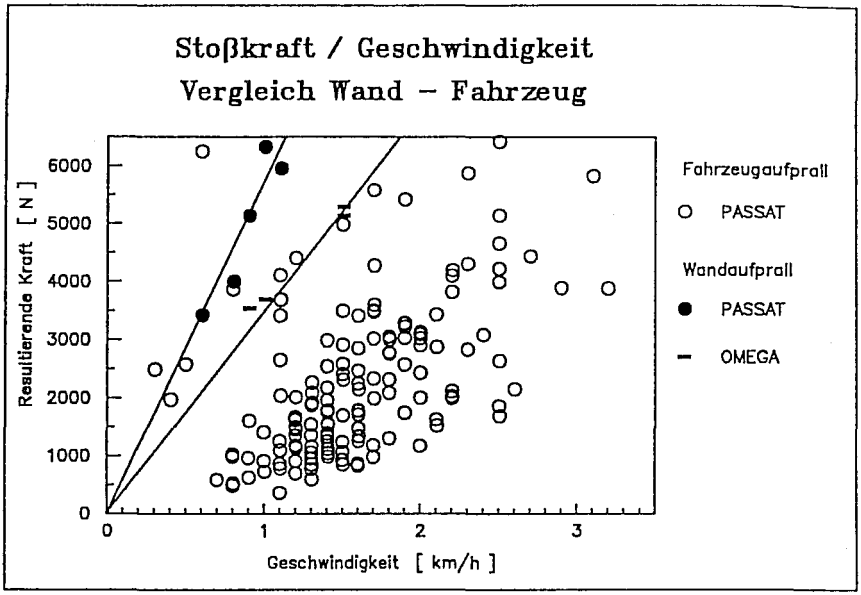


Bild 10.5 Kraftvergleich Wandaufprall - Fahrzeugkollision

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die Verzögerungen des Opel Omega beim Aufprall gegen die starre Wand nur 35% der Werte des Meßfahrzeugs VW Passat erreichten, während die Stoßkräfte - unter dem Vorbehalt der rechnerischen Abschätzung - bei etwa 60% lagen.

Die für die Wahrnehmung relevanten, aus dem BRK berechneten Werte a_{res}/a_{grenz} lagen bei 33 ... 55% (100% = BRK-Grenzkurve).

Einige Fahrzeug/Fahrzeug-Kollisionen lagen sowohl bei den Verzögerungen als auch folgerichtig bei den Stoßkräften nahe bei oder sogar über den Werten beim Stoß gegen die starre Wand. Diese zunächst scheinbar unsinnigen Ergebnisse sind nicht die Folge einer fehlerhaften Messung, sondern haben ihre Ursache im Formeinfluß des gestoßenen Fahrzeugteils. Prallt der Versuchswagen z.B. von außen auf eine Fahrzeugkante, so ist der Anstoßwinkel der Kontaktflächen größer als 45°, und der Widerstand kann größer werden als beim 45°-Wandaufprall (Meßkurven siehe Versuch 1091 im Anhang). Dies gilt ebenso, wenn sich das getroffene Karosserieteil

beim Anprall entsprechend verformt. Der Effekt entspricht den bei Bild 10.2 getroffenen Feststellungen über den Winkeleinfluß der Stoßfänger-Seitenflächen beim Opel Omega, diesmal jedoch mit entgegengesetzter Auswirkung. Es wird erneut deutlich, daß dem Kontaktwinkel der Stoßflächen, nicht dem der Fahrzeuglängsachsen, die wesentliche Bedeutung zukommt.

11. Hinweise für die Beurteilung realer Unfallsituationen

Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit gewonnenen Meßdaten und Ergebnisse liefern dem Sachverständigen eine abgesicherte Basis für die Beurteilung realer Kollisionen. Bei Stoßkonstellationen, die von den Versuchsbedingungen abweichen, muß jedoch den tatsächlichen Randbedingungen Rechnung getragen werden.
Besondere Beachtung verdient der Kollisionswinkel. Dabei ist stets der Winkel der Kontaktflächen, nicht der Winkel der Fahrzeugachsen zueinander relevant. Während im Winkelbereich 45...75° eine Abhängigkeit gemäß der Sinusfunktion angesetzt werden kann, nehmen unterhalb von etwa 15 ° Verzögerung und Ruck stärker ab, als es der Winkelfunktion entspricht. Die Bewertung der Wahrnehmbarkeit nach dem BRK ergab Rechenwerte, die um 35-40% unter den Erwartungswerten gemäß Sinusfunktion lagen. Als Ursache sind Rutsch- und Abgleitvorgänge zu nennen.

Auf Fahrzeuge mit massiven Metallstoßfängern - die bei neuen Modellen zunehmend durch Kunststoffelemente ersetzt werden - lassen sich die Versuchsbedingungen weitgehend direkt übertragen. Kunststoffstoßfänger können dagegen zu einer erheblichen Dämpfung des Anstoßes führen, wodurch sich die Einstufung nach dem BRK in Richtung einer geringeren Wahrnehmungswahrscheinlichkeit verschiebt. Die unter diesem Gesichtspunkt untersuchten Fahrzeuge Mazda 626, Opel Omega und Volvo 480 erreichten beim Aufprall gegen eine starre Wand nur 0,33 bis 0,55 der BRK-Bewertungen des Versuchswagen mit starrer Stoßstange. Bei niedrigen Stoßkräften ist ein geringerer Einfluß zu erwarten, da die Kunststoffteile zum Nachgeben gewisse Mindestkräfte benötigen. Die Wandkollisionen erreichten im Mittel Kräfte von 6000 N bei starrer Stoßstange und 4400 N bei den Originalfahrzeugen (Bandbreite 1940 ... 8060 N)
Überträgt man die Reduktionsfaktoren (0,33 und 0,55) auf die BRK-Bewertungen der Fahrzeug/Fahrzeug-Kollisisionsversuche, so fallen einige der sicher wahrnehmbaren Kollisionen unter die Grenzlinie für unsichere Wahrnehmung. Diese Versuche sind im Bild 11.1, welches auf den Grunddaten von Bild 9.12 basiert, besonders gekennzeichnet. Mit einem Stern wurden alle Stöße überlagert, die bei Anwendung des Faktors 0,33 (weichester Stoßfänger) vom sicheren in den unsicheren Bereich fallen. Ein Quadrat kennzeichnet Versuche, für die bereits der Faktor 0,55 hierfür ausreicht. Insgesamt sind 25,9% der untersuchten Kollisionen betroffen, davon 16,7% in der ersten und 9,2% in der zweiten Gruppe.
Darüber hinaus fallen alle Kollisionen innerhalb des Grenzbereichs ebenfalls in die Gruppe unsicherer Wahrnehmung.

Keine Änderung der Wahrnehmbarkeit ist - trotz entsprechender Markierung in der Grafik - bei der Bewertung von zerstörten Scheinwerfergläsern zu erwarten. Weiche Stoßfänger, die zu einer Verringerung der Fahrzeugverzögerung führen, reduzieren zugleich die Stoßkraft und verhindern insbesondere kurzzeitige Kraftspitzen, die den Glasbruch auslösen. Die Zerstörung der Glasscheibe erfordert unter diesen Bedingungen also eine höhere Aufprallgeschwindigkeit und führt somit wieder zu deutlich wahrnehmbaren Verzögerungen.

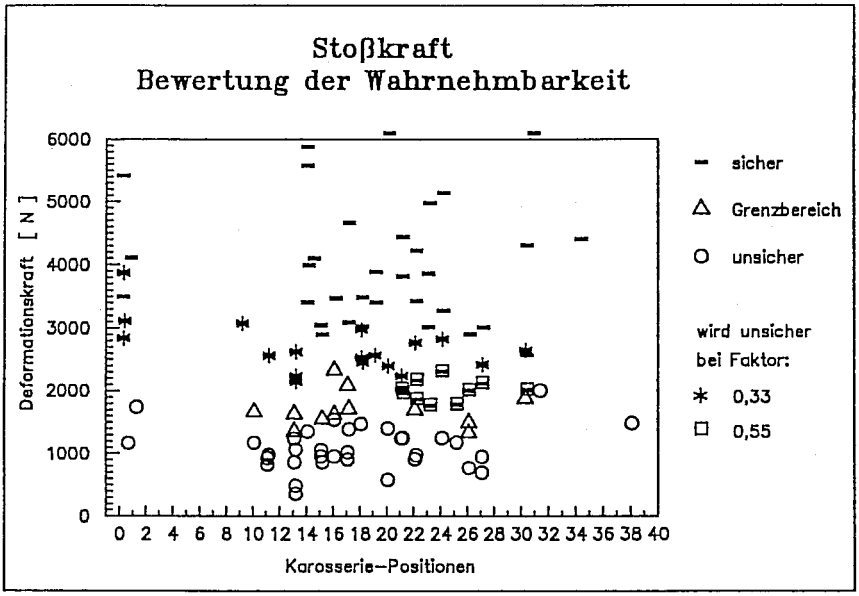


Bild 11.1 Wahrnehmbarkeit und Stoßkraft

Besser als mit der Stoßkraft läßt sich in der Praxis mit der Kollisionsgeschwindigkeit oder der bleibenden Deformation arbeiten. Die Bilder 11.2 und 11.3 zeigen den Einfluß unterschiedlicher Stoßfänger im Zusammenhang mit diesen Bezugsgrößen.
Bei der Darstellung der Wahrnehmbarkeit in Abhängigkeit von der Aufprallgeschwindigkeit (Bild 11.2) wird deutlich, daß an den Stoßpositionen 11, 13 und 25 durch weiche Stoßstangen sämtliche untersuchten Kollisionen (Versuche bis 2,6 km/h) in den Bereich fraglicher Wahrnehmbarkeit rutschen. Auch die Positionen

26 und 27 gelangen bei Kollisionsgeschwindigkeiten von 2,0 - 2,3 km/h in den unsicheren Bereich, jedoch blieben Stöße mit 1,5 und 1,7 km/h unverändert sicher wahrnehmbar. An Position 19 werden lediglich Anstöße ohne bleibende Deformationen unsicher beurteilt, alle anderen Stöße an dieser Stelle sind auch mit Kunststoffstoßfängern sicher wahrnehmbar. Bei den Positionen 14 - 17 ergibt sich überhaupt keine Änderung der Bewertung der Wahrnehmbarkeit, während sich die Geschwindigkeitsgrenze der übrigen Positionen leicht anhebt. Dennoch bleiben einige Kollisionen mit geringerer Aufprallgeschwindigkeit weiterhin sicher wahrnehmbar.

Eine direkte Bewertung der sichtbaren Deformationen ist mit Hilfe der Darstellung in Bild 11.3 möglich. An dieser Stelle sei nochmals darauf hingewiesen, daß sich die Beschädigungen aus quasistatischer und dynamischer Belastung nicht unterscheiden. Allein die maximale Druck- bzw. Stoßkraft ist für das Schadenbild entscheidend. Aus Bild 8.9 kann entnommen werden, welche Maximalkräfte ohne Schaden und welche Minimalkräfte mit Deformationen gemessen wurden.

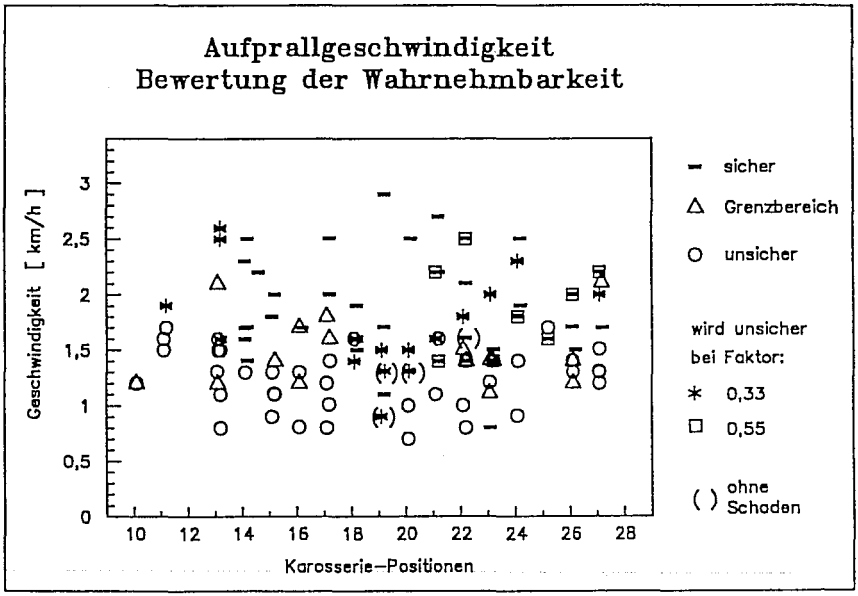


Bild 11.2 Wahrnehmbarkeit und Aufprallgeschwindigkeit

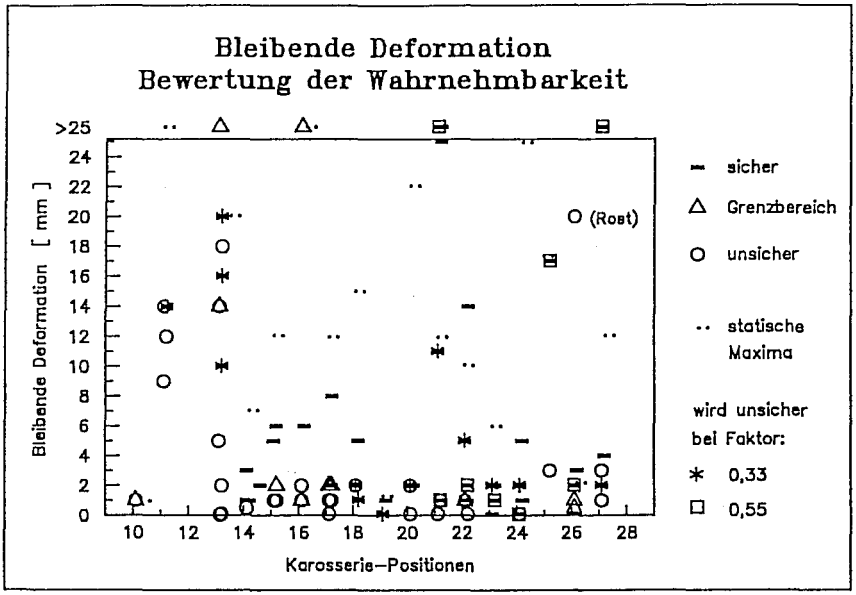


Bild 11.3 Wahrnehmbarkeit und bleibende Deformation

Einige für den Sachverständigen im praktischen Beurteilungsfall nützliche Eckwerte sind in Tabelle 11.1 zusammengefaßt. Die Positionsangaben beschränken sich auf die Stoßstellen im Bereich der Fahrzeugseite, Bild 11.4, da die Meßwerte bei Glasschäden in Kapitel 8.4 umfassend dargestellt wurden.

Die "größte statisch erzeugte Deformation" (Spalte 2) ist - zusammen mit der aufgewendeten Kraft (Spalte 3) - eine Meßgröße, die die Nachgiebigkeit der verschiedenen Kontaktpositionen bei quasistatischer Krafteinwirkung deutlich macht. In vielen Fällen sind die nach quasistatischer Krafteinwirkung bleibenden Deformationstiefen größer als bei dynamischen Anstößen.

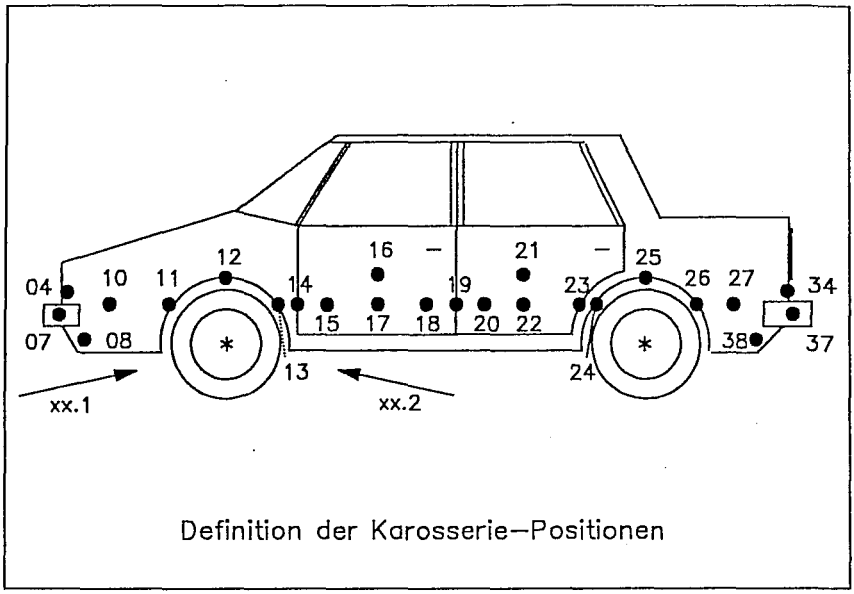


Bild 11.4 Wahrnehmbarkeit und bleibende Deformation

Pos.	größte statisch erzeugte Deformation mm	bei kN	kleinste Geschwindigkeit gef./ m. Schaden km/h	km/h	größte Deformation Wahrnehmung unsicher hart mm	mittel mm	weich mm	größte Geschwindigkeit Wahrnehmung unsicher hart km/h	mittel km/h	weich km/h
10	1	1,5	1,2	1,2	1	1	---	1,2	1,2	---
11	40	2,1	1,2	1,5	14	14	>14	1,7	1,7	>1,9
13	20	1,4	0,8	0,8*	18	42	>42	1,6	2,1	>2,6
14	7	2,8	1,3	1,3	<1	<1	<1	1,3	1,3	1,3
15	12	3,1	0,9	0,9*	1	2	<5	1,3	1,4	<1,8
16	32	2,5	0,8	1,2	2	2	<6	1,3	1,7	1,7
17	12	2,3	0,8	0,8*	1	2	>2	1,4	1,8	<2,0
18	15	2,1	1,4	1,4	2	2	2	1,6	1,6	1,6
19	1	2,7	0,9	1,1*	0	0	<1	---	---	1,5
20	22	2,4	0,7	0,7*	2	2	2	1,0	<1,5	1,5
21	12	3,0	1,1	1,4	1	1	11	1,6	2,2	<2,7
22	10	2,8	0,8	0,8*	1	2	5	1,5	1,6	1,8
23	6	1,9	0,8	0,8*	«1	1	2	1,2	1,4	2,0
24	25	2,9	0,9	1,4*	«1	<1	2	1,4	1,8	2,3
25	17	1,8	1,6	1,6	>3	17	---	1,7	1,7	---
26	2	1,6	1,2	1,2*	<1	2	<3	1,4	1,4	---
27	12	1,9	1,2	1,2*	3	32	---	1,5	2,2	---

Tabelle 11.1

Die kleinste Geschwindigkeit, die bei einem dynamischen Aufprall zu Schäden geführt hat, ist in Spalte 5 der niedrigsten untersuchten Testgeschwindigkeit (Spalte 4) gegenüber gestellt. Sind beide Werte gleich, so kann nicht ausgeschlossen werden, daß auch bei noch geringeren Geschwindigkeiten schon Schäden aufgetreten wären. Ein * hinter der Angabe in Spalte 5 besagt, daß es auch höherere Kollisionsgeschwindigkeiten OHNE bleibende Deformation gab.
Die folgenden Spalten geben einen Hinweis zur Bewertung der Wahrnehmbarkeit, wenn die bleibende Deformation (Spalte 6 - 8) oder die Aufprallgeschwindigkeit (Spalte 9 - 11) bekannt ist. Die Zahlenwerte entsprechen den grafischen Markierungen in Bild 11.2 und 11.3.
Die Härteangaben beziehen sich auf die Stoßfängerbauart des stoßenden Fahrzeugs: "Hart" steht für die Metallstoßstange, die angegebenen Werte wurden mit dem Versuchsfahrzeug gemessen. "Mittel" und "weich" sind die für die untersuchten Kunststoffstoßfänger (vgl. Kapitel 10) berechneten Vergleichswerte. Bei fehlenden oder nicht ausreichenden Meßwerten wurde auf die Angabe von Zahlen verzichtet (---).
Am Beispiel der Position 24 läßt sich die Tabelle wie folgt auswerten:
Die maximale quasistatisch erzeugte Deformation betrug 25 mm bei 2,9 kN. Die geringste Versuchsgeschwindigkeit lag bei 0,9 km/h, bleibende Schäden traten ab 1,4 km/h auf, jedoch kamen auch höhere Geschwindigkeiten ohne Schaden vor. Bei Fahrzeugen mit Metallstoßstange waren nur Deformationen deutlich unter 1mm (kaum sichtbare, nur durch Lackspiegelungen erkennbare Dellen) unsicher wahrnehmbar, und auch bei dem härteren Kunststoffstoßfänger galt diese Einstufung nur für Schäden unter 1 mm Tiefe. Bei weichen Stoßfängern können noch Schäden um 2 mm unsicher wahrnehmbar sein. Die maximalen Aufprallgeschwindigkeiten der verschiedenen Stoßfänger ergaben sich zu 1,4, 1,8 und 2,3 km/h als Grenze für unsichere Wahrnehmbarkeit.

12. Zusammenfassung

Frühere Untersuchungen zur Wahrnehmbarkeit leichter Kollisionen wiesen meist Testbedingungen auf, bei denen der Proband einem einzelnen Stoßversuch - oft mit verbundenen Augen und abgeschirmtem Gehör - ausgesetzt wurde. Dies führte zu einer extremen Ausrichtung der Aufmerksamkeit mit einer kurzen Wartezeit auf das Versuchssignal. Als Folge wurden Wahrnehmungsschwellen ermittelt, die den physiologischen Schwellenwerten sehr nahe kamen, jedoch bezüglich ihrer Übertragbarkeit auf den Straßenverkehr Einschränkungen unterworfen waren.
Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde die Ermittlung realer Wahrnehmungsschwellen vom eigentlichen Kollisionsgeschehen getrennt. Die Beschleunigungssignale wurden in einem ca. fünfzehnminütigen Testprogramm in unregelmäßigen Abständen erzeugt. Darüberhinaus war der optische Wahrnehmungskanal - die Augen -, über den ca. 80% der Informationen beim Autofahren aufgenommen werden, durch ein Videospiel aktiviert und der Proband durch die Bedienung abgelenkt, ähnlich wie es bei der Handhabung eines Kraftfahrzeugs zu erwarten ist.
Eine weitere Testreihe untersuchte den Einfluß von Blutalkhol auf das Wahrnehmungsverhalten.
Für die Bewertung der Wahrnehmungsgrenzen wurde erstmalig der Zeitverlauf der Beschleunigungen berücksichtigt.
Die große Zahl von 2347 Einzelversuchen an 50 Probanden unterschiedlichen Alters schuf eine sichere statistische Basis.
Beschädigungen an Kraftfahrzeugen werden durch Stoß- oder Druckkräfte hervorgerufen, die bei dynamischen Stößen zwar Verzögerungen am Verursacherfahrzeug bewirken, bei quasistatischen Belastungsfällen aber fast keine Bewegung entstehen lassen. Wesentliche Untersuchungspunkte waren daher die Abgrenzung statisch erzeugter Deformationen von Schäden aus dynamischen Kollisionen und die Analyse des Zusammenhangs von Stoßkräften, Deformationen und Fahrzeugverzögerungen. Die typischen Kontaktstellen am Fahrzeug wurden in über 500 Versuchen an unterschiedlichen Pkws auf ihr Bruch- bzw. Deformationsverhalten hin untersucht.
Neben den linearen Fahrzeugbeschleunigungen wurden erstmals auch die rotatorischen Komponenten ermittelt und ihre Bedeutung für die Wahrnehmung von Kollisionen diskutiert.
Störeinflüsse innerhalb und außerhalb des Fahrzeugs können Beschleunigungen erzeugen, bei denen Verwechslungsgefahr mit Anstoßsignalen besteht oder

Verdeckungsmöglichkeiten in Betracht zu ziehen sind. Durch die Untersuchung von Hinderniskontakten auf der Fahrbahn, betriebsbedingten Schwingungen bei Brems- und Rangiervorgängen sowie Auswirkungen von Insassenbewegungen auf das Fahrzeug wurden gesicherte Grundlagen für die Bewertung derartiger Einflüsse geschaffen.

Die wichtigsten Ergebnisse werden hier noch einmal kurz zusammengefaßt:

1. Bei extremer Aufmerksamkeit und Konzentration können auch sehr kleine Beschleunigungen wahrgenommen werden. Die Wahrnehmungswahrscheinlichkeit bei 40 mg (0,4 m/s^2) betrug etwa 40%. Unter realen Bedingungen im Fahrzeug, kombiniert mit möglicher Ablenkung, wurden jedoch weitaus höhere Beschleunigungen tatsächlich nicht wahrgenommen. Diese realen Werte, nicht die physiologisch möglichen Mindestwerte, sind für die Beurteilung konkreter Unfälle zu berücksichtigen.

2. Die obere Grenze tatsächlich nicht wahrgenommener Beschleunigungen ist nicht allein durch die Größe des Signals, sondern zusätzlich vom Zeitverlauf in der Anstiegsphase abhängig. Zur Beschreibung der Grenzkurve wurde ein "Beschleunigungs-Ruck-Kriterium (BRK)" ermittelt, welches durch die Form $a_{grenz} = C \cdot Ruck / (Ruck - B)$ beschrieben wird.
   Die obere Grenze nicht wahrgenommener Beschleunigungen erreicht bei sehr langsamem Signalanstieg unter Ablenkung Werte bis 350 mg, ohne Ablenkung immer noch bis 200 mg.
   Harte Stöße wurden bis maximal 130 mg nicht erkannt.
   Die Klassifizierung der Kollisionsbeschleunigungen erfolgte als "sicher", "Grenzbereich" oder "unsicher".

3. Der von Welther [128] ermittelte Grenzwert für nicht wahrgenommene Stöße entspricht den Ergebnissen bei harten Stößen und gesteigerter Aufmerksamkeit, die durch eine bei 70% a_{grenz} verlaufende Grenzlinie gekennzeichnet wurden.

4. Hohe Rotationsbeschleunigungen werden fast immer zusammen mit hohen Linearverzögerungen erreicht. Die Rotationskomponenten sind daher nur in Ausnahmefällen geeignet, eine Kollision unsicherer Wahrnehmbarkeit zuerkennen.

5. Der Genuß alkoholischer Getränke im Rahmen der zulässigen (!) Blutalkoholkonzentrationen zeigte keinen Einfluß auf die Beschleunigungswahrnehmung. Dies bedeutet, daß eine erlaubte leichte Alkoholisierung nicht als Grund für angeblich schlechtere Wahrnehmungen angeführt werden kann.

6. Quasistatische Druckkräfte können Deformationen in der gleichen Größenordnung hervorrufen wie dynamische Stöße. Die beim Stoß auftretenden Beschleunigungen fehlen jedoch. Nur in Ausnahmefällen entstehen z.B. durch plötzlich nachgebende Karosserieteile, deutlich wahrzunehmende Beschleunigungen.

7. Die Fahrzeugkarosserie weist extreme Steifigkeitsunterschiede in ihren verschiedenen Bereichen auf. Positionen stärkster Nachgiebigkeit liegen z.T. direkt neben Stellen größter Härte.
   Als weicheste Stellen haben sich die Ränder des vorderen Radausschnitts, gefolgt von der Türaußenhaut vorn und hinten erwiesen. Die Türspalten im Bereich der A- B- und C-Säule stellten die widerstandsfähigsten Positionen im Karosserie-Seitenbereich dar.

8. Unter den gegebenen Versuchsbedingungen (Metallstoßstange, Anprallwinkel 30-45°) waren sämtlich Kollisionen mit Aufprallgeschwindigkeiten über 2,2 km/h sicher wahrnehmbar. Bei den besonders unnachgiebigen Stellen (Türspalt A- und B-Säule) war diese Grenze bereits bei 1,5 km/h erreicht.

9. Kunststoffstoßfänger moderner Fahrzeuge können zu einer erheblichen Dämpfung des Anstoßes führen. Drei untersuchte Pkw lagen in der Bewertung der Wahrnehmbarkeit gemäß BRK bei 33 - 55% der mit Metallstoßstange berechneten Werte, was für etwa 26% der Testkollisionen zu einer Verschiebung der Einstufung von "sicher" nach "unsicher wahrnehmbar" geführt hätte.

Die Ergebnisse dieser Arbeit tragen dazu bei, die Beurteilung leichter Kollisionen in Unfallfluchtprozessen gemäß § 142 StGB auf eine wissenschaftlich abgesicherte Basis zu stellen. Bedingt durch die Komplexität der Materie erfordert die Verwendung der Ergebnisse und Berechnungskriterien in jedem Einzelfall das fundierte Fachwissen eines Kraftfahrzeug-Sachverständigen.

13. Literaturverzeichnis

[1] Abderhalden, E.
Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden Abt. V Teil 7
Verlag Urban + Schwarzenberg, 1930

[2] Albrecht, J.
Alkoholtäter im Straßenverkehr in Schleswig-Hostein
Blutalkohol 1967/51

[3] Arbab-Zadeh, A.
Experimentelle Untersuchungem über die Verarbeitung von
Umweltimpulsen nach Alkoholgenuß
und Erörterung der strafrechtlichen Konsequenzen
Blutalkohol 1965-66

[4] BGH
Entscheidung zu absoluten Fahruntüchtigkeit
Süddeutsche Zeitung 30.6.1990

[5] Bär, Hanns u. Hauser
Unfallflucht, Kommentar
RS Schulz Verlag, Percha - Loseblattsammlung 1978-89

[6] Below, G. von
Der Gefahrengrenzwert 0.8 Promille als subsidiärer
Tatbestand und seine Abgrenzung zu den Alkoholdelikten
im Straßenverkehr (316,315c StGB)
Blutalkohol 1969/6

[7] Benson, A.J.; Hutt, E.C.B.
Thresholds for the Perception of Whole Body Angular
Movement About a Vertical Axis
Aviat. Space Environ. Med.1989

[8] Biechteler, Enhuber, Meidl
Zur Frage der typisch alkoholbeeinflußten Fahrweise
Blutalkohol 1967/4

[9] Biener, K.
Die Einschätzung der 0.8‰ Blutalkohol-Toleranzgrenze
in der Bevölkerung
Blutalohol 1976/13

[10] Brettel, Gerchow, Großpietzsch
Über die Alkoholbeeinflussung bei der Fahrerflucht
Blutalkohol 1973/10

[11] Brinkmann, Koops, Naeve
Zum Verlauf der Blutalkoholkurve in der frühen Phase
nach Trinkende
Blutalkohol 1972/9

[12] Burgess, P.R.
Cutaneons Mechanoreceptors
Handbook of Perception Vol. VIII Chapter 11
Academic Press 1978

[13] Burg, H.; Rau, H.
Handbuch der Verkehrsunfallrekonstruktion
Verlag Information Ambs GmbH 1981

[14] Chen, P.W.; Robertson, F.
Human perception thresholds of horizontal motion
J. Struct. Div. Am. Soc. Civ. Engineers 98: No. ST8,
1681-1685 1972

[15] Clark, B.; Stewart,
J.D.Effects of Angular Acceleration on Man: Thresholds
for the Perception of Rotation
and the Oculogyral Illusion
Aerospace Med. 40 1969

[16] Coermann, R.
Einwirkung stoßförmiger Beschleunigungen auf den Menschen
VDI-Berichte Nr. 135, S. 73-76 1969

[17] Dallenbach, K.M.; et al.
The American Journal of Psychology
Mezes Hall, The University of Texas, Austin 1967

[18] Danner, M.; Halm, J.
Technische Analyse von Verkehrsunfällen
Kraftfahrzeugtechnischer Verlag München 1982

[19] Dreher
StGB - Kurzkommentar, Unerlaubtes Entfernen vom Unfallort
40. Aufl., Bt siebenter Abschnitt
Straftaten gegen die öffentliche Ordnung, S.623

[20] Ducho, E.-G.
Grenzwert bei Radfahrern
Blutalkohol 1963-64

[21] Dupuis, H.; Hartung, E. Vergleich regelloser Schwindungen
eines begrenzten Frequenzbereiches mit sinusförmigen
Schwingungen hinsichtlich der Einwirkung auf den Menschen
Ergonomics, S. 237-265 1972

[22] Eisenmenger, Schorn, Gilg
Untersuchungen zur Funktionsfähighkeit des Gehörs,
speziell der Frequenzauflösung, unter Alkoholeinfluß
Blutalkohol 1984/21

[23] Elbel, H.
Ergebnisse experimenteller Untersuchungen über d. Wirkung kleiner u. mittlerer Alkoholmengen auf die Fahrtüchtigkeit (Sinnesphysiologie)
Anlage 9 zum Gutachten des Bundesgesundheitsamtes 1966

[24] Forster, B. Starck, H.-J.
Über die Hell- Dunkeladaption unter Alkoholeinfluß
Deutsche Zeitschrift f. gerichtliche Medizin 1959/49

[25] Freudenberg, K.
Die Gefährlichkeit des Kraftfahrers nach dem Grade seiner Blutalkoholkonzentration, Anlage 8 zum Gutachten des Bundesgesundheitsamtes 1966

[26] Geppert, K.
Unerlaubtes Entfernen vom Unfallort ($142 StGB)
Wie können die Rechte der Geschädigten verbessert werden
Blutalkohol 1986/23

[27] Gerchow, J.
Zur Methodik der Feststellung u. Bewertung alkoholbedingter Persönlichkeitsveränderungen
SchrifttestDeutsche Zeitschrift f. gerichtliche Medizin 1959/49

[28] Gerchow, J.
Ergebnisse experimenteller Untersuchungen über die Wirkung kleiner u. mittlerer Alkoholmengen auf die Fahrtüchtigkeit (Psychologie)
Anlage 10 zum Gutachten des Bundesgesundheitsamtes 1966

[29] Gerchow, J.
Medizinisch-naturwissenschaftliche Aspekte zur 0,8‰-Grenze unter Berücksichtigung der kybernetischen Regelvorgänge
Blutalkohol 1968/5

[30] Gerchow, J.
0.8‰-Gefahrengrenzwert aus gerichtsärzlicher Sicht
Blutalkohol 1969/60

[31] Gerchow, J.
Über den Einfluß kleiner Alkoholdosen auf die Verkehrssicherheit unter besonderer Berücksichtigung der Ergebnisse des sog. Wolfsburger Versuches
Blutalkohol 1976/13

[32] Griffin, M.J.
The evaluation of vehicle vibration and seats
Applied Ergonomics 1978

[33] Grühn-Schultek, Pribilla
Über Feldversuche mit dem Alcotest 7310 (Dräger)
Blutalkohol 1983/20

[34] Grüner, Ludwig, Bauch
Über den Einfluß der Blutalkoholkurve nach Nikotingenuß
Blutalkohol 1968/5

[35] Grüner, Ludwig, Domer
Zur Abhängigkeit alkoholbedingter Aufmerksamkeitsstörungen vom Blutalkoholwert bei niedrigen Konzentrationen
Blutalkohol 1963-64

[36] Grüner, Ludwig, Domer
Übermüdung und Aufmerksamkeit
Blutalkohol 1965-66

[37] Grüner, O.
Alkohol und Aufmerksamkeit
Deutsche Zeitschrift f. gerichtliche Medizin 1955/44

[38] Grüner, O.
Hörfähigkeit und Vibrationsempfinden unter Alkoholeinfluß
W. Laves: Der Straßenverkehrsunfall 1956

[39] Grüner, O.
Zur Schuldfrage bei Unfallflucht
Deutsche Zeitschrift für gerichtliche Medizin 1959/49

[40] Grüner, O.
Zur Frage tatbestandsmäßigen Handelns unter Alkoholeinfluß
Blutalkohol 1963-64

[41] Grüner, O.
Störungen der Aufmerksamkeit bei niedrigen Alkoholkonzentrationen
Hefte zur Unfallheilkunde 1963/75

[42] Grüner, O.
Verlauf der Blutalkoholkurve nach Coffeingaben
Blutalkohol 1965-66

[43] Grüner, O.
Alkohol und Fahrtüchtigkeit
Nervenheilkunde 198

[44] Grüner, O.
Unfallflucht unter Alkohol
Kongressbericht Dt. Gesellschaft für gerichtl. u. soziale Medizin, Kiel 1.10.54

[45] Grüner, O. und Jaehn, R.
Die Aufmerksamkeitsablenkung bei Alkoholeinfluß
Blutalkohol 1975/12

[46] Grüner, O. und Rentschler, E.
Manual zur Blutalkohol-Berechnung
Carl Heymanns Verlag

[47] Grüner, O. und Trabant,G.
Alkoholbedingte Leistungsminderung bei Tag und Nacht
Blutalkohol 1970/7

[48] Günther, B. und Hobi, V.
Determinationsleistung und Drehsinnschwelle bei geringer Alkoholdosierung (um 0.5‰) unter Berücksichtigung habitueller und situativer Persönlichkeitsaspekte
Pharmakopsychiatrie 1976/9

[49] Gundry, A.J.
Thresholds of perception für Periodic Linear Motion
RAF Inst. of Aviation Medicine, Farnborough, Hants, England 1978

[50] Gundry, A.J.
Experiments on the Detection of Roll Motion
RAF Institute of Aviation Medicine, Farnborough, United Kingdom 1978

[51] Händel, K.
Alkoholbedingte Verkehrsdelikte in d. Vereinigten Staaten v. Amerika
Blutalkohol 1963-64

[52] Händel, K.
3. Internationaler Kongreß über Akohol und Straßenverkehr
Blutalkohol 1963-64

[53] Hauser, J.
Unfallflucht - ein typisches Alkoholdelikt
Blutalkohol 1982/19

[54] Heifer, U.
Alkoholbedingte Leistungseinbuße und Unfallhäufigkeit im Straßenverkehr
Blutalkohol 1965/3

[55] Hein, K.-H.
Die Beweisanzeichen für die Fahruntüchtigkeit
Blutalkohol 1965-66

[56] Heppner, M.
Verlaufsuntersuchungen über den alkoholbedingten Leistungsabfall in einem Bereich von 0.5-1.15‰ mit einem Fahrsimulator
Blutalkohol 1973/10

[57] Hobi, Miest, Richter et al
Der zeitliche Verlauf der Alkoholwirkung in Skalen der Selbstbefindlichkeit
Pharmakopsychiatrie 1976/90

[58] Howard, J.P.
The Spatial Senses
Academic Press 1978

[59] Huber, O.
Untersuchungen über die Veränderungen der Fahrtüchtigkeit von Kraftradfahrern nach
mäßigem Alkoholgenuß
Deutsche Zeitschrift f. gerichtliche Medizin 1955/44

[60] Janiszewski, H.
Die künftigen Verkehrsordnungswidrigkeiten
Blutalkohol 1968/50

[61] Jatho. K.
Die Wirkung d. Alkoholintoxikation auf den Vestibulärapparat unter besonderer Berücksichtigung der Störungen der vestibulär-okulomotorischen Regelfunktion
Zeitschrift f. Laryngologie, Rhinologie, Otologie u. ihrer Grenzgeb. 1965/44

[62] Jost
Multifaktorielle Untersuchung über objektive Unfallbedingungen und Persönlichkeitsmerkmale des Unfallflüchtigen
Diss. Tübingen, zitiert aus Bär, Hanns 1973

[63] Keele, St.W.; Neill, W.T.
Mechanismus of Attention
Academic Press 1978

[64] Keidel, W.D.
Grundprinzipien der akustischen und taktilen Informationsverarbeitung
Ergebnisse der Biologie
Springer-Verlag 1961

[65] Keidel, W.D.
Sinn und Zweck der Bionics
Wehrmedizin Verlagsgesellschaft mbH, Darmstadt 1966

[66] Kennedy, J.M.
Haptics
Academic Press 1978

[67] Kirkpatrick, M.M.; Brye, R.G.
Man-Systems Evaluation of Moving Base Vehicle Simulation Motion Cues
National Aeronautics and Space Administration, NASA-CR-120706 1974

[68] Krüger, R.
Die Trunkenheitsfahrt mit anschließender Unfallflucht als Konkurrenzproblem
Blutalkohol 1967/60

[69] Küpfmüller, K.
Informationsverarbeitung durch den Menschen
Nachrichtentechnische Zeitschrift Heft 2, S. 68-74 1959

[70] Lackner K.
Trunkenheit am Steuer als Gefährdungstatbestand
Blutalkohol 1963-64

[71] Laubichler, W.
Fahrerflucht im Dämmerzustand
Blutalkohol 1977/14

[72] Laves, W.
Medizinische Probleme bei Straßenverkehrsunfällen
W. Laves, F. Bitzel, E. Berger : Der Straßenverkehrsunfall 1956

[73] Lewrenz, Berghaus, Dotzauer
Alkoholfahrten auf dem VW-Fahrsimulator
Blutalkohol 1974/11

[74] Lindenmann, M.
Wer ist ein guter Autofahrer? Augenbewegungen geben Aufschluß
Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, Heft 6 1989

[75] Luff, K.
Die Bewußtseinslage des Kraftfahrers nach alkoholbedingten Verkehrsunfällen und ihre Bedeutung für die Unfallflucht
Blutallkohol 1963-64

[76] Luff, K. und Lutz, F.
Untersuchung über die Wirkung sog. alkoholfreien Bieres auf Blutalkoholkonzentration und Reaktionsvermögen
Blutalkohol 1983/20

[77] Luff, K. und Raudonat, H.W.
Gewürzsäfte und Alkoholresorption
Blutalkohol 1972/9

[78] Lundt, P.V.
Alkohol und Straßenverkehr, Zweites Gutachten d. Bundesgesundheitsamtes
Bundesminister f. Verkehr, Bonn-Bad Godesberg 1977/52

[79] Lundt, P.V. und Jahn, E.
Alkohol bei Verkehrsstraftaten, Gutachten des Bundesgesundheitsamtes
Bundesminister f. Justiz u. BM f. Verkehr, Kirchbaum Verlag 1966

[80] Lundt, P.V. und Jahn, E.
Zur Neufestsetzung eines Grenzwertes der absoluten Fahruntüchtigkeit (Im Gutachten des BGA 1966)
Bundesminister f. Justiz u.a. 1966

[81] Lutze, J. und Schacher, E.
Zur Reaktionszeit bei niedrigen Blutalkoholwerten
Blutalkohol 1979/16

[82] Mallach, Hartmann, Schmidt
Alkoholwirkung beim Menschen
Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1987

[83] Mallach, H. J.
Über den Verlauf von Blutalkoholkurven nach Biergenuß
Blutalkohol 1965-66

[84] Mayer, A.
Zum Beweis der Fahruntüchtigkeit bei Blutalkoholgehalten unter dem Grenzwert
Blutalkohol 1965-66

[85] Meiry, J.L.
The Vestibular System and Human Dynamic Space Orientation
Massachusetts Institute of Techn. Man-Vehicle Contr. Labor. T-65-1 1965

[86] Meister, R.
Die Empfindlichkeit des Menschen gegen Erschütterungen
Forschung 6. Band, Heft 3, S. 11-120 1935

[87] Metter, D.
Relative Fahruntüchtigkeit aus medizinischer Sicht
Alkohol, Fahruntüchtigkeit, relativ Blutalkohol 1976/13

[88] Meyer-Gramcko, F.
Informationsaufnahme, Informationsverarbeitung, Informationsspeicherung
Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, Heft 9 1989

[89] Meyer-Gramcko, F.
Die Bedeutung des Gehörsinns, Gleichgewichtssinns und anderer Sinnesleistungen im Straßenverkehr
Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, Heft 1 1988

[90] Meyer-Gramcko, F.
Der Gesichtssinn
Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, Heft 12 1989

[91] Meyer-Gramcko, F.
Wahrnehmen und Schätzen von Geschwindigkeiten
Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, Heft 6 1990

[92] Meyer-Gramcko, F.
Reaktion und Reaktionszeit
Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, Heft 7/8 1990

[93] Meyer-Gramcko, F. Aufmerksamkeit und Ablenkung
Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, Heft 10 1990

[94] Meyer-Gramcko, F.
Gehörsinn, Gleichgewichtssinn und andere Sinnesleistungen
im Straßenverkehr
Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, Heft 3 1990

[95] Middendorf, W.
Kriminologie der Unfallflucht
Blutalkohol 1982/19

[96] Mitschke, M; Kirschke, L.
Untersuchungen über das Schwingungsverhalten, das
Schwingungsempfinden und die Schwingungsbeanspruchung des
Menschen im fahrenden Personenkraftwagen
VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1970

[97] Moser, M. und Frank, P.
Flugmedizin für Piloten
Trias Thieme Hippokrates Enke 1988

[98] Müller-Limmroth u. Schneble
Neue Erkenntnisse zur Leistungsfähigkeit des Kraftfahrers,
zu ihren Grenzen und zu ihrer Verminderung durch
Medikamente und Alkohol
Blutalkohol 1978/15

[99] Müller-Limmroth, W.
Die physiologischen Grundlagen der Anforderungen im
Straßenverkehr
Handbuch der Verkehrsmedizin, Springer-Verlag 1960

[100] Müller-Limmroth, W. Sinnesorgane
Kapitel 15 aus "Der menschliche Körper" Teil 1,
Vorlesungsscript Technische Universität München1976

[101] Naeve, Schmid, Brinkmann
Zur Alkoholwirkung in der Resorptionsphase mit
Blutalkohol-Maximum-Werten von ca 0.7 bis 1.0 ‰
Blutalkohol 1974/11

[102] Ottis, L.
Unfallchance und Blutalkohol
Blutalkohol 1963-64

[103] Patscheider, H.
Hohe Blutalkoholkonzentrationen im Straßenverkehr
Blutalkohol 1975/12

[104] Perrine, M.W.
Mit Alkohol bremst man anders
Schweizer Automobil Revue 42/1978

[105] Pohl, K.D. und Joachim, H.
Die halbautomatisch-potentiometrische
Blutalkoholbestimmung nach Widmark-Weyrich
Blutalkohol 1973/10

[106] Prell, G.; Heiß, A.
Rekonstruktion und Beurteilung von Pkw-Unfällen mit akustisch relevanten Randbedingungen, insbesondere auch im Bereich der Wahrnehmbarkeitsschwelle
Kongreßbericht d. Deutschen Ges. für Verkehrsmedizin e.V., München 1991

[107] Reh, H.
Über abnorm starke Alkoholverträglichkeiten
Blutalkohol 1965-66

[108] Reinhardt, G. und Zink, P.
Veränderungen des subjektiven Befindens durch Alkohol
Blutalkohol 1972/9

[109] Remky, H.
Augenärztliche Befunde bei akuter Alkoholwirkung
W. Laves : Der Straßenverkehrsunfall 1956

[110] Richter, R. und Hobi, V.
Der Einfluß niedriger Alkoholmengen auf Psychomotorik und Aufmerksamkeit
Blutalkohol 1979/16

[111] Sacher, Fritz
Die menschliche Komponente im Straßenverkehrsunfall
Was der Sachverständige nicht in der Ingenieurausbildung lernt
Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik Heft5 1988

[112] Schewe, Schuster, Englert etal
Experimentelle Untersuchungen zur Frage der alkoholbedingten Fahruntüchtigkeit von Fahrrad- und Mofafahrern
Blutalkohol 1980/17

[113] Schuller, Drasch, Meyer, Anselm
Die Wirkung von Alkohol u. Coffein auf den durch längere Fahrt ermüdeten Kraftfahrer
Eine Untersuchung am Fahrsimulator
Beiträge zur gerichtlichen Medizin 1979/37

[114] Spiegel, R.
Fahruntüchtig - ab wann ? Streit um die Promille
MOT 10/1989

[115] Spreng, M.
Informationsverarbeitung und Reaktionsverhalten
Dr. Arthur Tetzlaff-Verlag, Frankfurt/M. 1969

[116] Spreng, M.
Grenzen der sensorischen Informationsverarbeitung des Menschen
Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart 1976

[117] Spreng, M.; Keidel, W.D.
Neue Möglichkeiten der Untersuchung menschlicher Informationsverarbeitung
Springer-Verlag, Berlin 1963

[118] StGB Par. 142
Unerlaubtes Entfernen vom Unfallort
Strafgesetzbuch Verlag Ch. Beck

[119] Staak, M. und Eysselein, G.
Experimentelle Untersuchungen über Veränderungen des Reaktionsverhaltens bei niedrigen Blualkoholkonzenrationen
Blutalkohol 1976/13

[120] Staak, M. und Mittmeyer, H.-J.
Verkehrsunfallflucht und Alkoholisierung
Blutalkohol 1973/10

[121] Staak, Springer, Bader, Feller
Experimentelle Untersuchungen über qualitativ u. quantitativ erfaßbare Änderungen d. psychophysischen Leistungsfähigkeit b. Blutalkoholkonzentrationen zwischen 0.7 und 0.8‰
Blutalkohol 1975/12

[122] Staak, Springer, Schoor
Experimentelle Untersuchungen über objektiv meßbare Wirkungen niedriger Blutalkoholkonzentrationen im Doppelblindversuch
Blutalkohol 1972/9

[123] Staak, Springer, Schoor
Experimentelle Untersuchungen über die subjektiv registrierbare Wirkung niedriger Blutalkoholkonzentrationen im Doppelblindversuch
Blutalkohol 1973/10

[124] Ungerer, D.
Sicherheitsfaktor Mensch
Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, Heft 9 1988

[125] Urban, Tutsch-Bauer, Schuller
Zuverlässigkeit zweier Atemalkoholmeßgeräte unter d. Bedingungen d. täglichen Praxis
Blutalkohol 1983/20

[126] Wallgren, H. und Barry, H.
Actions of Alcohol
Elsevier Publishing Company 1970

[127] Welther, I.
Fallbeispielsammlung zur Beurteilung der akustischen und taktilen Wahrnehmbarkeit leichter Pkw-Kollisionen im Zusammenhang mit142 StGB
Allianz-Zentrum für Technik, Ismaning b. München 1981

[128] Welther, I.
Ingenieurwissenschaftliche Untersuchung zur Frage der Wahrnehmbarkeit leichter Fahrzeugkollisionen
Technische Universität München, Dissertation 1982

[129] Wilhelmi,Lindner,Audrlicky
Untersuchungen über das Sehen in der Dämmerung nach Alkoholaufnahme
Blutalkohol 1972/9

[130] Wolff, H.
Einfluß von Alkohol auf die Wahrnehmbarkeit von leichten Fahrzeugkollisionen
(genehmigte Vorveröffentlichung zur Dissertation)
Kongreßbericht d. Deutschen Ges. für Verkehrsmedizin e.V., München 1991

[131] Wolff, H.
Schäden in Millionenhöhe sind vermeidbar - Neue Technik bei Kabelverteilerschränken senkt Reparaturkosten
Der Maschinenschaden Heft 2 1990

[132] Zabel, G.
Einige Probleme zur Unfallflucht
Blutalkohol 1983/20

Semester- und Diplomarbeiten

[S1] Bach, D.
Einfluß verschiedener Stoßfängerkonstruktionen auf die Fahrzeugverzögerung bei leichten Kollisionen
Diplomarbeit, Rüsselsheim 1988

[S2] Bachmeier, P.
Untersuchung von Methoden zur Bestimmung von Kräften und Verzögerungen bei leichten Fahrzeugkollisionen
Semesterarbeit, München 1988

[S3] Bärnthol, F.
Untersuchung der Kraft-Weg-Verformungscharakteristik an PKW-Karosseriebauteilen bei leichten Fahrzeugkollisionen.
Diplomarbeit, München 1986

[S4] Eschbaumer, A.
Beschleunigungs- und Geräuschmessungen an Fahrzeugen im Rahmen einer Untersuchung über die Wahrnehmbarkeit leichter Kfz-Kollisionen
Diplomarbeit, München 1982

[S5] Esterl, T.
Kraftmessungen bei leichten Fahrzeugkollisionen
Semesterarbeit, München 1983

[S6] Fischer, P.
Erprobung und Beurteilung eines Versuchsaufbaus zur Ermittlung von Fahrzeugverzögerungen und Stoßkräften bei leichten Kollisionen.
Diplomarbeit, München 1985

[S7] Heintges, W.
Fahrzeugbeschleunigungen durch Bordsteinkontakte bei Rangiervorgängen
Semesterarbeit, München 1987

[S8] Maiershofer, R.
Grenzen der Wahrnehmbarkeit von Fahrzeugbeschleunigungen
Diplomarbeit, München 1989

[S9] Meinhardt, W.
Fahrzeugbeschleunigungen durch Bordsteinkontakte bei Rangiervorgängen
Diplomarbeit, München 1987

[S10] Prix, V.
Untersuchungen über das dynamische Verhalten unterschiedlicher Stoßfängertypen bei leichten Kollisionen gegen eine feste Wand
Semesterarbeit, München 1988

[S11] Raeder, S.
Grenzen der Wahrnehmbarkeit von Fahrzeugbeschleunigungen bei verschiedenen Störeinflüssen
Diplomarbeit, München 1989

[S12] Reindel, M.
Konzipierung u. Erprobung einer Kraftmeßvorrichtung bei leichten Fahrzeugkollisionen
Diplomarbeit, München 1984

[S13] Rosenberger, M.
Kraftmessungen an PKW mit automatischem Getriebe bei leichten Kollisionen
Semesterarbeit, München 1989

[S14] Rumpp, R. und Schleich, M.
Konzipierung u. Erprobung eines Versuchsaufbaus zur Messung von Kräften und Beschleunigungen bei leichten Fahrzeugkollisionen
Semesterarbeit, München 1985

[S15] Sarnowski, H.
Erstellung und Erprpobung eines Daten-Ein- und Auslesesystems zur Erfassung von Kraft- und Beschleunigungsverläufen bei leichten Kollisionen
Diplomarbeit, München 1987

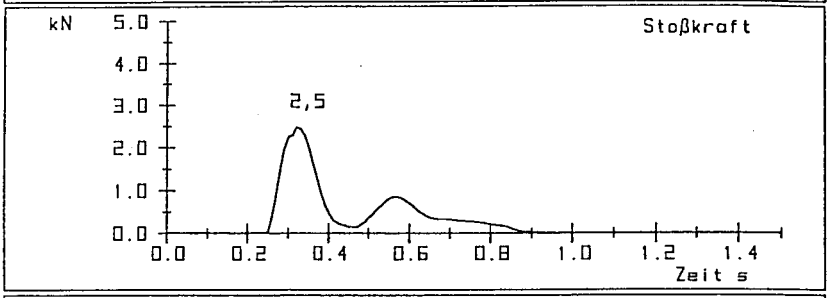
[S16] Weide, T.
Beschleunigungen und Kraftmessungen an Fahrzeugen bei leichten Kollisionen
Diplomarbeit, München 1989

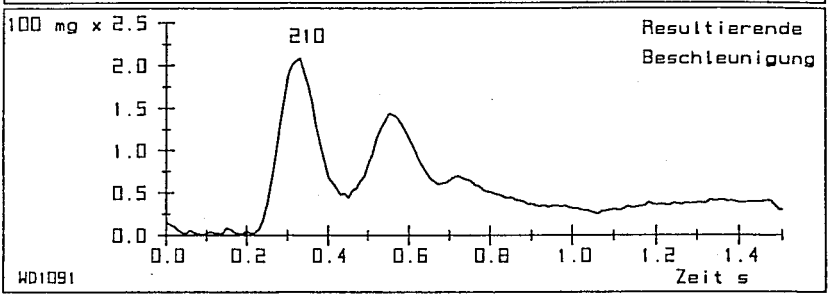
[S17] Weiland, M.
Untersuchung des dynamischen Deformationsverhaltens von PKW-Karosseriebauteilen bei leichten Fahrzeugkollisionen.
Diplomarbeit, München 1986

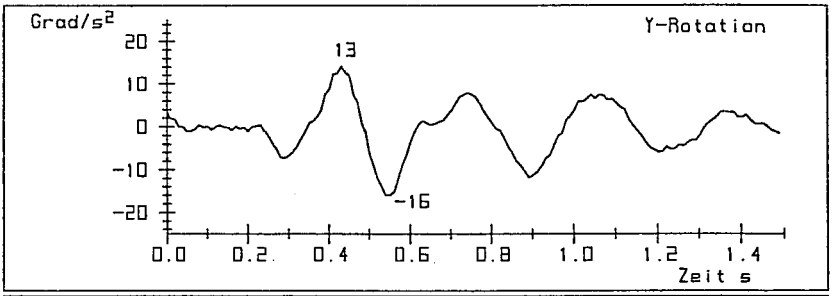
14. Anhang

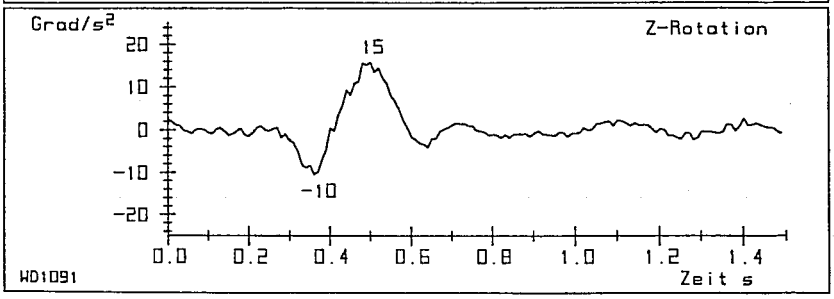
Ausgewählte Versuchsdokumentationen

Versuchs-Nr.:	1091	Beschädigtes Fahrzeug:	Renault 21
V Anprall (km/h):	0,3	45°	
Kontaktstelle:	30.9	Blinker hinten	
Bleibende Deformation:		keine	

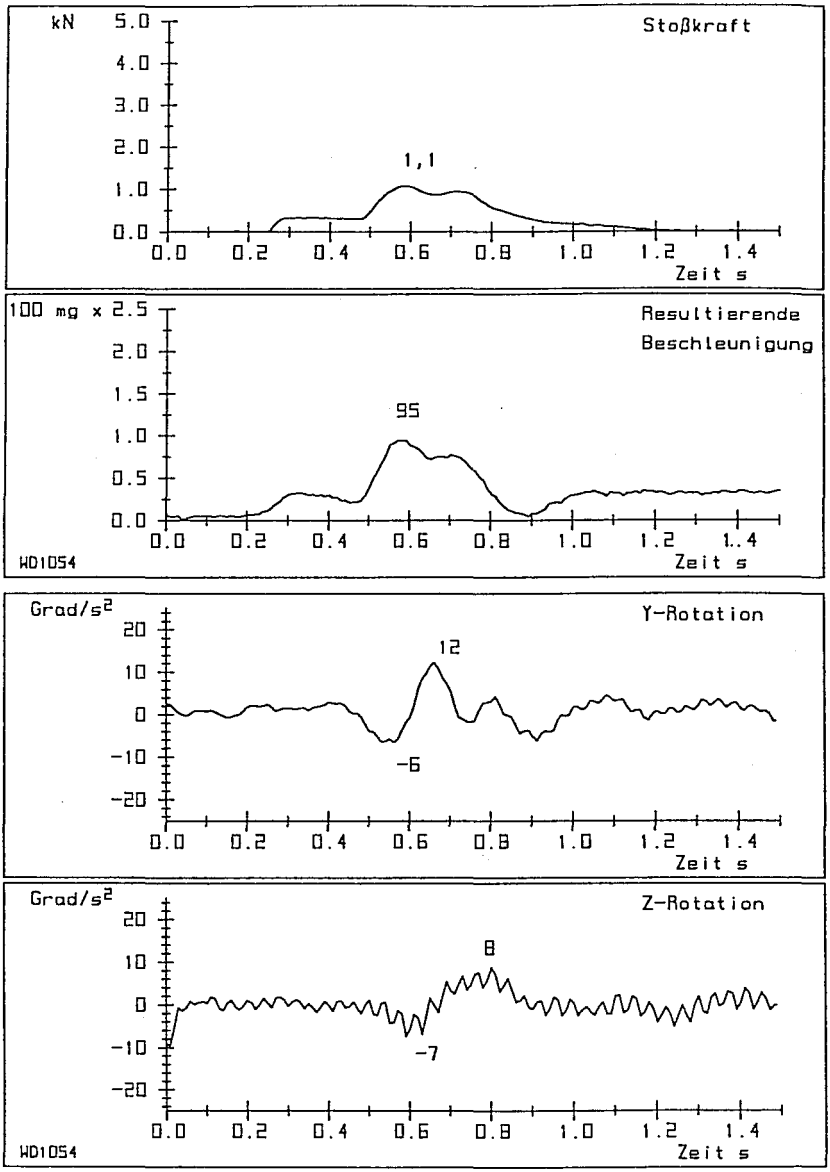




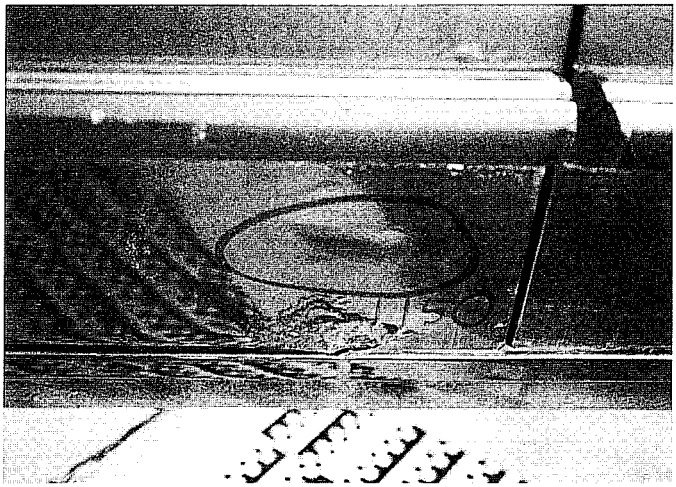


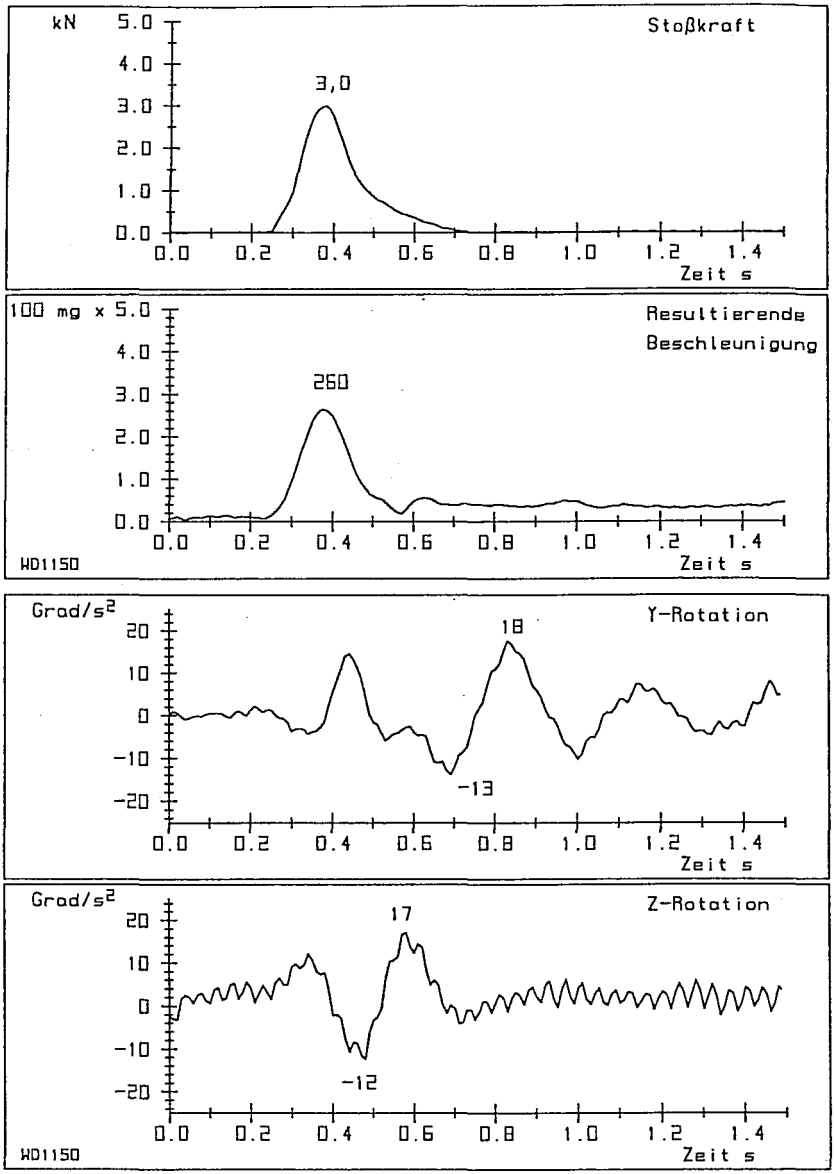


Versuchs-Nr.:	1054	Beschädigtes Fahrzeug:	Renault 21
V Anprall (km/h):	1,5	45°	
Kontaktstelle:	13.2	hintere Kante Radausschnitt Vorderrad	
Bleibende Deformation:		130 x 90 x 18 mm (L x H x T)	

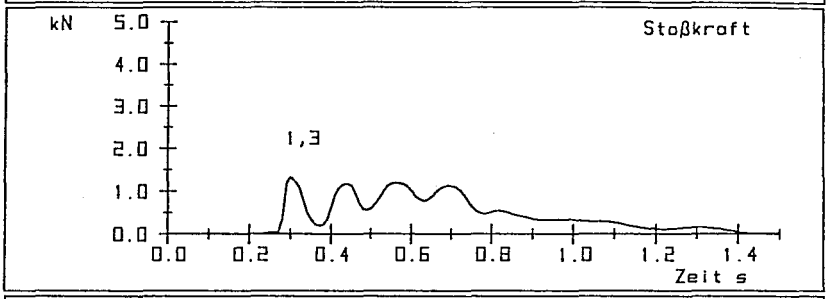

kN
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
Stoßkraft
1,1
0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 1.2 1.4
Zeit s
100 mg x 2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
Resultierende
Beschleunigung
95
0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 1.2 1.4
Zeit s
WD1054
Grad/s²
20
10
0
-10
-20
Y-Rotation
12
-6
0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 1.2 1.4
Zeit s
Grad/s²
20
10
0
-10
-20
Z-Rotation
8
-7
0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 1.2 1.4
Zeit s
WD1054

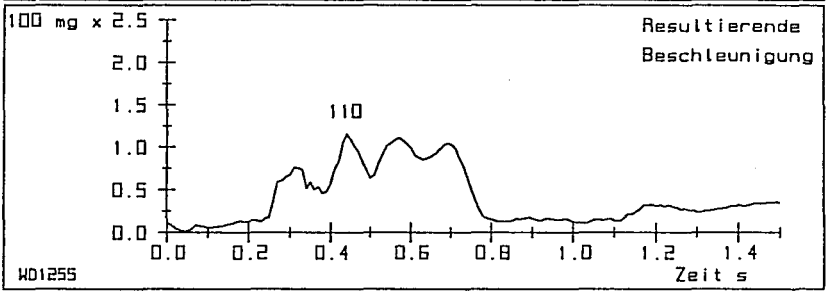
Versuchs-Nr.:	1150	Beschädigtes Fahrzeug:	BMW 728
V Anprall (km/h):	1,4	45°	
Kontaktstelle:	18.1	Fahrertür hinterer Bereich	
Bleibende Deformation:		70 x 80 x 2 mm (L x H x T)	

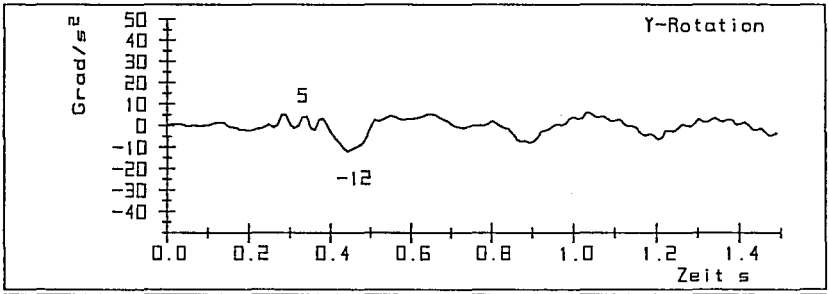


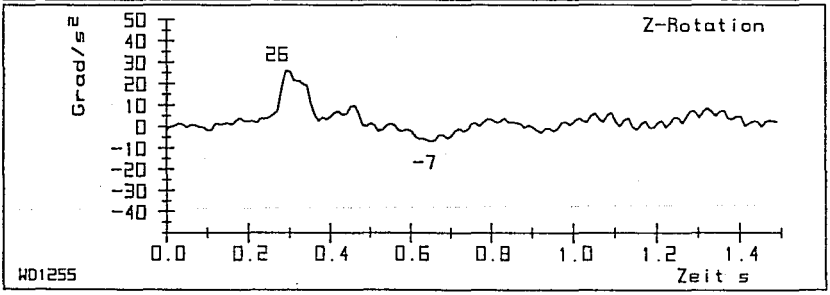

kN
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
Stoßkraft
3,0
0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 1.2 1.4
Zeit s
100 mg x 5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
Resultierende
Beschleunigung
260
0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 1.2 1.4
Zeit s
WD1150
Grad/s2
20
10
0
-10
-20
Y-Rotation
18
-13
0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 1.2 1.4
Zeit s
Grad/s2
20
10
0
-10
-20
Z-Rotation
17
-12
0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 1.2 1.4
Zeit s
WD1150

Versuchs-Nr.:	1255	Beschädigtes Fahrzeug:	Peugeot 504
V Anprall (km/h):	1,4	30°	
Kontaktstelle:	26.1	hintere Kante Radausschnitt Hinterrad	
Bleibende Deformation:		Lackkratzer	

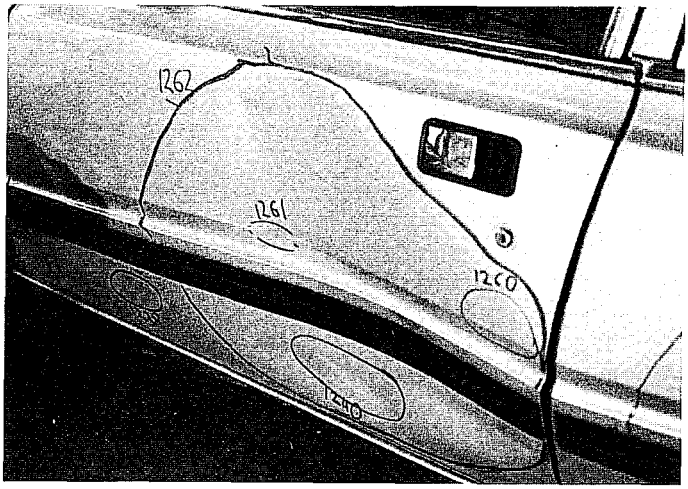


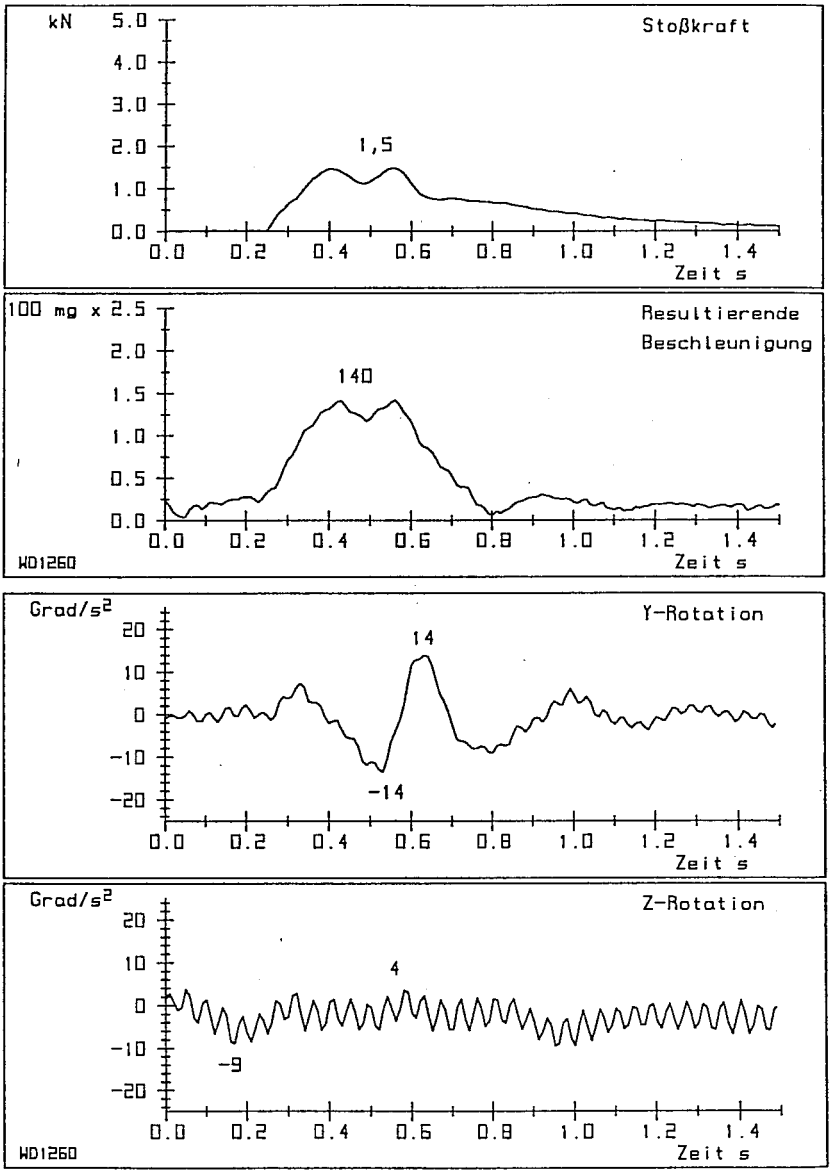






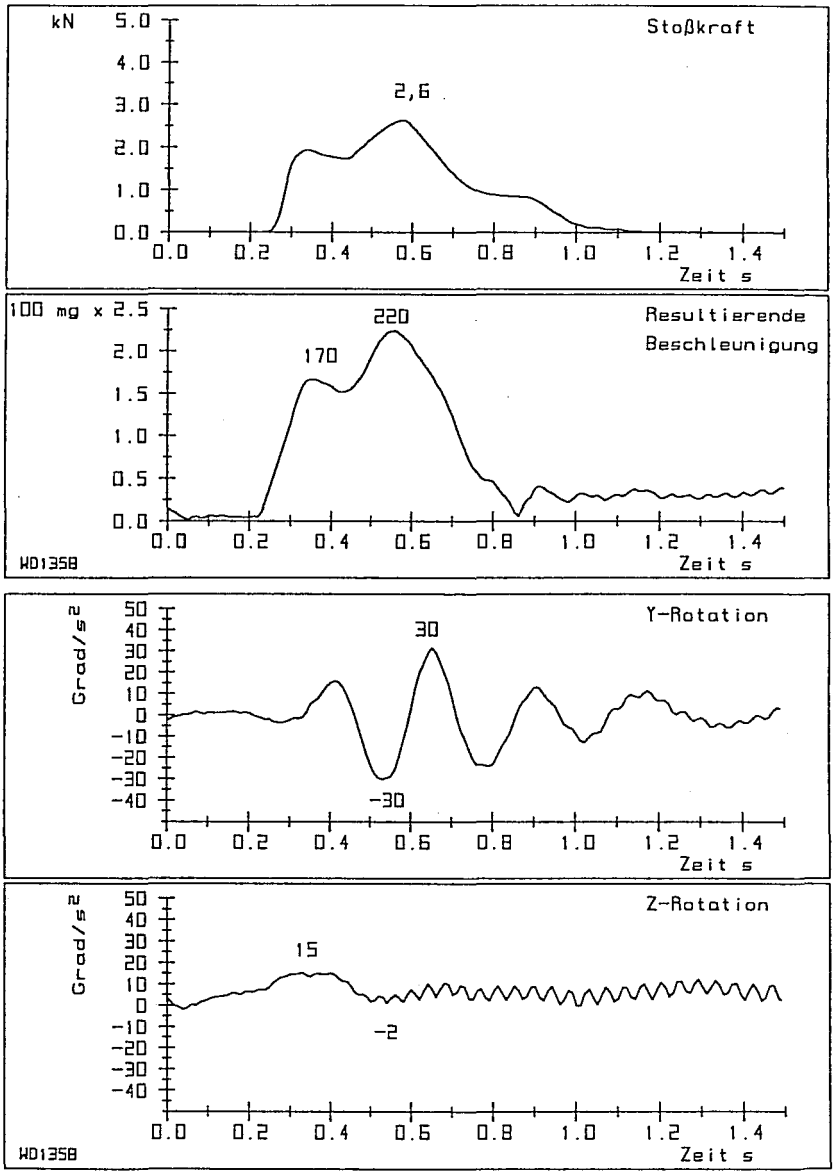
Versuchs-Nr.:	1260	Beschädigtes Fahrzeug:	Peugeot 504
V Anprall (km/h):	1,6	30°	
Kontaktstelle:	18.1	Fahrertür hinterer Bereich	
Bleibende Deformation:		60 x 35 x 2 mm (L x H x T)	




kN
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
Stoßkraft
1,5
0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 1.2 1.4
Zeit s
100 mg x 2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
Resultierende
Beschleunigung
140
0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 1.2 1.4
Zeit s
WD1260
Grad/s2
20
10
0
-10
-20
Y-Rotation
14
-14
0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 1.2 1.4
Zeit s
Grad/s2
20
10
0
-10
-20
Z-Rotation
4
-9
0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 1.2 1.4
Zeit s
WD1260

Versuchs-Nr.:	1358	Beschädigtes Fahrzeug:	DB 350 SE
V Anprall (km/h):	2.5	45°	
Kontaktstelle:	13.2	hintere Kante Radausschnitt Vorderrad	
Bleibende Deformation:		keine sichtbare Deformation	

Blechbeschädigung unter der Leiste: 120 x 130 x 16


kN
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
Stoßkraft
2,6
0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 1.2 1.4
Zeit s
100 mg x 2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
Resultierende
Beschleunigung
220
170
0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 1.2 1.4
Zeit s
WD1358
Grad/s²
50
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
Y-Rotation
30
-30
0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 1.2 1.4
Zeit s
Grad/s²
50
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
Z-Rotation
15
-2
0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 1.2 1.4
Zeit s
WD1358