

# Unfall- und Sicherheitsforschung Straßenverkehr

Heft

**5**

1976

**Windschutzscheiben von  
Personenkraftwagen**

**Herausgegeben  
im Auftrage des Bundesministers für Verkehr  
von der Bundesanstalt für Straßenwesen**

# Unfall- und Sicherheitsforschung Straßenverkehr

Heft

5

1976

## **Windschutzscheiben von Personenkraftwagen**

(Sievert, W., Pullwitt, E., Gülich, H.-A.,  
Marburger, E.-A., Löffelholz, H. und Friedel, B.)

Herausgegeben  
im Auftrage des Bundesministers für Verkehr von der  
Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung, Köln



# Kurzfassung · Abstract · Résumé

## Windschutzscheiben von Personenkraftwagen

Die Beurteilung der technischen und unfallrelevanten Eigenschaften der beiden Scheibenarten zeigt, daß die VSG-Scheibe gegenüber der ESG-Scheibe hinsichtlich der Verletzungs- und Unfallgefahr zwar überwiegend Vorteile aufweist; diese Vorteile sind jedoch vor allem vor dem Hintergrund steigender Gurtanlagequoten nicht als so entscheidend anzusehen, daß daraus die Begründung für ein Verbot der ESG-Scheibe abzuleiten wäre.

Diese Feststellung wird insbesondere auch gestützt durch eine Nutzen-Kosten-Betrachtung, die zeigt, daß aus gesamtwirtschaftlicher Sicht bei einem generellen Ersatz der ESG-Scheibe durch die teurere VSG-Scheibe bei günstigen Annahmen der Nutzen unter den Kosten liegen würde.

## Windshields of passenger cars

An evaluation of the technical properties and those relevant to traffic accidents of both types of windshields has shown the laminated glass windshield in most cases to be far superior to the safety glass windshield as regards the danger of injuries resulting from traffic accidents, but in view of the increasing use of seat belts these advantages no longer are so decisive as to represent a sound reason on which a ban on safety glass windshields could be based.

This consideration is further supported by the results of a cost-benefit analysis showing that, from the viewpoint of the economy as a whole, a general replacement of safety glass windshields by laminated glass windshields would yield benefits which, even taking into account the most favorable assumptions, will still remain below the costs to be expected.

## Pare-brises de voitures particulières

L'évaluation des qualités techniques et de celles se rapportant directement aux accidents de la route pour les deux types de pare-brises, montre que le pare-brise en verre feuilleté offre certes, dans la plupart des cas, des avantages en ce qui concerne les risques de blessures résultant d'un accident de la route, mais que ces avantages, qu'il faut se garder de considérer comme décisifs, surtout si l'on tient compte de l'augmentation du taux d'utilisation des ceintures de sécurité, ne sauraient être de nature à donner lieu à une interdiction des pare-brises en verre sécurité.

Cette constatation est, entr'autres, particulièrement étayée par une analyse de rentabilité qui, d'un point de vue macro-économique, révèle que même lors d'un remplacement généralisé des pare-brises en verre sécurité par des pare-brises en verre feuilleté plus onéreux, le gain en sécurité serait, même dans le meilleur des cas, inférieur aux frais occasionnés.

Herausgeber:  
Bundesanstalt für Straßenwesen  
Bereich Unfallforschung  
5 Köln 51, Brühler Straße 1  
Tel. 3 70 21, Telex 08 882 189 bas d

Redaktion:  
Fachgruppe „Wissenschaftliche Informationsarbeit“

Druck:  
P. Becher GmbH, Brühl

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	7
2. Bauteil Windschutzscheibe	8
2.1 Hauptaufgaben	8
2.2 Scheibenarten	10
2.3 Technische Eigenschaften	12
2.3.1 Einscheiben-Sicherheitsglas	13
2.3.2 Verbund-Sicherheitsglas	15
2.4 Gesetzliche Anforderungen und Prüfungen	17
2.4.1 Stand der nationalen Gesetzgebung	17
2.4.2 Internationaler Vergleich	19
3. Insassen und Windschutzscheibe beim Unfall	22
3.1 Kinematik der Insassen	22
3.1.1 Ohne Sicherheitsgurt	22
3.1.2 Mit Sicherheitsgurt	24
3.2 Unfallrelevante Eigenschaften der Windschutzscheibe	25
3.2.1 Einscheiben-Sicherheitsglas	27
3.2.2 Verbund-Sicherheitsglas	29
4. Vergleich der Scheibenarten	31
5. Weitere Entwicklungen	34
5.1 Technische Verbesserungen der Windschutzscheibe	34
5.1.1 Einscheiben-Sicherheitsglas	35
5.1.2 Verbund-Sicherheitsglas	37
5.2 Fortschreibung der gesetzlichen Maßnahmen	40

	Seite
6. Ökonomische Betrachtung	43
6.1 Allgemeine wirtschaftliche Situation	43
6.2 Statistische Angaben	45
6.2.1 Ausrüstungsverteilung	45
6.2.2 Unfallbeteiligung	47
6.2.2.1 Pkw-Insassen	47
6.2.2.2 Fußgänger - Zweiradfahrer	49
6.2.3 Zerstörungshäufigkeit der Windschutzscheibe und Verletzungshäufigkeit	49
6.2.3.1 Einwirkung von außen	50
6.2.3.2 Einwirkung von innen (ohne/mit Sicherheitsgurt)	51
6.3 Nutzen-Kosten-Betrachtung	55
7. Zusammenfassung	66
8. Literaturverzeichnis	69

## 1. EINLEITUNG

Im Verkehrssicherheits-Programm der Bundesregierung vom November 1973 wird unter Punkt 45 ausgeführt, daß die beiden für Windschutzscheiben heute üblichen Glasarten Vor- aber auch Nachteile aufweisen und ein wirkliches Sicherheitsglas bisher nicht entwickelt worden ist.

Aufgrund einer Reihe von Aktivitäten auf nationaler und internationaler Ebene, insbesondere aber auch im Zusammenhang mit der am 1. Januar 1976 in Kraft getretenen Anlegepflicht von Sicherheitsgurten, sind die bisherigen Auffassungen zum Themenkomplex Windschutzscheibe neu zu überdenken, kritisch zu werten und mit den betroffenen Stellen zu erörtern.

Zur Vorbereitung der Erörterungen erarbeitete die Bundesanstalt für Straßenwesen für den Bundesminister für Verkehr die vorliegende Studie.

Als Grundlage dienten die Ergebnisse eines Expertengespräches vom Oktober 1975, an dem Augenärzte, Gerichtsmediziner, Unfallchirurgen und Kfz-Ingenieure teilnahmen (siehe Seite 79). Darüber hinaus haben auch Einzelgespräche mit Glas- und Fahrzeugherstellern stattgefunden, um den Überblick über die Problematik abzurunden und um Zahlenangaben für die Nutzen-Kosten-Betrachtung zu erhalten. Als Ausgangsbasis für das Expertengespräch und die Einzelgespräche wurde eine Synopse des literaturmäßig erfaßbaren Wissens- und Erkenntnisstandes erarbeitet. Die vorliegende Studie faßt die Aussagen, Inhalte und Ergebnisse des Expertengespräches, der Einzelgespräche und der Synopse zusammen und berücksichtigt die derzeit gültige deutsche Gesetzgebung sowie einen EG-Richtlinienentwurf, der ein Verbot von Windschutzscheiben aus Einscheiben-Sicherheitsglas (ESG) vorsieht.

Im einzelnen wird die Problematik aus technischer, unfallmedizinischer, statistischer und ökonomischer Sicht behandelt.



## 2. BAUTEIL WINDSCHUTZSCHEIBE

### 2.1 Hauptaufgaben

Für die Windschutzscheibe ergeben sich folgende Hauptaufgaben bzw. an sie zu stellende Anforderungen:

- Schutz gegen Einwirkungen von außen
- einwandfreie Durchsicht
- Vermeidung ernsthafter Verletzungen
- ausreichend hohe Lebensdauer

#### Schutz gegen Einwirkungen von außen

Ein möglichst hoher Widerstand der Windschutzscheibe wird gegen folgende Einwirkungen von außen verlangt: Fahrtwind; Witterungseinflüsse wie Regen, Schnee, Hagel, Temperatur; Fremdkörper wie Staub, Rollsplitt, Steine, Insekten, Vögel, Wild und gegen von anderen Fahrzeugen verlorenes Ladegut und Fahrzeugteile.

Für den Fall eines auf die Windschutzscheibe von außen aufprallenden Fußgängers oder Zweiradfahrers ist eine weniger große oder gezielt begrenzte Widerstandsfähigkeit zu fordern, um mögliche Verletzungen gering zu halten.

#### Einwandfreie Durchsicht

Das verwendete Glas soll eine möglichst hohe Transmission (Lichtdurchlässigkeit) aufweisen. Gegenüber sommerlich hellen Beleuchtungsverhältnissen tagsüber kommt der Sicht bei Nacht (abgesehen von sonstigen Sichtbehinderungen wie Nebel) wegen der vergleichsweise nur schwachen künstlichen Lichtquellen besondere Bedeutung zu. Es ist daher uneingeschränkt ein hoher Wirkungsgrad für die Transmission zu fordern.

Einwandfreie Durchsicht heißt weiterhin, daß auch bei gealterten Scheiben nur wenig Streulicht und geringe optische Verzerrungen auftreten dürfen. Aufgrund der gegenüber der

Luft höheren Dichte der Materialien für die Scheibe ist der Effekt der Lichtbrechung nicht ganz zu umgehen.

Die Erfüllung dieser Forderungen wird erschwert, da aus mehreren Gründen die eingebauten Scheiben sphärisch gebogen sind (Aerodynamik der Karosse, Verpackungsvolumen für die Insassen). Die dadurch mögliche Verzerrung ist in jedem Fall so gering wie möglich zu halten.

Aufgrund der höheren Materialdichte läßt sich eine Farbverfälschung nicht ganz vermeiden. Da der Fahrraum farbrichtig erfaßt werden muß (z.B. Verkehrszeichen), ist auch dieser Fehler in engen Grenzen zu halten.

Die Durchsicht durch die Windschutzscheibe nach dem Bruch (Definition auf Seite 12) soll in möglichst unverminderter Güte erhalten bleiben.

#### Vermeidung ernsthafter Verletzungen

Auf die möglichen Verletzungen wird in den folgenden Ausführungen besonders eingegangen, so daß an dieser Stelle nur ein Hinweis auf drei wesentliche Eigenschaften der Windschutzscheibe zu geben ist:

- Das Glas sollte bei einem direkten Kontakt mit Verkehrsteilnehmern (Aufprall von außen oder innen) brechen, bevor ernstliche Verletzungen (z.B. Knochenfrakturen) auftreten und während des Aufprallvorgangs keine wesentlichen Schnittverletzungen hervorrufen; insbesondere nicht bei und nach Durchschlagen der Scheibe.
- Die verletzungsrelevanten Eigenschaften werden auch durch die Art der Montage der Scheibe beeinflusst. Beide Scheibenarten können mit einem Gummirahmen eingebaut oder auch eingeklebt sein. Das System Scheibe plus Einfassung bestimmt letztlich das Gesamtverhalten.
- Eine besondere Einbauart der Scheibe erlaubt es, die auf den Körper eines Insassen beim Aufprall auf die Windschutzscheibe einwirkenden Kraftkomponenten unge-

fährlich niedrig zu halten. Die Scheibe löst sich in diesem Fall aus dem Rahmen ohne zu zerbrechen (pop-out). Die positiven Eigenschaften dieser Konstruktion kommen allerdings nur angegurteten Insassen voll zugute, da für nicht angegurtete Insassen die Gefahr besteht, aus dem Fahrzeug geschleudert zu werden.

### Ausreichend hohe Lebensdauer

Unter Lebensdauer soll die möglichst lange Erfüllung der bisher genannten Forderungen verstanden werden, wobei weitere Einwirkungen auf die Scheibe, wie die Reibwirkung der Scheibenwischer in Verbindung mit Schmutz und chemische Einwirkungen (Luftverschmutzung, Benzin, Schmierfette, Öle, Reinigungsmittel) hinzukommen. Auch bei Feuer muß die Schutzwirkung des Glases möglichst lange erhalten bleiben.

Darüber hinaus sollte vermieden werden, daß sich die Bruchfestigkeit (siehe Seite 12) über die Gebrauchsdauer der Scheibe z.B. durch Kratzer verändert.

## 2.2 Scheibenarten

In dem Bemühen, die genannten Anforderungen an die Windschutzscheiben möglichst umfassend zu erfüllen, wurden Produkte sowie Herstellverfahren und damit die später im Fahrbetrieb erreichbaren Eigenschaften der Scheiben ständig weiterentwickelt.

Abgesehen von Ausnahmefällen (z.B. Sonderfahrzeuge mit Plexiglas) wird heute für die Kfz -Verglasung ausschließlich Silikatglas verwendet, das entweder nach dem Float- oder dem Maschinenverfahren, jedoch stets als Flachglas hergestellt ist. Erst im Weiterbearbeitungsverfahren erhält dieses Flachglas die charakteristischen Eigenschaften und Merkmale, die zu den zwei heute fast ausschließlich verwendeten Arten von Windschutzscheiben führen, nämlich zum:

- Einscheiben-Sicherheitsglas (ESG) und
- Verbund-Sicherheitsglas (VSG).

Die größere Festigkeit (Flächenpressung) des Floatglases gegenüber dem Maschinenglas (plate glass), die nach [1] bis zu 50% betragen kann, ist nicht maßgebend, da die endgültigen Eigenschaften des zu ESG oder VSG weiterverarbeiteten Glases nur von der Wärmebehandlung bei der Weiterverarbeitung abhängen.

Zu den beiden Scheibenarten ist im einzelnen folgendes festzustellen:

ESG: Aus rechteckigem Flachglas wird die gewünschte Kontur der Scheibe maschinell ausgeschnitten, anschließend erwärmt und in die vom Fahrzeugtyp abhängige Form gebogen. Nach weiteren Zwischenschritten erwärmt man die Scheibe erneut bis kurz unter den Erweichungspunkt, also auf etwa 670 bis 680 °C. Danach findet die im allgemeinen mit Hilfe gezielt angesetzter kalter Luftstrahlen schockartige Abkühlung statt. Die Scheibenoberfläche kühlt dabei rascher ab als der Scheibenkern, so daß sich innerhalb der Scheibe ein Spannungszustand ergibt, dieser Wärmebehandlungsprozeß heißt Vorspannen. Mit ihm werden die für ESG charakteristischen Eigenschaften erreicht.

ESG-Windschutzscheiben bestehen also aus einlagigem, vorgespanntem Glas (Zugspannung im Kern, Druckspannung an der Oberfläche).

VSG: VSG-Windschutzscheiben bestehen heute in der Regel aus einem Verbund von drei Lagen: Glas - Zwischenschicht - Glas, wobei das Glas üblicherweise nicht vorgespannt ist.

Die Glasscheiben werden wie beim ESG aus - allerdings dünnerem - Flachglas ausgeschnitten und gebogen. Die Zwischenschicht ist heute überwiegend eine organische, plastische sog. HPR-Folie (High Penetration Resistant) und besteht aus Polyvinylbutyral (PVB). In einem Pressvorgang verbindet man die Bestandteile miteinander.

### 2.3 Technische Eigenschaften

In diesem Kapitel werden die technischen Eigenschaften bei- der Glasarten gegenübergestellt (s. Tafel 1), wobei unter den technischen Eigenschaften sowohl die durch die Formge- bung der Scheiben beeinflussten Eigenschaften als auch ihr Verhalten unter den verschiedenen Belastungen zu verstehen sind.

Eigenschaften des zur Herstellung benutzten Glases bei Raumtemperatur	Grenzwerte		Dimensionen	Bemerkungen
Wichte	2,2 - 3,0		daN/dm <sup>3</sup>	
Druckfestigkeit	8000 - 10000		daN/cm <sup>2</sup>	
E-Modul	6,5 - 7,5 · 10 <sup>5</sup>		daN/cm <sup>2</sup>	
spezifische Wärme	1,69 - 3,22		J/kgK	
Wärmeleitzahl	0,008 - 0,016		KJ/mhK	
Wärmeausdehnungskoeffizient linear	3,06 · 10 <sup>-4</sup>		mm/mK	
Dielektrizitätskonstante	5 - 7 bei 1 Mhz		-	
Oberflächenhärte	6 - 7		Mohs	
Lichtbrechungsindex	~ 1,52		-	
Biegebruchfestigkeit	300 - 400		daN/cm <sup>2</sup>	
Eigenschaften des Sicherheitsglases	ESG	VSG		
Biegebruchfestigkeit DIN 52 303	2000	300	daN/cm <sup>2</sup>	
Kugel-Fallversuch DIN 52 306 (Durchschlagfestigkeit)	200 - 300	900 - 1200	cm	Mindestfallhöhen Bei VSG 0,76 mm Folie
Pfeil-Fallversuch DIN 52 507	50 - 150	700 - 850	cm	
Transmission	>75	>75	%	
Lichtbrechungsindex	1,52	1,52	-	
Ablenkwinkel DIN 52 305 plan	<2,5	<2,5	Minuten	
Ablenkwinkel DIN 52 305 gebogen	<2,5	<2,5	Minuten	
Dioptrische Fehler DIN 52 305	<0,06	<0,06	Dptr.	
Verwendbar im Temperaturbereich	+200/-20	+40/-20	°C max/min	gleichmäßige Tempera- tur-Verteilung

Tafel 1: Technische Angaben zu den Eigenschaften des Flach- glases sowie zu Eigenschaften von ESG und VSG (nach Angaben des Staatlichen Materialprüfungsamtes Nord- rhein-Westfalen)

Zur Beschreibung des Bruchverhaltens der Scheiben wird fol- gende Sprachregelung getroffen: Eine Scheibe gilt als

- beschädigt, wenn sich oberflächliche, kleinere Aus- muschelungen zeigen,
- gebrochen, wenn erste Risse im Glas zu erkennen sind,
- durchschlagen, wenn sie ein Loch aufweist.

In der Literatur wird für die Bruchfestigkeit häufig der Be- griff Durchschlagfestigkeit (penetration resistance) ver- wendet.

Wie bereits erwähnt, kann die Windschutzscheibe unabhängig von der Glasart eingeklebt oder mit Hilfe eines Gummiraumens eingebaut werden. Je nach Einbauart wird die Scheibe verschieden stark durch die Karosserieverwindung im normalen Fahrbetrieb beansprucht (steifer Verbund beim Einkleben). Bezüglich der Einbauart ist auch die Notausstiegsfunktion einer der beiden großen Scheiben (Front- oder Heckscheibe) von Bedeutung: Die Einspannung einer dieser Scheiben sollte so sein, daß die unversehrte Scheibe nach einem Unfall leicht von innen herausgedrückt werden kann. Unter der Annahme, daß sich hierfür die Heckscheibe eher eignet, wird dieser Aspekt für die Windschutzscheibe nicht weiter verfolgt.

### 2.3.1 Einscheiben - Sicherheitsglas

Die Dicke der heute in Deutschland verwendeten ESG-Scheiben beträgt ca. 4,8 mm, in Frankreich 5,7 mm und in England 5,5 mm [71].

Die Verschleißigenschaften sind wegen der Oberflächenhärte des Glases bzgl. des Abriebs als günstig anzusehen.

Die optischen Eigenschaften können wegen der Homogenität des Aufbaues der Scheibe in bezug auf Verzerrung und Farbverfälschungen als gut bezeichnet werden. Im Laufe der Gebrauchsdauer nimmt jedoch das Streulicht durch Verschleiß zu.

Die Bruchfestigkeit wird in der Regel als Biegebruchfestigkeit angegeben. Versuche, die zu werkstoffspezifischen Zahlen führen und damit einen Vergleich der Scheibenproben aus ESG mit denen aus VSG ermöglichen, führen zu den in Tafel 1 angegebenen Werten. Es ist aber ausdrücklich darauf hinzuweisen, daß mit diesen Prüfergebnissen das unfallrelevante Gesamtverhalten der eingebauten Scheiben nicht voll erfaßt wird.

Verbal kann die Festigkeit von ESG etwa wie folgt angegeben werden (in Relation zum VSG): Die Bruchfestigkeit von ESG ist relativ hoch. Der Grund hierfür liegt in der Vorbehandlung (s. Abschnitt 2.2). Bricht eine ESG-Scheibe jedoch, so ist nur ein sehr geringer weiterer Energieaufwand erfor-

derlich, um die Scheibe auch zu durchdringen. Der Grund hierfür liegt in dem Bruchverhalten (lockere, kleine Krümel nach dem Bruch).

Unter dem Bruchverhalten sollen hier die typischen Eigenschaften bzgl. des Rißbildes, der Splitterform und des Splitterfluges verstanden werden. Bei der ESG-Scheibe werden diese Eigenschaften durch die vorangegangene Wärmebehandlung (Vorspannen) bestimmt. Wird an einer solchen Scheibe die unter Druckspannung stehende Oberfläche lokal so hoch belastet, daß es z.B. zu einer Verletzung bis in die Zugspannungszone kommt, so geht das innere, durch die Wärmebehandlung erzeugte Spannungsgefüge in der Scheibe verloren, d.h.: Die gesamte Scheibe zerfällt in kleine Krümel, sie kann keinen einzelnen Riß haben. Je größer der Abkühlungsgradient bei der schockartigen Wärmebehandlung gewählt wird, um so größer ist die Vorspannung der Scheibe und um so kleiner und damit um so verletzungsmindernder sind nach dem Bruch die Krümel. Der beim Bruch solcher Scheiben eintretende Sichtverlust ist dagegen um so größer, je kleiner die Bruchkrümel sind. Zwischen Vorspannen der Scheibe und Sichtverlust nach dem Bruch ist also ein Kompromiß einzustellen, der auch bei der Wärmebehandlung durch Anblasen verschiedener Scheibenpartien mit mehr oder weniger Kaltluft lokal verteilt werden kann. So wird z.B. im direkten Sichtfeld des Fahrers ein geringerer Sichtverlust nach Bruch der Scheibe vorgezogen, d.h. eine kleinere Vorspannung gewählt. Dort sind die Krümel also vergleichsweise groß und damit die Sicht besser. Im übrigen Bereich der Scheibe ist es umgekehrt.

Bei der ESG-Scheibe kann auch eine Beschädigung in Form einer Ausmuschelung auftreten, solange die Zugspannungszone nicht verletzt wird.

Lösen sich von der Glasscheibe einzelne Stücke, so spricht man im allgemeinen von Splitterflug. Der Splitterflug stellt sich bei der ESG-Scheibe etwa wie folgt dar: Es ist möglich, daß sich nach dem Bruch fast alle Krümel voneinander lösen und ein Splitterflug mit annähernd der gesamten Glasmasse stattfindet. Andererseits kann es jedoch auch vorkommen, daß die Scheibe zwar bricht, aber noch nicht durchdrungen

ist. In diesem Fall hat in der Regel kein Splitterflug stattgefunden. Zwischenstufen mit teilweisem Splitterflug sind ebenso denkbar.

Das Bruchverhalten der ESG-Scheibe ist nahezu unabhängig von klimatischen Einflüssen (im Gegensatz zu VSG-Scheiben). Die verletzungsrelevanten Eigenschaften, die insbesondere aus einem in dem Scheibenrahmen stehengebliebenen Scheibenrand resultieren, werden in Abschnitt 3.2.1 beschrieben.

### 2.3.2 Verbund-Sicherheitsglas

Die Dicke der heute in Europa zur Erstausrüstung verwendeten VSG-Scheiben beträgt überwiegend ca. 2,5 mm für jede Glasschicht, die Folie ist i.a. 0,76 mm (0,03") dick. Es werden jedoch auch VSG-Scheiben mit asymmetrischem Aufbau verwendet, wobei die Innenscheibe Dicken von z.B. nur 1,5 mm aufweist.

Die Folie, die für VSG-Scheiben charakteristisch ist, hat den gleichen Lichtbrechungsindex wie das Glas  $\left[ \begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} \right]$ . Eine besondere Schwierigkeit bei der Folienherstellung ist die genaue Einstellung auf einen konstanten Wassergehalt  $\left[ \begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} \right]$ . Die Eigenschaften der Folie und damit die Durchschlagfestigkeit der VSG-Scheiben werden von diesem Wassergehalt entscheidend beeinflusst.

Die Verschleißigenschaften sind trotz der fehlenden Vorspannung ähnlich wie bei ESG-Scheiben. Nach Angaben der Scheibenhersteller gibt es keine Hinweise, daß erhöhter Abrieb eintritt. Allerdings wird von einigen Fahrzeugherstellern für deren Versuchsflotte ein erhöhter Abrieb für VSG angegeben. Dies kann jedoch in der ständigen Kolonnenfahrt begründet sein.

Die optischen Eigenschaften sind heute aufgrund der Verwendung von hochwertigem Glas denen von ESG-Scheiben fast gleichzusetzen; der Unterschied ist im Rahmen dieser Betrachtung vernachlässigbar klein. Allerdings wurde im Expertengespräch insgesamt die Möglichkeit von Herstellungsfehlern und dadurch bedingte schlechtere optische Eigenschaften bei VSG-Scheiben größer als bei ESG-Scheiben eingeschätzt.



Die Durchschlagfestigkeit ist im wesentlichen durch den Verbundaufbau der Scheibe geprägt. Die werkstoffspezifischen Eigenschaften sind wiederum der Tafel 1 zu entnehmen.

Die Festigkeit des Glases von VSG-Scheiben kann gegenüber der des Glases von ESG-Scheiben als relativ niedrig bezeichnet werden, da in der Regel Gläser für Verbundscheiben nicht zusätzlich wärmebehandelt und daher im wesentlichen spannungsfrei sind. Trotz der niedrigen Bruchfestigkeit des Glases ist durch die Eigenschaften der Folie und des Verbundes Folie/Glasscheiben ein erheblicher weiterer Energieaufwand erforderlich, um eine Verbundglasscheibe nach dem Bruch auch zu durchschlagen. Bedingt durch den besonderen Aufbau dieser Scheibe und den praktisch spannungsfreien Zustand des Glases ergibt sich gegenüber ESG-Scheiben ein grundsätzlich anderes Bruchverhalten.

Bei VSG-Scheiben kommt es bei vergleichsweise kleinen Belastungen zu ersten Rissen im Glas. Das Reißbild nach einem Aufprall ist sternförmig oder spinnennetzartig ausgebildet und im wesentlichen auf die Umgebung des Belastungspunktes beschränkt. Große Teile der Scheibe werden sehr häufig von der Reißbildung nicht betroffen, und die Sicht durch diese Teilflächen der Scheibe bleibt ungehindert wie vor dem Bruch. Der Sichtverlust in der Zone der Reißbildung ist in der Regel nicht so groß wie beim ESG (auch bei grober Krümelung), da beim VSG auch dort großflächigere Glasstücke erhalten bleiben. Die Bruchstücke sind mitunter lanzettförmig spitz.

Die zwischenliegende Folie sorgt nach dem Bruch des Glases zunächst für die Aufrechterhaltung des Scheibenverbundes. Bei einem Aufprall von außen können sich aber auf der Innenseite der Scheibe Teile der Glasschicht lösen und zu einem Splitterflug führen.

Nach dem Bruch des Glases bestimmen im wesentlichen die Eigenschaften der Folie das weitere Verhalten der Scheibe. Aufgrund der Dehnbarkeit kann die Folie weitere Energie aufnehmen, indem sie ausgebeult wird. Erst nach Überschreiten einer relativ großen Ausbeultiefe treten auch in der Folie

Risse auf, und die VSG-Scheibe kann schließlich durchschlagen werden. Von besonderer Bedeutung ist für das Verhalten der Folie und damit für den gesamten Verbund der Wassergehalt der Folie, denn eine feuchte Folie reißt leichter als eine trockenere. Die Eigenschaften der Folie ergeben die im Vergleich zu ESG bis zu 10fache Durchschlagfestigkeit z.B. beim Pfeilfallversuch. Andererseits ist nach [5] die Durchschlagfestigkeit von VSG-Scheiben z.B. beim Aufprall von größeren Vögeln wegen der fehlenden Vorspannung wesentlich geringer als bei ESG-Scheiben.

Die genannten Eigenschaften der Folie sind außer feuchtigkeits- auch temperaturabhängig. Das Temperaturoptimum bezüglich größter Leistungsfähigkeit der Folie liegt bei 20 bis 23°C. Bei höheren wie bei niedrigeren Temperaturen ergibt sich eine geringere Durchschlagfestigkeit [1; 31]. Nach [31] sind die Aufprallgeschwindigkeiten, bei denen mit dem Durchstoßen gerechnet werden muß, bei 5° und 35° C weniger als halb so groß wie bei 23° C Scheibentemperatur.

Die unfallrelevanten Eigenschaften der VSG-Scheibe, insbesondere die Bedeutung für Schnittverletzungen der Bruchkanten werden in Abschnitt 3.2.2 beschrieben.

## 2.4 Gesetzliche Anforderungen und Prüfungen

### 2.4.1 Stand der nationalen Gesetzgebung

In der deutschen Kraftverkehrsgesetzgebung wurde 1937 der Begriff des Sicherheitsglases (SG) in § 40 Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung - StVZO - eingeführt.

Großbritannien veröffentlichte 1939 den British Standard 857 und definierte 1954 [4; 21] das SG ähnlich wie in den allgemeinen Anforderungen der technischen Anforderung (TA) von 1974 zu § 22a StVZO der deutschen Gesetzgebung, wo es heißt, "daß beim Bruch entstehende Splitter keine ernstlichen Verletzungen erwarten lassen".

In der Bundesrepublik Deutschland sind beide Scheibenarten zulässig und nach § 22a StVZO "Bauartgenehmigung für Fahr-

zeugteile", Abs. 1 Punkt 3 "Scheiben aus Sicherheitsglas", bauartgenehmigungspflichtig. "Allgemeine Bauartgenehmigungen" für den Typ einer Bauart werden nach § 7 Fahrzeugteileverordnung (FTV) vom Kraftfahrt-Bundesamt (KBA) erteilt. Als Prüfstelle für Scheiben aus Sicherheitsglas ist nach § 4 der Fahrzeugteileverordnung das Staatliche Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen in Dortmund zuständig.

Nach § 40 Abs. 1 StVZO "Scheiben und Scheibenwischer" müssen sämtliche Scheiben (außer Spiegel und Abdeckscheiben) aus Sicherheitsglas (SG) bestehen. Dieses ist definiert als ein Glas, "dessen Bruchstücke keine ernstlichen Verletzungen verursachen können".

Unter Nr. 29 der Technischen Anforderungen an Fahrzeugteile nach § 22a StVZO werden die Anforderungen an Sicherheitsglas beschrieben. Die darin genannten Prüfungen für Windschutzscheiben sind auf die Feststellung des Schutzes gegen Einflüsse von außen, verletzungsrelevante und optische Eigenschaften im Normalzustand und nach Bruch der Scheibe sowie auf Lebensdauer und Witterungseinflüsse abgestellt. Die Laborprüfungen versuchen den Aufprall stumpfer Gegenstände (z.B. den Kopfaufprall durch den Phantom-Fallversuch) und spitzer Gegenstände (z.B. den Steinaufprall durch den Pfeil-Fallversuch) zu berücksichtigen. Versuchsaufbauten und Versuchsdurchführungen sind weitgehend in den DIN-Normen 52 310, 52 305, 4646, 5033, 52 306, 52 308, 52 307 festgelegt.

Die allgemeinen Anforderungen an Windschutzscheiben sind für ESG und VSG identisch.

#### Einscheiben - Sicherheitsglas

Für ESG wird das Bruchverhalten hauptsächlich auf 'Sicht nach Bruch und Splittersicherheit' geprüft. Durch zerstörende Prüfung definierter Art beurteilt man in bestimmten Zonen die Sicht und Splittersicherheit durch Zählung und Wertung der entstandenen Krümel und Splitter. Die Widerstandsfähigkeit gegen Aufprall stumpfer Körper wird durch den Phantom-Fallversuch geprüft. Dabei müssen alle Scheiben bei vorgegebener Fallhöhe zerbrechen.

## Verbund - Sicherheitsglas

Normales und vorbehandeltes VSG wird auf 'Splittersicherheit und Widerstandsfähigkeit', vorbehandeltes VSG zusätzlich in Anlehnung an die Prüfung von ESG auf Sicht nach Bruch geprüft. Entspricht das Bruchbild der vorbehandelten VSG dem der ESG-Scheibe, müssen die Anforderungen auf Sicht für ESG erfüllt sein. Das stoßartige Auftreffen stumpfer und spitzer Körper simuliert man durch einen Phantom-Fallversuch, zwei unterschiedliche Kugel-Fallversuche und einen Pfeil-Fallversuch. Die Anforderungen beim Phantom-Fallversuch sind:

VSG normal:                Es müssen zahlreiche Radialrisse und kreisförmige Risse entstehen; großflächige Splitter dürfen sich nicht ablösen.

VSG vorbehandelt:        Beide Scheiben des Verbundes müssen zerbrechen.

Die Anforderungen aus den Kugel- und Pfeil-Fallversuchen sind für normales und vorbehandeltes VSG gleich.

### 2.4.2 Internationaler Vergleich

In den einzelnen Ländern weichen die allgemeinen gesetzlichen Vorschriften für die Anwendung von Sicherheitsglas als Verglasung für Kraftfahrzeuge in den wesentlichen Punkten kaum voneinander ab. Die Hauptforderung (s. Tafel 2) an die Gläser besteht darin, daß beim Bruch keine Gefährdung für den Insassen bzw. keine wesentlichen Verletzungen auftreten.

Im folgenden ist der heutige Stand bezüglich der Zulassung von ESG- und VSG-Windschutzscheiben für einige Länder, soweit bekannt, wiedergegeben:

#### Belgien

Zulässig: ESG und VSG [29].

#### Bundesrepublik Deutschland

Zulässig: ESG und VSG.

#### Dänemark

Vorgeschrieben: VSG nach ASA \*-Norm (seit 1.10.1974).

---

\* ASA = American Standards Association

Staat \ Prüfung	Belgien	Bundesrepublik Deutschland	Dänemark	Frankreich	Großbritannien	Italien	Japan	Niederlande	Norwegen	Schweden	Spanien	Vereinigte Staaten von Amerika
Transmission	x	x	x		x	x			x	x		x
Lichtbeständigkeit		x	x	x	x	x	x	x	x	x		x
optische Ablenkung	x	x	x		x				x	x		x
optische Verzerrung		x	x	x	x	x	x		x	x		x
Verschleiß			x									x
Feuchtigkeit			x	x		x	x	x	x	x		x
Kochversuche		x	x	x	x	x	x		x	x		x
chemische Widerstandsfähigkeit			x									x
Kugel-Fallversuch	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Pfeil-Fallversuch	x	x	x	x		x			x	x	x	x
Schrotsack-Fallversuch			x	x		x			x		x	x
Phantom-Fallversuch	x	x										
Bruchverhalten	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x

Tafel 2: In den verschiedenen Staaten durchgeführte Prüfungen für Sicherheitsglas /107

Frankreich

Zulässig: ESG und VSG [6 ].

Großbritannien

Zulässig: ESG und VSG [39 ].

Italien

Vorgeschrieben: VSG seit Juli 1959 [39 ].

Es wird darauf hingewiesen, daß VSG in Italien mit Folien von 0,5 mm Dicke zugelassen ist. In Import-Fahrzeugen aus der Bundesrepublik werden ESG-Windschutzscheiben mit entsprechendem Prüfzeichen darüber, daß die ESG-Prüfung nach Vorschrift der Bundesrepublik durchgeführt wurde, zugelassen .

Japan

Zulässig: ESG und VSG [39 ].

Niederlande

Zulässig: ESG und VSG [29 ].

Norwegen

Vorgeschrieben: VSG [4; 21 ].

Die Prüfungen entsprechen weitgehend den USA-Vorschriften.

Schweden

Vorgeschrieben: VSG [4; 39 ].

Schweden hat die Prüfvorschriften der USA im wesentlichen übernommen [4; 39 ].

Vereinigte Staaten von Amerika

Vorgeschrieben: VSG [39 ].

Durch Federal Motor Vehicle Safety Standard (FMVSS) 205, welcher sich im wesentlichen auf American Mechanical Standard Z 26 stützt, sind die Anforderungen an Sicherheitsgläser festgelegt.

Die Folie des Verbundglases ist seit 1966 mit 0,76 mm Dicke vorgeschrieben [39; 55 ].

### Europäische Gemeinschaft

Nach [ 8 ] wollen einem vorliegenden Antrag auf ein Verbot der ESG-Scheibe nicht zustimmen:

Bundesrepublik Deutschland, Frankreich,  
Großbritannien, Niederlande.

Ein Verbot fordern [ 8 ]:

Dänemark und Italien.

Einem Verbot der ESG-Scheibe würde nach [ 8 ] Irland zustimmen. Die Schweiz, die nicht Mitglied der EG ist, würde sich einem solchen Verbot anschließen [ 8 ].

## 3. INSASSEN UND WINDSCHUTZSCHEIBE BEIM UNFALL

### 3.1 Kinematik der Insassen

Im folgenden werden in groben Zügen die kinematischen Vorgänge bei dem für die Betrachtung der Windschutzscheibe relevanten Frontalaufprall beschrieben (Definition Frontalaufprall s. Bild 2). Da ein Sicherheitsgurt die Kinematik der Insassen wesentlich beeinflusst, ist der Bewegungsablauf ohne und mit Gurt gesondert zu betrachten.

#### 3.1.1 Ohne Sicherheitsgurt

Beim Frontalaufprall wird das Fahrzeug verzögert, während sich der Insasse in seiner vor dem Aufprall eingenommenen Körperhaltung mit weitgehend unverminderter Geschwindigkeit [ 42 ] nach vorn bewegt und auf Windschutzscheibe und Armaturenbrett prallt (Bild 1). Diese Bewegung wird durch

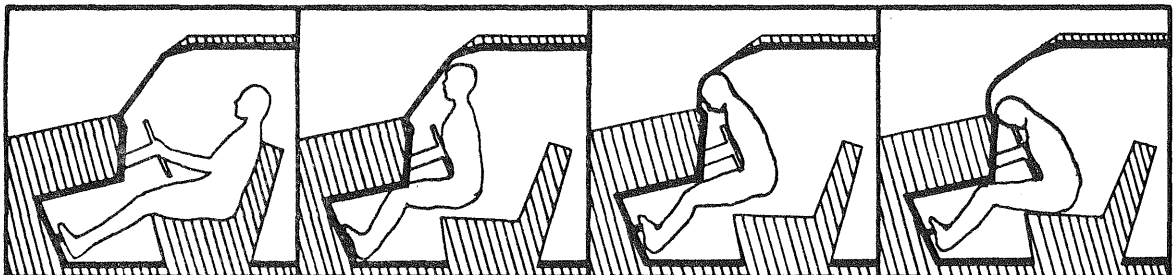


Bild 1: Frontalaufprall, Kinematik ohne Sicherheitsgurt

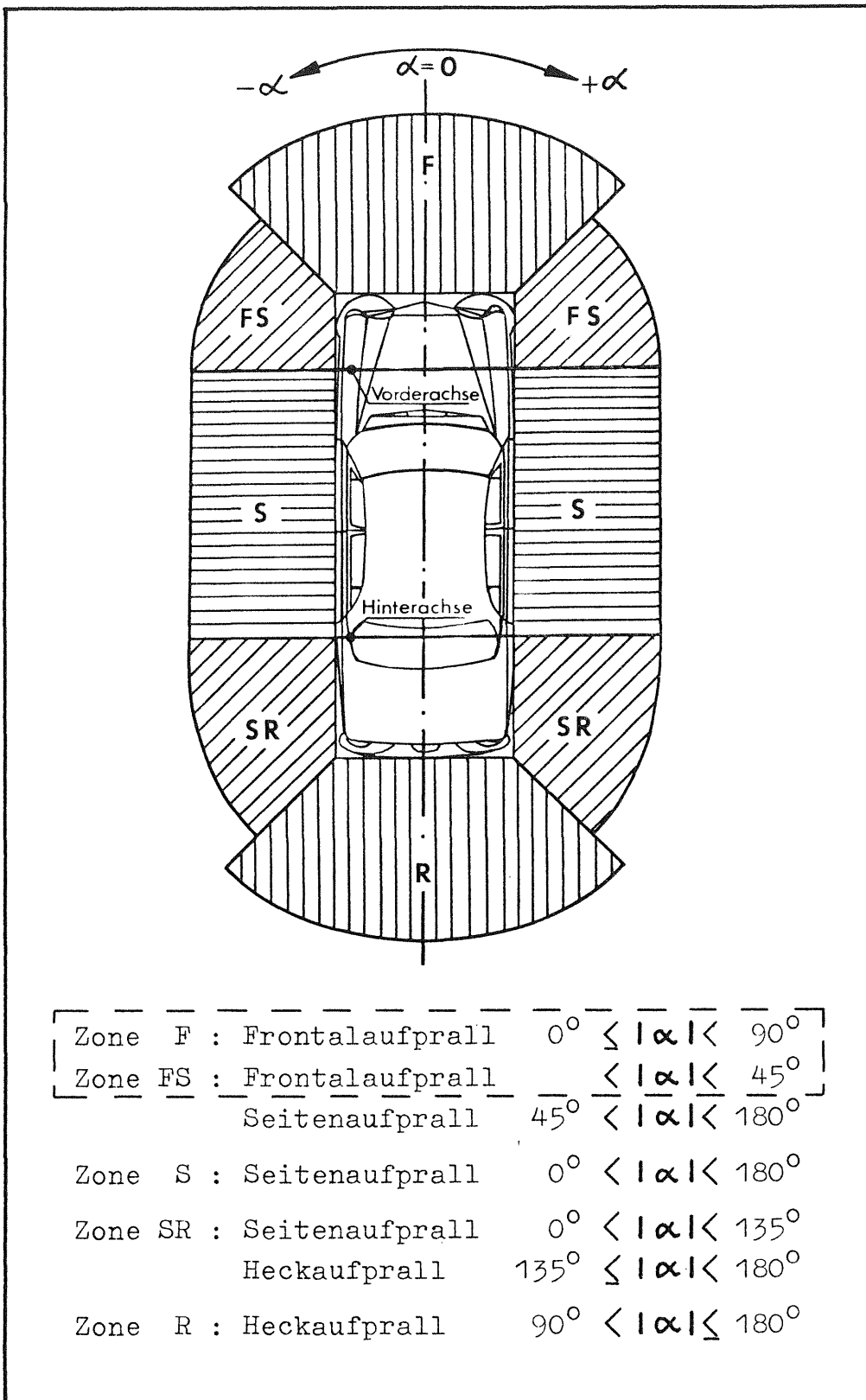


Bild 2: Definition der Anstoßzonen und Aufprallrichtungen  
(Deutscher ISO-Vorschlag, Stand April 1976)



Abstützkräfte der Arme und Beine und Reibkräfte an der Sitzfläche beeinflusst. Oberkörper, Unterleib und Beine werden vom Armaturenbrett bzw. von der Fahrzeugwanne verzögert, während der Kopf in der Regel auf die Windschutzscheibe prallt. Der Fahrer wird im Gegensatz zum Beifahrer zusätzlich vom Lenkrad verzögert. Es ist auch möglich, daß beim Fahrer nur ein Lenkradaufprall stattfindet [12].

Es müssen nun verschiedene Möglichkeiten für das Verhalten von ESG- und VSG-Scheiben betrachtet werden:

- Bleibt die ESG-Scheibe unbeschädigt, gleitet der Kopf nach dem Aufprall an der Scheibe nach unten.
- Bricht die ESG-Scheibe, kann der Kopf die Windschutzscheibe durchdringen und auf die Windschutzscheibefassung oder den häufig stehenbleibenden Krümelrand und sogar auf äußere Karosserieteile aufschlagen [33; 65].
- Bleibt die VSG-Scheibe beim Aufprall unbeschädigt, gleitet der Kopf auch in diesem Fall an der Windschutzscheibe nach unten.
- Bricht die VSG-Scheibe ohne Durchstoß, so verformt der Kopf die durch die Folie zusammengehaltene Scheibe [54; 65]. Der weitere Bewegungsablauf wird dadurch beeinflusst. Bei Stoßrichtung senkrecht zur Scheibe ändert sich die Verzögerung des Kopfes bzw. Körpers in Abhängigkeit vom Dehnungsverhalten der Folie. Bei Bewegung des Kopfes in Scheibenebene beeinflusst die Festigkeit des stehengebliebenen Scheibenteils die weitere Verzögerung.
- Wird die VSG-Scheibe durchstoßen, so dringt der Insasse in Abhängigkeit von der Aufprallgeschwindigkeit mehr oder weniger weit durch die Scheibe und kann in der entstandenen Öffnung festgehalten werden.

### 3.1.2 Mit Sicherheitsgurt

Bei angelegtem Sicherheitsgurt (z.B. Dreipunktgurt) wird der menschliche Körper an Becken und Oberkörper schon nach

kurzem Relativweg zum Fahrzeug gehalten. Die Extremitäten und der Kopf schleudern nach vorn, und der ganze Körper bewegt sich entsprechend dem Sicherheitsgurtverhalten relativ zum Fahrzeug auf Windschutzscheibe und Armaturenbrett zu (Bild 3). Er verlagert sich dann nur so weit nach vorne, wie es die Dehnung des Gurtes zuläßt. Hierbei erfahren der Kopf und die Extremitäten in der Regel die größte Vorverlagerung [32], d.h., daß diese Körperteile am ehesten noch Kontakt mit Fahrzeugteilen (Armaturenbrett und Windschutzscheibe) erhalten.

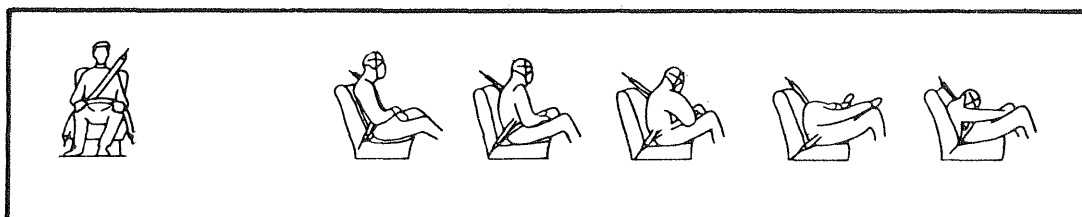


Bild 3: Frontalaufprall, Kinematik mit Sicherheitsgurt [32]

Unter der Voraussetzung eines korrekt angelegten Gurtes wird in der Mehrzahl der Fälle ein Scheibenkontakt jedoch verhindert [65]. Findet er in seltenen Fällen dennoch statt, ist ein großer Teil der ursprünglichen kinetischen Energie abgebaut. Da zu diesem Zeitpunkt die sich ergebende Bewegung des Kopfes nach unten weitgehend abgeschlossen ist [13], trifft in der Regel das Schädeldach die Scheibe [Expertengespräch; 20].

Auch in diesem Fall können ESG- wie auch VSG-Scheiben brechen. Während eine ESG-Scheibe weiterhin noch durchdrungen werden kann, ist dies bei der VSG-Scheibe nicht zu erwarten.

### 3.2 Unfallrelevante Eigenschaften der Windschutzscheibe

Bei der Betrachtung unfallrelevanter Eigenschaften der in Diskussion stehenden beiden Scheibenarten ist zu berücksichtigen.

sichtigen, daß der Begriff Unfall eine umfassendere Bedeutung hat als der Begriff Aufprall, denn neben den möglichen Verletzungsfolgen nach einem Aufprall an einer Windschutzscheibe müssen auch die Verhaltensweisen der beiden Scheibenarten hinsichtlich der Unfallfolgen bzw. des Unfallrisikos verglichen werden.

In diesem Kapitel ist eine Zusammenfassung bekannter und in dem Expertengespräch bestätigter Einzelheiten wiedergegeben. Für eine vertiefte Einzelbetrachtung von speziellen Problemen kann auf die Literatur verwiesen werden [ 15-19; 23-27; 35-40; 42-45; 47-53; 56-59; 61; 62 ]7.

Für beide Scheibenarten gibt es unterschiedliche Verbindungen der Windschutzscheibe mit der Karosserie. Dabei ist das Gesamtverhalten des Systems sowohl von der Scheibe als auch von der Einspannung abhängig. Da die Einbauart jedoch die scheiben- bzw. glasspezifischen unfallrelevanten Kriterien nur unter bestimmten Umständen beeinflusst, wird hier nicht näher auf die Befestigungsarten eingegangen.

Wie bereits in Abschnitt 3.1 ausgeführt, wird die zunehmende Verwendung von Dreipunktsicherheitsgurten die Kontaktmöglichkeiten mit der Windschutzscheibe erheblich herabsetzen. Dennoch sind selbst bei Gebrauch von Sicherheitsgurten die verletzungs- und unfallrelevanten Eigenschaften heutiger Windschutzscheiben neben dem Schutz für die Fahrzeuginsassen auch für von außen aufprallende Fußgänger und Zweiradfahrer bedeutungsvoll.

Für beide Scheibenarten stellt man die im Abschnitt 2.3 beschriebenen technischen Eigenschaften im Hinblick auf das Unfallgeschehen durch technologische Prozesse in bestimmten Grenzen ein. Hierbei ist eine Abstimmung von verschiedenen Eigenschaften erforderlich, die nicht unabhängig voneinander sind, da sich die Anforderungen zum Teil widersprechen (z.B. Sicherheit gegen stumpfe Verletzungen und Sicherheit gegen Durchschlagen der Scheibe ).

Die unfallrelevanten Eigenschaften zeigen sich bei den drei folgenden Vorgängen:

- Bruch der Scheibe ohne Aufprall (u.U. anschließender Unfall)
- Bruch der Scheibe durch Aufprall von Gegenständen von außen (u.U. anschließender Unfall)
- Bruch der Scheibe durch Aufprall von Verkehrsteilnehmern bei oder nach Unfall

### 3.2.1 Einscheiben - Sicherheitsglas

#### Bruch der Scheibe ohne Aufprall

Aufgrund der hohen Vorspannungen des Werkstoffes ist ein plötzlicher Bruch der Scheibe ohne unmittelbar erkennbaren Anlaß möglich (z.B. infolge Verwindung der Karosserie). Wie weit die Scheibe in ihrer äußeren Form dabei erhalten bleibt, ist im Einzelfall nicht vorhersehbar (abhängig von aerodynamischen Gegebenheiten).

Durch einen Bruch der Scheibe wird für den Fahrer die Sicht auf das Verkehrsgeschehen vor seinem Fahrzeug verringert, unter ungünstigen Verhältnissen (Regen, Dunkelheit) auch wesentlich erschwert (Mindestanforderungen für die Sicht nach Bruch in Abschnitt 2.4.1). Unfälle durch mangelnde Sicht wegen gebrochener ESG-Scheiben werden in der Statistik allerdings nicht ausgewiesen.

Bleibt die Scheibe nicht in ihrer äußeren Form, bedeuten fliegende Bruchstücke je nach Geschwindigkeit, Masse und Form des Bruchstückes sowie Anzahl der zusammenhängenden Bruchstücke die Gefahr von Schnitt- und Augenverletzungen [ 27; 39; 58 ]. Auch die sich in ungünstigen Situationen vom Fahrzeug lösende Scheibeneinfassung mit den evtl. noch darinstehenden Glasbruchstücken kann nach Meinung der Experten ein Risiko darstellen.

#### Bruch der Scheibe durch Aufprall von Gegenständen von außen

Die Sicherheit gegen von außen in den Insassenraum eindringende Gegenstände ist unterschiedlich je nach Art und Geschwindigkeit der auftretenden Gegenstände: hoch z.B. bei größeren Vögeln, relativ niedrig z.B. bei scharfkantigem

Splitt.

Für die Sichtverschlechterung und Verletzungsgefahren durch Splitterflug gilt gleiches wie oben.

Bruch der Scheibe durch Aufprall von Verkehrsteilnehmern  
bei oder nach Unfall

Solange der besondere Bruchmechanismus von ESG nicht ausgelöst ist, besteht beim Aufprall der Insassen sowie anderer Verkehrsteilnehmer die Gefahr stumpfer Verletzungen (z.B. Gehirnerschütterung) - für ESG-Scheiben ist sie relativ hoch.

Nach Auslösung des Bruchmechanismus sind beim Durchschlagen einer ESG-Scheibe senkrecht zur Scheibenebene zunächst keine ernstlichen Verletzungen zu erwarten. Die Gefahr wächst um so stärker, je kleiner der Winkel zwischen Kraft-richtung und Scheibenebene wird. Wie weit die Scheibe in ihrer äußeren Form hierbei erhalten bleibt, ist im Einzelfall nicht vorhersehbar; sowohl eine örtliche Durchdringung als auch eine völlige Zerstörung der Scheibe sind möglich.

Die in der Scheibeneinfassung stehenden Glasbruchstücke stellen für aufschlagende Körperteile, insbesondere für Augen\*, Kopf und Hals eine schwere Verletzungsgefahr dar. Die Bruchkanten bei ESG sind zwar kurz, aber doch scharfkantiger als häufig angenommen. Sofern die Bruchstücke der ESG-Scheibe durch eine äußere Kraft zusammengehalten werden - wie das in der Scheibeneinfassung geschieht - ergeben sich lange und steife Schnittkanten.

Für nicht angegurtete Insassen besteht unter ungünstigen Umständen die Gefahr, nach Durchschlagen der Scheibe im

---

\* Aufgrund der schweren Augenverletzungen wird von den am Expertengespräch "Windschutzscheiben", BASt Oktober 1975, beteiligten Ophthalmologen, einhellig und mit Nachdruck das Verbot der ESG-Scheibe gefordert und zwar unabhängig von der gesetzlich geregelten Gurtanlegepflicht.

Verlauf eines Unfalles aus dem Fahrzeug geschleudert zu werden oder im Scheibenrahmen hängen zu bleiben. Diese Möglichkeit ist insbesondere beim Frontalaufprall mit hoher Geschwindigkeit gegeben.

### 3.2.2 Verbund - Sicherheitsglas

#### Bruch der Scheibe ohne Aufprall

Ein plötzlicher Bruch der Scheibe ohne erkennbaren Anlaß ist möglich, aber ungefährlich. Die Sicht wird so gut wie nicht beeinträchtigt, ein sich daraus ergebender Unfall ist unwahrscheinlich. Eine Unfallgefahr kann allerdings dadurch entstehen, daß bei einer geringfügigen Beschädigung der Scheibe kein sofortiger Ersatz erfolgt; der Fahrer vernachlässigt für längere Zeit eine von ihm als gering eingeschätzte Sichtbehinderung, die gegebenenfalls bei Dunkelheit und Regen zum Unfall führen kann.

#### Bruch der Scheibe durch Aufprall von Gegenständen von außen

Die Scheibe bietet guten Schutz gegen von außen aufprallende kleinmassige Gegenstände (z.B. Splitt), gegen größere Vögel ist er wesentlich geringer. Die Schutzwirkung bleibt nach dem Bruch bis zu bestimmten Belastungsgrenzen erhalten. Dadurch wird auch die Gefahr verringert, daß im Verlauf eines Unfalles hochgeschleuderte Teile durch die Scheibenöffnung in den Innenraum eindringen. Auch der nach dem Bruch noch bestehende Schutz vor Witterungseinflüssen kann für die Insassen bedeutsam sein.

Die Sichtbehinderung nach dem Bruch der Scheibe ist unerheblich, es sei denn, daß der Aufprallbereich im direkten Blickfeld des Fahrers liegt.

Die Verletzungsgefahr durch z.B. bei Steinschlag von der Innenscheibe abspringende Bruchstücke ist wegen geringer Masse und Anzahl niedrig. Falls sich jedoch bei plastischer Verformung der Scheibe Bruchstücke von der Folie lösen, können sie schwere Schnitt- und Augenverletzungen verursachen.

Bruch der Scheibe durch Aufprall von Verkehrsteilnehmern  
bei oder nach Unfall

Die Gefahr stumpfer Verletzungen ist bei VSG-Scheiben auch vom Bruchverhalten und zusätzlich vom Verformungsverhalten abhängig, wobei die Einflüsse wie Krafteinleitung, Form usw. ähnlich wie beim ESG zu sehen sind. Darüber hinaus haben die Temperatur und der Wassergehalt der Folie wesentlichen Einfluß auf die Verformungseigenschaften der Scheibe. Wegen des plastischen Verformungsverhaltens der Scheibe ist eine hohe Biegebruchfestigkeit wie beim ESG nicht erforderlich. Beschleunigungsspitzen an auftreffenden Personen (von innen wie von außen) werden durch den frühzeitigen Bruch des Glases und die anschließende Verformung der Folie abgebaut. Die Gefahr stumpfer Verletzungen (z.B. Gehirnerschütterung) ist damit bis zum Bruch der Scheibe relativ gering, jedoch können durch die Auffangwirkung während der Verformungsphase an bestimmten Körperteilen, z.B. Halswirbelsäule, zusätzliche Belastungen und damit möglicherweise Verletzungen hervorgerufen werden.

Die Scheibe bleibt nach dem Bruch mit zahlreichen scharfen Schnittkanten erhalten, die zunächst nur wenig aus der Scheibenebene hervorstehen, aber bei gleitender Berührung zu großflächigen, meist oberflächlichen Schnittverletzungen führen können.

Die gebrochene VSG-Scheibe bietet noch gute Sicherheit gegen das Hinausschleudern nicht angegurter Insassen; sie stellt allerdings bei Bergung oder Flucht ein größeres Hindernis als eine gebrochene ESG-Scheibe dar.

Ein Durchschlagen der VSG-Scheibe ist auf die Fläche des unmittelbaren Kraftangriffs beschränkt. Sofern der Kopf eines Verkehrsteilnehmers die Scheibe durchschlägt, muß mit schwersten Verletzungen gerechnet werden.

#### 4. VERGLEICH DER SCHEIBENARTEN

Betrachtet man nun sowohl die wesentlichen technischen als auch die unfallrelevanten (unfall- bzw. verletzungsverursachenden) Eigenschaften von ESG und VSG, so lassen sich diese wie folgt zusammenfassen und vergleichen:

Die Belastung des Kopfes beim Aufprall kann anhand gemessener und errechneter Werte abgeschätzt werden. Ein häufig verwendeter Beurteilungsmaßstab ist das HEAD-INJURY-CRITERION (HIC) \*, bei dem neben einer resultierenden Beschleunigung auch eine Einwirkzeit berücksichtigt wird. Als Grenzwert des HIC wird bisher 1000 angenommen.

Ohne auf die Gültigkeit derartiger Grenzwerte einzugehen, läßt sich feststellen, daß ein bestimmter Grenzwert (z.B.  $HIC \leq 1000$ ) sowohl von ESG als auch von VSG eingehalten werden kann. Ein wesentlicher Unterschied zwischen beiden Scheibenarten liegt darin, daß bei Einhaltung eines solchen Grenzwertes VSG-Scheiben wesentlich höhere Aufprallenergie abbauen können als ESG-Scheiben. Bei VSG können auf diese Weise die Unfallfolgen in bestimmten Grenzen beeinflußt werden. Wegen der bei VSG niedrigeren Bruchgrenze ist die Gefahr stumpfer Verletzungen geringer, wobei allerdings nicht übersehen werden darf, daß während der Verformungsphase der Scheibe (hauptsächlich der Folie) z.B. an der Halswirbelsäule zusätzliche Belastungen und damit möglicherweise Verletzungen auftreten können. Insgesamt liegt jedoch in der niedrigen Bruchgrenze des Glases ein deutlicher Vorteil für nicht angegurtete Insassen sowie andere Verkehrsteilnehmer und gegebenenfalls für angegurtete Insassen, wenn auch hier aufgrund der in Abschnitt 3.1 geschilderten Kinematik der Vorteil nicht sehr ins Gewicht fällt.

$$* \quad HIC = \left| \left( \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \int_{t_1}^{t_2} a_{res} \cdot dt \right)^{2,5} \cdot (t_2 - t_1) \right|_{max.}$$

Dabei bedeuten:  $a_{res}$  = resultierende Verzögerung [g]  
 $t$  = Zeit [ms]



Die Gefahr von Schnittverletzungen ist bei beiden Scheibenarten nach einem Bruch gegeben. Es sind verschiedene Fälle zu unterscheiden:

1) Scheibenbruch bei Erhaltung der Scheibenform:

ESG: Zahlreiche, kurze Schnittkanten sind über die ganze Scheibenfläche verteilt.

VSG: Es ergeben sich Schnittkanten unterschiedlicher Länge im Bereich der Aufschlagstelle.

Bei gleitender Bewegung sind an beiden Scheiben großflächige, meist oberflächliche Verletzungen (Abschürfungen) möglich, so daß beide Glasarten in diesem Punkt als etwa gleichwertig betrachtet werden.

2) Scheibenbruch mit anschließender plastischer Verformung:

ESG: entfällt

VSG: Die Schnittkanten können stärker hervortreten.

Es sind Schnittverletzungen und Abschürfungen möglich, die deutliche Nachteile für VSG ergeben.

3) Scheibenbruch mit Durchschlagen:

ESG: Hierbei findet man äußerst gefährliche Schnittkanten bei Krafrichtung in Scheibenebene und selten auftretende aber schwere Verletzungen an Kopf (Augen) und Hals.

VSG: Es ergeben sich äußerst gefährliche Schnittkanten bei Krafrichtung in Scheibenebene und auch noch bei kleinem Winkel zur Scheibenebene wegen der höheren Steifigkeit der Scheibe. Die Schnittkanten können durch die Folie teilweise abgedeckt werden. Es treten, wenn auch sehr selten, schwerste Verletzungen an Kopf (Augen) und Hals insbesondere bei nachfolgendem Rückprall auf.

Ein Vergleich ergibt hier trotz der besonderen Schwere der Verletzungen weniger deutliche Nachteile für VSG, da das Durchschlagen bei dieser Glasart sehr selten vorkommt.

- 4) Scheibenbruch mit totalem Zerfall in kleine Bruchstücke:

ESG: Es tritt Splitterflug mit Bruchstücken von unterschiedlicher Größe und Geschwindigkeit auf. Die Schnittkanten der in der Scheibeneinfassung stehen gebliebenen Bruchstücke sind gefährlich. Weiterhin ergeben sich zahlreiche kurze Schnittkanten an Glasbruchstücken, die auf Aufschlagflächen (z.B. Armaturentafeln) liegen können.

VSG: entfällt

Durch fliegende Bruchstücke sind an ungeschützten Körperteilen Schnittverletzungen möglich; hierbei sind schwere Augenverletzungen selten. In der Scheibeneinfassung stehende Bruchstücke verursachen im Gesicht - insbesondere an den Augen - und am Hals gravierende Verletzungen. Schnittverletzungen und Risse durch das Aufprallen auf verstreut liegende ESG-Bruchstücke werden gegenüber Abschürfungen von den Experten als schwerer beurteilt.

Unter dem Gesichtspunkt möglicher Augenverletzungen hat Verbund-Sicherheitsglas deutliche Vorteile (s. auch Abschnitt 3.2.1).

Für den nicht angegurteten Insassen ergeben sich bei VSG insgesamt hinsichtlich Schnitt- und Augenverletzungen deutliche Vorteile, für den angegurteten Insassen leichte Nachteile, da u.a. die Gefahr von Schnittverletzungen für den an der Scheibe nach unten gleitenden Kopf des Insassen vornehmlich bei VSG zu erwarten ist.

Bei der Sicht nach Bruch bestehen zwischen ESG und VSG wesentliche Unterschiede. Nach einem Bruch bieten die nicht getroffenen Teile einer VSG-Scheibe gute Durchsicht und während der Aufprall eines einzelnen kleineren Steines bei VSG nur einen unbedeutenden kraterartigen Ausbruch der äußeren Scheibe verursacht, führt dieser Stein bei ESG möglicherweise zur Auslösung des Bruchmechanismus und damit zur Sichtbeeinträchtigung und völligen Zerstörung. Der

VSG-Scheibe kommen also in dieser Hinsicht deutliche Vorteile zu.

Die Schutzwirkung gegen eindringende Gegenstände - im weiteren Sinne sind dazu auch Witterungseinflüsse (Feuchtigkeit, Kälte) zu rechnen - ist bei beiden Scheibenarten bis zum Bruch als gleich zu bewerten. Sie bleibt nach dem Bruch bei VSG mindestens bis zum Einreißen der Folie erhalten, bei ESG geht sie unmittelbar nach dem Bruch verloren. Dabei ist zu beachten, daß bei den beiden Scheibenarten ein unterschiedliches Bruchrisiko in Abhängigkeit von Form und Verformbarkeit des aufprallenden Gegenstandes (s. Abschnitt 3.2.1 und 3.2.2) besteht. Mit zunehmender Gebrauchsdauer ergibt sich für ESG ein höheres Bruchrisiko infolge der für das Gleichgewicht des inneren Spannungszustandes gefährlichen Oberflächenbeschädigungen. Hier hat VSG geringe Vorteile.

Die Sicherheit gegen Hinausschleudern von Insassen wird in erster Linie von der Anwendung der Rückhaltesysteme bestimmt. Unter Berücksichtigung dieser Schutzwirkung und dem plastischen Verformungsverhalten der Folie lassen sich Vorteile für die VSG-Scheibe ableiten. Für nicht angegurtete Insassen können sich deutliche Vorteile ergeben.

Insgesamt kann unter Berücksichtigung der technischen und unfallrelevanten Eigenschaften festgestellt werden, daß VSG gegenüber ESG hinsichtlich der Verletzungs- und Unfallgefahr nicht nur Vorteile aufweist, die Vorteile jedoch überwiegen.

## 5. WEITERE ENTWICKLUNGEN

### 5.1 Technische Verbesserungen der Windschutzscheibe

Beide heute bekannten Sicherheitsglasarten werden aufgrund neuer Erkenntnisse weiterentwickelt. Die folgenden Beispiele zeigen die Entwicklungsrichtungen auf.

### 5.1.1 Einscheiben - Sicherheitsglas

#### VISURIT, BISEKURIT

Beim ESG hat man Versuche unternommen, die Sicht nach Bruch zu verbessern, die Beständigkeit gegen Steinschlag von außen zu erhöhen und den vollkommenen Verlust des Scheibenverbundes der gebrochenen Scheibe zu verhindern. Die Bilder 4b und c zeigen zwei Möglichkeiten, die Sicht für den Fahrer durch Beschränkung des Bruchfeldes der Scheibe, z.B. auf den Aufschlagbereich eines Steines, zu verbessern. Falls der zerstörte Scheibenteil herausfällt, ist durch den verbleibenden Rest immer noch ein gewisser Schutz gegen Einwirkungen von außen gegeben.

#### SEKURIT BS 2

In Bild 4e wird eine weitere Verbesserung des Sichtfeldes einer ESG-Scheibe dargestellt. Die Zahl der Krümel zwischen den Sichtinseln wird möglichst klein gehalten. Gleichzeitig soll bei dieser Entwicklung versucht werden, die Festigkeit des Glases gegen Aufschlag spitzer Steine von außen wesentlich zu erhöhen und die Scheibe nicht zusammenbrechen zu lassen.

#### Sonstige Entwicklungen

Verschiedene Möglichkeiten zur Weiterentwicklung von Windschutzscheiben aus ESG in der aufgezeigten Richtung sind in Bild 4f dargestellt. Diese Entwicklungsrichtung soll dahin führen, daß die Stabilität gebrochener ESG-Windschutzscheiben durch Stege aus entsprechend behandelten Scheibenbereichen gewährleistet wird. Die Sicht wird durch Verringerung auf sehr wenige kleine Krümel zwischen den Sichtinseln verbessert. Diese Scheibenart soll nach Meinung der Experten einen guten Schutz nach Bruch bieten.

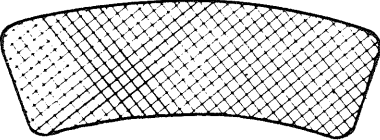
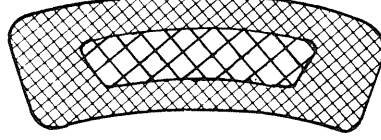
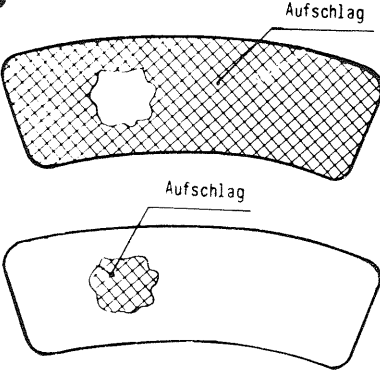
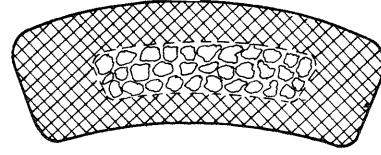
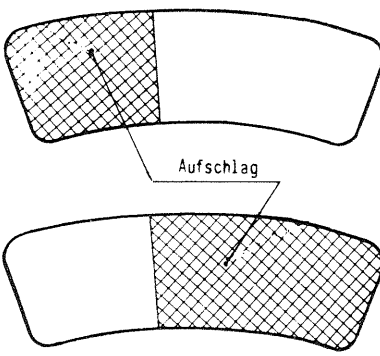
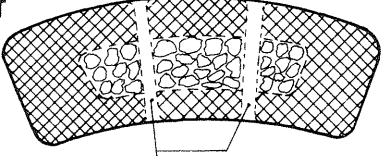



<b>a</b> 	<u>Glastyp:</u> SEKURIT Feinkrümel ohne Sichtzone	<b>d</b> 	<u>Glastyp:</u> SEKURIT BS 1 als Beispiel einer heute üblichen Ausführung von Einscheiben-Sicherheitsglas.
<b>b</b> 	<u>Glastyp:</u> VISURIT begrenztes Bruchfeld	<b>e</b> 	<u>Glastyp:</u> SEKURIT BS 2 Eine Entwicklungsrichtung, bei der im Sichtfeld der Anteil der Kleinkrümel zwischen den Sichtinseln verringert ist; erhöhte Festigkeit gegen Steinerschlag und verbesserter Zusammenhalt nach Bruch.
<b>c</b> 	<u>Glastyp:</u> BISEKURIT begrenztes Bruchfeld	<b>f</b>  Stege sollen Zusammenbrechen der Scheibe nach Anbruch verhindern.	Eine Weiterentwicklung von e mit Stegen nicht krümelnden Glases, durch welche die Scheibe nach Bruch im Rahmen stehen bleiben soll. Das Bruchfeld wird noch enger auf den Aufschlagbereich begrenzt.
Kennzeichnung der Bruchzonen:  feine Krümel  grobe Krümel  Sichtinseln 			

Bild 4: Entwicklungen von Einscheiben-Sicherheitsglas-Windschutzscheiben [6]

### 5.1.2 Verbund - Sicherheitsglas

Auch bei VSG lassen sich, ausgehend von der als üblich anzusehenden Ausbildungsform eines symmetrischen Verbund-Sicherheitsglases mit 0,76 mm dicker PVB-Folie, Entwicklungsrichtungen erkennen, die das Ziel verfolgen, die Verletzungen der Fahrzeuginsassen nach Anzahl und Schwere zu verringern.

Ergebnisse dieser Entwicklungen befinden sich bereits auf dem Markt. Bei diesen Ausführungen ist die innere Scheibe dünner (s. Abschnitt 2.3.2), wodurch eine Verbesserung des Verletzungsbildes erzielt werden soll. Darüber hinaus kann eine Vorbehandlung der Innenscheibe die Gefährlichkeit des Kontaktes mit der Scheibe weiter verringern. Erst seit relativ kurzer Zeit werden Versuche mit Scheiben in Verbundart, deren innerste Schicht auch eine Folie (zweite Folie) ist, durchgeführt. Es ist weiterhin damit zu rechnen, daß Folien mit speziell für Windschutzscheiben verbesserten Eigenschaften zum Einsatz kommen. Einige Entwicklungen seien im folgenden erläutert.

#### SIGLA AS 15

Dieses für einzelne Fahrzeugtypen lieferbare Verbundglas ist in Bild 5d dargestellt. In asymmetrischem Aufbau sind eine normale, d.h. nicht vorgespannte, 1,5 mm dicke Innenscheibe und eine normale, 2,5 mm dicke Außenscheibe durch eine 0,76 mm dicke PVB-Folie (HPR) verbunden. Die dünnere Innenscheibe soll Schnittverletzungen gefährlicher Art vermeiden, da erwartet wird, daß sich die Bruchkanten der dünnen Splitter in die Folie drücken. Die plastische Verformbarkeit soll erhöht und eine verbesserte Energieaufnahme bei Berührung mit dem Kopf erreicht werden.

#### TEN TWENTY

In Großbritannien wurde ebenfalls ein weiterentwickeltes Verbundglas vorgestellt. Es handelt sich um einen symmetrischen Aufbau wie ihn Bild 5e zeigt. Die PVB-Folie verbindet zwei vorbehandelte Glasscheiben von 2,3 mm Dicke.

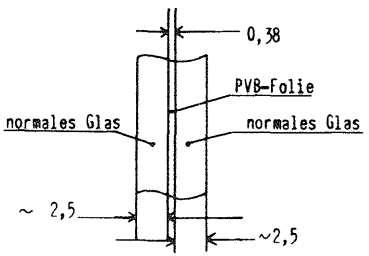
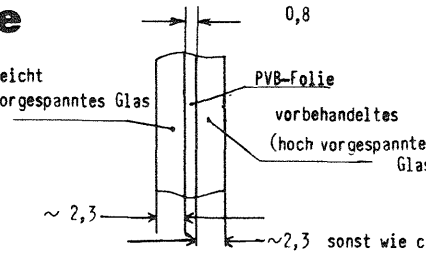
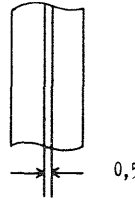
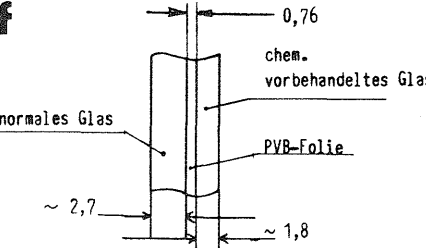
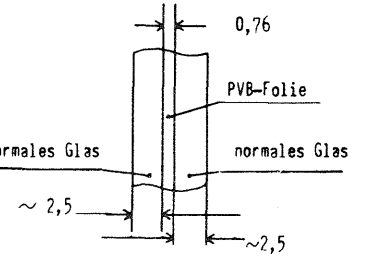
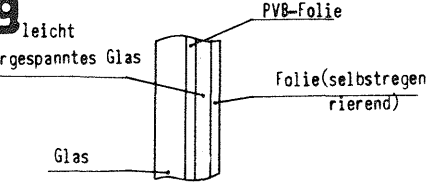
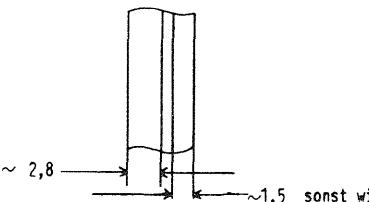
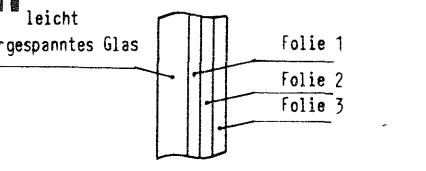
außen	innen	Bemerkung	außen	innen	Bemerkung
<p><b>a</b></p>  <p>normales Glas</p> <p>normales Glas</p> <p>PVB-Folie</p> <p>0,38</p> <p>~ 2,5</p> <p>~ 2,5</p>		<p>VSG mit PVB-Folie 0,38 mm wird seit etwa 1966 nicht mehr verwendet.</p>	<p><b>e</b></p>  <p>leicht vorgespanntes Glas</p> <p>PVB-Folie</p> <p>vorbehandeltes (hoch vorgespanntes) Glas</p> <p>0,8</p> <p>~ 2,3</p> <p>~ 2,3 sonst wie c)</p>		<p>TEN TWENTY nach <math>\angle 67_7</math></p>
<p><b>b</b></p>  <p>0,5</p> <p>sonst wie a)</p>		<p>VSG mit einer PVB-Folie von 0,5 mm Dicke ist nur in Italien zugelassen.</p>	<p><b>f</b></p>  <p>normales Glas</p> <p>chem. vorbehandeltes Glas</p> <p>PVB-Folie</p> <p>0,76</p> <p>~ 2,7</p> <p>~ 1,8</p>		<p>CHEMCOR</p>
<p><b>c</b></p>  <p>normales Glas</p> <p>normales Glas</p> <p>PVB-Folie</p> <p>0,76</p> <p>~ 2,5</p> <p>~ 2,5</p>		<p>Symmetrische Ausführung von Verbund-Sicherheitsglas - derzeitige Regelausführung.</p>	<p><b>g</b></p>  <p>leicht vorgespanntes Glas</p> <p>PVB-Folie</p> <p>Folie (selbstregenerierend)</p> <p>Glas</p> <p>Dicken und Eigenschaften noch weitgehend unbekannt.</p>		<p>SEKURIFLEX</p>
<p><b>d</b></p>  <p>~ 2,8</p> <p>~ 1,5 sonst wie c)</p>		<p>SIGLA AS 15</p>	<p><b>h</b></p>  <p>leicht vorgespanntes Glas</p> <p>Folie 1</p> <p>Folie 2</p> <p>Folie 3</p> <p>Dicken und Eigenschaften noch weitgehend unbekannt.</p>		<p>Diese Entwicklungsrichtung verfolgt die Verbindung einer vorgespannten äußeren Glasscheibe mit mehreren inneren Folien, deren notwendige Zahl sich nach den in einer Schicht zu vereinigenden Eigenschaften richtet.</p>

Bild 5: Entwicklungen von Verbund-Sicherheitsglas-Windschutzscheiben

Nach  $\lceil 67 \rceil$  ist die Außenscheibe leicht vorgespannt und besitzt damit eine etwas höhere Bruchfestigkeit. Die Innenscheibe ist hoch vorgespannt, um die günstigen Verletzungseigenschaften von ESG-Scheiben zu erreichen.

#### CHEMOR

In den Vereinigten Staaten wurde das VSG ebenfalls weiterentwickelt (Bild 5f). Durch Beeinflussung des Bruchverhaltens mit Hilfe einer chemischen Vorbehandlung und einer dünneren Innenscheibe versucht man, die Gefahr der Verletzungen zu reduzieren. Das äußere Glas ist 2,7 mm dick und wird durch die PVB-Folie mit der nur 1,8 mm dicken Innenscheibe verbunden.

#### SEKURIFLEX

Ein deutscher Glashersteller entwickelt ein Verbundglas in 4-fach-Verbund  $\lceil 46 \rceil$ , Bild 5g zeigt den prinzipiellen Aufbau. Die Schichtung: Glas - Folie - Glas - Folie soll für den Insassen den Vorteil bringen, daß ein Kontakt mit dem Glas weitestgehend ausgeschlossen ist und möglichst keine Glassplitter in den Innenraum gelangen. Der inneren Folie wird eine regenerierende Eigenschaft nachgesagt, die leichte Kratzer, die z.B. beim Reinigen der Scheibe entstehen, nach kurzer Zeit wieder verschwinden läßt. Diese Glasart soll bereits zur Serienreife gediehen sein.

#### Sonstige Entwicklungen

Die Verbindung einer Außenscheibe mit nur einer Folie stößt z.Zt. noch auf Schwierigkeiten. Alle notwendigen Eigenschaften lassen sich noch nicht in einer Folie vereinigen. Man verfolgt daher auch die Möglichkeit, auf eine Glasscheibe innen mehrere Folien zu kleben, wobei jede Folie spezielle Eigenschaften aufweist, wie z.B. Klebbarkeit, Wasserdampfdichtigkeit und Kratzfestigkeit bzw. Regenerierbarkeit (Bild 5h).

In der Literatur findet sich eine Reihe weiterer Verbesse-



rungsvorschläge, die zum Teil eine Zusammenfassung von Eigenschaften beider Scheibenarten in einer Scheibe vorsehen. So werden Verbundglasscheiben mit innerer vorgespannter Scheibe (s. Bild 5e) verlangt [65], andere Autoren [42; 71] sehen innen stark verformbare Folien und außen Glas vor, damit Halswirbelsäulen-Verletzungen verringert und Splitterflug in den Fahrgastraum vermieden werden. In [16] wird vorgeschlagen, bei ESG-Scheiben den Rahmen zu versenken, um zu vermeiden, daß an dem im Rahmen stehengebliebenen Krümelrand Verletzungen entstehen, und [71] fordert, den Abstand zwischen dem Rahmen der Scheibe und den Insassen zu vergrößern.

## 5.2 Fortschreibung der gesetzlichen Maßnahmen

Bei Empfehlungen für gesetzliche Maßnahmen muß zunächst grundsätzlich die Alternative Wirk- oder Konstruktionsvorschrift betrachtet werden. Wie bekannt, beschreiben Wirkvorschriften eine geforderte Wirkung von Bauteilen z.B. beim Aufprall eines Menschen bei einem Unfall. Die konstruktive Ausführung der Bauteile wird hierbei nicht vorgeschrieben. Bau- und Konstruktionsvorschriften hingegen geben konstruktive Lösungen vor, durch die bestimmte Wirkungen erzielt werden sollen.

Es ist heute weitgehend unbestritten, daß Neu- und Weiterentwicklungen im Rahmen von Wirkvorschriften eher erzielt werden als in den oft engen Grenzen von Bauvorschriften. Zur Zeit fehlen allerdings für die Festlegung von Sicherheitsforderungen an Fahrzeuge oft noch die notwendigen Grenzwerte für die Belastbarkeit des menschlichen Körpers, so daß man gezwungen ist, auf in der Praxis bewährte Ausführungen bestimmter Teile zurückzugreifen und diese vorzuschreiben, um ein Mindestmaß an Schutz für die Insassen zu erreichen. Das Ziel verstärkter Bemühungen in der Gesetzgebung sollte nach Meinung der Experten aber die Aufstellung von Wirkvorschriften sein, um ein Maximum an Sicherheit zu erhalten.

In der BRD werden derzeit aus den oben genannten Gründen

Anforderungen an Sicherheitsglas für Kraftfahrzeuge überwiegend in Bauvorschriften festgelegt. Zwar sind in § 40 StVZO für Sicherheitsglas Wirkungen dahingehend vorgeschrieben, daß dessen Bruchstücke keine ernstlichen Verletzungen verursachen können, auf mögliche Verletzungen durch eine nicht zerbrochene Scheibe (z.B. beim Aufprall mit dem Kopf) in den Technischen Anforderungen an Fahrzeugteile bei der Bauartgenehmigung nach § 22a StVZO für Sicherheitsglas wird jedoch nur indirekt eingegangen. In § 40 StVZO ist festgelegt, daß bestimmte Scheiben aus Sicherheitsglas bestehen müssen und § 22a StVZO schreibt vor, daß Scheiben aus Sicherheitsglas in einer amtlich genehmigten Bauart ausgeführt sein müssen. In den Technischen Anforderungen werden hauptsächlich Anforderungen an eine Glasart und deren Prüfung beschrieben.

Die Frage, ob die Anforderungen der geltenden Gesetze für einen bestimmten Scheibentyp genügen, kann nur beurteilt werden im Zusammenhang von gesetzlichen Zulassungsverfahren und einer Kette von (privatwirtschaftlichen) technischen Freigaben, wie sie heute üblich ist, die beim Glashersteller beginnt und beim Automobilhersteller endet. Bis zum serienmäßigen Einbau muß dabei eine Windschutzscheibe verschiedene Zulassungs- und Freigabeprüfungen bestehen. Zur Erteilung der Bauartgenehmigung wird das Material Glas nach gesetzlichen Vorschriften von einem Prüfungsamt beurteilt. Windschutzscheiben aus dem so geprüften Glas werden schließlich vom Fahrzeughersteller nach eigenen technischen Lieferbedingungen geprüft, die einer Typprüfung mehr oder weniger entsprechen.

Außer diesem Verfahren bei der Einführung einer neuen Windschutzscheibe ist der Problembereich der Serienkonstanz von Bedeutung. Die zuständige Prüfstelle kann im Bauartgenehmigungsverfahren beim vorgesehenen Glashersteller prüfen, ob die Voraussetzungen für eine ausreichende Qualitätssicherung gegeben sind. Da hiermit jedoch keine regelmäßige Kontrolle vorgeschrieben ist, wurden entsprechende zweiseitige Vereinbarungen zwischen Prüfungsamt und jeweiligem Glashersteller auf freiwilliger Basis getroffen, wonach der

Hersteller ständig die Güte seiner Produktion selbst dokumentiert. Verhandlungen mit Herstellern auch im Ausland haben gute Erfolgsaussichten, insbesondere vor dem Hintergrund, daß im Schadensersatzfall die Beweislast nach dem Prinzip der Produzentenhaftung dem Glashersteller zufällt.

Betrachtet man die beschriebene Kette von Prüfungen an Windschutzscheiben, erscheint eine generelle Forderung der gesetzlichen Typprüfung nicht geboten, solange die Automobilhersteller und ihre Zulieferanten auch aus einzelwirtschaftlicher Zielsetzung ein Mindestqualitätsniveau für Glas und Scheibe gewährleisten. Es sollte jedoch erwogen werden, einzelne Ergänzungen in den gesetzlichen Vorschriften vorzusehen:

- Eingang finden sollte die Forderung, im 50 km/h - Aufprall auf die Barriere nachzuweisen, daß kein Kontakt des Insassen mit der Windschutzscheibe stattfindet oder keine ernstlichen Verletzungen nach dem Triplex-Index \* über Schnittverletzungen vorkommen. Dieses Verfahren kommt einer Typprüfung für Windschutzscheiben im Fahrzeug bereits nahe.
- Der Mindestwert für die Transmission der Scheiben sollte auf 80 - 90% angehoben werden (derzeit 75%).
- Um die Verletzungsgefahren für Insassen bei einem Aufprall entsprechend dem Phantom-Fallversuch besser beurteilen zu können, wäre zu fordern, die Fallhöhe und den Aufprallwinkel zu variieren. Schnittverletzungen könnten ggf. nach dem Triplex-Index bewertet werden.

Bruchfestigkeit und Streulichtanteil einer Scheibe werden gegenüber dem Neuzustand im normalen Betrieb schlechter. Es sollte daher ferner geprüft werden,

---

\* Triplex Laceration Index (TLI): Ein von der Triplex Safety Glass Co., England, entwickelter Beurteilungsmaßstab für Schnittverletzungen durch Windschutzscheiben.  
 $TLI = 2 + \log_{10} (1 + 1,16 D_1 + 50,8 D_2 + 16,500 D_3)$ , wobei  $D_1$ ,  $D_2$  und  $D_3$  aus der Länge, Tiefe und Anzahl der Schnitte berechnet werden, die zwei Schichten (Leder und PVC) als Überzug eines Kopfphantoms beim Aufprall auf die Windschutzscheibe erfahren [54].

ob entsprechende Kriterien ermittelt werden können, nach denen dann ein Austausch gebrauchter Scheiben, z.B. anlässlich einer Prüfung nach § 29 StVZO, angeordnet wird.

## 6. ÖKONOMISCHE BETRACHTUNG

Die bisherigen Ausführungen zur Beurteilung der technischen und unfallrelevanten Kriterien sowie der gesetzlichen Regelungen werden nachfolgend durch eine ökonomische Betrachtung ergänzt, die einen weiteren wesentlichen Teil der Gesamtbeurteilung des Problems liefert.

### 6.1 Allgemeine wirtschaftliche Situation

Gesetzliche Regelungen, die bestimmte Konstruktions- oder Ausstattungsmerkmale am Kraftfahrzeug vorschreiben (oder nicht vorschreiben), berühren unterschiedliche einzelwirtschaftliche Interessen. Solche Regelungen können Auswirkungen ergeben, die von einer geringfügigen Beeinflussung der innerbetrieblichen Produktions- und Kostenstruktur über Wettbewerbsverzerrungen oder -verlagerungen bis hin zur Infragestellung eines kompletten Produktionsprogramms reichen.

Umgekehrt darf nicht übersehen werden, daß von seiten solcher Wirtschaftseinheiten, die über produktionstechnische oder andere Wettbewerbsvorteile verfügen, die u.U. auch patentrechtlich abgesichert sind, Einfluß auf beabsichtigte gesetzliche Regelungen zu nehmen versucht wird. Elemente eines solchen Spannungsfeldes existieren auch auf dem hier interessierenden Markt für Windschutzscheiben.

Für die Frage, welche Windschutzscheibenart volkswirtschaftlich als vorteilhafter anzusehen ist, spielen solche mikroökonomischen Interdependenzen nur eine Rolle, wenn sie mangels Wettbewerbsdruck zu Produktivitätsverlusten z.B. infolge nichtrealisierten technischen Fortschritts führen.

Sie sind hingegen zunächst irrelevant, wenn sie sich im gesamtwirtschaftlichen Sinn als Verteilungsprobleme darstellen, denn zur Beurteilung der gesamtwirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit steht ausschließlich die Zielsetzung des effizienten Einsatzes der Produktionsfaktoren im Vordergrund. Minderung oder Mehrung einzelner Gruppen-Vorteile oder -Nachteile bleiben dabei außer Ansatz.

Für die Bewertung der unterschiedlichen Scheibenarten in Nutzen-Kosten-Untersuchungen mit Preisen muß demgegenüber die mikro-ökonomische Marktstruktur sehr wohl berücksichtigt werden: Aus volkswirtschaftlicher Sicht ist ein Bewertungsfaktor (Preis) wünschenswert, der die tatsächlichen Faktorkosten wiedergibt oder sich diesen wenigstens annähert. In der folgenden Nutzen-Kosten-Betrachtung wird daher in einer ersten Alternative mit einem Wert gerechnet, von dem aus folgenden Gründen angenommen werden kann, daß er sich dem Faktor Kosten nähert.

- Die Verteilungsanteile (z.B. Gewinn) sind wegen des starken Importdruckes wahrscheinlich gering.
- Die starke Marktposition der Abnehmer (Automobilindustrie) zwingt zu stark kostenorientierter Kalkulation.

Da für die Nutzen-Kosten-Untersuchung nur die Mehrkosten von Interesse sind, die der Einbau von VSG gegenüber ESG verursacht, kann mit der Produktionskostendifferenz (VSG minus ESG) pro Scheibe gerechnet werden; im vorliegenden Fall erscheint ein Wert von DM 50,-- gerechtfertigt. Auf der anderen Seite muß der Endverbraucher demgegenüber einen sehr viel höheren Preis bezahlen. Der durchschnittliche Optionspreis für eine VSG-Scheibe (Aufpreis für den wahlweisen Einbau einer solchen Scheibe in ein neues Fahrzeug) lag am 15.8.1975 bei etwa DM 150,--.\* Für den Gesetzgeber taucht deshalb bei der Frage administrativer Rege -

---

\* Vgl. Autokatalog 1976, hrsg. von Vereinigte Motor-Verlage, Ausgabe Nr. 19.

Die Rechnungsgrundlage dieser Optionspreise innerhalb der Kalkulation des Gesamtfahrzeugs, insbesondere auch unter Berücksichtigung der Paketpolitik, ist nicht transparent.

lungen die Überlegung auf, welchen Aufwand er vor dem Hintergrund des zu erwartenden Nutzens den Verbrauchern zuzumuten kann. Für diese Fragestellung ist eine Bewertung mit dem o.g. Optionspreis durchaus sinnvoll \*. In einer zweiten Alternative wird deshalb auch damit gerechnet, allerdings die reine Effizienzzielsetzung der Nutzen-Kosten-Betrachtung aufgegeben. Es handelt sich dabei dann um ein durch verteilungspolitische Elemente modifiziertes gesamtwirtschaftliches Vorteilhaftigkeitskalkül, das als ein Gesichtspunkt für die politische Entscheidung sinnvoll erscheint. Dazu sollen einige statistische Daten einen Überblick über die Ausrüstungsverteilung, die Schadenshäufigkeit und das Verletzungsrisiko geben.

## 6.2 Statistische Angaben

Da das Zahlenmaterial nur in geringem Umfang und in teilweise nicht vergleichbarer Form vorliegt, beruhen die folgenden Angaben häufig auf Schätzungen.

### 6.2.1 Ausrüstungsverteilung

Der Anteil der VSG-Windschutzscheiben im PKW-Bestand wird von den Experten auf 10 bis 12% geschätzt. Serienmäßig (d.h. ohne Aufpreis) sind heute mehrere deutsche und ausländische Fabrikate mit VSG-Windschutzscheiben ausgerüstet. Ein Überblick über die Neuzulassungen verschiedener Fabrikate zeigt den Trend zu einer steigenden Ausrüstungsquote mit VSG-Windschutzscheiben (Tafel 3). Bei den Fabrikaten BMW und Opel, die heute alternativ mit ESG- und VSG-Scheiben ausgestattet werden können, wird ein Anteil von über 90% VSG erwartet. Zu den in Tafel 3 gezeigten Summen müssen noch die Fahrzeuge nichtgenannter Fabrikate hinzugerechnet werden, die auf Käuferwunsch und gegen Aufpreis mit VSG-Scheiben ausgerüstet werden können (z.B. VW) sowie ein kleiner Anteil ausländischer Fabrikate mit serienmäßiger VSG-

---

\* Auf die Bewertungsproblematik - Faktorkosten, Marktpreise - in Nutzen-Kosten-Betrachtungen kann nicht näher eingegangen werden.

Windschutzscheibe. Diese Anteile können jedoch mangels verfügbarer Daten nicht ausreichend abgeschätzt werden.

Insgesamt kann für 1976 aber mit einem Anteil von mit VSG-Scheiben ausgerüsteten Fahrzeugen an allen Neuzulassungen von ca. 50% gerechnet werden.

Fabrikat/Modell	Anteile an allen Neuzulassungen in %	
	1974	1975 (Jan.-Nov.)
BMW	4,9	6,1
Daimler-Benz	10,2	9,3
Ford	10,0	13,7
Opel	17,5	17,8
Porsche	0,1	0,1
Citroen DS-Reihe bzw. CX-Reihe	0,2	0,4
Datsun	0,7	0,8
Volvo	0,5	0,7
Summe	44,1	48,9

Tafel 3: Anteile derjenigen Fabrikate an allen Neuzulassungen, die ab 1976 serienmäßig bzw. ohne Aufpreis mit VSG-Windschutzscheiben angeboten werden (nach Kraftfahrt-Bundesamt, Flensburg)

## 6.2.2 Unfallbeteiligung

Über die Rolle der Windschutzscheibe als unfallverursachendes Fahrzeugteil liegen keine gesicherten Aussagen vor. Bei Unfällen, die auf ungenügende Sicht zurückzuführen sind, wird als Ursache die Witterung oder die Tageszeit angeführt, ob ein Fehler bei der Scheibe vorlag, ist dabei nicht untersucht. Unfälle, verursacht durch Bruch der Scheibe (Steinschlag, Spontanbruch durch Temperaturwechsel, Karosserieverspannung), können als selten angenommen werden. Eine australische Untersuchung weist z.B. für den Fall "Steinschlag" eine Größenordnung von 0,1% aller Unfälle aus [ 41 ].

### 6.2.2.1 PKW-Insassen

Die Möglichkeit einer Verletzung durch die Kfz-Verglasung ist bei allen Fahrzeugunfällen gegeben. Betrachtet man die einzelnen Scheiben wie Windschutzscheibe und z.B. Seitenverglasung, so liegt die Verletzungswahrscheinlichkeit nach [ 64 ] mit 3 : 1 (Windschutzscheibe zu Seitenverglasung) hauptsächlich bei der Windschutzscheibe, wobei angemerkt sei, daß Angaben zur Verletzungswahrscheinlichkeit durch die Heckscheibe fehlen.

Da die verletzungsverursachende Wirkung der Windschutzscheibe am häufigsten beim Frontalaufprall zu erwarten ist, wird im folgenden diese Unfallart näher betrachtet.

Der Anteil des Frontalaufpralles am gesamten Kraftfahrzeugunfallgeschehen beträgt nach Untersuchungen in verschiedenen Ländern [ 7; 52; 64 ] rund 60%. Für die Bundesrepublik Deutschland zeigen eine Statistik des HUK-Verbandes [ 9 ] und die im Auftrage der Bundesanstalt für Straßenwesen laufenden Erhebungen von Unfallforschungsteams in Hannover und Berlin die in Tafel 4 zusammengestellte Verteilung von Aufprallarten. Bei dieser Unfallart (mindestens 60% der zu betrachtenden Unfälle) ist also die Möglichkeit eines Aufpralls der Fahrzeuginsassen auf die Windschutzscheibe gegeben.



Aufprallart	Unfallerberhebung	
	HUK-Verband [ % ]	Berlin/Hannover [ % ]
Frontalaufprall	66,0	65,0
Heckaufprall	13,7	11,0
Seitenaufprall	12,3	15,0
Andere	8,0	9,0

Tafel 4: Anteil der Aufprallarten am Unfallgeschehen

Der folgende Vergleich der Häufigkeit der Verletzungen durch andere Fahrzeugteile unterstreicht die verletzungsrelevante Bedeutung der Windschutzscheibe (Tafel 5). Bewertet man neben der Häufigkeit auch die Schwere, so erhält man ein Verletzungsrisiko. Es zeigt sich, daß für die Fahrzeuginsassen die Windschutzscheibe das drittgrößte Risiko bei den verletzungsverursachenden Fahrzeugteilen darstellt. Die Angaben in Tafel 5 berücksichtigen nicht die Wirkung des Sicherheitsgurtes.

Verletzungsverursachendes Fahrzeugteil	Häufigkeit der Verletzungen bei allen Kfz-Unfallarten	Verletzungsrisiko bei allen Kfz-Unfallarten
	in %	in %
Armaturenbrett	23	20,2
Lenkung	22	20,5
Windschutzscheibe	15	13,7
Türen	12	11,2
Frontsitzlehne (oben)	5	4,0
Dach	4	4,3
Frontsitzlehne (unten)	4	2,8
A-Säule	3	3,3

Tafel 5: Häufigkeiten der Verletzungen und des Verletzungsrisikos in Abhängigkeit vom verursachenden Fahrzeugteil [ 60 ]

### 6.2.2.2 Fußgänger und Zweiradfahrer

Bei Unfällen mit einem Kraftfahrzeug besteht auch für Fußgänger und Zweiradfahrer die Möglichkeit, durch die Windschutzscheibe verletzt zu werden.

Die Verletzungsverursachenden äußeren Fahrzeugteile sind beim Fußgängerunfall nach Tafel 6 verteilt.

Verletzungsverursachendes Fahrzeugteil	Häufigkeit der Verletzungen in %
Stoßfänger	29,2
Kotflügel	13,5
Scheinwerfer	9,4
Haube (Motor)	8,3
Räder	7,3
Windschutzscheibe	6,3
Windschutzscheibenrahmen	5,2

Tafel 6: Häufigkeiten verletzungsverursachender Fahrzeugteile beim Fußgängerunfall [36]

Die Bedeutung der Windschutzscheibe als verletzungsverursachendes Element ist also im Vergleich zum Frontalaufprall (Insassenverletzung) beim Fußgängerunfall sehr viel geringer.

Über Zweiradunfälle liegen entsprechende Zahlen nicht vor. Man kann aber vermuten, daß auch bei dieser Unfallart die Verletzungsrelevante Bedeutung ähnlich ist.

### 6.2.3 Zerstörungshäufigkeit der Windschutzscheibe und Verletzungshäufigkeit

Während in den vorangegangenen Abschnitten eine Übersicht über die Verletzungshäufigkeit durch die Windschutzscheibe im Zusammenhang mit anderen verletzungsverursachenden Fahr-

zeugteilen gegeben wurde, wird im folgenden die Windschutzscheibe allein behandelt.

Zur Beurteilung der Unfallrelevanz und für die Nutzen-Kosten-Betrachtung ist im Zusammenhang mit der Windschutzscheibe die Zerstörungshäufigkeit wichtig.

#### 6.2.3.1 Einwirkung von außen

Die Widerstandsfähigkeit der Windschutzscheibe gegen die in Abschnitt 2.1 aufgeführten Einwirkungen von außen ist vor allem bei Steinen, Wild und von anderen Fahrzeugen verlorenes Ladegut nur begrenzt vorhanden. (siehe Abschnitt 3.2.1 und 3.2.2). Eine Zerstörung von Windschutzscheiben durch hochgeschleuderte Steine ist nach englischen Angaben  $\sqrt{65}$  im Durchschnitt für ESG-Scheiben nach einer Fahrleistung von 320 000 km (200.000 Meilen) und für VSG-Scheiben nach 480 000 km (300.000 Meilen) bezogen auf die Gesamtfahrleistung des Fahrzeugbestandes zu erwarten.

Für Frankreich kann nach Angaben aus  $\sqrt{29;72}$  pro 250 000 km Fahrleistung die Zerstörung einer Windschutzscheibe (VSG und ESG) angenommen werden. Für die Bundesrepublik Deutschland gibt Appel  $\sqrt{3}$  eine Bruchwahrscheinlichkeit der Windschutzscheibe bezogen auf die Fahrleistung für ESG mit 1 Million km und für VSG mit einer halben Million km an.

Zur Ermittlung der Zahl der zerstörten Scheiben kann bei einer Ausrüstungsverteilung von ca. 90% ESG- und 10% VSG-Scheiben die Bruchwahrscheinlichkeit von ESG zugrunde gelegt werden. Demzufolge ergeben sich mit dem Ansatz von Appel  $\sqrt{3}$  für 1973 bei einer durchschnittlichen jährlichen Fahrleistung pro PKW von 14 000 km  $\sqrt{11}$  und einem Bestand von 17.023.000 PKW und Kombi  $\sqrt{30}$  238.000 zerstörte Windschutzscheiben durch Einwirkung von Steinen, Ladegut anderer Fahrzeuge, Wild und durch Verspannungen in der Karosserie.

Zerstörungshäufigkeiten der Windschutzscheibe durch Unfälle mit Fußgängern und Zweiradfahrern sind nicht dokumentiert, können aber durch Verknüpfung von Angaben aus Unfallanalysen mit solchen aus amtlichen Statistiken ermittelt werden.

Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes ereigneten sich 1973 in der Bundesrepublik 52.517 Unfälle zwischen PKW und Fußgängern und 63.728 Unfälle zwischen PKW und Zweiradfahrzeugen. Es wird im folgenden angenommen, daß bei jedem dieser Unfälle mindestens ein Fußgänger bzw. ein Zweiradfahrer getötet oder verletzt wurde. Legt man weiterhin bei den verletzten und getöteten Fußgängern einen Anteil von 6,3% Windschutzscheibenverletzungen nach 367 (s. Tafel 6) zugrunde, so ergibt das eine Zahl von rund 3.300 betroffenen Fußgängern. Da eine Verletzung von Fußgängern durch die Windschutzscheibe in den meisten Fällen mit dem Bruch der Scheibe verbunden ist, kann man die Anzahl der Verletzten auch der Anzahl der Scheibenbrüche gleichsetzen und erhält damit 3.300 Scheibenbrüche durch verunfallte Fußgänger.

Die obigen Ansätze auch auf die Zweiradfahrer angewendet, ergeben rund 4.000 betroffene Zweiradfahrer, also weitere 4.000 Scheibenbrüche, und damit die Zahl der durch Fußgänger und Zweiradfahrer zerbrochenen Windschutzscheiben von 7.300.

#### 6.2.3.2 Einwirkung von innen (ohne/mit Sicherheitsgurt)

Es handelt sich um Scheibenbrüche, die durch Kontakt der Insassen mit der Windschutzscheibe, durch loses Ladegut und durch Deformation des Fahrgastraumes (Überschlag) verursacht werden. Da allgemein gültige Zahlen nicht vorhanden sind, wird versucht, die Zahl der Scheibenbrüche über die Zahl der Verletzten bzw. die Unfallart zu bestimmen.

Die Zahl der durch Windschutzscheiben in der Bundesrepublik verletzten und getöteten Insassen kann für 1973\* auf der Basis der in Abschnitt 6.2.2.1 genannten Verteilung am Unfallgeschehen wie folgt ermittelt werden:

Verletzte und getötete PKW-Insassen in 1973 <u>117</u>	307.700
Häufigkeit der Verletzung durch die Windschutzscheibe <u>607</u>	15%
Verletzte und Getötete durch die Windschutzscheibe in 1973	46.155

\* Das Jahr 1973 ist gewählt, weil das Jahr 1974 wegen der sogenannten Ölkrise nicht typisch war; für 1975 lagen zum Zeitpunkt der Bearbeitung noch keine endgültigen Zahlen vor.

Diese Verletzten und Getöteten befanden sich in der Mehrzahl auf einem der vorderen Fahrzeugsitze.

Aus der Zahl der Verletzten und Getöteten kann die Zahl der zerstörten Windschutzscheiben unter Berücksichtigung folgender Randbedingungen ermittelt werden:

- Zerstörung der Scheibe durch loses Ladegut im Fahrzeug,
- Verletzungen (Prellungen), die keinen Bruch der Scheibe verursachen,
- Verletzungen mehrerer Fahrzeuginsassen an der gleichen Windschutzscheibe.

Die Zerstörung durch loses Ladegut aus dem Innern des Fahrzeuges ist sehr unwahrscheinlich und daher in diesem Rahmen vernachlässigbar. Der Anteil der Prellungen beträgt nach [34] ca. 5% der Verletzungen. Für Doppelverletzungen, d.h. Fahrer und Beifahrer werden durch dieselbe Windschutzscheibe verletzt, werden ebenfalls ca. 5% angenommen. Schließt man aus diesen Angaben, daß die Zahl der durch Insassen zerstörten Windschutzscheiben um 10% geringer ist als die Zahl der Verletzten und Getöteten, ergeben sich 41.539 zerstörte Scheiben.

Diese Zahl muß erhöht werden um die Anzahl der Brüche, die durch Deformation der Fahrgastzelle auftreten. Als Ursache ist dafür im wesentlichen der Überrollunfall anzusehen. Der Anteil dieses Unfalltyps an allen PKW-Unfällen beträgt nach [33] 8 bis 9%. Weiterhin entstehen solche Deformationen bei anderen schweren Unfällen. Solche Unfälle sind nach [28] mit ca. 2,5% am Fahrzeugunfallgeschehen beteiligt. Um Doppelzählungen zu vermeiden, werden diese beiden Einflüsse zu 10% zusammengefaßt. Wendet man diese 10% auf die nach [63] beteiligten 247.147 PKW bei Unfällen mit Personenschaden an, ergeben sich 24.715 gebrochene Windschutzscheiben.

Insgesamt kann somit von  $7.300 + 41.539 + 24.715 = 73.554$  Scheibenbrüchen pro Jahr ausgegangen werden. Um die getroffenen Annahmen beurteilen zu können, werden im folgenden

zwei andere Ansätze kurz geschildert:

1. Appel [3] legt eine Verletzungshäufigkeit nach einer TRRL-Studie [66] von 17,2% für Leichtverletzte und 11,5% für Schwerverletzte zugrunde und erhält unter Verwendung der amtlichen Unfallstatistik des Jahres 1973 für die Bundesrepublik Deutschland einen Anteil von 37.934 Leichtverletzten und 9.123 Schwerverletzten durch die Windschutzscheibe. Dies sind total 47.057 Verletzte.
2. In [28] gibt der HUK-Verband eine Bruchhäufigkeit der Windschutzscheibe von 24,9% (Untersuchungsgut: 7.213 Scheibenbrüche bei 28.936 Unfällen) an. Dieser Prozentsatz angewendet auf die Gesamtzahl der Unfälle mit Beteiligung von mindestens einem PKW nach Angaben des Statistischen Bundesamtes in Höhe von 310.957, ergibt 77.428 Scheibenbrüche.

Durch die beiden genannten Quellen werden die wesentlichen Annahmen des ursprünglichen Ansatzes bestätigt, d.h. die von Appel [3] angegebene Zahl von 47.057 Verletzten stützt die hier errechnete Zahl von 46.155 Verletzten.\*

Die zu 2. genannten 77.428 Scheibenbrüche bestätigen die ermittelte Zahl von 73.554 Scheibenbrüchen.

Wie in Abschnitt 3.1.2 bereits näher ausgeführt, läßt sich die Schwere und Häufigkeit der Verletzungen der Frontinsassen durch die Windschutzscheibe bei Anlegen von Sicherheitsgurten erheblich vermindern, da in diesem Fall die Windschutzscheibe beim Frontalaufprall nicht oder nur unter besonderen Umständen erreicht wird. Die verletzungsmindernde Wirkung des Gurtes beträgt nach [14] für die Windschutzscheibe 63%. Die Experten sprechen für eine Verletzungsminderung durch den Gurt bei Windschutzscheibenver-

---

\* Nach [3] ergeben sich an der Windschutzscheibe keine tödlichen Verletzungen. Andererseits sind nach Aussagen der Experten, z.B. durch Riß der Brückenvenen, sehr wohl tödliche Verletzungen möglich. Es wird daher hier zunächst von einer Zahl ausgegangen, die auch tödliche Verletzungen einschließt.

letzungen allgemeiner Art von 70% und speziell bei Augenverletzungen sogar für eine Verhütung von ca. 90%, nach Appel sinkt die Häufigkeit des Scheibenkontaktes bei angelegtem Sicherheitsgurt allgemein um ca. 90%. Diese Verletzungsminderungen gelten für eine 100%-ige Anlegequote und korrekt angelegten Gurt. Berücksichtigt man verschiedene Anlegequoten, so ergeben sich geringere Werte für die Verletzungsminderung (Tafel 7).

Anlegequoten	Wirkung des Sicherheitsgurtes in %	Anzahl der Verletzten Basis 46.155 Verletzte und Getötete
Theoretische Anlegequote 100%	70	13.847
Durchschnittliche Anlegequote entsprechend der BAST-Untersuchung 1975 [69] 26%	18	37.847
Geschätzte durchschnittliche Quote nach Einführung der Anlegepflicht 33%	23	35.539
Durchschnittliche Anlegequote wie in Australien [2] 63%	44	25.847

Tafel 7: Verminderung der Verletzungen an Windschutzscheiben durch korrekt angelegte Gurte in Abhängigkeit verschiedener Anlegequoten

### 6.3 Nutzen-Kosten-Betrachtung

Die größten Schwierigkeiten solcher Betrachtungen im Bereich der Verkehrssicherheit liegen bekanntermaßen in der Erfassung der Nutzenseite. Für die Problematik alternativer Windschutzscheiben ist zu klären, bei welcher Unfallkonstellation in Abhängigkeit von der Scheibenart unterschiedliche Unfallfolgen (Nutzen einer Scheibe) auftreten und wieviel Unfälle, bezogen auf ein bestimmtes Gebiet und einen bestimmten Zeitraum vorkommen.

Erste Voraussetzung für die Nutzenerfassung wäre demnach die Kenntnis der Häufigkeit von Unfällen in Kombination mit unterschiedlichen unfallrelevanten Merkmalen. Die Statistik gibt gegenwärtig für die Abschätzung des Nutzens nur wenig Hinweise. Aus dem derzeitigen Verkehrsgeschehen muß ferner die Kenntnis des relativen Verletzungsrisikos der beiden Scheibenarten hinzukommen. Auch das ist nicht bekannt. Gegenwärtig kann daher der statistische Nachweis der eindeutigen Überlegenheit einer Scheibenart nicht geführt werden. Daher wird bei den folgenden Nutzen-Kosten-Abschätzungen eine Extremwertbetrachtung durchgeführt, die davon ausgeht, daß die VSG-Scheibe gegenüber der ESG-Scheibe ein Verletzungsrisiko von Null aufweist (theoretisches Nutzenmaximum durch VSG). Demgegenüber werden - wie im folgenden noch näher angegeben - die Kosten minimiert (theoretisches Kostenminimum). Diese, wegen des verfügbaren Datenmaterials gegenwärtig einzig mögliche Vorgehensweise, ist für die Interpretation der später ermittelten Nutzen-Kosten-Quotienten unbedingt zu beachten.

Für die vorliegende Nutzen-Kosten-Betrachtung wird daher folgender Weg beschritten:

Nach Abschnitt 6.2.3.2 kann von 46.155 Verletzten und Getöteten im Jahre 1973 ausgegangen werden. Diese Zahl muß für die monetäre Bewertung nach der Verletzungsschwere aufgeteilt werden. Nach [3] treten an der Windschutzscheibe keine tödlichen Verletzungen auf, die Experten waren jedoch anderer Meinung.

Um für die monetäre Bewertung einen Mittelweg (mit/ohne



Tote) zu gehen, kann man diese 46.155 in leichtverletzte und schwerverletzte PKW-Insassen aufteilen. Von den insgesamt an Windschutzscheiben Verletzten sind ebenfalls nach [3] weiterhin 80,6% leicht und 19,4% schwer verletzt. Diese Verteilung ergibt hier 37.193 leichte Verletzungen und 8.962 schwere Verletzungen, die maximal durch eine bessere Windschutzscheibe zu vermeiden wären.

Um das mögliche Nutzenmaximum zu finden, müssen neben den PKW-Insassen auch die Zweiradfahrer und Fußgänger berücksichtigt werden, die sich bei Unfällen mit PKW von außen an der Windschutzscheibe verletzen können. Nach Abschnitt 6.2.3.1 sind dies pro Jahr insgesamt 7.300 Personen, die unter der Annahme des oben genannten Verhältnisses von Leichtverletzten zu Schwerverletzten in 5.883 Leichtverletzte und 1.417 Schwerverletzte aufgeteilt werden.

Der maximal pro Jahr (hier 1973) durch Verhinderung von Windschutzscheibenverletzungen erzielbare Nutzen umfaßt demnach insgesamt 43.076 Leichtverletzte und 10.379 Schwerverletzte.

Der Fall, daß beim Bruch einer ESG-Scheibe durch die Sichtverschlechterung ein Unfall geschieht, ist für die Bundesrepublik in der Literatur nicht belegt und wird deshalb nicht berücksichtigt (s. Abschnitt 6.2.2).

Für eine Nutzen-Kosten-Betrachtung sind diese Verletzten monetär zu bewerten. Es werden zwei Alternativrechnungen, mit den für die RWS\* vorgesehenen Werten (Schwerverletzter: 10.000 DM, Leichtverletzter: 1.000 DM) als Alternative a und mit den 1975 vom Bundesminister für Verkehr aktualisierten Helms-Werten \*\* (Schwerverletzter: 15.000 DM, Leichtverletzter: 3.000 DM) als Alternative b, durchgeführt.

Alternative a = 146,9 Mio./Jahr

Alternative b = 285,0 Mio./Jahr

---

\* Richtlinien für wirtschaftliche Vergleichsrechnungen im Straßenwesen (RWS), Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen, Arbeitsgruppe: Planung und Verkehr - Landstraßen, Köln 1971

\*\* Ursprüngliche Helms-Werte [68]: Schwerverletzter 11.400 DM und Leichtverletzter 1.800 DM.

Diesen Maximalnutzen sind folgende Kostenarten gegenübergestellt, die man sinnvollerweise jeweils mit der Kostendifferenz zwischen VSG- und ESG-Scheiben berechnet: Investitionskosten (Mehrkosten durch Ausrüstung der Fahrzeuge mit VSG-Windschutzscheiben), kalkulatorische Verzinsung des eingesetzten Kapitals (Kapitalbindungskosten) und Kosten für den Ersatzbedarf der durch Unfälle und der durch Steinschlag u.ä. zerstörten Scheiben.

Der Vergleich von Nutzen und Kosten geschieht dann in drei unabhängigen Varianten:

- 1) Betrachtung von Nutzen und Kosten eines Zehnjahreszeitraums\* unter der Prämisse, daß der gesamte PKW- und Kombibestand zu einem Stichtag mit VSG-Windschutzscheiben ausgerüstet wird.
- 2) Analoge Nutzen- und Kostenerfassung wie 1), es werden jedoch nur die Nutzen und Kosten des ersten Jahres gegenübergestellt.
- 3) Sukzessives Erfassen von Nutzen und Kosten unter Berücksichtigung der Bestandsänderungen durch jährliche Neuzulassungen und ausscheidende Kraftfahrzeuge für einen Zeitraum von 10 Jahren.

#### 1) Ausrüstung an einem fiktiven Stichtag, Zeitraum 10 Jahre

Es wird unterstellt, daß der PKW- und Kombibestand an einem fiktiven Stichtag (z.B. am 1.1.1976) komplett mit VSG-Windschutzscheiben ausgerüstet wird. Es verbleiben dann, ausgehend von dem Bestand am 1.7.1975 (17 898 000 PKW und Kombi), der um die Fahrzeuge vermindert wird, die schon mit VSG-Windschutzscheiben ausgestattet sind ( $\approx 10\%$ ), 16 108 200 PKW und Kombi, die mit VSG-Windschutzscheiben auszurüsten sind. Dabei entstehen einmalige Investitionskosten in Höhe von

---

\* Dieser Zeitraum bietet sich wegen der entsprechenden durchschnittlichen Lebensdauer der Pkw und Kombi an.

805,5 Mio.DM (Alternative A = 50.-- DM Produktionskosten-Differenz, vgl. Abschnitt 6.1) bzw.

2,416 Mrd.DM (Alternative B, durchschnittlicher Optionspreis für eine VSG-Scheibe für deutsche PKW am 15.8.1975 = 150.-- DM).

Da dieses Kapital für einen Zeitraum von 10 Jahren für alternative Verwendungszwecke nicht zur Verfügung steht, entstehen Kapitalbindungskosten. Sie werden in Form der kalkulatorischen Zinsen erfaßt.

Für Nutzen-Kosten-Betrachtungen ist für die Ermittlung dieser Kapitalbindungskosten die Methode der Durchschnittswertverzinsung das geeignete Verfahren, da bei der Restwertmethode je nach Abschreibungsverfahren die Zinsbelastung der einzelnen Zeitabschnitte unterschiedlich ist und damit Manipulationsmöglichkeiten für die Rangordnung von Investitionsmaßnahmen bestehen. Die Durchschnittswertmethode geht davon aus, daß der halbe Nominalwert der Investitionskosten über den gesamten Zeitraum gebunden ist:

$1/2$  Summe der einmaligen Investitionskosten x Zinssatz = durchschnittliche jährliche kalkulatorische Verzinsung.

Diese Zinsbeträge fallen in unterschiedlichen Zeiträumen an. Um sie "gleichnamig" und damit addierbar zu machen, sind sie auf einen gemeinsamen gegenwärtigen Stichtag zu diskontieren (= abzuzinsen). Das Gebot der zeitlichen Homogenisierung ergibt sich aus der Erkenntnis, daß der Wert einer DM, über die man nach n Jahren verfügen kann, bzw. die man nach n Jahren zahlen muß, von dem Wert dieser DM zum Zeitpunkt 0 abweicht (sogenannte soziale Zeitpräferenz).

Verzinst man nach dem o.g. Verfahren das eingesetzte Kapital mit 7% \*, ergeben sich jährliche kalkulatorische Kosten in Höhe von

28,2 Mio. DM (Alternative A) und

84,0 Mio. DM (Alternative B).

\* Zur Diskussion um die Höhe des richtigen Zinssatzes vgl. [ 70 ]. Diese Studie und auch [ 3 ] wählen 7%.

Die Summierung dieser, auf die Gegenwart abgezinsten jährlichen Beträge über 10 Jahre ergibt insgesamt

198 Mio. DM (Alternative A) und  
590 Mio. DM (Alternative B).

Als weitere Kostenkomponente ist der Aufwand für die bei Unfällen (zunächst ohne die Beschädigung durch Steinschlag u.ä.) zerstörten und zu ersetzenden Scheiben zu ermitteln. Als Grundlage dient hier die Zahl der PKW-Unfälle mit Personenschaden. Für 1973 waren dies 73.554 Scheiben.

Man kann demnach von einer jährlichen Zahl zu ersetzender Scheiben (ausschließlich der Beschädigung durch Steinschlag u.ä.) von etwa 80 000 ausgehen. [3] rechnet mit 150 000 Stück. Umgekehrt wie bei der möglichst maximalen Nutzen-schätzung sollen hier jedoch die Kosten der VSG-Scheibe eher zu niedrig geschätzt werden (s.o.).

Auch diese jährlichen Schäden sind mit dem gleichen Zinssatz auf die Gegenwart zu diskontieren. Die Summe über 10 Jahre ergibt dann bei 80.000 Scheiben jährlich:

28,1 Mio. DM (Alternative A) und  
84,3 Mio. DM (Alternative B).

Die Jahresbeträge müssen für die jeweilige Restlaufzeit außerdem kalkulatorisch verzinst werden. Es ergeben sich folgende Werte:

6,0 Mio. (Alternative A) und  
18,0 Mio. (Alternative B).

Schließlich wären noch die infolge Steinschlag u.ä. zerstörten und zu ersetzenden Scheiben zu erfassen. In der Literatur gibt es zur Frage des Risikos für den Scheibenbruch zwei völlig entgegengesetzte Auffassungen. Während [3], der sich auf Angaben eines großen deutschen ESG-Scheibenherstellers stützt, das Bruchrisiko bei VSG für doppelt so groß hält wie bei ESG, errechnet [65] genau das umgekehrte Verhältnis (siehe Abschnitt 6.2.3.1). Geht man davon aus, daß das Kostenverhältnis VSG/ESG etwa 2:1 beträgt, kann auf eine Entscheidung über das unterschiedliche Bruchrisiko an dieser Stelle verzichtet werden

(Zielsetzung: möglichst niedrige Kostenschätzung):

- Ist das Bruchrisiko für VSG doppelt so hoch  $\sqrt[3]{7}$ , würden die Gesamtkosten bei einer generellen VSG-Ausrüstung erheblich steigen.
- Ist das Bruchrisiko für VSG und ESG gleich groß, wären bei genereller VSG-Ausrüstung zwar nicht mehr, aber doppelt so teure Scheiben zu ersetzen. Ergebnis: Kosten steigen.
- Ist schließlich das ESG-Bruchrisiko doppelt so hoch  $\sqrt[6]{5}$ , wären bei genereller VSG-Ausrüstung um die Hälfte weniger, aber doppelt so teure Scheiben zu ersetzen. Ergebnis: kostenneutral.

D.h., im für VSG "günstigsten Fall" (doppelt so hohes Bruchrisiko für ESG) würden die Gesamtkosten durch diese Kostenart nicht verändert, damit auch nicht das Nutzen-Kosten-Verhältnis. Die beiden anderen Möglichkeiten würden das Nutzen-Kosten-Verhältnis jedoch fühlbar verschlechtern. Dieser Teil der Ersatzkosten soll (Tendenz: möglichst niedrige Kostenschätzung) unberücksichtigt bleiben\*.

Der Wert der geschilderten einzelnen Kostenarten summiert sich über den betrachteten 10-Jahreszeitraum auf:

1,0375 Mrd.DM (Alternative A)

3,1083 Mrd.DM (Alternative B)

Diese Gesamtkosten werden jetzt den ihnen zurechenbaren Nutzen gegenübergestellt. Unter den gegebenen Bedingungen wurde für die Bundesrepublik Deutschland für 1973 ein maximal erreichbarer Nutzen bei Windschutzscheiben-Verletzungen von 146,9 Mio.DM (Alternative a) bzw. 285,0 Mio.DM (Alternative b) errechnet. Dieser Nutzen wäre theoretisch (bei entsprechender Ausstattung des Gesamtbestandes) im 10-Jahreszeitraum Jahr für Jahr realisierbar. Auf eine Diskontierung der in unterschiedlichen Zeiträumen anfallenden Nutzen soll hier aus folgenden Gründen verzichtet werden:

---

\* Würde man ein größeres Kostenverhältnis als 2:1 ansetzen, würden bei genereller VSG-Ausrüstung in jedem Fall die Gesamtkosten erheblich ansteigen.

Steigende Arbeitsproduktivität z.B. durch die Realisierung technischen Fortschritts läßt den Nutzen eines verhinderten Verletzten real ansteigen. Die Berücksichtigung dieses Effekts würde die jährlichen Nutzenbeträge erhöhen. Diese Erhöhung würde jedoch durch eine Diskontierung mindestens zum Teil wieder rückgängig gemacht. Es wird deshalb unterstellt, daß sich die Wachstumsrate des realen Nutzens und die soziale Zeitpräferenz kompensieren.

Der Nutzen wird deshalb konstant gehalten und ergibt für 10 Jahre:

$$\begin{aligned} \text{max. Nutzen} &= 1,469 \text{ Mrd. DM (Alternative a)} \\ &= 2,85 \text{ Mrd. DM (Alternative b)} \end{aligned}$$

1. Zwischenergebnis: Es lassen sich nun vier Nutzen-Kosten-Quotienten bilden:

$$\begin{aligned} \frac{\text{Nutzen (Alternative a)}}{\text{Kosten (Alternative A)}} &= 1,41 \\ \frac{\text{Nutzen (Alternative a)}}{\text{Kosten (Alternative B)}} &= 0,47 \\ \frac{\text{Nutzen (Alternative b)}}{\text{Kosten (Alternative A)}} &= 2,74 \\ \frac{\text{Nutzen (Alternative b)}}{\text{Kosten (Alternative B)}} &= 0,91 \end{aligned}$$

Die Ergebnisse werden weiter unten gemeinsam für alle drei Varianten kommentiert.

## 2) Ausrüstung an einem fiktiven Stichtag, jedoch nur für das erste Jahr

Auch die Gegenüberstellung von Nutzen und Kosten für ein Jahr erscheint sinnvoll, insbesondere weil hier auf die Prämisse konstanten Unfallgeschehens und damit konstanten jährlichen Nutzens über 10 Jahre verzichtet werden kann. Ebenso entfällt die Diskontierungsproblematik, d.h. die Wahl des richtigen Zinssatzes. Der max. Nutzen für das erste Jahr beträgt:

$$\begin{aligned} &146,9 \text{ Mio. DM (Alternative a)} \\ &285,0 \text{ Mio. DM (Alternative b)} \end{aligned}$$

Wie sich die Kosten zusammensetzen, ist aus Tafel 8 zu ersehen.

Kostenart	Kostenalternativen	
	A in Mio. DM	B in Mio. DM
Investitionskosten	80,5	241,6
Kalkulatorische Verzinsung für 1 Jahr	28,2	84,0
Ersatz von bei Unfällen zerbrochenen Scheiben	4,0	12,0
Summe	112,7	337,6

Tafel 8: Berücksichtigte Kostenarten der beiden Alternativen für ein Jahr

2. Zwischenergebnis: Es errechnen sich folgende Nutzen-Kosten-Quotienten:

$$\frac{a}{A} = 1,30; \frac{a}{B} = 0,44; \frac{b}{A} = 2,53; \frac{b}{B} = 0,84.$$

### 3) Sukzessives Vorgehen, Zeitraum zehn Jahre

Schließlich soll noch die realitätsnahe Variante durchgerechnet werden, die davon ausgehen kann, daß eine legislative Regelung vernünftigerweise nur die jeweils neu in den Verkehr kommenden Fahrzeuge erfaßt. Gerade bei der Windschutzscheibe erscheint eine Nachrüstungsvorschrift wenig sinnvoll.

Es wird deshalb hier unterstellt, daß in einem 10-Jahres-Zeitraum jedes Jahr 2 Millionen neue PKW und Kombi hinzukommen und daß jeweils 10% aus dem Bestand ausscheiden (die durchschnittliche Lebensdauer beträgt 10 Jahre). Der PKW/Kombi-Bestand erhöht sich bei dieser Rechnung von 17.898.000 (1.7.1975) auf 19.253.000 in 1985.

Wenn der VSG-Scheibe eine gewisse verletzungs-mindernde Wirkung gegenüber der ESG-Scheibe zukommt, wäre die in den Statistiken genannte Anzahl von Verletzten im realen Unfallgeschehen höher, da derzeit ca. 10% der Fahrzeuge mit VSG-Scheiben ausgerüstet ist.

Für einen Rechenansatz mit maximalem Nutzen wird deshalb hier die Zahl der Verletzten in Höhe der VSG-Ausrüstungsquote (10%) erhöht. Weiter wird unterstellt, daß das Verhältnis von Leichtverletzten und Schwerverletzten zum Fahrzeugbestand über die Zeit konstant bleibt. Die Zahl der auf den höheren Fahrzeugbestand hochgerechneten Leichtverletzten von 47.862 steigt damit auf 51.484, die Zahl der hochgerechneten Schwerverletzten von 11.532 auf 12.405.

Natürlich wird entsprechend der sukzessiv hinzukommenden Neufahrzeuge mit der verbesserten Windschutzscheiben-Ausstattung auch der mögliche Nutzen nur schrittweise ansteigen. Hier liegt die Hypothese zugrunde, daß der Nutzen jeweils mit dem Anteil der Neuzulassungen am Gesamtbestand wächst. Es muß betont werden, daß auch die jeweiligen Teilnutzen genau wie in 1) und 2) ein theoretisches Nutzenmaximum darstellen, denn ihnen steht jeweils auch ein entsprechend niedrigerer Aufwand gegenüber.

Die Nutzen werden aus den zu 1) genannten Gründen nicht diskontiert.

Unter diesen Annahmen errechnen sich für den betrachteten Zeitraum Nutzen in Höhe von

1,001 Mrd. DM (Alternative a) und  
1,9419 Mrd. DM (Alternative b).

Auf der Kostenseite werden dieselben Kostenarten wie bei 1) und 2) erfaßt. Die jetzt zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallenden Investitions- und Ersatzkosten werden diskontiert (7%) und die diskontierten Beträge für die Restlaufzeit kalkulatorisch verzinst (7%). Es ergeben sich folgende Gesamtkosten:

866,6 Mio. DM (Alternative A) und  
2,6007 Mrd. DM (Alternative B),



die zu folgenden Nutzen-Kosten-Quotienten führen:

3. Zwischenergebnis

$$\frac{a}{A} = 1,15; \quad \frac{a}{B} = 0,38; \quad \frac{b}{A} = 2,24; \quad \frac{b}{B} = 0,75.$$

Das Ergebnis der Nutzen-Kosten-Betrachtung kann damit wie folgt dargestellt werden:

Quotienten Varianten	$\frac{a}{A}$	$\frac{a}{B}$	$\frac{b}{A}$	$\frac{b}{B}$
1) Ausrüstung an einem fiktiven Stichtag, Zeitraum 10 Jahre	1,41	0,47	2,74	0,91
2) wie 1), jedoch nur für das erste Jahr	1,30	0,44	2,53	0,84
3) Sukzessives Vorgehen, Zeitraum 10 Jahre	1,15	0,38	2,24	0,75

Tafel 9: Nutzen-Kosten-Quotienten bei zeitlich unterschiedlicher Ausstattung der Fahrzeuge und alternativen Nutzen- und Kosten-Ansätzen

In der Rechnung wurde, wie oben angeführt, durchgängig das Prinzip verfolgt, den möglichen Nutzen hoch, die Kosten jedoch möglichst niedrig zu erfassen (z.B. völliger Verzicht auf die Ersatzkosten der durch Steinschlag und ähnliches zerstörten Scheiben).

Allen Quotienten (s. Tafel 9) liegt die Unterstellung zugrunde, die VSG-Scheibe würde das scheibenspezifische Verletzungsrisiko gegenüber der ESG-Scheibe auf Null reduzieren (theoretisches Nutzenmaximum).

Selbst wenn man dieses Nutzenmaximum der Scheibe zugute hält, übersteigen die Kosten in allen Varianten, die eine Kostendifferenz der Scheiben von 150,-- DM berücksichtigen (Kostenalternative B), den Nutzen - zum Teil erheblich.

Bei den Varianten mit der Kostenalternative A (50,-- DM Preisdifferenz) übersteigt in allen Fällen der Nutzen die Kosten (z.Teil auch erheblich). Auch an dieser Stelle muß jedoch nochmals auf das zugrundeliegende theoretische Nutzenmaximum hingewiesen werden. So ist z.B. der höchste Nutzen-Kosten-Quotient von 2,74 (Variante 1,  $\frac{b}{A}$ ) folgendermaßen zu interpretieren:

Würde eine Ausstattung des gesamten PKW- und Kombi-Bestandes mit VSG-Windschutzscheiben für 50,-- DM Mehrkosten pro Fahrzeug tatsächlich dazu führen, sämtliche Verletzungen an der Windschutzscheibe zu verhindern, dann würden die Nutzen die Kosten um mehr als das Doppelte übersteigen. Der Nutzen-Kosten-Quotient sinkt auf 1, sofern die VSG-Scheiben diese Schäden nicht um 100%, sondern lediglich um 65% vermindern - auch ein Vorteil in dieser Größenordnung ist nicht belegt.

Umgekehrt bedeutet z.B. der Quotient 0,38 (Variante 3,  $\frac{a}{B}$ ): Nur wenn die Kosten um 62% (ausgehend von 150.-- DM) gesenkt werden könnten und dann tatsächlich der maximale Nutzen realisiert würde, wären Kosten und Nutzen gerade gleich groß.

Schließlich ist darauf hinzuweisen, daß die Nutzenerfassung dieser Untersuchung (1973) auf der Basis der damaligen geringen Gurtanlagequote beruht. Da durch die Gurtanlagepflicht diese Quote maßgeblich erhöht \* wird, vermindern sich unbestritten die durch die Scheibe verhinder- und verminderbaren Verletzungen ganz erheblich (siehe Tafel 7 in Abschnitt 6.2.3.2). Das bedeutet, daß der durch eine VSG-Windschutzscheibe theoretisch erzielbare Maximalnutzen und damit das Nutzen-Kosten-Verhältnis noch weiter sinkt.

---

\* Die jüngsten Untersuchungen der BAST ergaben, daß die Gesamtfahrleistung der Pkw mit einer durchschnittlichen Gurtanlagequote von 42% im Nov. 75 und von 62% im Jan. 76 erbracht wurde.

Der Vergleich des Nutzens mit den Kosten zeigt, daß selbst unter unrealistisch günstigen Voraussetzungen und ohne Berücksichtigung steigender Gurtanlagequoten die gesamtwirtschaftliche Effizienz nicht gegeben ist. Das Ergebnis kommt nicht dadurch zustande, daß etwa unterschiedliche Verletzungsmechanismen bei bestimmten Unfallverläufen unberücksichtigt blieben. Der wesentliche Grund für dieses Ergebnis liegt vielmehr in der - gemessen am gesamten Unfallgeschehen - trotz allem relativ geringen scheibenspezifischen Verletzungshäufigkeit und -schwere. Dieser Effekt wird durch den großen erforderlichen Aufwand verstärkt.

Abschließend muß betont werden, daß das Ergebnis einer solchen ökonomischen Betrachtung nur einen Effizienzvergleich zwischen den beiden Scheibenarten zuläßt. Über die volkswirtschaftliche Vorteilhaftigkeit einer Scheibenart im Vergleich mit anderen Sicherheitsmaßnahmen ist damit nichts ausgesagt.

## 7. ZUSAMMENFASSUNG

Ausgehend von den technischen und unfallrelevanten Eigenschaften von ESG und VSG zeigt der Vergleich, daß die im Verhältnis zum Einscheiben-Sicherheitsglas niedrigere Bruchgrenze des Verbund-Sicherheitsglases bei dieser Scheibenart zu leichteren stumpfen Verletzungen führt, jedoch während der Verformungsphase des VSG, z.B. an der Halswirbelsäule zusätzliche Belastungen und damit möglicherweise Verletzungen auftreten können.

Die Gefahr von Schnittverletzungen ist bei beiden Scheibenarten nach Bruch vorhanden. Für die nicht angegurteten Insassen ergeben sich insgesamt hinsichtlich Schnitt- und insbesondere Augenverletzungen deutliche Vorteile für VSG, jedoch für den angegurteten Insassen geringe Nachteile.

Zusätzlich sind noch die folgenden, wegen des seltenen Auftretens der entsprechenden Situation allerdings nicht gleichgewichtigen Aspekte zu beachten:

- Die durch den besonderen Bruchmechanismus beeinträchtigte Sicht nach Bruch bei der ESG-Scheibe bedeutet gegenüber der VSG-Scheibe einen deutlichen Nachteil.
- Das Eindringen von Gegenständen in das Fahrzeuginnere und die damit verbundenen Gefahren hängen wegen des unterschiedlichen Bruchrisikos beider Scheibenarten von Form und Verformbarkeit des aufprallenden Gegenstandes ab. Insgesamt zeigt VSG geringe Vorteile.
- Bei der Betrachtung der Sicherheit gegen Hinausschleudern von Insassen lassen sich für die VSG-Scheibe leichte Vorteile ableiten. Dieser selten eintretende Fall wird jedoch maßgeblich von der Anwendung der Rückhaltesysteme sowie von der Einbauart der Scheibe bestimmt.

Aus dieser Gegenüberstellung ergibt sich, daß die VSG-Scheibe gegenüber der ESG-Scheibe hinsichtlich der Verletzungs- und Unfallgefahr zwar überwiegend Vorteile aufweist; diese Vorteile jedoch vor allem vor dem Hintergrund steigender Gurtanlegequoten nicht so entscheidend sind, daß daraus ein Verbot der ESG-Scheibe abzuleiten wäre.

Diese Feststellung wird auch gestützt durch eine Nutzen-Kosten-Betrachtung, die zu dem Ergebnis führt, daß selbst unter günstigen Voraussetzungen und ohne Einbeziehung steigender Gurtanlegequoten der Ersatz von ESG- durch VSG-Windschutzscheiben gesamtwirtschaftlich bei einer Kostendifferenz zwischen ESG und VSG von DM 150,-- nicht zu vertreten wäre (Nutzen-Kosten-Quotient kleiner als 1,0) und selbst bei einer Kostendifferenz von DM 50,-- noch nicht hinreichend zu begründen ist.

Außerdem hat sich gezeigt, daß für beide Scheibenarten weitere technische Verbesserungen möglich sind. So geht die Entwicklung bei der ESG-Scheibe dahin, die Sicht nach Bruch zu verbessern, die Beständigkeit gegen Steinschlag von außen zu erhöhen und den Zusammenhalt der gebrochenen Scheibe zu sichern. Bei der VSG-Scheibe richten sich die Anstren-

gungen auf die Verminderung der Schnittverletzungen an der Innenscheibe.

Für künftige gesetzliche Regelungen sollte weiterhin vor allem auf eine verstärkte Anwendung von Wirkvorschriften, eine Erhöhung der Transmission auf 80 bis 90%, eine Überwachung des Streulichtanteiles und eine wirklichkeitsbezogenere Prüfung der Windschutzscheiben hingearbeitet werden.

8. LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Alexander, H.M.; et al.:  
An Improved Windshield.  
SAE-Paper 700 482,  
Detroit, 1970
- [2] Andreassend, D.C.:  
The Effects of Compulsory Seat Belt Wearing  
Legislation in Victoria.  
Road Safety and Traffic Authority, Victoria, 1973
- [3] Appel, H.:  
Nutzen/Kosten-Analyse zur gesetzlichen Einbau-  
vorschrift für VSG-Windschutzscheiben in PKW.  
Institut für Landverkehrsmittel, TU Berlin, 1975
- [4] Aubry, J.C.:  
Vitrages de Sécurité et Exigences Administratives.  
Securiglance, Paris, 1973
- [5] Bayerische Motoren Werke AG:  
The story of the month.  
Informationsschrift zur Einführung der VSG-WSS,  
München, 1975
- [6] Bianchi, B.:  
Das Sicherheitsglas und sein Gebrauch in  
Kraftfahrzeugen.  
Associazione Tecnica Automobili, Torino, 1964
- [7] Bohlin, N.I.:  
A Statistical Analysis of 28000 Accident Cases  
with Emphasis on Occupant Restraint Value.  
Proceedings of the 11. Stapp Car Crash Confe-  
rence, Anaheim, 1967
- [8] Bundesminister für Verkehr:  
Auszug aus der Stellungnahme zu Ausführungen  
im Sozialdemokratischen Pressedienst über Si-  
cherheitsgurte, Windschutzscheiben und Kopf-  
stützen für Kraftfahrzeuge.  
Bonn, 1975

- [9] Danner, M.; Langwieder, K.:  
Häufigkeit von korrespondierenden Fahrzeugbeschädigungen im Crashtest und realen Unfall.  
Proceedings of the 5. Experimental Safety Vehicle Conference, London, Juni 1974
- [10] Decker, H.J.; Hontschik, H.:  
Sicherheitsglas für Kraftfahrzeuge.  
Gegenüberstellung und Analysen von Prüfvorschriften und Prüfverfahren von verschiedenen Ländern, sowie technische Lieferbedingungen deutscher Großabnehmer.  
Bericht für die Sekurit Glas Union GmbH  
Battelle-Institut e.V., Frankfurt, Okt. 1971
- [11] Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW):  
Verkehr in Zahlen 1975  
Herausgegeben vom Bundesminister für Verkehr,  
Bonn, September 1975
- [12] Fischer, J.:  
In zwei Zehntelsekunden ist alles vorbei.  
Automobil Revue 70, Nr. 41, 1975
- [13] Fischer, J.:  
In zwei Zehntelsekunden ist alles vorbei.  
Automobil Revue 70, Nr. 42, 1975
- [14] Gögler, E.:  
Chirurgie und Verkehrsmedizin.  
in: Handbuch der Verkehrsmedizin, Hrsg.:  
Wagner, K. u. Wagner, H.J., Berlin, Heidelberg,  
New York, 1968
- [15] Grattan, E.:  
Patterns, Causes and Prevention of Facial Injury  
in Car Occupants.  
Proceedings of the Royal Society of Medicine,  
London, Vo. 65, No. 10, 1970

- [16] Grattan; Clegg; Hobbs:  
Toughened glass windscreen injuries in car occupants.  
RRL Report LR 282, Crowthorne, 1969
- [17] Grattan, E.; et al.:  
Modern trends in forensic medicine.  
Butterworths, 1972
- [18] Grattan, E.; Hobbs, J.A.:  
Some patterns and causes of injury in car occupants.  
Proceedings of the 5. Experimental Safety Vehicle Conference, London, 1974
- [19] Grattan, E.; Hobbs, J.A.:  
Windscreen Glass Injury to the Head in Front Seat Occupants of Cars and Light Vans.  
Proceedings of the 5. International Conference of the International Association for Accident and Traffic Medicine, London, September 1975
- [20] Hendler, E.:  
Effect of Head and Body Position and Muscular Tensing on Response to Impact.  
Proceedings of the 18. Stapp Car Crash Conference, Ann Arbor, 1974
- [21] Hobbs; Allsop; Starks:  
Injuries produced by motor-car windscreens.  
RRL Report LR 152, Crowthorne, 1968
- [22] Hoffmann, E.R.:  
A Review of Vehicle Design to Reduce Accidents.  
Australian Department of Transport, Dept. of Mechanical Engineering, University of Melbourne, Canberra, 1973
- [23] Holland, G.:  
Eye and eyelid injuries in road accidents.  
Vortrag für "Fédération Internationale des Journalistes de l'Automobile"  
Brüssel, 1970



- [24] Holland, G.:  
Verletzungen der Augen und Lider bei Verkehrsunfällen.  
Klinisches Mitteilungsblatt der Augenheilkunde der Univ. Kiel, Nr. 151, 1967
- [25] Holland, G.:  
Zum Problem der Windschutzscheibenverletzung.  
Sonderdruck aus dem Sitzungsbericht der 121. Versammlung des Vereins Rhein.-Westf. Augenärzte, Düsseldorf, 1970
- [26] Holland, G.:  
Eye and eyelid injuries from windshields and means to prevent them.  
SAE Pap.-Nr. 70031  
International Automobile Safety Conference, Compendium, Detroit, 1970
- [27] Holland, G.:  
Verletzungen der Augen durch die Windschutzscheibe von Kraftfahrzeugen.  
Beitrag zur Pressekonferenz: Sicherheit auf der Straße, Genf, Oktober 1973
- [28] HUK-Verband:  
Innere Sicherheit im Auto  
Hamburg, 1975
- [29] Kommission der EG:  
Vorschlag für eine Richtlinie des Rates zur Angleichung der Rechtsvorschrift der Mitgliedstaaten über Sicherheitsscheiben für Kraftfahrzeuge.  
Brüssel, September 1972
- [30] Kraftfahrt-Bundesamt:  
Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern am 1. Juli 1974.  
Flensburg, 1974

- [31] Kramer, M.:  
Sicherheitseigenschaften von Verbundglasscheiben  
bei wechselnden Scheibentemperaturen.  
Automobiltechnische Zeitschrift, 24, 1972
- [32] Lange, W.:  
Mechanical and Physiological Response of the Human  
Cervical Vertebral Column to Severe Impacts Applied  
to the Torso.  
Max-Planck-Institut für Arbeitsphysiologie,  
Dortmund, 1970
- [33] Langwieder, K.:  
Kollisionsarten bei PKW-Unfällen und die Verletzung  
der Insassen.  
Proceedings of the 16. Stapp Car Crash Conference,  
Detroit, 1972
- [34] Langwieder, K.; Schmelzing, W.:  
Verletzungen an Verbundglas und Einscheibensicher-  
heitsglas bei nicht angegurtenen Insassen in ent-  
sprechenden Unfällen.  
HUK-Verband, München, 1974
- [35] Mackay, G.M.; et al.:  
Injuries Caused by Glass in Motor Vehicles.  
Aspects Techniques de la Sécurité Routière, Brüssel, 1972
- [36] Mackay, G.M.:  
Vehicle Design and the Pedestrian.  
Internationale Föderation der Fußgängerverbände  
Die Stimme des Fußgängers IV, Den Haag, 1973
- [37] Mackay, G.M.:  
Verletzungen durch die Windschutzscheibe.  
Beitrag zur Pressekonferenz: Sicherheit auf der  
Straße, Genf, Oktober 1973
- [38] Mackay, G.M.:  
Eye injuries and the windscreen.  
Barbara Knox Memorial Lecture, Irish Faculty of  
Ophthalmology, Dublin, 1974

- [39] Mackay, G.M.; et al.:  
Vorgespannte und HPR-Verbundglas-Windschutzscheiben. Eine vergleichende Untersuchung von Unfällen in Großbritannien und USA.  
Proceedings of the 14. Stapp Car Crash Conference, Ann Arbor, 1970
- [40] Mackay, G.M.:  
A Comparative Study of Injuries to Car Occupants from Tempered and Laminated Windscreens.  
Road Accident Research Unit, Dept. of Transportation, Univ. of Birmingham, 1969
- [41] Meyerratken, E.:  
Augenverletzungen durch Platzen der Frontscheibe bei Kraftfahrzeugen.  
Fortschritte der Medizin, Nr. 22, 1967
- [42] Müller-Jensen, K.:  
Augenverletzungen durch Sicherheitsglas.  
Materia Medica Nordmark, Nr. 22, München, 1970
- [43] Müller-Jensen, K.:  
Augenverletzungen bei Verkehrsunfällen.  
Münchener Medizinische Wochenzeitschrift Nr. 5, 1969
- [44] Müller-Jensen, K.; Hollweck, W.:  
Serious eye injuries produced by windshield damage. An actual problem in ophthalmology. SAE Pap.-Nr. 700912, New York, 1970
- [45] Müller-Jensen, K.; Allmaras, W.:  
Zur Prognose der Augenverletzungen bei Verkehrsunfällen.  
Klin. Monatsbl. f. Augenheilkunde, Stuttgart, Nr. 153, 1968
- [46] National Auto and Flat Glass Dealers Association:  
The auto glass-book of facts.

- [47] Patrick, L.M. et. al.:  
Safety performance comparison of 30 mil.HPR laminated and monolithic differentially tempered windshields.  
SAE Pap.-Nr. 700472, New York, 1970
- [48] Patrick, L.M.:  
Relative safety of 30 mil. HPR laminated and wide & zone tempered windshields.  
Vortrag für: "Fédération Internationale des Journalistes de l'Automobile", Brüssel, 1970
- [49] Patrick, L.M.:  
Human tolerance to impact basis for safety design.  
SAE-Pap.-Nr. 1003B, New York, 1965
- [50] Patrick, L.M.:  
Potential Head and Neck Injury from Windshield Impacts.  
Proceedings of the Conference on Road Safety, Brüssel, 1968
- [51] Patrick, L.M.:  
Prevention of Instrument Panel and Windshield Head Injuries.  
Univ. of Michigan, Highway Safety Research Institute, Ann Arbor, 1967
- [52] Patrick, L.M.; Daniel, R.P.:  
Comparison of Standard and Experimental Windshields.  
Proceedings of the 8. Stapp Car Crash Conference, Detroit, 1966
- [53] Patrick, L.M.; et al.:  
Safety Performance of a Chemically Strengthened Windshield.  
SAE Pap.-Nr. 690485, New York, 1969
- [54] Pickard, J.:  
Reduced Laceration from a New Laminated Windshield. Triplex Safety Glass Co.  
Beitrag zur 5. International Technical Conference on Experimental Safety Vehicle Conference, London, June 1974

- [55] Rixmann; Hailer; Schmidt:  
Entwicklungsstand und Probleme der internationalen Kraftfahrzeugtechnik Teil II (Sicherheitsglas für die Windschutzscheiben).  
Bericht über den XIII. FISITA-Kongreß, Brüssel, Automobiltechnische Zeitschrift 72, 1970
- [56] Rodloff, G.:  
Neuere Untersuchungen an Verbund-Sicherheitsglas für Windschutzscheiben.  
Automobiltechnische Zeitschrift 64, 1962
- [57] Rodloff, G.; Breitenbürger, G.:  
Bedingungen für eine weitgehend sichere Windschutzscheibe.  
Automobiltechnische Zeitschrift 68, 1966
- [58] Rodloff, G.; Breitenbürger, G.:  
Safety of Windshield Against Flying Stones.  
Proceedings of the 11. Stapp Car Crash Conference, Anaheim, 1967
- [59] Rodloff, G.:  
Neuere Untersuchungen an Verbund-Sicherheitsglas für Windschutzscheiben.  
Automobiltechnische Zeitschrift 66, 1964
- [60] Rüter, G.; Hofmann, M.:  
Beanspruchung des Menschen beim inneren Aufprall.  
Battelle-Institut e.V., Frankfurt, 1975
- [61] Slattenschek, A.:  
Beanspruchung der Windschutzscheibe und eines nachgebildeten menschlichen Schädels unter Stoßwirkung.  
Techn. Versuchs- und Forschungsanstalt der Techn. Hochschule Wien
- [62] Slattenschek, A.:  
Verhalten von Kraftfahrzeug-Windschutzscheiben bei Schlagversuchen mit dem Phantom-Kopf.  
Automobiltechnische Zeitschrift 70, 1968

- [63] Statistisches Bundesamt:  
Fachserie H Verkehr; Reihe 6, Straßenverkehrsunfälle, Jahresbericht 1973, Stuttgart und Mainz, 1974
- [64] Technische Seiten der Verkehrssicherheit  
Fonds D'Etudes et de Recherches pour la Sécurité Routière.  
Brüssel, Juni 1970
- [65] Transport and Road Research Laboratory:  
Windscreens - the choice between laminated and toughened.  
Leaflet LF 578, Crowthorne, May 1975
- [66] Transport and Road Research Laboratory:  
The views of the UK Government concerning the draft EEC directive on safety glass on motor vehicles.  
Crowthorne, Oktober 1973
- [67] Triplex Safety Glass Co.:  
The Triplex Ten Twenty Windscreen.  
London, 1974
- [68] Voigt, F.; Helms, E.:  
Die gesamtwirtschaftliche Problematik steigender Verkehrsunfälle. Die volkswirtschaftlichen Kosten der Verkehrsunfälle. Forschungsberichte des Landes NRW 2138,  
Köln und Opladen, 1970
- [69] Volks, H.; Meyer, L.:  
Verhalten und Einstellungen von Bevölkerung und PKW-Fahrern im Hinblick auf den Einbau und das Anlegen von Sicherheitsgurten unter Berücksichtigung der Entwicklung von Januar 1974 bis August 1975.  
Bundesanstalt für Straßenwesen, Köln, 1975
- [70] Volkswagen AG:  
Research Safety Vehicle - Phase I  
Volume 1, 2, 3, Report-No. DOT-HS-801 624-626  
Volkswagen AG - Research Division, Wolfsburg, 1975

[71] Walluschek von Wallfeld, S.:  
Augenverletzungen durch den Bruch von Windschutz-  
scheiben.  
Diss. Med. Fakultät der Universität Hamburg, 1968

[72] Weltstraßenstatistik 1969-1973:  
Bestand an PKW.  
International Road Federation, Genf und Washington,  
1974

Expertengespräch zum Thema "Windschutzscheibe"

Bundesanstalt für Straßenwesen, Köln, 14. Oktober 1975

Als Experten haben teilgenommen:

Prof. Dr.-Ing. Appel	Technische Universität Berlin
Prof. Dr.-Ing. Danner	Allianz-Versicherungs-AG, München
Prof. Dr. med. Gögler	Kreiskrankenhaus Schwetzingen
Prof. Dr. med. Harms	Universitäts-Augenklinik Tübingen
Prof. Dr. med. Holland	Augenklinik Duisburg
Dr. techn. Hontschik	Battelle-Institut, Frankfurt
Dipl.-Ing. Langwieder	HUK-Verband, München
Prof. Dr. med. Lewrenz	Berufsgenossenschaft Hamburg
Dr.-Ing. Müller	Staatliches Materialprüfungs- amt Nordrhein-Westfalen, Dortmund
Priv.-Doz. Dr. med. Müller- Jensen	Augenklinik Karlsruhe
Dr.-Ing. Rompe	TÜV-Rheinland, Köln
Prof. Dr. med. Schmidt	Universität Heidelberg
Prof. Dr. med. Sellier	Universität Bonn
Dipl.-Ing. Starck	Deutscher Kraftfahrzeug-Über- wachungsverein e.V., Stuttgart
Dr.-Ing. Tauffkirchen	Technische Hochschule Wien

Als Experten haben schriftlich Stellung genommen:

Prof. Dr. med. Luff	Universität Frankfurt
Prof. Dr. med. Tiburtius	Universität Berlin

Von der BAST haben teilgenommen:

Dipl.-Ing. Faerber (Protokoll)  
Prof. Dr. med. Friedel  
Dipl.-Ing. Gülich  
Prof. Dr.-Ing. Hiersche (Leitung)  
Dipl.-Ing. Löffelholz  
Dr. rer. pol. Marburger  
Ing. (grad.) Pullwitt  
Dr.-Ing. Sievert



Schriftenreihe

UNFALL- UND SICHERHEITSFORSCHUNG STRASSENVERKEHR

Heft 1:

"Die Entwicklung der Straßenverkehrsunfälle in der Bundesrepublik Deutschland und in Berlin (West)"

Zusammenfassender Bericht der Forschungsgruppe "Entwicklung der Straßenverkehrsunfälle in der Bundesrepublik Deutschland 1970/71"

200 Seiten, 1974

Heft 2:

"Psychologische Forschung zum Sicherheitsgurt und Umsetzung ihrer Ergebnisse"

Teil A: Ziele, Befunde und Konsequenzen psychologischer Untersuchungen zum Sicherheitsgurt

- Eine zusammenfassende Darstellung -  
von G. Kroj und I. Pfafferott

Teil B: Psychologische Grundlagen für das Verhältnis von Pkw-Fahrern zum Sicherheitsgurt

- Eine quantifizierte Motivstudie -  
von H.J. Berger, G. Bliersbach und R.G. Dellen

214 Seiten, 1974

Heft 3:

"Biomechanische Belastungsgrenzen"

Literaturstudie über die Belastbarkeit des Menschen beim Aufprall

von E. Faerber, H.-A. Gülich, A. Heger und G. Rüter

84 Seiten, 1976

Heft 4:

"Erlebnis- und Verhaltensformen von Kindern im Straßenverkehr"

Teil A: Dimensionen der Verkehrswelt von Kindern  
von R. Günther und M. Limbourg

Teil B: Einfluß der Informiertheit auf das Verhalten von Kindern im Straßenverkehr

von H.Ch. Heinrich und I. Langosch

172 Seiten, 1976

Außer der Reihe Unfall- und Sicherheitsforschung Straßenverkehr werden noch folgende Veröffentlichungsreihen herausgegeben, in denen über Forschungen aus dem Bereich des Bundesministers für Verkehr berichtet wird:

- Schriftenreihe
- Forschung Stadtverkehr
- Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik
- Straßenverkehrszählungen