

Literaturstudie

Anpralldämpfer

**sowie umfahrbare Signale
und Lichtmasten**

Littérature

Amortisseurs de choc

**y compris panneaux de signalisation
et poteaux d'éclairage déformables**

H. Köster
W. Schüler
Ch. Barth

FA 63/86 auf Antrag des
Bundesamtes für Strassenbau

Zürich, Oktober 1993

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	III
Zusammenfassung	IV
Résumé	V
1. Einleitung	1
1.1 Auftrag	1
1.2 Begriff und Zweck	1
1.3 Bauprinzipien	2
1.4 Bauarten	3
1.5 Aufbau der Studie	6
2. Auswahl und Auslegung von Anpralldämpfern (US DOT, FHWA 1975)	6
2.1 Anordnung	6
2.2 Zugelassene Bauarten	6
2.3 Testbedingungen	7
2.4 Kriterien für die Standortauslegung	8
2.5 Auswahl der Anpralldämpfer	8
2.6 Auslegung	12
3. Anfahrversuche (Auszug aus NCHRP 230, 1981)	14
3.1 Ziel und Zweck	14
3.2 Bedingungen	15
3.3 Anforderungen	16
4. Schutzeinrichtungen an Trenninsel-Spitzen mit festen Hindernissen	18
5. Leitfaden zur Auswahl, Standortwahl und Auslegung von Schutzeinrichtungen	20
5.1 Zweck	20
5.2 Anordnung	20
5.3 Aufbau und Inhalt des Leitfadens	21
6. Hex-foam Cell Sandwich	22
6.1 Wirkungsweise	22
6.2 Konstruktion	22
6.3 Anfahrversuche	23

7.	Französische Anpralldämpfer	24
7.1	Französische Stahlfässer (verbesserte Version)	24
7.2	Französische Blechfässer	25
7.3	Französische Wasserfässer	25
8.	Einfacher Anpralldämpfer für den Anfang von Betonleitmauern	27
9.	Connecticut-Anpralldämpfer-System	28
10.	Anpralldämpfer für schmale Hindernisse	29
11.	Anpralldämpfer-Verhalten, verbesserungswürdige Punkte	31
12.	Untersuchung von Unfällen an Anpralldämpfern	32
13.	Anpralldämpfer RIMOB	34
14.	Anpralldämpfer GREAT	36
15.	Umfahrbare Signale	37
15.1	Auftrag	37
15.2	Versuchsprogramm	38
15.3	Folgerungen	43
16.	Schlussfolgerungen und Empfehlungen	45
17.	Verzeichnis der Quellen	46
18.	Verzeichnis der Anhänge	46

Vorwort

In der letzten Zeit hat die Bedeutung der passiven Sicherheit insbesondere auf den Hochleistungsstrassen an Bedeutung zugenommen. Obwohl unsere Autobahnen und deren Ausrüstungen auf einem sehr hohen Sicherheitsstandard sind und zurecht als die sichersten Strassen der Schweiz gelten, ist die Vermeidung schwerer Unfälle bzw. die Auswirkung von Unfällen auf die Insassen auf diesen Anlagen eine Daueraufgabe für die Strasseneigentümer.

Die heutigen Bestrebungen und Einrichtungen dienen primär dem Schutze Dritter und sind für den Schutz auf langen Strecken konzipiert (Leitplankensysteme).

Die vorliegende Studie bezweckt punktuelle Gefahrenstellen zu entschärfen. Dies ist deshalb von Bedeutung, weil mit der Planung und teilweisen Realisierung ganzer Verkehrsleit-Systeme (viele Portalrahmen) die Anzahl solcher potentieller Gefahrenstellen (Signalmasten) zunimmt.

Eine weitere zunehmend wichtige Aufgabe in der passiven Sicherheit ist der Schutz von Unterhalts- und Bauequipen gegen abirrende Fahrzeuge auf nicht vollständig abgesperrten Verkehrsflächen.

Diese beiden Gesichtspunkte der passiven Sicherheit werden in diesem Bericht auf Grund einer Literaturlauswertung von ausländischen und schweizerischen Arbeiten und Erfahrungen behandelt.

Dr. M. Caprez

Prof. K. Dietrich

Zusammenfassung

In der vorliegenden Literaturstudie betreffend Anpralldämpfer wurden sowohl ausländische Vorschriften, Testbedingungen und Unfallanalysen als auch reine Systembeschreibungen ausgewertet. Es zeigte sich, dass detaillierte Angaben bestehen und dass solche Elemente der passiven Sicherheit vor allem auf Hochleistungsstrassen zum Einsatz gelangen.

Die Unfallauswertungen zeigen, dass – praktisch unabhängig vom System – die Unfallschwere, z.T. sogar auch die Unfallhäufigkeit zurückging.

Den ausgewerteten Vorschriften und Leitfaden ist eines gemeinsam: Anpralldämpfer sollen nur dort zur Anwendung kommen, wo eine objektive Gefahr nicht durch andere Mittel beseitigt werden kann.

Betreffend umfahrbare Signalstände wird auf eine separate Studie verwiesen. Deren Empfehlungen wurden in das Rundschreiben des ASB vom 24. August 1988 aufgenommen und sind in der Praxis bereits in grösserem Umfang realisiert.

Die Untersuchung kommt zu folgenden Empfehlungen:

1. Bevor Anpralldämpfer und ähnliche passive Schutz Einrichtungen angeordnet werden, ist eine Gefahrenanalyse durchzuführen. Insbesondere ist zu prüfen, ob Gefahren nicht durch Projektänderungen im Detail und durch Verwendung anderer Materialien/Konstruktionen (z.B. umfahrbare Signalstände usw.) behoben werden können.

Dies bedeutet, dass das Ziel des Projektanten darin bestehen soll, Gefahren zu erkennen und im Projekt zu vermeiden, so dass sich solche Einrichtungen, die vor Gefahren schützen sollen, erübrigen.

2. Da solche Einrichtungen der passiven Sicherheit bestehen, sollten zusammen mit den zuständigen Stellen / Verantwortlichen der Kantone, die Unfalldaten und Unfallanalysen sowie die Unterhalts-/Reparaturkosten zentral gesammelt und ausgewertet werden.

3. Aufgrund der obigen Empfehlungen ist die Forschungsstelle der Auffassung – zumindest im Moment und unter Berücksichtigung der vorhandenen finanziellen Mittel – dass es sich erübrigt, grössere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten einzuleiten.

Résumé

Le mandat a pour objet de rechercher la littérature sur les amortisseurs de choc. Il a considéré des normes étrangères, des prescriptions d'essai pour les tests et des analyses d'accidents ainsi que de simples descriptions détaillées de systèmes. Il s'est avéré évident que des informations détaillées existent et que ces éléments de sécurité passive sont installés principalement sur les routes à trafic important.

Les analyses d'accidents ont montré que la gravité, partiellement même le nombre d'accidents diminuaient et cela pratiquement indépendamment du système.

Toutes ces normes et prescriptions ont un point en commun: les amortisseurs de choc ne sont à installer que dans une situation où un danger objectif ne peut pas être annulé par d'autres mesures.

En ce qui concerne les panneaux de signalisation déformables l'étude cite un autre travail de recherche. Ses recommandations ont été reprises dans la circulaire de l'OFR du 24 août 1988 et sont déjà réalisées en grande partie dans la pratique.

La présente recherche de littérature propose les recommandations suivantes:

1. Avant de proposer des amortisseurs de choc et d'autres installations de sécurité passive il faut faire une analyse des dangers. En particulier, il faut contrôler s'il est possible d'éviter les dangers par des modifications de détail du projet en utilisant d'autres matériaux/constructions, par exemple des panneaux de signalisation déformables.

Le but du projeteur serait de reconnaître les dangers et de les éviter de manière à ce que de telles installations de sécurité passive aient superflues.

2. Comme ces installations de sécurité passive existent, un office central devrait faire la collecte des données d'accidents ainsi que des coûts d'entretien et de réparations et faire des analyses.

3. Suite aux recommandations ci dessus, le bureau de recherche pense qu'il n'est pas nécessaire de commencer de travaux à grande échelle – du moins pour le moment et au vu de la situation financière – ni dans la recherche ni dans la construction.

Literaturstudie über Anpralldämpfer sowie umfahrbare Signale und Lichtmasten

1. Einleitung

1.1 Auftrag

Gemäss Schreiben des Bundesamtes für Strassenbau (ASB) vom 5. November 1986 wurde die Forschungsstelle beauftragt:

"aufgrund einer Literaturstudie einen Bericht über den Stand der Kenntnisse auf den Gebieten "Anpralldämpfer" und "umfahrbare Signale und Lichtmasten" zu verfassen. Der Bericht soll zudem Empfehlungen über das weitere Vorgehen bei der eventuellen Einführung solcher Einrichtungen in der Schweiz enthalten."

Gemäss dem Kreditbegehren der Forschungsstelle und dem entsprechenden Auftragsschreiben des ASB soll das Ergebnis dieser Literaturstudie zudem Empfehlungen über das weitere Vorgehen bei der eventuellen Einführung solcher Einrichtungen in der Schweiz enthalten.

1.2 Begriff und Zweck

Anpralldämpfer sind Vorrichtungen, die es mit hoher Wahrscheinlichkeit gestatten, Personenwagen (PW), die von der Fahrbahn abirren, ohne grösseren Schaden für unbeteiligte Dritte und die Fahrzeuginsassen zum Stillstand zu bringen. Die Schäden am Fahrzeug sind nebensächlich, es geht allein um den Schutz des Lebens.

Da auch die Kollision mit einem Anpralldämpfer nie risikofrei sein kann, sollen sie nur dort aufgestellt werden, wo das verursachte Risiko, also starre Hindernisse wie Brückenpfeiler, Signalmasten etc. nicht entfernt oder entschärft (umfahrbare Ausführung) werden kann, genügend Platz auch nach dem Einbau vorhanden bleibt.

Bevorzugte Aufstellungsorte sind:

- vor Pfeilern von Brücken, die die Autobahn überqueren
- in der Nase von Verzweigungen
- vor starren Signalmasten etc.
- vor die Anfänge von Leitmauern (schmale Ausführung).

Hierbei ist gerade bei Verzweigungen zu prüfen, ob nicht das Auslaufenlassen des Fahrzeuges im Gelände das kleinere Risiko birgt. Dies trifft nicht zu bei Verzweigungen in erhöhter Lage (Kunstbauten und Dämme), wo das Fahrzeug abstürzen könnte, bei Stadtautobahnen, wo der Platz zum Auslaufen fehlt oder bei sehr weichen Böden (Gefahr des Ueberschlagens).

1.3 Bauprinzipien

Der Auslegungsanprall gemäss europäischem Normentwurf ist in Anhang 1 [1] wiedergegeben.

Die zu absorbierende kinetische Energie des Fahrzeuges ergibt sich für

Masse (kg)	Geschwindigkeit (km/h)	Energie (kJ)
825	50	79.6
825	80	203.7
825	100	318.3
1500	50	144.7
1500	80	370.4
1500	110	700.2

Es werden für Testzwecke fünf Anfahrtsituationen unterschieden:

- frontal, 0 °, Mitte
- frontal, 0 °, 1/4 Fz-Breite versetzt
- frontal, 15 °, Mitte
- Seite Anpralldämpfer, 20 °
- Seite Anpralldämpfer, 160 ° (Rückwärtsanfahrt).

Die US-Tests wurden mit Kleinwagen von 1'800 lb (817 kg) und "full size cars" von 4'500 lb (2'043 kg) bei 60 mph (96,5 km/h) vorgenommen. Es ergeben sich kinetische Energien von 294 kJ resp. 735 kJ also vergleichbare bis leicht höhere Anforderungen als die europäische Norm.

Anpralldämpfer werden i.a. nicht für Lastwagen ausgelegt. Dies wäre zu aufwendig, platzmässig kaum mehr unterzubringen und ausserdem müsste ein Anpralldämpfer für PW vorgelegt werden, da jener für LW für PW viel zu hart wäre. Der Lastwagenfahrer ist zudem ein professioneller Fahrer, von dem die sichere Beherrschung des Fahrzeugs und ein zurückhaltender, risikoarmer Fahrstil verlangt werden dürfen.

Wenn ein Klein-PW nicht mit mehr als 100 m/s^2 (ca. 10.2 g) verzögert werden darf, da sonst schwere Verletzungen der Insassen zu befürchten sind, ergibt sich eine Verformungskraft von 80 - 85 kN für den Anpralldämpfer. Dabei wird angenommen, dass pro Meter Knautschstrecke 80 - 85 kJ vernichtet werden; d.h. 210 kJ brauchen also rund 2,6 m, 607 kJ 7,6 m Knautschstrecke. Bei 80 % Ausnutzung (Verhältnis Knautschstrecke / Baulänge) erhält man somit Baulängen von rund 11m.

Da meist unter Platznot gearbeitet werden muss, kann man die hintere Hälfte des Anpralldämpfers auf ca. 100 - 120 kN versteifen. Zusätzlich baut man oft eine weiche Nase (ca. 40 kN), um nicht angegurtete Fahrzeuginsassen mit erträglicher Differenzgeschwindigkeit auf die Vorderfront der Kabine, resp. die Lehne der Vordersitze für die Fondspassagiere, aufprallen zu lassen, worauf die volle Verzögerung einsetzen kann. Dies entspricht einem Sturz aus 3 m Höhe auf die gepolsterten Innenflächen des Fahrzeugs, was aber unter Umständen schon für Verletzungen reicht: angegurtete Insassen sind weit besser geschützt.

1.4 Bauarten

Es gibt zwei grundsätzliche Bauarten für Anpralldämpfer:

- plastische Systeme
- Inertial-Systeme.

Bei den ersten nehmen verformbare Teile (Stahlfässer mit gezielten Schwächungen, Leichtbetonhohlzylinder, vorgeschwächte Aluminiumröhren, Kunststoffschäumverbund etc.) bei der plastischen Verformung bzw. dem

Zermalmen, also dem Öffnen neuer Oberflächen, die Energie auf und setzen sie grossteils in Wärme um ("innere Reibung").

Bei den Inertialsystemen werden abgestufte Massen, meist Behälter mit "Flüssigkeiten" (in der Praxis Wasser oder Sand), beim Anprallen des Fahrzeuges eine nach der anderen erfasst und in etwa auf die Geschwindigkeit des Fahrzeuges beschleunigt. Es gelten die Regeln des inelastischen Stosses, d.h. der Impuls wird erhalten, die kinetische Energie nicht.

Allgemein gilt:

$$P = m \cdot v \quad (1)$$

In unserem Falle:

$$P_{Fz} = m_{Fz} \cdot v_{Fz} \quad (2)$$

für das betrachtete Fahrzeug.

Beim Stoss erfolgt der Impulsübertrag:

$$m_{Fz} \cdot v_{Fz} = (m_{Fz} + m_1) \cdot v_1 \quad (3)$$

wobei m_1 die Masse des ersten erfassten Behälters, v_1 die Geschwindigkeit nach dem ersten Stoss ist.

Beim zweiten Behälter gilt dann:

$$m_{Fz} \cdot v_1 = (m_{Fz} + m_2) \cdot v_2 \quad (4)$$

wobei m_2 die Masse des zweiten Behälters bedeutet, v_2 die Geschwindigkeit nach dem zweiten Stoss und so fort.

Während es theoretisch unmöglich ist, ein Fahrzeug auf diese Weise vollständig zum Stillstand zu bringen, sinkt seine Geschwindigkeit schon nach wenigen Stössen auf ca. 10 + 15 km/h, worauf die geringe kinetische Restenergie durch Reibung mit den Behälterresten resp. dem verschütteten Sand vollends abgebremst wird.

Beispiel:

$$m_{FZ} = 800 \text{ kg} \quad m_1 = 100 \text{ kg}$$

$$v_{FZ} = 100 \text{ km/h} = 27,8 \text{ m/s}$$

$$\Rightarrow v_1 = 88,9 \text{ km/h} = 24,7 \text{ m/s}$$

$$\Delta v / v_{FZ} = 11,1 \%$$

$$\Delta E / E_{FZ} = 21,0 \%$$

Mittlere Verzögerung während des Stosses (Behälter Ø 60 cm):

$$\langle a \rangle = (\Delta E / m) / \varnothing = 135,0 \text{ m/s}^2 = 13.76 \text{ g}$$

$$\text{Kontaktzeit: } \Delta t = \varnothing / (1/2 \cdot (v_1 + v_2)) = 22.86 \text{ msec}$$

Anderer Rechengang:

$$\langle a \rangle = \Delta v / \Delta t = (27,8 - 24,7) \text{ m/s} / 0.002286 \text{ s} = 135.0 \text{ m/s}^2 = 13.76 \text{ g}$$

N.B.: Unter 50 msec - Filterung ist dieser Verzögerungswert noch zulässig, unter 10 msec - Filterung nicht mehr. In der Praxis trägt die Verformung der Karosserie dazu bei, dass die Verzögerungsspitzen niedriger ausfallen.

Falls beim nächsten Stoss wiederum $\Delta E / E_{FZ} = 21.0 \%$ sein soll ($\Rightarrow \Delta E = 64,8 \text{ kJ}$)

$$\Rightarrow v_2 = 21,2 \text{ m/s} = 76,2 \text{ km/h}$$

$$\Rightarrow v_2 / v_1 = 0,857 = m_{FZ} / (m_{FZ} + m_2)$$

$$\Rightarrow m_2 = 133,5 \text{ kg} \quad \Delta t_2 = 0.026 \text{ s}$$

$$\langle a \rangle = \Delta v / \Delta t = 133,9 \text{ m/s}^2 = 13.65 \text{ g}$$

Trockener Sand hat gegenüber Wasser folgende Vorteile:

- gefriert nicht
- verdunstet nicht
- läuft bei Kollision nicht über die Fahrbahn (Glatteis)
- läuft bei kleiner Undichtigkeit des Behälters (mangelhafte Herstellung, Alterung, mutwillige Beschädigung usw.) nicht aus
- ist, in 5 kg oder 10 kg Säcke verschweisst, sehr handhabungsfreundlich (Einbau, Wiederherstellung nach Kollision)
- höhere Dichte (1'600 kg/m³ statt 1'000 kg/m³)

1.5 Aufbau der Studie

Im folgenden werden einerseits ausländische Vorschriften und Richtlinien auszugsweise wiedergegeben, andererseits verschiedene Systeme und Typen, sowie deren Anwendung kurz beschrieben. Originaltexte, Beschriebe, Pläne und Fotos sind in den Anhängen 1 - 9 enthalten.

2. Auswahl und Auslegung von Anpralldämpfern (US-Department of Transportation, FHWA 1975) [2]

2.1 Anordnung

Auf neuen Autobahnen in den USA mit Bundeszuschüssen ist der Einbau von Anpralldämpfern vorgeschrieben, wenn

- ein starres Hindernis weniger als 30 ft. (9,14 m) von der Fahrbahn besteht)
- es nicht entfernt, umgestaltet oder anderweitig entschärft werden kann.

Die FHWA lässt Bauarten bis max. 12 g (118 m/s^2) zu.

2.2 Zugelassene Bauarten

- **Stahlfässer mit Leitseilen und überlappenden Leitplanken "Schuppen".**
Dieses System ist als "Texas Barrels" bekannt und in Anhang 2, Seite 2, Fig. 1 dargestellt.
- **"Hi-Dro Cell Sandwich"**
Wassergefüllte Kunststoffzylinder mit Leitseilen und Leitplanken-schuppen.
Eine typische Anordnung für hohe Geschwindigkeiten ist in Anhang 2, Seite 2, Fig. 2 wiedergegeben.
- **"Hi-Dro Cell Cluster"**
Wassergefüllte Zylinder ohne Leitseile und Seitenplanken.
Dieses System ist nur geeignet für Geschwindigkeiten unter 45 mph (72,4 km/h).

Anmerkung:

Die übliche Art, das Gefrieren des Wassers zu vermeiden, besteht darin, CaCl_2 zuzugeben (z.B. 26 % Lösung für Gefrierpunkt $\approx -20^\circ\text{C}$).

Bei jedem Anprall gerät ein Teil dieser Lösung auf die Fahrbahn und anschliessend in die Gewässer oder das Grundwasser. Ausserdem ist die Lösung stark korrosiv.

Der Aufbau ist in Anhang 2, Seite 3, Fig. 3 dargestellt.

- **"Hi-Dri Cell Sandwich"**
Das System besteht aus Vermiculit-Beton-Zellen mit Leitseilen und Seitenplanken.
Das System ist in Anhang 2, Seite 3, Fig. 4 illustriert.
- **"Fitch Inertial Barrier System"**
Es sind freistehende sandgefüllte Kunststoffbehälter (Anhang 2, Seite 4, Fig. 5).

Die FHWA lässt andere Anpralldämpfersysteme zu, sofern sie sich bei Tests zufriedenstellend verhalten.

2.3 Testbedingungen

Fahrzeugmasse:	2000+ 4500 lb (907 + 2'041 kg)
Geschwindigkeit:	60 mph (96.5 km/h)
Anprallwinkel:	0 +25°, gemessen bezüglich Fahrbahnachse
zulässige mittlere Verzögerung: (in 50 msec-Filterung)	12g /117.7 m/s ² , darf nicht zum Hindernis durchbrechen

Problematisch ist der seitliche Anprall. Wo es die Verhältnisse zulassen, kann diese Bedingung gelockert werden.

Die meisten Anpralldämpfer sind für Verzögerungen von 6+12 g (58.8+117.7 m/s²) ausgelegt.

Die folgende Tabelle gibt zulässige Verzögerungen wieder, die aus den Arbeiten des Cornell Aeronautical Laboratory hervorgegangen sind. Die Autoren empfehlen eine maximale Einwirkungsdauer von 200 msec und einen Beschleunigungsaufbau von maximal 500 g/s (4905 m/s³).

Diese Verzögerungen beziehen sich auf den Schwerpunkt des Fahrzeuges. Die Insassen erleiden Verzögerungen von 50 + 200 g (491+1962 m/s²), was höchstwahrscheinlich Verletzungen und, am obereren Ende des Bereichs, den Tod herbeiführen kann.

Fahrzeuginsassen	seitlich	Max. Verzögerung (in g) längs	total
nicht angegurtet	3	5	6
Beckengurt	5	10	12
Dreipunktgurt	15	25	25

2.4 Kriterien für die Standortauslegung

Falls Entfernen, Versetzen oder Umbau eines starren Hindernisses nicht in Frage kommen und somit der einzige Schutz der Automobilisten vor dem Hindernis ein Anpralldämpfer ist, muss der Auslegung folgende Information über den Standort zugrundegelegt werden:

- Abmessungen des Hindernisses
- Strukturdetails des Hindernisses
- Abmessungen des für den Einbau eines Anpralldämpfers verfügbaren Raumes
- Zustand des vorgesehenen Einbauraumes, namentlich:
 - Vorhandensein bzw. Abwesenheit eines Strassenbordes, das die Funktion des Anpralldämpfers beeinträchtigen kann
 - das vorhandene Belagsmaterial und sein Zustand
 - Längs- und Querneigung des vorgesehenen Standortes
 - klimatische Bedingungen (Gefrieren des Wassers in nassen Systemen)
 - extreme Windstärken und Vibrationspegel (v.a. Brückenlagen)
 - Vorhandensein von Konstruktions- oder Expansionsfugen am vorgesehenen Standort.

2.5 Auswahl der Anpralldämpfer

2.5.1 Maximale Anprallgeschwindigkeit

Hält sich der Verkehr an die vorgeschriebene Höchstgeschwindigkeit? Sonst für die gefahrene und nicht für die gesetzliche Höchstgeschwindigkeit auslegen. Stahlfässer, Hi-Dro Cell Sandwich, Hi-Dri Cell Sandwich, Fitch Inertial können auf jede "vernünftige" Geschwindigkeit ausgelegt werden, einzig Hi-Dro Cell Cluster eignet sich bis max. 45 mph (72,4 km/h).

2.5.2 Zulässige Verzögerung

Maximal 12g (117.7 m/s^2) bei frontalem Anprall, kein Minimum (ausser durch Baulänge und Kosten). Ein Fahrzeug-Insasse mit Beckengurt sollte eine mittlere Verzögerung mit 12 g überleben. 6g (58.9 m/s^2) sollten sogar ohne Gurt zu überleben sein.

Bei Inertialsystemen ist bei übersetzter Geschwindigkeit mit einem Durchbrechen zum Hindernis und in der Folge mit sehr hohen Verzögerungen zu rechnen.

2.5.3 Umlenk- oder Fendercharakteristik

Seitlicher Anprall ist häufig, weswegen der Anpralldämpfer mit Anfahrten bis 25° fertig werden muss (gemessen ab Fahrbahnachse). Stahlfässer, Hi-Dro und Hi-Dri Cell Sandwich sind auf Umlenken eines seitlich anprallenden Fahrzeuges ausgelegt, ohne dass dabei das anprallende Fahrzeug mit dem zu schützenden Hindernis in Kontakt kommt. Dabei sollte, analog wie bei Leitschranken, das Fahrzeug nicht auf die Fahrbahn zurückgeschleudert werden, sondern am Anpralldämpfer entlang zum Stillstand kommen, ohne den nachfolgenden Verkehr zu gefährden.

Inertialsysteme, wie z.B. das Fitch-System, fangen auch seitlich anprallende Fahrzeuge auf, wobei sie sofort mit den schweren Fässern in Kontakt kommen (hohe Verzögerungsspitzen) und evtl. zum Hindernis durchschlagen. So wird zwar die Gefahr des Zurückwerfens auf die Fahrbahn gebannt, aber mit möglicherweise fatalen Folgen für die Insassen des Unfallfahrzeuges. Eine Ausstattung mit Leitseilen und teleskopierenden Seitenpanelen ist möglich; dann müssen diese allerdings auf die Sandbehälter abgestützt werden (etwa mit PU-Schaumblöcken), wie auch die Behälter untereinander. Das Verhalten ist dann nicht mehr das eines reinen Inertial-Systems, man sollte von hybriden Systemen sprechen. Die Baukosten steigen beträchtlich an.

Das Hi-Dro Cell Cluster ist vom Verhalten her auch ein Hybridsystem; es ist aber nur für kleinere Geschwindigkeiten geeignet.

Das Umlenk- resp. Fenderverhalten ist in den Fig. 7 und 8 (Anhang 2, Seite 4) schematisch dargestellt.

2.5.4 Massen-Geschwindigkeits-Verhalten

Die kinetische Energie des Fahrzeuges ist:

$$E_{\text{kin}} = 1/2 \cdot m_{FZ} \cdot v_{FZ}^2 \quad (5)$$

Die Verformungsarbeit im Anpralldämpfer ist

$$W = F \cdot s = m \cdot a \cdot s \quad (6)$$

oder, falls

$$F = F(s) \quad (7)$$

$$W = \int F(s) ds \quad (8)$$

Die meisten Anpralldämpfer haben abgestufte Härten F_i im Längenanteil s_i , sodass

$$W = \sum_{i=1}^n F_i \cdot s_i \quad (9)$$

Gleichsetzen ergibt im einfachsten Fall (konstante Härte)

$$1/2 m_{FZ} \cdot v_{FZ}^2 = F \cdot s = m_{FZ} \cdot a_{FZ} \cdot s \quad (10) \text{ oder}$$

$$a = v_{FZ}^2 / 2s \quad (11)$$

Mittels abgestufter Härten kann sowohl ein Kleinwagen von 800 kg wie auch ein schwerer Wagen von 2'500 kg sicher abgebremst werden (z.B. 1 m à 40 kN, 5 m à 80 kN, 2.5 m à 120 kN, 2.5 m à 200 kN) ohne 10 g (98.1 m/s^2) zu überschreiten.

2.5.5 Abstützung

Alle plastischen Systeme übertragen die ausgeübte Kraft auf die rückwärtige Abstützung. Dies wird in aller Regel das starre Hindernis selbst sein. Ist es jedoch zu schmal, empfindlich oder anderweitig ungeeignet (z.B. bei Signalbrücken könnten Signale beschädigt werden oder sich gar lösen, mit schweren Sekundärrisiken für den übrigen Verkehr), so muss der Anpralldämpfer auf eine speziell für diesen Zweck entworfene Stützkonstruktion abgestützt werden.

2.5.6 Verankerung

Die Systeme, welche Seitenpanele und Leitseile enthalten, benötigen Verankerungsplatten. Ueberspannen die Leitseile Expansionsfugen (Brückenlagen), so ist in den Seilen oder Ankerplatten ein elastisches Element vorzusehen, um zerstörerische Kräfte bzw. Lockerung der Seile zu vermeiden.

2.5.7 Herumfliegende Trümmerteile

Sie sind zu vermeiden. Insbesondere die Gleitverbindungen der Seitenpanele sind so zu gestalten, dass die Panele nicht weggerissen und dadurch zu Projektilen werden können. Ebenso ist ein Absturz eines Anpralldämpfers oder von Teilen davon auf untenliegende Fahrbahnen (bei Brückenlage) unter allen Umständen zu vermeiden. Selbst leichte Plastikteile, die keine physische Gefährdung bedeuten, können im nachfolgenden Verkehr zu Panikreaktionen (brüske Schwenker und Bremsmanöver) und damit zu Folgeunfällen führen.

2.5.8 Anfälligkeit auf Streifkollisionen

Die plastischen Systeme sind durch leichte Streifkollisionen nicht ernsthaft gefährdet, d.h. reparaturbedürftig. Einzig beim Fitch-System (Sandbehälter) führt eine Streifung zum Aufplatzen der Behälter.

2.5.9 Schäden am Fahrzeug

Alle untersuchten Systeme beschädigen das Fahrzeug in einem gewissen Masse. Immerhin zeigt die bisher gewonnene Erfahrung, dass die meisten Fahrzeuge aus eigener Kraft wegfahren können, also noch fahrtüchtig sind.

2.5.10 Ästhetik

Die Anpralldämpfer können durch entsprechende Farbgebung der Umgebung angepasst werden, um das Strassen- und Landschaftbild nicht zu stören. Demgegenüber sollten Anpralldämpfer oder mindestens deren Nase in Warnfarben gehalten werden (Vorrang hat die Verkehrssicherheit).

2.5.11 Anschaffungskosten

Sehr unterschiedlich. Patentierte Systeme sind sehr teuer (z.B. GREAT ca. US\$ 30'000.-). Die Unterhaltskosten sind zu berücksichtigen ("Life cycle costing").

2.5.12 Anfälligkeit auf Vandalismus

"Not many things are vandal-proof...". Hi-Dro-Zellen können aufgeschnitten werden. Fitch Inertial können absichtlich gestreift werden. Stahlfässer und Hi-Dri-Cell Sandwich scheinen diesbezüglich am robustesten, können aber durch Lösen der Leitseile oder Entfernen der Seitenpanele in ihrer Funktion beeinträchtigt werden.

2.5.13 Routine - Unterhalt

Der Routineunterhalt ist gering. Wassergefüllte Systeme sind periodisch auf Verdunstung zu überprüfen. Stahlteile alle paar Jahre neu streichen (falls feuerverzinkt oder pulverbeschichtet, entfällt auch das).

Anmerkung:

In unserem feuchten Klima mit vergleichsweise vielen Frost/Tauzyklen ist dem Korrosionsschutz entsprechend höhere Aufmerksamkeit zu schenken als im Klima von Texas oder Colorado.

2.5.14 Wiederherstellen nach Kollision

Da der Anpralldämpfer nach einer Kollision ganz oder teilweise unbrauchbar ist, und die Wahrscheinlichkeit eines zweiten Anpralls pro Zeiteinheit gleich gross ist wie für den ersten, muss der Anpralldämpfer möglichst rasch wiederhergestellt werden.

Andere Studien (siehe unten) ergeben Kontrollintervalle von ca. einem Monat, bei Unfallschwerpunkten können auch kürzere Intervalle angezeigt sein.

Bei den plastischen Systemen sind die deformierten Teile zu ersetzen und das ganze System wieder zu positionieren. Aus Kostengründen und aus Gründen der Verkehrssicherheit ist dem Verlad des ganzen Systems und der Wiederherstellung in Werkstattarbeit der Vorzug zu geben. Ausserdem müssen Farb- resp. Verzinkungsschäden behoben werden, um Rosten zu vermeiden). Bei Inertialsystemen sind Plastikteile und Sand zusammenzukehren und durch ein neues System zu ersetzen. Dies bedingt eine entsprechende Vorratshaltung.

2.6 Auslegung

2.6.1 Stahlfässer

Ein Standard-Stahlfass von 55 Imp.gal. (249.9 l), 20 - gauge (≈ 0.5 mm) Blechstärke, 24" (610 mm) $\varnothing$ und 36" (914 mm) hoch, mit einem 8" (203 mm) $\varnothing$ Loch in Boden und Deckel hat einen durchschnittlichen statischen Verformungswiderstand von 6'000 lbf (26.7 kN) und verformt sich bis 75 % seines ursprünglichen Durchmessers bis zum "bottoming out" (rapider Anstieg des Verformungswiderstandes). Der dynamische Verformungswiderstand ist beim Einbau in eine Gruppe Fässer ca. 1.5 mal so hoch (40.1 kN). Der Weg beträgt ca. 18" (457 mm), die absorbierte Energie also ≈ 18.3 kJ / Fass.

Eine mögliche Anordnung zeigt Fig. 16 (Anhang 2, Seite 5). Die Bremskraft steigt von 40 kN (erstes Fass) auf 80 kN (2. bis 5. Reihe), 120 kN (6. bis 9. Reihe) und schliesslich 160 kN (10. bis 14. Reihe).

Der CEN-Test für Kleinwagen (825 kg, 100 km/h, $E_{kin} = 318 \text{ kJ}$) führt also zu 18 zerdrückten Fässern, die 9. Reihe in der vorliegenden Anordnung wäre somit "angeknabbert":

$$\Rightarrow A_{max} = F_{max} / m_{Fz} = 146 \text{ m/s}^2 = 14.9 \text{ g, etwas zu hoch (ASI} \approx 1.3)$$

Dargestellt sind auch die Verbindungsbügel, die ein seitliches Verschieben der Fässer verunmöglichen. Die Baulänge beträgt 8.53 m (ohne Stützkonstruktion).

2.6.2 Hi-Dro Cell Sandwich

Dieses System wird von Energy Absorption Systems Inc., Chicago, Illinois, hergestellt (die auch das G.R.E.A.T. herstellen und die Patente besitzen). Die Zellen bestehen aus PVC-kaschiertem Nylongewebe. Diese sind, wie in Fig. 17 (Anhang 2, Seite 5) dargestellt, zwischen Stahlschotten (Kraftverteilung) und Leitseilen (Längsführung) angeordnet. Die in der Nasengruppe angeordnete Zellen haben speziell grosse Austrittsöffnungen und reagieren entsprechend weich. Obwohl aus äusserst solidem Gewebe gefertigt, sind sie als Verschleissstück zu betrachten.

Anmerkung:

Aufgrund der hohen Masse der Zellen ist das Hi-Dro-Cell Sandwich als plastisch-inertiales Hybridsystem zu betrachten. Die erwähnten Eigenschaften des Wassers (Verdunsten, Gefrieren, Austritt durch kleinste Risse) ergeben einen hohen Wartungsaufwand, der diese Systeme eher als Baustellensicherung denn als Dauerinstallation geeignet erscheinen lässt. Das gilt für alle Systeme auf Wasserbasis.

2.6.3 Hi-Dro Cell Cluster

Dies ist eine vereinfachte Anordnung der Hi-Dro Zellen, die nur für niedrige Geschwindigkeiten gedacht ist, unter Auslassung der Leitseile, Seitenplanken und Querschotte.

2.6.4 Hi-Dri Cell Sandwich

Auch dies ist ein Produkt der Energy Absorption Systems Inc. Der Aufbau ist gleich wie beim Hi-Dro Cell Sandwich, nur sind die wassergefüllten Plastikzellen durch Kartuschen mit je zwei Vermikulitbeton-Hohlzylindern ersetzt (Fig. 20, Anhang 2, Seite 5). Diese sind mit Plastikfolie und Draht umwickelt, um einerseits bei einem Anprall das Wegfliegen von Stücken zu verhindern und andererseits Veränderungen der mechanischen Eigenschaften des Betons durch Wasseraufnahme vorzubeugen.

2.6.5 Fitch - System

Dieses System wird von FIBCO Inc., Boston, Mass., produziert und vertrieben. Es ist patentiert. Es bremst, wie schon in der Einleitung dargestellt, das aufprallende Fahrzeug durch Impulsübertragung. Die Behälter sind aus Plastik.

Eine typische Anordnung ist in Fig. 5 (Anhang 2, Seite 4) dargestellt. Die Behälter haben 3 ft Ø und 3 ft Höhe (je 914 mm), 0.60 m³ Inhalt und somit max. 962 kg Masse. Dies ist bei den schwersten Behältern (2'100 lb; 953 kg) praktisch vollständig ausgenützt. Wichtig ist, dass vorallem bei den vorderen, nur wenig gefüllten Behältern der Schwerpunkt der Sandfüllung auf Höhe Fahrzeugschwerpunkt (ca. 490 + 550 mm über Fahrbahn-Oberkante) liegt. Zwischen dem starren Hindernis und der letzten Behälterreihe sollte ein freier Raum von min. 1 ft. (305 mm) bleiben, um ein Anschütten des Sandes an das Hindernis zu vermeiden.

2.6.6 Energite Inertial Barrier

Hergestellt und vertrieben wird das System durch Energy Absorption Systems, Inc. Der Aufbau ist ähnlich wie Fitch - System; die Funktionsweise ist identisch.

3. Anfahrversuche

(Auszug aus NCHRP 230, 1981 [3])

3.1 Ziel und Zweck

Bei Anfahrversuchen geht es darum, Erkenntnisse über die Wirkungsweise des Systems, die Insassengefährdung und den Fahrzeugweg nach dem Anprall zu gewinnen.

Die Prüfungsbedingungen sind eher strenger als sie bei Unfällen vorkommen. Bezüglich WIRKUNGSWEISE werden untersucht:

- Umlenkung
- kontrollierte Durchbiegung
- kontrolliertes Abbremsen
- keine wegfliegenden oder eindringenden Teile, die Gefahr bringen

(immer nur gültig für einen bestimmten Bereich der Anprallbedingungen, Fahrzeugcharakteristiken etc.).

Bezüglich INSASSENGEFÄHRDUNG ist zu beachten, dass aus Untersuchungen der Fahrzeugverzögerungen und der Geschwindigkeitsänderung des Fahrzeuges nur teilweise ein Zusammenhang zur Wahrscheinlichkeit und Schwere der Verletzungen abgeleitet werden kann, da hierbei noch viele andere Einflussfaktoren mitspielen. Massgebend für Verletzungen ist vor allem auch der "Insassenanprall" = Anprall der Insassen an Innenteile des Fahrzeuges.

Diese Anprallschwere ist stark abhängig von der Änderung der Fahrzeuggeschwindigkeit während des Zeitraumes zwischen Fahrzeuganprall und Insassenanprall. Aber auch die Fahrzeugverzögerung nach dem Insassenanprall ist massgebend für die Gefährdung. Ausserdem: Kein Ueberschlag, Kippen, Drehen etc. - dadurch geringere Verletzungsgefahr und kleinere (weniger kritische) Vertikalverzögerungen. Bei der Beurteilung der Insassengefährdung kann man sich auf die Längs- und Querverzögerungen beschränken. Anpralldämpfer sollen einen möglichst langen und gleichmässigen Geschwindigkeitsabbau bieten (niedrige, homogene Verzögerungswerte).

3.2 Bedingungen

Selbst die besten Systeme können nicht bei allen Verkehrsteilnehmern (Motorräder, PW, LW) und allen Geschwindigkeiten, Anprallwinkeln etc. optimal wirken.

Anpralldämpfer müssen einerseits bei Kleinwagen niedrige Fahrzeugverzögerungen erzielen, andererseits ein grosses Energieaufnahmevermögen besitzen, um schwere Fahrzeuge zu stoppen.

Wichtig ist, dass die Geschwindigkeitsänderung des Fahrzeuges vor dem Insassenanprall möglichst klein ist. Nach dem Insassenanprall kann der Mensch, vorausgesetzt er bleibt mit dem Fahrzeug in Kontakt, relativ hohe Fahrzeugverzögerungswerte ertragen.

$$\text{Anprallschwere (= Anprallenergie): } E_{\perp} = 1/2 m \cdot (v \cdot \sin \alpha)^2 \quad [\text{kJ}]$$

Zum Vergleich: Bei Leitschranken wird der Anprallvorgang verlängert und damit die Verzögerung begrenzt, indem das System seitlich deformiert wird (oder das Fahrzeug angehoben wird wie bei der New Jersey - Mauer).

Bei Anpralldämpfern werden folgende Größen und Werte erhoben:

Geschwindigkeit, Fahrzeugverzögerungen, Fahrzeugbewegung, Fahrzeugweg, Dummybewegung (Innenraumkamera), Dummyverzögerung, Insassengefährdung (Fahrzeugverzögerung), dynamische Deformation, bleibende Verformung, Schäden.

3.3 Anforderungen

3.3.1 Wirkungsweise

Es werden folgende Forderungen bei Anfahrversuchen gestellt:

- Annehmbares Verhalten des Testobjektes, sei es eine Umlenkung, ein kontrolliertes Eindringen oder ein kontrolliertes Abbremsen.
- Einzelteile des Testobjektes dürfen weder die Insassen noch den übrigen Verkehr gefährden.

3.3.2 Gefährdung der Insassen

Das Fahrzeug soll während und nach dem Anprall aufrecht bleiben, leichte Kippwinkel sind tolerierbar. Der Passagierraum muss intakt sein.

Die Insassenanprallgeschwindigkeit (der vorderen Passagiere) gegen das Fahrzeuginnere soll kleiner sein als:

- Occupant Impact Velocity
längs: 12.2 m/s dividiert durch F_1^* : 9.2 m/s = Δv_{Zul}
quer: 9.2 m/s dividiert durch F_2^* : 6.1 m/s = Δv_{Zul}
gerechnet mit folgenden Distanzen:
Bewegung vorwärts (längs) = 61 cm
Bewegung seitlich (quer) = 30 cm
*Sicherheitsfaktor : $F_1 = 1,33$
 $F_2 = 1,50$

- Occupant Ridedown Acceleration
Die höchste, über 10 msec gemittelte Fahrzeugverzögerung nach dem (hypothetischen) Insassenanprall soll kleiner sein als:
längs: 20 g dividiert durch $F_3^* \Rightarrow 15 \text{ g}$
quer: 20 g dividiert durch $F_4^* \Rightarrow 15 \text{ g}$
* Sicherheitsfaktor $F_3 = 1.33$
 $F_4 = 1.33$

3.3.3 Fahrzeugweg

Auch hier bestehen klare Forderungen:

- Beim Abprall und in der Endstellung soll das Fahrzeug den übrigen Verkehr möglichst wenig gefährden ($\Rightarrow$ möglichst wenig in den Verkehrsraum hineinragen).
- Wenn das Fahrzeug umgelenkt wird und in die angrenzenden Fahrstreifen zurückkehrt, soll die Geschwindigkeitsabnahme beim Anprall weniger als 24 km/h betragen und der Abprallwinkel $\leq 60^\circ$ des Anprallwinkels sein.
- Der Fahrzeugweg hinter dem Testobjekt ist annehmbar, d.h. das Fahrzeug kann, wenn dies vorgesehen ist (je nach Aufstellort), auch auf die "falsche" Seite abgelenkt werden.

3.3.4 Insassenanprall

Im ersten Moment bewegt sich der Insasse mit der ursprünglichen Fahrgeschwindigkeit weiter, während das Fahrzeug durch den Anprall verzögert wird.

Kritischer Parameter ist die Insassenanprallgeschwindigkeit:

$$v_{\text{Insassen}} = \int_0^T a(t) dt; \quad T = T_{\text{Aufschlag}} \quad (12)$$

$$\text{Weg } s = \int_0^T v(t) dt; \text{ oder } s = \langle v \rangle \cdot T, \langle v \rangle = 1/2 v_0, \quad (13)$$

falls $a = \text{const.}$

$$s = \langle v \rangle \cdot v_0 / a = v_0^2 / 2 a \Rightarrow v_{\text{Insassen}} = \sqrt{2 a \cdot s} \quad (14)$$

$$t = 2 s / v_0 = v_0 / a \quad (15)$$

In der zweiten Phase bleibt der Insasse in Kontakt mit dem Fahrzeug und erleidet die selben Verzögerungen:

⇒ 10 msec - Wert ist massgebend.

4. Schutzeinrichtungen an Trenninsel-Spitzen mit festen Hindernissen [4]

In der BRD sind seit Mitte der 70er Jahre "energieabsorbierende Kopfbogen" in Erprobung.

Der energieabsorbierende Kopfbogen besteht aus einem zweiteiligen Flachblechbogen, der in der Scheitellinie geteilt und als Sollbruchstelle zusammengefügt ist.

Bei mittigen Frontalanfahrten und bei entsprechender Anprallenergie soll sich der geteilte Flachstahlbogen öffnen, so dass das Fahrzeug weiterfahren und erst dann das Wellband, das sich noch bis zu ca. 3.0 m streckt, seine Funktion erfüllen kann. Dem auffahrenden Fahrzeug steht dann eine Verzögerungsstrecke von ca. 5.0 m zur Verfügung.

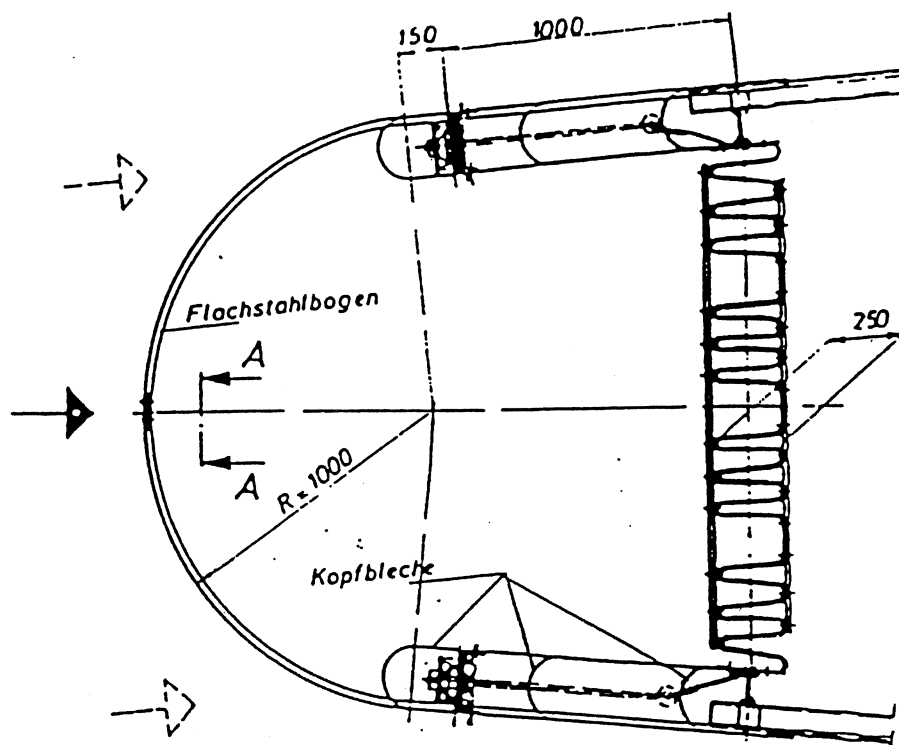
Bei Frontalanfahrten seitlich auf den Bogen steht bis zum gerammten Pfosten eine Verzögerungsstrecke von ca. 2.0 m zur Verfügung.

In der folgenden Tabelle ist das Ergebnis der Auswertung des Unfallgeschehens an dieser Schutzeinrichtung zu sehen. Bei Anfahrten mit anschliessender Unfallflucht wurde davon ausgegangen, dass weder nennenswerter Sachschaden noch Personenschaden entstanden ist.

39 Anfahrnfälle im Zeitraum 1975 bis 1980, davon

- 9 frontal, mittig, wovon 3 mit Sachschaden, keine Personenschäden
- 18 frontal, rechts versetzt, wovon 15 mit Sachschaden, 1 Toter, 3 Schwerverletzte, 4 Leichtverletzte
- 9 frontal, links versetzt, wovon 6 mit Sachschaden, 1 Schwerverletzter, 2 Leichtverletzte
- 2 frontal, geschleudert, beide nur Sachschaden
- 1 tangential rechts, kein Schaden

Die Bauweise ist in der folgenden Abbildung schematisch dargestellt:



5. Leitfaden zur Auswahl, Standortwahl und Auslegung von Schutzeinrichtungen [5]

5.1 Zweck

Schutzeinrichtungen im Sinne des Leitfadens dienen dem Abbremsen des Fahrzeuges bei Frontalanprall und dem Umlenken des Fahrzeuges bei seitlichen Kollisionen.

5.2 Anordnung

Anpralldämpfer werden bei gefährlichen Hindernissen oder Verhältnissen angeordnet, die nicht anders entschärft werden können. Teilweise können Anpralldämpfer die Anordnung von Leitschranken ersetzen. Sie bieten hohen Sicherheitsgewinn bei relativ niedrigen Kosten und einen besseren Kosten-Nutzen-Effekt als Leitschranken aufweisen.

Anpralldämpfer werden bevorzugt bei Verzweigungen auf Brücken (Absturzgefahr) oder bei Hindernissen im Zwickel der Verzweigung eingesetzt. Bei einzelnen seitlichen Hindernissen (z.B. Brückenpfeiler, Masten, Signalbrücken) können u. U. Anpralldämpfer als Ersatz für Leitschranken dienen. Zudem können Anpralldämpfer als Schutz bei Leitschrankenanfängen, speziell bei Leitmaueranfängen, eingesetzt werden.

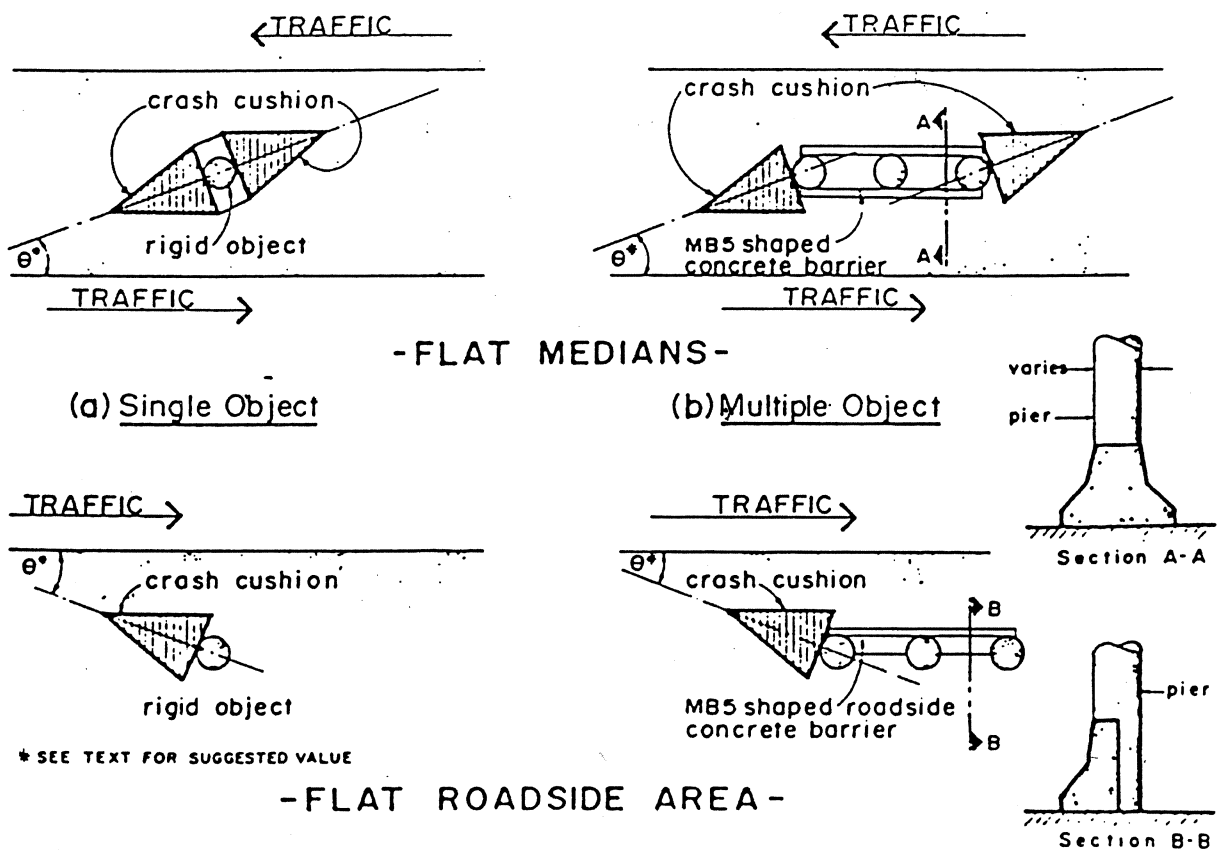
Beurteilung der Notwendigkeit resp. Rangfolge der Sanierung (P):

$$P = \{(1 + \text{Anzahl Unfälle pro Zeiteinheit}^*) \cdot \text{DTV} \cdot \text{Geschwindigkeit}\} / 10'000$$

* z.B. Jahr, Untersuchungszeitraum.

5.3 Aufbau und Inhalt des Leitfadens

Vieles entspricht dem in den Kapiteln 1 - 3 schon erwähnten, anderes ist neu; so z.B. die in der folgenden Abbildung dargestellten Konfigurationen von Anpralldämpfern und Hindernissen.



Interessant ist die Abwinkelung des Anpralldämpfers auf den wahrscheinlichsten Anprallwinkel.

Im weiteren wurden verschiedene Schutzeinrichtungen bis hin zum Bremsbett aus gewaschenem Rundkies abgestufter Körnung detailliert beschrieben.

6. Hex-foam Cell Sandwich [6]

6.1 Wirkungsweise

Die beste Wirkung eines Anpralldämpfers erhält man, wenn die Geschwindigkeitsänderung des Fahrzeugs über den längsten Zeitraum erfolgt, der an der betreffenden Stelle möglich ist. Ein guter Anpralldämpfer nutzt dementsprechend den vorhandenen Raum möglichst vollständig aus.

Verbesserungen an den Cell Sandwich Anpralldämpfern bezüglich Wirkungsweise und Gebrauchsdauer resp. Unterhaltsbedarf sind vorgenommen worden.

Zur Energievernichtung gibt es zwei Möglichkeiten:

- Deformation von widerstandsfähigem Material
- Impulstransfer (Beschleunigung von Massen).

Durch den Impulstransfer erleiden leichte Wagen zu Beginn des Aufpralls hohe Verzögerungswerte. Um diese in Grenzen zu halten, muss die Masse des Anpralldämpfers vorne möglichst gering sein, bzw. die Materialhärte entsprechend nach unten korrigiert werden, damit eine homogenere Verzögerung entsteht. Dies wird durch Verwendung von leichtem, energieabsorbierendem Material angestrebt.

6.2 Konstruktion

Hex-Foam sind bienenwabenartige Papierschichten, gefüllt mit Polyurethan-Schaum. Diese Elemente sind sehr leicht und weisen eine hohe Deformierbarkeit (ca.90%) auf. Die Rückprallwirkung ist, verglichen mit den früheren Vermiculitbetoneinsätzen, ebenfalls sehr gering (ca. 30%).

Im Anhang 3, Seite 3.2 ist die Einheit abgebildet; ihre Bestandteile sind auf den Seiten 3.3 und 3.4 dargestellt.

6.3 Anfahrversuche

Folgende Tests wurden durchgeführt:

mFz	V _{imp}	α	Verzögerungen		OIV	ORA	Weg
[kg]	[km/h]	[°]	[g] Spitzen	50 msec	[m/s]	[g]	[m]
			x y z	x y z	x y	x y	
2025	95	0, frontal	≈18 ≈7 -	≈14 ≈3 -	8.1 2.0	16 5.3	5
1969	99.3	15 *	≈14 ≈15 -	≈3 ≈5 -	- 3.8	- 5.0	-
898	105	0, frontal	≈20 ≈8 -	≈14 ≈2.5 -	11.1 2.7	15.2 2.6	3.9
2130	100	12, frontal	≈26 ≈20 -	≈15 ≈2.5 -	8.8 2.7	19.1 9.8	4.7

* Mitte seitlich, 15 ° zur Aussenseite, entsprechend ≈ 8 ° zur Symmetrieachse

OIV = Occupant Impact Velocity = Insassenanprallgeschwindigkeit

ORA = Occupant Ridedown Acceleration = Insassenbeschleunigung nach Anprall

Die wichtigsten Testresultate sind in Anhang 3, Seite 3.5 bis 3.9 wiedergegeben.

7. Französische Anpralldämpfer (Fässer) [7]

7.1 Französische Stahlfässer (verbesserte Version)

Die alte Version, eine Abwandlung der Texas Barrels, ist sehr unterhaltsaufwendig: schon kleine Anfahrten erfordern hohen Reparaturaufwand.

Deswegen wurde eine neue Version entwickelt: Nur noch 2 Standardtypen (für 80 und 100 km/h) statt bisher 28, Elementbauweise und Vereinheitlichung der Teile zwecks einfacherer Lagerhaltung, dadurch einfacherer Unterhalt und niedrigere Kosten.

Weitere Verbesserungen: Schnellspannvorrichtung, einfachere Verankerungen, Verbesserung der rückwärtigen Abstützung, nur noch ein Fasstyp (eine Lochung). Abstandshalter ermöglichen den Verzicht auf die Füße und viele Verbindungsschrauben. Sie halten auch die Kabel.

2 Versuchstypen: PW 1250 kg und PW 900 kg. Versuche frontal und frontal versetzt sind gut. Der seitliche Anprall erforderte Verbesserungen, die inzwischen erfolgt sind. Zusätzlich erfolgte ein Anfahrtest bei 20 km/h, um zu ermitteln, welcher Schaden bei leichten Anfahrten entsteht.

Inzwischen ist zusätzlich eine Variante für 60 km/h entwickelt worden.

Da die Seilspannung für ein korrektes Funktionieren wichtig ist, sollten solche Anpralldämpfer nicht über Dilatationsfugen montiert werden (Arbeiten der Fuge führt zur Überlastung der Seile oder ihrer Verankerungen). Falls eine solche Lage unumgänglich ist, muss sich in Seil oder Verankerung ein elastisches Element befinden, das das nötige Spiel aufweist und die Kräfte bei einer Anfahrt aufnehmen kann.

7.2 Französische Blechfässer

Anpralldämpfer in rechteckiger und dreieckiger (V-) Form. Gute Wirkung bei Frontal- wie auch bei seitlichen Kollisionen. Seitliche Führungskabel und Seitenpanele aus Leitplanke. Die Fässer stehen auf 15 cm hohen Gleitkufen und sind untereinander verschraubt. Löcher in den Fassdeckeln und -böden: vorn 50cm Ø, hinten 20 cm Ø.

Testresultate:

System	v [km/h]	α [°]	m [kg]	Verzögerung [g]	Verzögerung [g]	Weg [m]
				Spitzenwerte	gefiltert	
				x y z	x y z	
rechteckig, 38 Fässer, 7.85 m lang	83	0	1280	14 4.5 8.5	8 1 1	4.25
dito	84	30	1245	8 7 6.5	6 5 2	≈ 13
dito, seitlich versetzt	78	0	1270	14 12 14	8 4 6	≈ 3
dito, 30cm seitt. versetzt	97	0	970	15 6 3	11 3 2	4.6
dreieckig, 16 Fässer 5.45m Länge, mit Schaumstoffelementen	81	0	1245	- - -	- - -	≈ 3.4
dito	79	30	1310	11.5 7.5 6.5	11 3 1.5	≈ 2
dito	82	35/30	1240	14 8 13	12 4 2	5.3

↑ bez. Achse / bez. Planke

7.3 Französische Wasserfässer (1975 - 1980)

Anpralldämpfer nach dem Trägheitsprinzip wirkend. Nur für Frontalanfahrten; in Verbindung mit seitlichen Führungsseilen auch umlenkende Wirkung und somit für seitliche Anfahrrten geeignet. Z.B. als Schutz vor Leitschranken-Kopfbögen.

Die letzte Anordnung erscheint für ungeschützte Leitschrankenanfänge sehr vorteilhaft: Das Verhalten bei seitlicher Anfahrt ist das einer Seilschranke, unterstützt durch eine Teilwirkung der Fässer, während bei Frontalanfahrt die Pfosten überfahren werden und die Inertialwirkung zum Tragen kommt.

System	v [km/h]	α [°]	m [kg]	Verzögerung [g]	Verzögerung [g]	Weg [m]
				Spitzenwerte	gefiltert	
				x y z	x y z	
10 Fässer	87	0	1250	11,5 12 10	8 1 1	4.25
dito	80	34	1250	Fahrzeug durchbricht die Fässer unter Geschwindigkeitsabnahme		
dito, 80 cm seittl. versetzt	83	0	1265	Fahrzeug drückt Fässer zusammen, dreht sich dann & rollt rückwärts weg ("spinnout") keine Messwerte		
10 Fässer	94	0	1030	keine Messwerte gerechnet $x_{\text{mittel}} \approx 4.8\text{g}$, $x_{\text{max}} \approx 9\text{g}$		6.7
8 Fässer & Seile	94	1.5	1155	15.5 8 12.5	10.5 1.5 5	7
10 Fässer & Seile Anprall am Kopfbogen	60	33	1235	12 6 9	8.5 2.5 2	-
10 Fässer & Seile Anprall an Seile & Fässer	81	30	1230	13 6.5 8.5	11 4 2	5.4

In Anhang 4 (Seiten 4.2 - 4.9) sind verschiedene Testbeschriebe wiedergegeben.

8. Einfacher Anpralldämpfer für den Anfang von Betonleitmauern [8]

Schmaler, einfacher Anpralldämpfer aus dickwandigen Gummi-Rohrelementen mit Thrie-Beam-Schuppen an der Seite (auf Gleitkufen für leichtere Verschiebbarkeit) und Seilabspannung als seitlicher Führung. Einfacher Unterhalt.

Sechs Anfahrversuche mit leichten und schweren PW wurden durchgeführt: Die Rohrelemente setzen die Energie in innere Reibung um, ohne Beschädigung der Elemente; einzelne Schäden an Thrie-Beam und Gleitkufen (leicht verbogen); sehr geringe Fahrzeugschäden und Rückprallgeschwindigkeiten von max. 5 mph (8km/h). Im Anhang 5, Seite 5.3 gibt Tabelle 4 einen Überblick über die durchgeführten Tests, wobei leider keine Fahrzeugverzögerungen angegeben sind.

Die statische Steifigkeit der Gummizylinder ist eine Funktion des Verhältnisses von Aussendurchmesser und Wandstärke. Für die Energievernichtung (grosser Anteil der inneren Reibung, geringer elastischer Anteil) sind dickwandige Gummizylinder notwendig. Material: harter Naturgummi. Materialtests mit UV und Frost/Tau-zyklen ergeben eine gute Alterungsbeständigkeit des verwendeten Materials.

Der Aufbau ist auch aus den Abbildungen Anhang 5 auf Seite 5.2 gut ersichtlich.

Gummielemente: Durchmesser 71.1 cm, Wandstärken: 4.5 und 11.4 cm

Aufbau: Der Anpralldämpfer besteht aus 6 "dünn"wandigen Zylindern vorn und 7 dickwandigen Zylindern hinten. Zwischen den Gummizylindern befinden sich, ähnlich wie bei GREAT und RIMOB, Stahlschotte, durch die auch die seitlichen Führungsseile laufen und an denen die Thrie-Beam-Seitenplanken befestigt sind. Der erste Gummizylinder steht aufrecht (weiche Nase), die übrigen liegen quer. Stahlfedern sichern die Thrie-Beam-Schuppen gegen Windlasten.

Nach dem Anprall kann der Anpralldämpfer durch Anhängen von 4 Seilen am ersten Querschott wieder auseinandergezogen werden, und ist, sofern nicht noch verbogene Metallteile gerichtet werden müssen, wieder einsatzbereit.

Es wurden keine wesentlichen Temperatureinflüsse auf die Wirkung festgestellt; dies um so mehr, als der Anfang des Anpralldämpfers als Inertialsystem funktioniert (d.h. grosser Anteil der Trägheitskräfte).

Anhang 5 enthält Auszüge aus dem Forschungsbericht.

9. Connecticut-Anpralldämpfersystem [9]

Dieses System lässt sich wie folgt charakterisieren:

- Grosse Stahlzylinder, untereinander verschraubt, teilweise mit Zugbändern und Schubrohren ausgesteift (gegen seitlichen Anprall).
- Fängt auch seitlich anprallende Fahrzeuge eher auf, als dass es sie umlenkt (Umlenkung nur bei Anprall kurz vor dem Hindernis, auf die ausgesteiften Fässer).
- Anforderungen nach Doc. N° 191 & 230 erfüllt, billig, wiederverwendbar, keine fortfliegenden Teile, allgemein verfügbare Materialien.
- Gibt es auch als Anpralldämpfer für LW (einziges bekanntes Produkt).

Es ist besser, wenn ein Anpralldämpfer das Fahrzeug auch bei seitlichem Anprall aufhält (d.h. Energie vernichtet), statt es umzulenken (geringere Gefahr von Sekundärunfällen).

Aufbau: Betonboden mit Stahlschienen zum besseren Gleiten, geeignete Stützkonstruktion hinten. Die hinteren Ringe sind ausgesteift, wobei die Aussteifung aber primär beim seitlichen Anprall wirkt. Die Stahlzylinder werden mit einer Plane abgedeckt, um das Eindringen von Schnee, Eis, Laub und Abfall zu verhindern. Die Plane hat keinen Einfluss auf das Verhalten des Anpralldämpfers.

Abmessungen:

Breite: 1.2 m vorn; 3.75 m hinten

Länge: 7.82 m

Bauart: leicht V-förmig

Die Rohre wurden nach Test Nr. 8 aufgeschnitten, Versteifungen entfernt, das Blech plangewalzt, zu neuen Rohren geformt, versteift und einem weiteren Test (Nr. 9) unterworfen - mit guten Resultaten.

Einige Illustrationen aus dem Originalbericht sind im Anhang 6 wiedergegeben.

Anmerkung:

Bei Lohnniveaus, wie sie in der Schweiz herrschen, müsste allerdings eine rationellere Entbeulung verwendet werden, z.B. Anschweissen von Ösen, Rundziehen mittels Hydraulik, Spannungsfreiglühen, Korrosionsschutz. Der

verwendete weiche Stahl ist auf jeden Fall ein sehr geduldiges Material. Bei einer Gesamtmasse von 3.8 t und Herstellungskosten von ca. Fr. 2.50 / kg errechnen sich Gestehungskosten von Fr. 9'500.-- pro Stück. Der Bericht ist auch als Film erhältlich.

10. Anpralldämpfer für schmale Hindernisse [10]

Das Texas Transport Institute entwickelte einen schmalen, kostengünstigen Anpralldämpfer, der transportabel ist und auf Baustellen eingesetzt werden kann. Er besteht aus abwechselnd mit Sand gefüllten und leeren Blechfässern mit Seitenplanken. Die Funktionsweise ist eine Kombination aus Deformations- und Trägheitswirkung.

Aufbau: Fässer, Leitseile an der Seite, Thrie-Beam-Elemente an der Seite (Thrie-Beam: Verbreitertes Leitplankenprofil mit dreifacher Wellung). Fässer auf Füßen aus U-Profil stehend.

Die Fässer müssen leicht rutschen, um hohe Verzögerungswerte bei Frontalanprall und das Umkippen der Fässer bei seitlichem Anprall zu verhindern. Ausserdem dienen die Füße zusammen mit Zwischenböden und Aussteifungen zur Erhöhung des Schwerpunktes der Fässer, damit das Fahrzeug nicht überfährt.

Energievernichtung: Die leeren und halbvollen Fässer werden zusammengedrückt, die vollen Fässer werden beschleunigt.

- Erforderliche kinetische Energie, um ein Fass um 1.5 ft (0.457m) zusammenzudrücken: $36.6 \text{ kJ} = E_{k, \text{drum}}$
- Gesetze der Energie- und Impulserhaltung zur Abschätzung der mittleren Verzögerung:

$$E_{k, Fz, 0} - E_{k, \text{drum}} = E_{k, Fz, 1} \quad (16)$$

$$\frac{1}{2} m \cdot v_{Fz, 0}^2 - E_{k, \text{drum}} = \frac{1}{2} m \cdot v_{Fz, 1}^2 \quad (17)$$

Wobei m = Fahrzeugmasse, v = Geschwindigkeit, 0 = vorher, 1 = nachher

$$v_{Fz,1} = \{(m \cdot v_{Fz,0}^2 - 2 E_{k,drum}) / m\}^{1/2} \quad (18)$$

mittlere Beschleunigung während des Stosses:

$$\langle a \rangle = (v_{Fz,0}^2 - v_{Fz,1}^2) / 2 d \quad (19)$$

wobei d = Deformationsweg pro Fass

Ein sandgefülltes Fass wird ca. 6 in. (0.152 m) deformiert. Dabei gelten die Gesetze des inelastischen Stosses (Impulserhaltung):

$$m_i \cdot v_j = (m_i + m_d) \cdot v_F \quad (20)$$

$$v_F = (m_i \cdot v_j) / (m_i + m_d) \quad (21)$$

Wobei v_j = Geschwindigkeit des Fahrzeugs, nachdem es ein sandgefülltes Fass halb zusammengedrückt hat, v_F = Geschwindigkeit des Fahrzeugs nach Anprall, m_i = Masse des Fahrzeugs und der zusammengedrückten Fässer, m_d = Masse eines sandgefüllten Fasses.

4 Versuche, davon 1 seitlich, 2 frontal, 1 schräg vorn. Kein Kleinwagenversuch; Versuche erfolgreich.

Abmessungen: Breite: ≈ 78 cm (Fass ($\varnothing \approx 62$ cm) + 2 Thrie-Beam)

Länge: ≈ 13.6 m

Bauart: parallel

Die Anforderungen von TRB Circular 191 und NCHRP 230 werden erfüllt.
Der Aufbau und einige Bilder der Tests sind in Anhang 7 zu finden.

11. Anpralldämpfer - Verhalten, verbesserungswürdige Punkte [11]

Anpralldämpfer gehören zu den Verkehrssicherungsmassnahmen mit den günstigsten Kosten-Nutzen-Verhältnissen. Dies liegt aber auch daran, dass die ersten Anpralldämpfer an besonders gefährlichen Stellen aufgestellt wurden. Zusätzliche Anpralldämpfer bieten dementsprechend schlechtere Kosten-Nutzen-Verhältnisse.

Wichtig ist die richtige Konstruktion, richtige Anordnung und Überwachung der Anpralldämpfer. Bei guten Anpralldämpfern kommen viele Anfahrten mit Fahrerflucht vor (d.h. das Fahrzeug ist noch einigermaßen fahrtüchtig).

Die Studie umfasst 88 Anpralldämpfer, Erfassung der Umgebungseinflüsse 300 m vor Anpralldämpfer. Insgesamt 158 Unfälle (ohne Streifkollisionen), aber nur 19 Unfallrapporte, davon 15 bei Nacht. Von den 19 Rapporten betreffen 11 Unfälle mit Verletzten und 8 mit Sachschäden. Die Anpralldämpfer mussten 67 mal repariert werden (in einem Jahr; Okt. 83 + Sep. 84).

Wahrscheinlichkeitsrechnungen über Nutzen der Anpralldämpfer:

- Anpralldämpfer haben Anzahl Unfälle und Unfallschwere deutlich reduziert.
- Nutzen-Kosten-Verhältnis liegt bei 4 + 5, nationaler Mittelwert bei 3.1.
- Reparatur innert 11 Tagen nach einer Anfahrt, im Extremfall nach 2.7 Tagen, um Zweitanfahrt mit Wahrscheinlichkeit von $\geq 95\%$ zu vermeiden.
- Kontrollinspektion alle 36 Tage genügend. ($\geq 95\%$ aller Schäden vor Zweitanfahrt entdeckt).
- Anprallwahrscheinlichkeit hängt ab von Verkehrsmenge, LW-Anteil, Anzahl Fahrstreifen, Linienführung, Griffigkeit, Geschwindigkeit, Beleuchtung, Länge der Ueberholverbotszone vor dem Anpralldämpfer.
- An Verzweigungen auf Brücken 4, in Tunnels 3 und an Stützmauern 2.4 Anfahrten pro Jahr pro Anpralldämpfer. Anpralldämpfer in Verzweigungen werden 4.4 mal häufiger angefahren als solche am Strassenrand.

Folgende Unfälle wurden in die Untersuchung einbezogen:

(ungenügender Ausweichraum)

In Kentucky standen bis Ende 1983 121 GREAT und 139 Baustellen-GREAT, nebst ca. 384 älteren Installationen (einige nur temporär).

GREAT: Wirkung bei 7 von 33 Unfällen nicht gut (3 Überschläge und 4 Abpraller).
Baustellen-GREAT: Wirkung bei 3 von 19 Unfällen nicht gut (2 Abpraller und 1 Losreissen des GREAT-Systems).

Bei Frontalkollisionen war die Wirkung im allgemeinen besser als bei seitlichen Anfahrten. Meist werden die Fahrzeuge zum Stillstand gebracht. Hohe Anprallschwere. Verletzungsgefahr ist bei Kleinwagenanfahrten höher als bei grösseren Fahrzeugen (Verletzungsgefahr: LW $\approx$ 26 %, grosse PW $\approx$ 41 %, kleine PW $\approx$ 67 %). Nur wenige Kleinwagenunfälle. Fast keine Toten.

Anpralldämpfer verringern die tödlichen Unfälle um ca. 75 % und die Unfälle mit Verletzten um ca. 50 % (Ergebnis mehrerer Untersuchungen in USA).

13. Anpralldämpfer RIMOB

Der RIMOB, mit vollem Namen Rimpelbuis Obstakelbeveiliger, ist ein Anpralldämpfer nach plastischen Wirkungsprinzip. Die energieumwandelnden Elemente sind dünnwandige Rohre aus Aluminium, die beim Anprall harmonikaartig geknittert werden (eben "Rimpelbuis"), die in Kartuschen zu je drei Rohren eingesetzt werden. Die Kartuschen stützen sich auf Querschotte ab, an denen die Rollenfüsse und überlappenden Seitenpanele (mit "Knikstrippen", also Blechstreifen, die als doppeltes plastisches Scharnier funktionieren) befestigt sind. Zusätzlich sind die Querschotte über diagonale Kabel gegen seitliches Verschieben gesichert. Das vorderste Querschott hat dagegen Gleitfüsse, die in einer ca. 1 m langen Führungsschiene laufen, als zusätzliche Abstützung bei seitlichen Anfahrten.

Dieser Anpralldämpfer wurde vom Rijkswaterstaat resp. SWOV Ende der siebziger Jahre entwickelt, 1981/82 getestet, und wird von der Firma Prins NV in Dokkum (NL) zum Preise von ca. hfl. 12'000.- (kleine Unterschiede je nach Modell) hergestellt

Die in der folgenden Tabelle 3 (Seite 35) aufgelisteten Tests wurden mit Kleinwagen von 750 kg durchgeführt. Der Widerstand des ROMOB beträgt ca. 120 kN. Es werden vier Grundtypen hergestellt: V-270 (2.70 m Basisbreite, 7.585 m Länge, 7 Segmente), V-185 (1.85 m Basisbreite, 6.585 m Länge, 6 Segmente), V-145 (1.45 m Basisbreite, 4.585 m Länge, 4 Segmente), P (1.115 m Basisbreite, 4.585 m Länge, 4 Segmente). Die Breite der Nase beträgt einheitlich 1.115 m.

Der Abschluss des RIMOB ist konstruktiv sehr sauber durchgeführt: Die Seitenpanele haben gegenüber der notwendigerweise starren hinteren Abstützung eine Arbeitsbreite von 320 mm, sodass auch bei schwerem seitlichen Anprall an die hintere Ecke das Fahrzeug nicht mit der Abstützung in Kontakt kommt. Zudem ist der Anschluss an die nachfolgende Leitplanke durch die "Kelkbeugels" ebenfalls nachgiebig ausgebildet.

Vorteilhaft ist an der Verwendung von Aluminiumrohren als Knautschelemente, dass sie visuell auf Schäden kontrolliert werden können, während z. B. bei Hex-Foam-Kartuschen bei jeder Anfahrt davon ausgegangen werden muss, dass sie – z.T. von Auge nicht sichtbar – vorgeschwächt sind, was den Ersatz sämtlicher Hex-Foam-Kartuschen bedingt. Ausserdem tut man sich bei der Entsorgung ausgedienter Hex-Foam-Kartuschen schwer: Aufgrund des PU-Schaums werden sie als Sonderabfälle klassiert. Zerknautschte "Rimpelbuizen" hingegen gibt man ins Alurecycling.

Beproeuvings- datum	Proef- nummer	Constructie ¹⁾	Type botsing	Inrijhoek ²⁾	Inrij- snel- heid	Plaats eerste contact	ASI ³⁾
27 mei 1981	OB F4 OB F5	Rimob-V Rimob-V	Flank Frontaal	22° 15°	65 km/u 80 km/u	Half segment 4 Midden neus	1,8* 1,5
24 juni 1981	OB F6 OB F7	Rimob-V Rimob-V	Flank Frontaal	15° 0°	80 km/u 100 km/u	Begin segment 7 Midden neus	2,5* 1,5
26 augustus 1981	OB F8 OB F9	Rimob-V Rimob-P (4 segmenten)	Frontaal Frontaal	0° 0°	70 km/u 70 km/u	Excentrisch neus (0,5 m uit het hart) Midden neus	1,1 1,2
17 november 1981	OB F10	Rimob-V	Flank	15°	80 km/u	Eind 1e segment	17,7* (log. damp)
18 november 1981	OB F11 OB F12	Rimob-V Rimob-V	Frontaal Frontaal	0° 0°	100 km/u 80 km/u	Midden neus Excentrisch neus (0,5 m uit het hart)	G.R. 1,3
27 januari 1982	OB F13	Rimob-V	Frontaal	0°	100 km/u	Midden neus	G.R.

- 1) De Rimob-V betreft de constructie met een basisbreedte van 2,70 m. De Rimob-P is een parallel-constructie.
2) Bij flankbotsingen t.o.v. de flank; bij frontale botsingen t.o.v. het hart van de constructie.
3) ASI-waarden van een opnemer op de cardantunnel, tussen de beide voorpassagiers in. G.R. = Geen registratie.
* Deze waarden lijken niet reëel, zie par. 9.3.2.

Tabel 3. Overzicht van de uitgevoerde (verificatie) proeven OB F4 t/m F13.

14. Anpralldämpfer GREAT

GREAT steht für Guard Rail Energy Absorbing Terminal. Hergestellt wird er von der Firma Energy Absorption Inc., Chicago, Illinois, die auch den schon besprochenen Hex-Foam Cell Sandwich herstellt.

Beim GREAT handelt es sich um einen schmalen, parallelen Anpralldämpfer, der wahlweise 2', 2' 6" oder 3' (0.61, 0.76 oder 0.91 m) breit hergestellt wird. Je nach aufzunehmender Energie wird ein Kopfstück und bis zu 10 "bays", also modulare Zusatzlängen mit je einem Querschott samt Gleitfüßen etc. und einer Hex-Foam-Kartusche, montiert. Ab 4 Bays wird der GREAT zusätzlich durch ein Längsseil von 7/8" (22.2 mm) Ø gesichert. Die durchgehenden Leitschienen für die Gleitfüße sowie die daran befestigten Sicherungsketten gegen seitliche Anfahrten sind einzigartige Merkmale dieses Produktes.

Es existiert auch in einer Baustellen-Version mit durchgehender Bodenplatte aus Stahl und integrierter rückwärtiger Abstützung. Diese Bodenplatte braucht dann nur noch auf dem Strassenbelag verankert zu werden.

Neuere Produkte der Firma Energy Absorption umfassen auch mobile Anpralldämpfer zur Montage an Lastwagen und "pick-up trucks", also Lieferwagen. Als Knautschmaterial dient in diesen entweder Hex-Foam oder Aluminiumwabe (Gewichtsreduktion).

Die heutige Produktpalette der Firma Energy Absorption ist unter Rückgriff auf deren Werbebroschüren in Anhang 8 illustriert.

15. Umfahrbare Signale

15.1 Auftrag

Im Auftrag des Kantons Basel-Landschaft führte das Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau der ETH Zürich im August 1987 Anfahrversuche an Verkehrsschilder durch. Es wurden einerseits Ausfahrtstafeln (4 m²) für Autobahnen und andererseits grössere Wegweisertafeln (12 m²) geprüft. Die Versuche fanden auf unserem Versuchsgelände in Vauffelin bei Biel statt. Ziel der Versuche war die Erprobung umfahrbarer Ausführungen von Verkehrsschildern, d.h. von Verkehrsschildern, die für einen anprallenden Personenwagen keine wesentliche Gefahr darstellen. Zu Vergleichszwecken wurden zwei Versuche an herkömmlichen Ausfahrtstafeln durchgeführt. Insgesamt umfasste die Versuchsserie sechs Versuche. Diese Anfahrversuche sind als Ergänzung zu der in den Jahren 1975 und 1976 von der Bundesanstalt für Strassenwesen in Deutschland durchgeführten umfangreichen Versuchsserie zu betrachten.

[Literatur: M. Domhan: Erprobung passiver Schutzeinrichtungen für Strassen, Teil II, Bundesanstalt für Strassenwesen Köln, 1977].

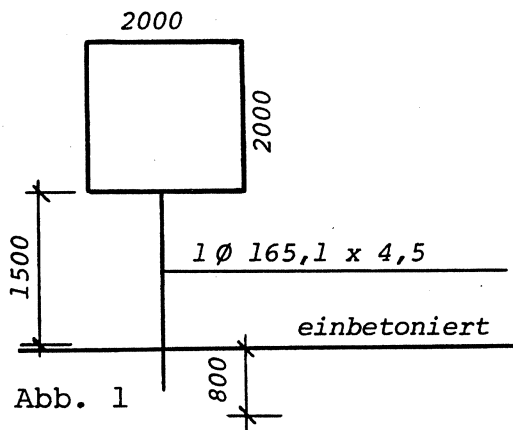
15.2 Versuchsprogramm

Insgesamt waren 5 Anfahrversuche vorgesehen. Durchgeführt wurden sechs Versuche, da beim kleinen Gabelständer für die Ausfahrtstafel in umfahrbarer Ausführung zwei Varianten der Verbindung Ständerrohr-Fussplatte getestet wurden.

Zur besseren Vergleichbarkeit wurden alle Versuche mit einem einheitlichen Fahrzeugtyp und annähernd gleichem Fahrzeuggewicht von ca. 900 kg durchgeführt. Verwendet wurde der Opel Kadett (C). Die Versuche 1 bis 5 wurden mit der Version Caravan und der Versuch 6 mit dem Coupé gefahren. Die Fahrzeuggewichte lagen zwischen 850 kg und 910 kg.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Versuchsobjekte mit Angabe der geplanten Versuchsbedingungen.

- Herkömmliche Schilder Versuch VS 1



Schild: Lamellenbauweise System BOB

Klemmschellen: 3

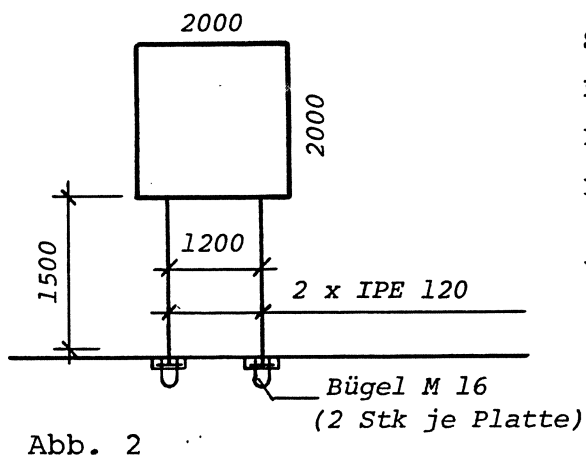
Pfosten: 1 Rundpfosten 165,1 x 4,5

Pfostenbefestigung: einbetoniert

Versuchsbedingungen:

- Anprallgeschwindigkeit: 80 km/h
- Anprallwinkel: frontal 0°

Versuch VS 2



Schild: Lamellenbauweise System BOB

Klemmschellen: 9 pro Pfosten

Pfosten: IPE 120

Pfostenbefestigung: Fussplatte; 4 M 16,
Ankerbügel

Versuchsbedingungen:

- Anprallgeschwindigkeit: 80 km/h
- Anprallwinkel: frontal 0°
(gegen linken Pfosten)

- Umfahrbare Schilder

Versuch VS 3

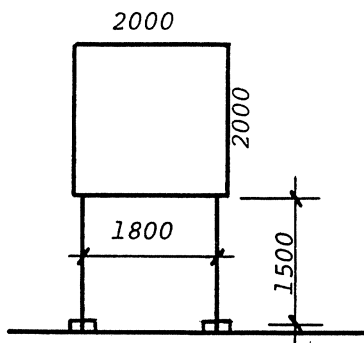


Abb. 3

Schild: Lamellenbauweise System BOB

Klemmschellen: 2 pro Ständer

Pfosten: 2 Gabelständer, Spreizung 1000

Rohrpfosten $\varnothing 60,3 \cdot 2,9$,

Diagonalen $\varnothing 26,9 \cdot 2,65$

Pfostenbefestigung: Fussplatte, Rohrpfosten durchgesteckt und beidseits stark verschweisst; 4 M 16 (hinten rechts nur 2 M 16), Dübel Hilti HSLG

Versuchsbedingungen:

- Anprallgeschwindigkeit: 80 km/h

- Anprallwinkel: frontal 0° (gegen linken Ständer)

Versuch VS 4

wie Versuch VS 3, aber andere Pfostenbefestigung:

Pfostenbefestigung: Fussplatte mit aufgeschweissten Rohrpfosten, Kehlnaht $a = 3 \text{ mm}$.

Versuch VS 5

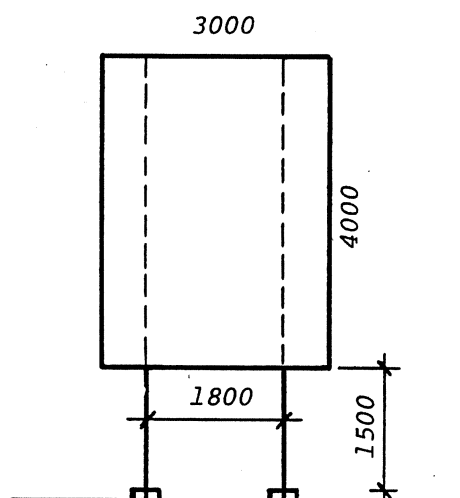


Abb. 4

Schild: zweiteilige Alu-Tafel

Klemmschellen: 3 pro Ständer

Pfosten: 2 Gabelständer, Spreizung 1000

Rohrpfosten $\varnothing 60,3 \cdot 2,9$;

Diagonalen $\varnothing 26,9 \cdot 2,65$

Pfostenbefestigung: Fussplatte mit aufgeschweissten Rohrpfosten (Kehlnaht $a = 3 \text{ mm}$), 4 M 16, linker Ständer Ankerbügel, rechter Ständer Dübel Hilti HSLG

Versuchsbedingungen:

- Anprallgeschwindigkeit: 100 km/h

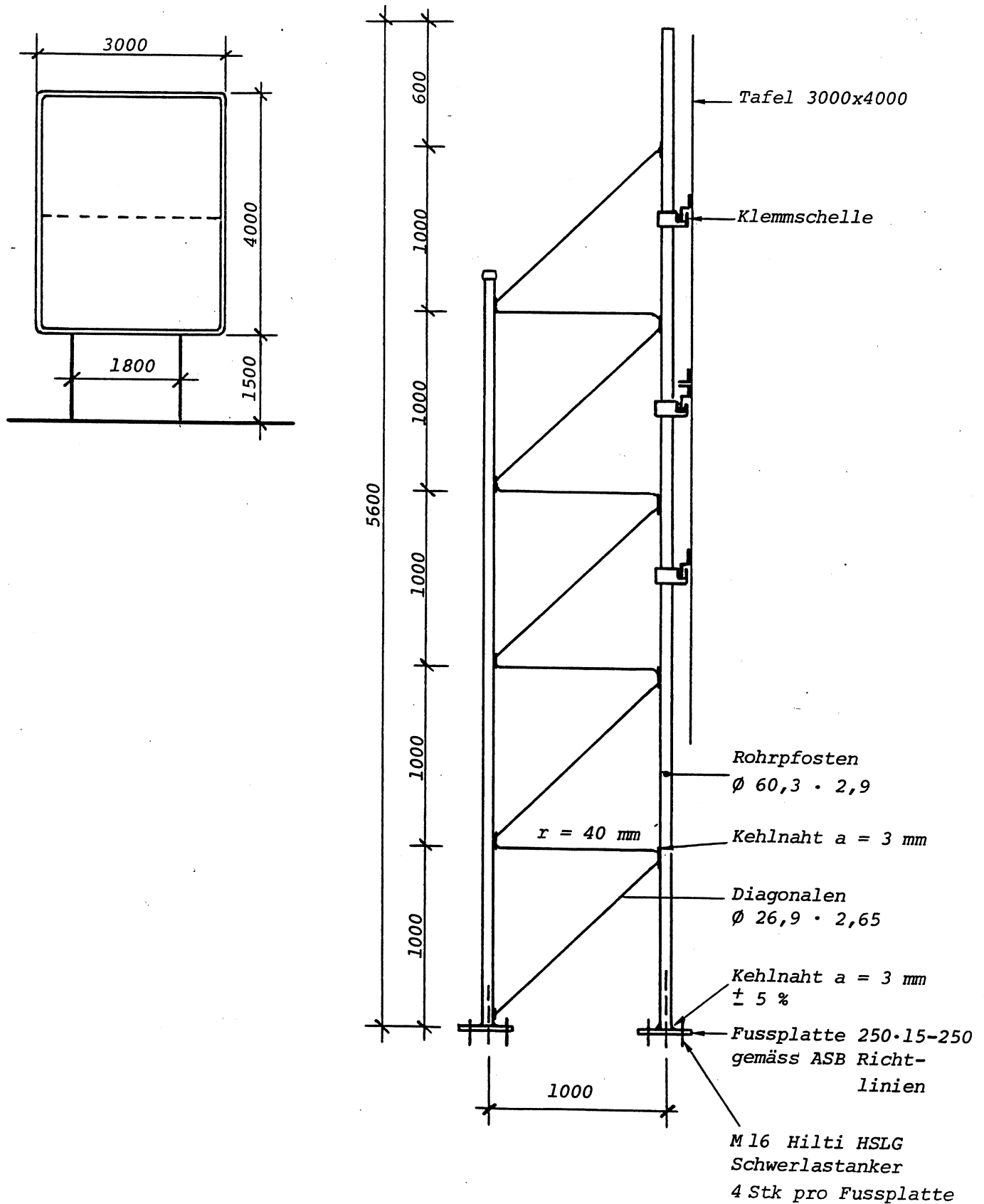
- Anprallwinkel: 45° gegen linke Seite

Versuch VS 6

wie Versuch VS 5, aber andere Geschwindigkeit

- Anprallgeschwindigkeit: 40 km/h

Abbildung 5: Systemskizze umfahrbarer Wegweiser
(grosse Ausführung)



VERSUCHSERGEBNISSE

Bemerkungen zu den Versuchsprotokollen

- Verzögerungswerte

Die Verzögerungen der Fahrzeuge wurden mittels Beschleunigungsgebern gemessen und über ein Schleppkabel übertragen. Die Werte der Fahrzeugverzögerungen wurden entsprechend dem ISO-Norm-Entwurf (ISO/TC 22SC 12 175 E 7) mit der Filterfrequenz von 100 Hz bei 3 dB Abfall aufgezeichnet.

Die geglättete Kurve gibt die mittleren Verzögerungen über 50 millisec. an.

- ASI-Wert: (acceleration severity index)

Der ASI-Wert ist ein Index für die Anprallsschwere und Verletzungsgefahr der Fahrzeuginsassen. Bei $ASI > 1$ sind normalerweise schwere Verletzungen für angeschnallte Fahrzeuginsassen zu erwarten

$$ASI = \sqrt{\left(\frac{x}{12g}\right)^2 + \left(\frac{y}{9g}\right)^2 + \left(\frac{z}{10g}\right)^2}$$

x = Längsverzögerung über 50 msec

y = Querverzögerung über 50 msec

z = Vertikalverzögerung über 50 msec

- Beurteilung

Die Beurteilung der Versuchsabläufe erfolgt nach den Kriterien der passiven Sicherheit. Beim Anprall sollen weder unbeteiligte Dritte noch die Fahrzeuginsassen gefährdet werden. Das bedeutet:

- Es dürfen keine Teile wegfliegen, die andere gefährden können.
- Die Fahrtrichtung des Unfallfahrzeugs soll nicht verändert werden.
- Die Verzögerungen beim Anprall sollen für die Insassen des Unfallfahrzeugs erträglich sein.

- Es dürfen keine Teile in das Fahrzeug eindringen und der Fahrgastraum soll unversehrt bleiben.
- Die Beschädigungen an Fahrzeug und Schild sollen möglichst gering sein.

Entsprechend diesen Kriterien erfolgt die Bewertung der Versuchsabläufe in : sehr gut, gut, befriedigend und ungenügend.

3.2. Anfahrversuche

Nachfolgend sind die sechs Anfahrversuche aufgeführt mit:

- Messwerte (Versuchsbedingungen und Versuchsergebnisse),
- Beschreibung des Versuchsablaufes,
- Verzögerungsdiagramme,
- Fotos.

15.3 Folgerungen

Die Schilder herkömmlicher Ausführung stellen sehr gefährliche Hindernisse dar. Dies gilt ganz besonders auch für die Ausfahrtstafeln heutiger Bauart auf Autobahnen. Aufgrund ihres exponierten Standortes ist einerseits die Gefahr von Anfahrten relativ gross, andererseits können sie vielfach wegen ihres Standortes nicht oder nur schlecht mit Leitschranken geschützt werden.

Die Versuche an den neuen, umfahrbaren Ausführungen von Verkehrsschildern haben sehr gute Resultate ergeben und die positiven Ergebnisse aus Deutschland voll bestätigt. Auch bei den seitlichen Anfahrten an grosse umfahrbare Wegweiser sind keine Probleme aufgetreten.

Kurz zusammengefasst lauten die wichtigsten Erkenntnisse bezüglich der Gefährdung Dritter oder der Insassen des Unfallfahrzeugs folgendermassen:

- In keinem der Versuche sind irgendwelche Teile in gefährlicher Art weggeschleudert worden. Die Klemmschellen sind jeweils an den abgerissenen Ständern verblieben.
- Es sind keine Teile auf einen allfälligen parallelen Fahrstreifen gefallen oder geschleudert worden. Losgerissene Teile sind vom Unfallfahrzeug in Anfahrtrichtung mitgeschleppt worden oder nahe beim Standort des Schildes zu Boden gefallen.
- Die anprallenden Unfallfahrzeuge sind geradeaus weitergefahren und wären somit nicht in unkontrollierbarer Bogenfahrt auf die Fahrbahn zurückgekommen. Ausgenommen Versuch VS 2 an der herkömmlichen Ausführung der Ausfahrtstafel mit 2 Pfosten IPE 120.
- Die Unfallfahrzeuge blieben nach dem Anprall an die umfahrbaren Schilder für den Fahrer kontrollierbar. In keinem der Versuche mit den neuen Schildern wurden die Lenkung (allenfalls durch Karosseriedeformationen etwas beeinträchtigt), die Bremsen oder die Reifen beschädigt.

- Die Gefährdung der Insassen des Unfallfahrzeugs war bei den beiden Anfahrversuchen an die herkömmlichen Schilder sehr gross.
- Bei den Anfahrversuchen an die umfahrbaren Schilder wurden die Fahrzeuginsassen nur gering gefährdet. Die Verzögerungswerte lagen sehr tief und wären dementsprechend gut erträglich. Der Fahrgastraum wurde in keinem Fall beschädigt und es sind keine Teile in den Fahrgastraum eingedrungen.

Aufgrund dieser sehr guten Versuchsergebnisse sollten die Verkehrsschilder künftig generell (sofern möglich) umfahrbar gestaltet werden. Dies gilt ganz besonders für die Ausfahrts- tafeln auf Autobahnen. Umfahrbare Verkehrsschilder sollen nicht durch Leitschranken geschützt werden, da ein Anprall an ein umfahrbares Schild für die Insassen des Unfallfahrzeugs eher ungefährlicher ist als ein Leitschranken-anprall und ausserdem die Anprallwahrscheinlichkeit wegen der geringen Ausdehnung des Schildes verglichen mit Leitschranken kleiner ist. Ferner entfällt die Gefährdung durch Leitschranken-anfänge. Bei der Anwendung von umfahrbaren Schildern sind zwei Punkte zu beachten:

- hinter dem Schild muss ein genügender Freiraum (ohne Hindernisse) für das Ausrollen bzw. die Bremsstrecke des Unfallfahrzeugs vorhanden sein.
- wenn umfahrbare Schilder auf ansteigenden Böschungen stehen, besteht die Gefahr, dass das Unfallfahrzeug mitsamt allenfalls mitgeschleppter Teile auf die Fahrbahn zurückgelenkt wird (analog Abprallgefahr bei Leitschranken).

Die fachgerechte Anwendung umfahrbarer Verkehrsschilder stellt einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung der passiven Sicherheit auf Strassen dar. Die Versuchsergebnisse sind sehr positiv.

Nach Abschluss der Studie hat Direktor K. Suter ASB die Kantonsingenieure und die Chefs der kantonalen Autobahnbüros über die Resultate orientiert (Rundschreiben vom 24. August 1988), Anhang 9). Auf weitere Literaturstudie wurde deshalb verzichtet.

16. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

In der vorliegenden Literaturstudie über Anpralldämpfer und umfahrbare Signale und Lichtmasten wurden sowohl ausländische Vorschriften, Testbedingungen und Unfallanalysen als auch reine Systembeschreibungen ausgewertet. Es zeigte sich, dass detaillierte Angaben bestehen und dass solche Elemente der passiven Sicherheit vor allem auf Hochleistungsstrassen zum Einsatz gelangen.

Die Unfalldaten zeigen, dass – praktisch unabhängig vom System – die Unfallschwere, z.T. sogar auch die Unfallhäufigkeit zurückging.

Den ausgewerteten Vorschriften und Leitfaden ist eines gemeinsam: Die beschriebenen Sicherheitselemente sollen nur dort zur Anwendung kommen, wo eine objektive Gefahr nicht durch andere Mittel beseitigt werden kann.

Die Untersuchung kommt zu folgenden Empfehlungen:

1. Bevor Anpralldämpfer und ähnliche passive Schutzeinrichtungen angeordnet werden, ist eine Gefahrenanalyse durchzuführen. Insbesondere ist zu prüfen, ob Gefahren nicht durch Projektänderungen im Detail und durch Verwendung anderer Materialien/Konstruktionen (z.B. umfahrbare Signalständer usw.) behoben werden können.

Dies bedeutet, dass das Ziel des Projektanten darin bestehen soll, Gefahren zu erkennen und im Projekt zu vermeiden, so dass sich solche Einrichtungen, die vor Gefahren schützen sollen, erübrigen.

2. Da solche Einrichtungen der passiven Sicherheit bestehen, sollten zusammen mit den zuständigen Stellen / Verantwortlichen der Kantone, die Unfalldaten und Unfallanalysen sowie die Unterhalts-/Reparaturkosten zentral gesammelt und ausgewertet werden.

3. Aufgrund der obigen Empfehlungen ist die Forschungsstelle der Auffassung – zumindest im Moment und unter Berücksichtigung der vorhandenen finanziellen Mittel – dass es sich erübrigt, grössere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten einzuleiten.

17. Verzeichnis der Quellen

- [1] Entwurf Euronorm (in Bearbeitung)
- [2] US-Department of Transportation FHWA 1975 [2]
- [3] NCHRP 230, 1981
- [4] Dipl. Ing. W. Nazet "Schutzeinrichtungen an Trenninselspitzen mit festen Hindernissen, IX. World Meeting - Stockholm 1981
- [5] Guide for Selecting, Locating and Designing Traffic Barriers, AASHTO 1977
- [6] Hex-foam Cell Sandwich; Firma Energy Absorption; Generalvertretung CH, Signatec AG, Frauenfeld
- [7] Französische Anpralldämpfer
- [8] Transportation Research Record 1065, Dean L. Sicking & Hayes E. Ross, Jr.
- [9] TRR 1024; J.C. Carney III, C.E. Dougan, M.W. Hargrave, ca. 1984
- [10] TRR 942; Dean L. Sicking & Hayes E. Ross jr., ca. 1982
- [11] TRR 1065; M.Y. Hough, K.M. Epstein, J. Lee, ca. 1984
- [12] TRR 1024, J.G. Pigmann, K.R., Agent, T. Creasy, ca. 1984

18. Verzeichnis der Anhänge

- Anhang 1: Testbedingungen gemäss europäischem Normentwurf
- Anhang 2: Auswahl und Auslegung von Anpralldämpfern gemäss FHWA
- Anhang 3: Hex-foam Cell Sandwich
- Anhang 4: Französische Anpralldämpfer (Fässer), Versuchsergebnisse
- Anhang 5: Einfacher Anpralldämpfer für den Anfang von Betonleitmauern (Auszug aus dem Forschungsbericht)
- Anhang 6: Connecticut Anpralldämpfer
- Anhang 7: Anpralldämpfer für schmale Hindernisse
- Anhang 8: Das GREAT - System
- Anhang 9: Rundschreiben des ASB vom 24. August 1988 betreffend umfahrbare Signalstände

ANHANG 1

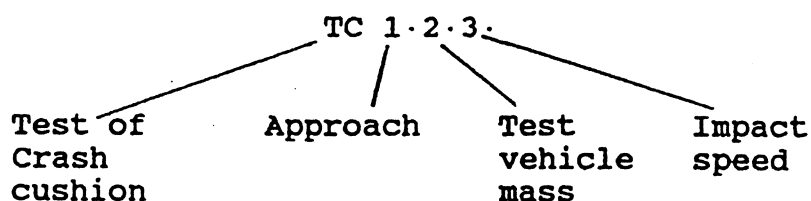
Testbedingungen gemäss europäischem Normentwurf

Table 1 - Crash Cushions Vehicle Impact Test Criteria

Test (*)	Approach	Test Vehicle Mass (kg)	Velocity (km/h)	Fig
TC1.1.1 TC1.1.2 TC1.1.3	Head-on, centre	825	50 80 100	1
TC1.2.1 TC1.2.2 TC1.2.4	Head-on, centre	1500	50 80 110	1
TC2.1.1 TC2.1.2 TC2.1.3	Head-on, 1/4 vehicle offset	825	50 80 100	2
TC3.1.2 TC3.2.4	Nose, at 15°	825 1500	80 110	3
TC4.2.2 TC4.2.4	Side impact at 20°	1500 1500	80 110	4(a), (b), (c)
TC5.2.2 TC5.2.4	Side impact at 160°	1500 1500	80 110	5

The acceptance tests required for each Performance Class are reported in Table 2.

Note 1: Test notation (*) is as follows:



Note 2: Vehicle specifications and tolerances are detailed in Part 4 of this Standard.

Table 2 - Performance classes - Crash cushions

Performance class		Acceptance Test (TC....)
A	NR	1·1·1, 1·2·1, 2·1·1
	R	1·1·1, 1·2·1, 2·1·1
B	NR	1·1·2, 1·2·2, 2·1·2, 3·1·2, 4·2·2*
	R	1·1·2, 1·2·2, 2·1·2, 3·1·2, 4·2·2*, 5·2·2*
C	NR	1·1·3, 1·2·4, 2·1·3, 3·2·4, 4·2·4*,
	R	1·1·3, 1·2·4, 2·1·3, 3·2·4, 4·2·4*, 5·2·4*

Note: Tests marked (*) will not be required where this vehicle approach is not possible (eg at a toll booth / gate)

ANHANG 2

Auswahl und Auslegung von Anpralldämpfern gemäss FHWA

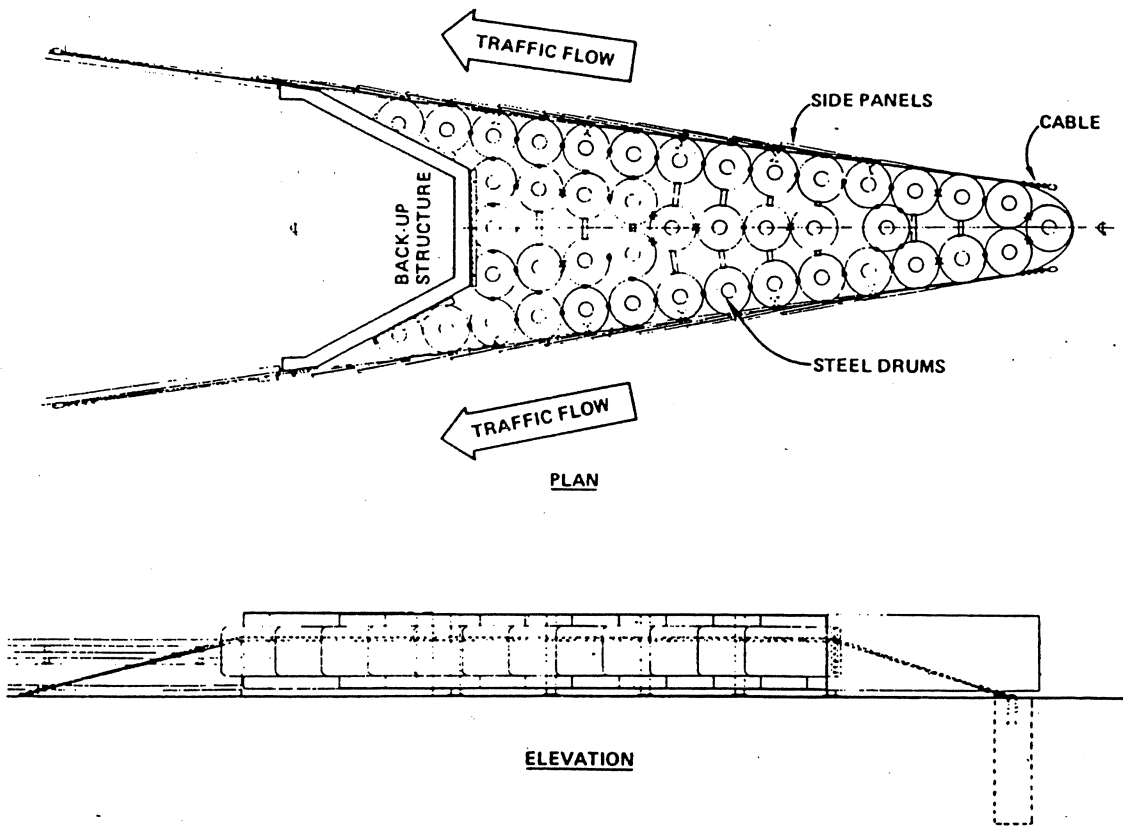


FIGURE 1. Typical Steel Drum Crash Cushion Installation.

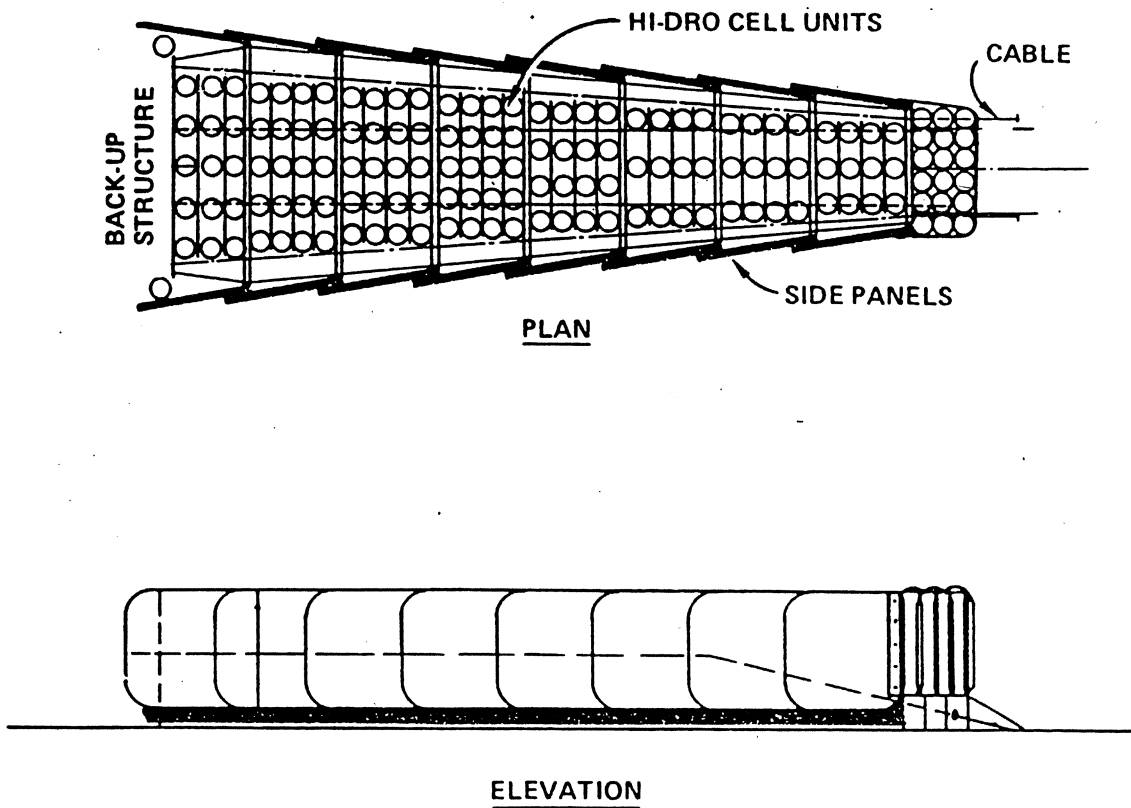


FIGURE 2. Typical Hi-Dro Cell Sandwich Crash Cushion Installation.

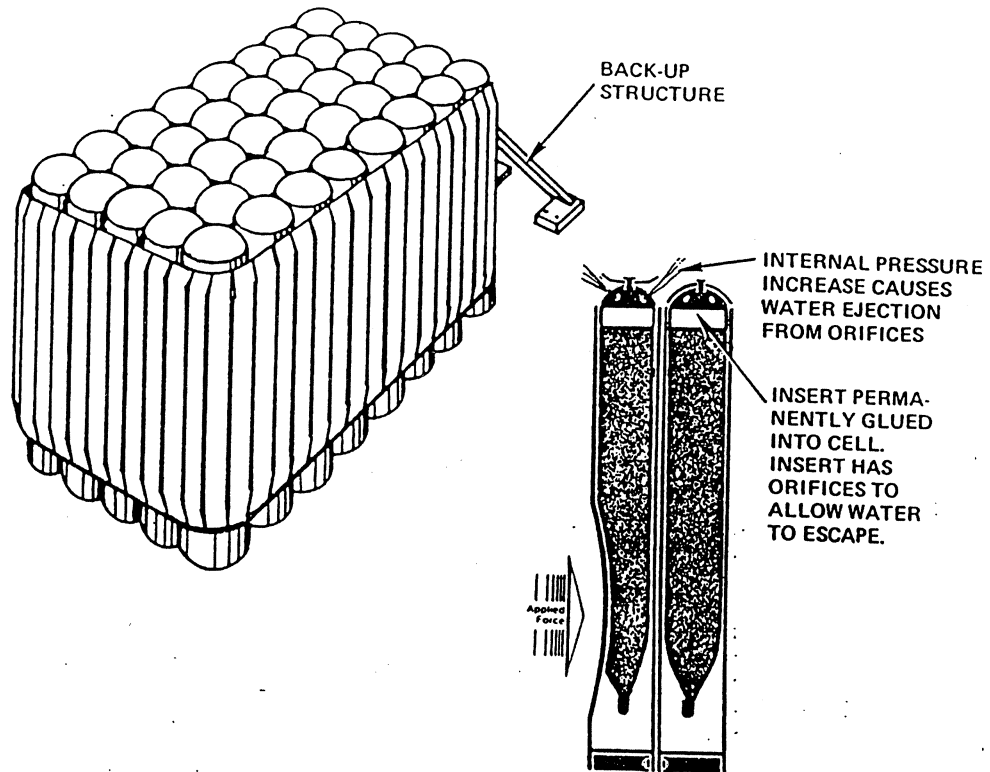


FIGURE 3. Typical Hi-Dri Cell Cluster Crash Cushion Installation.

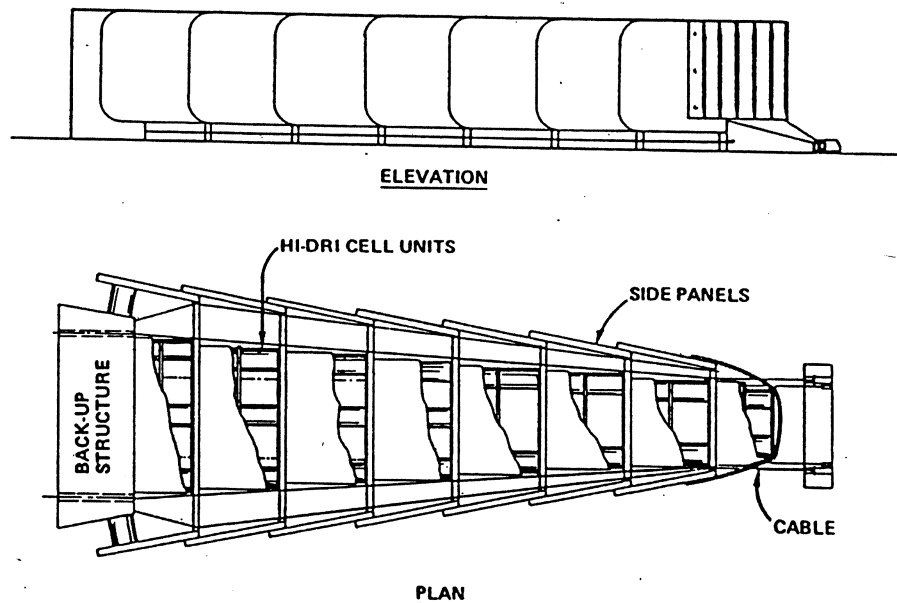


FIGURE 4. Typical Hi-Dri Cell Sandwich Crash Cushion Installation.

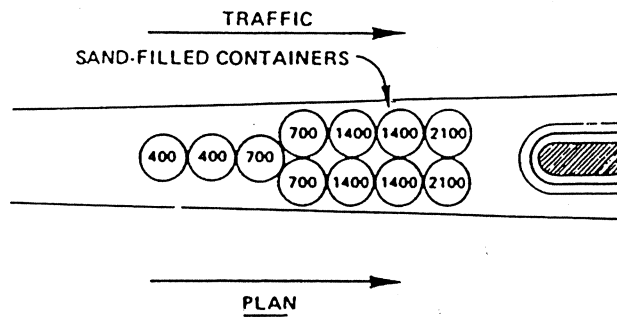


FIGURE 5. Typical Fitch Inertial Crash Cushion Installation.

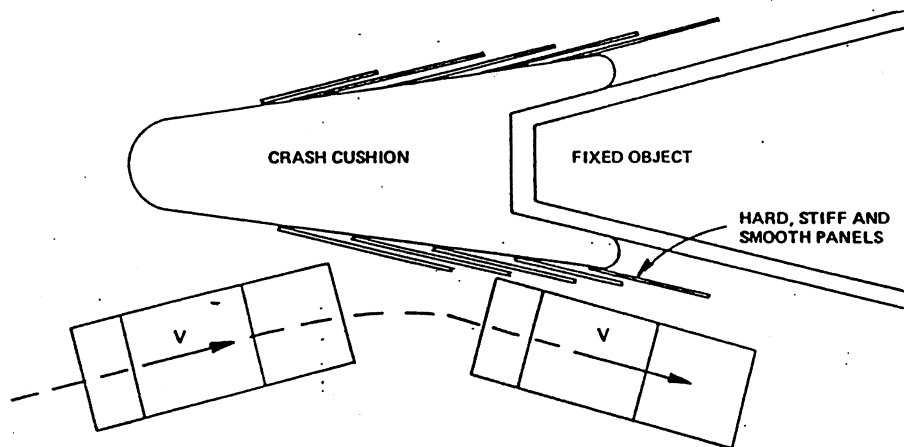


FIGURE 7. Vehicle angle impact into crash cushion with redirection capability.

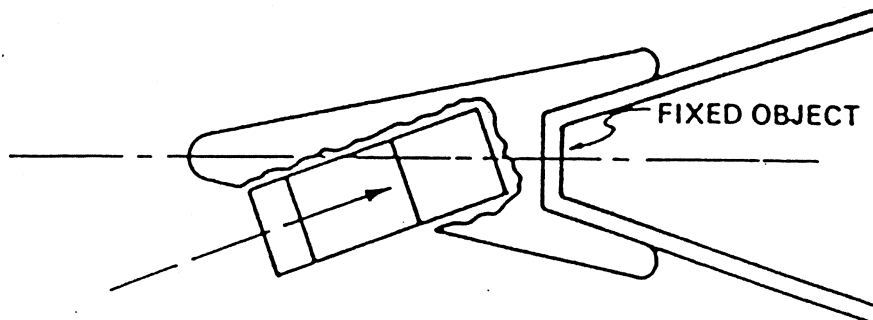


FIGURE 8. Vehicle angle impact into crash cushion with no redirection capability.

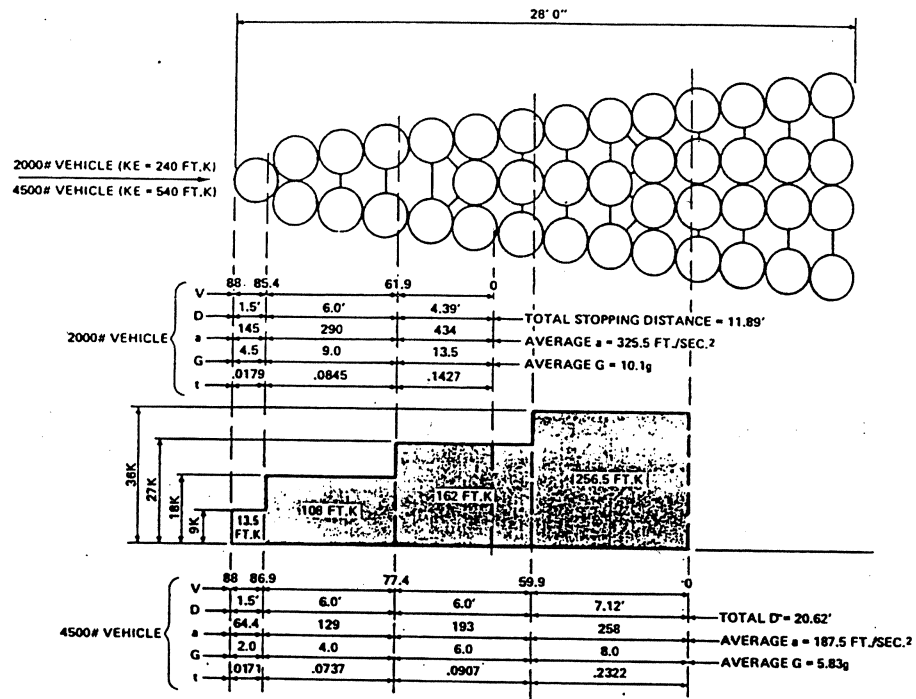


FIGURE 16.

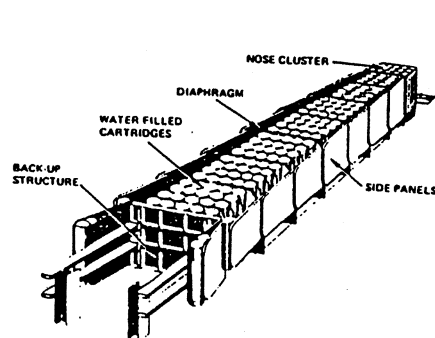


FIGURE 17: Example of III-Dri Cell Crash Cushion Installation.

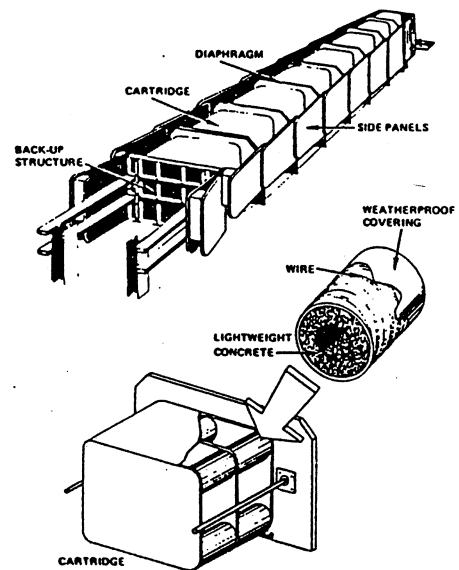


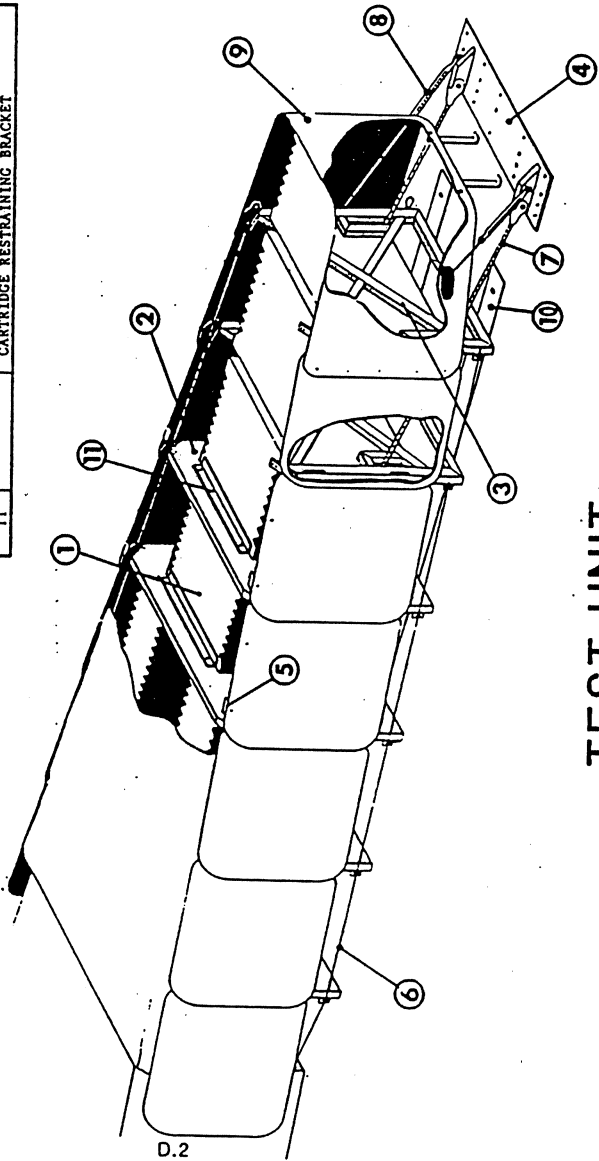
FIGURE 20: Example of III-Dri Cell Crash Cushion Installation.

ANHANG 3

Hex-foam Cell Sandwich

KEY

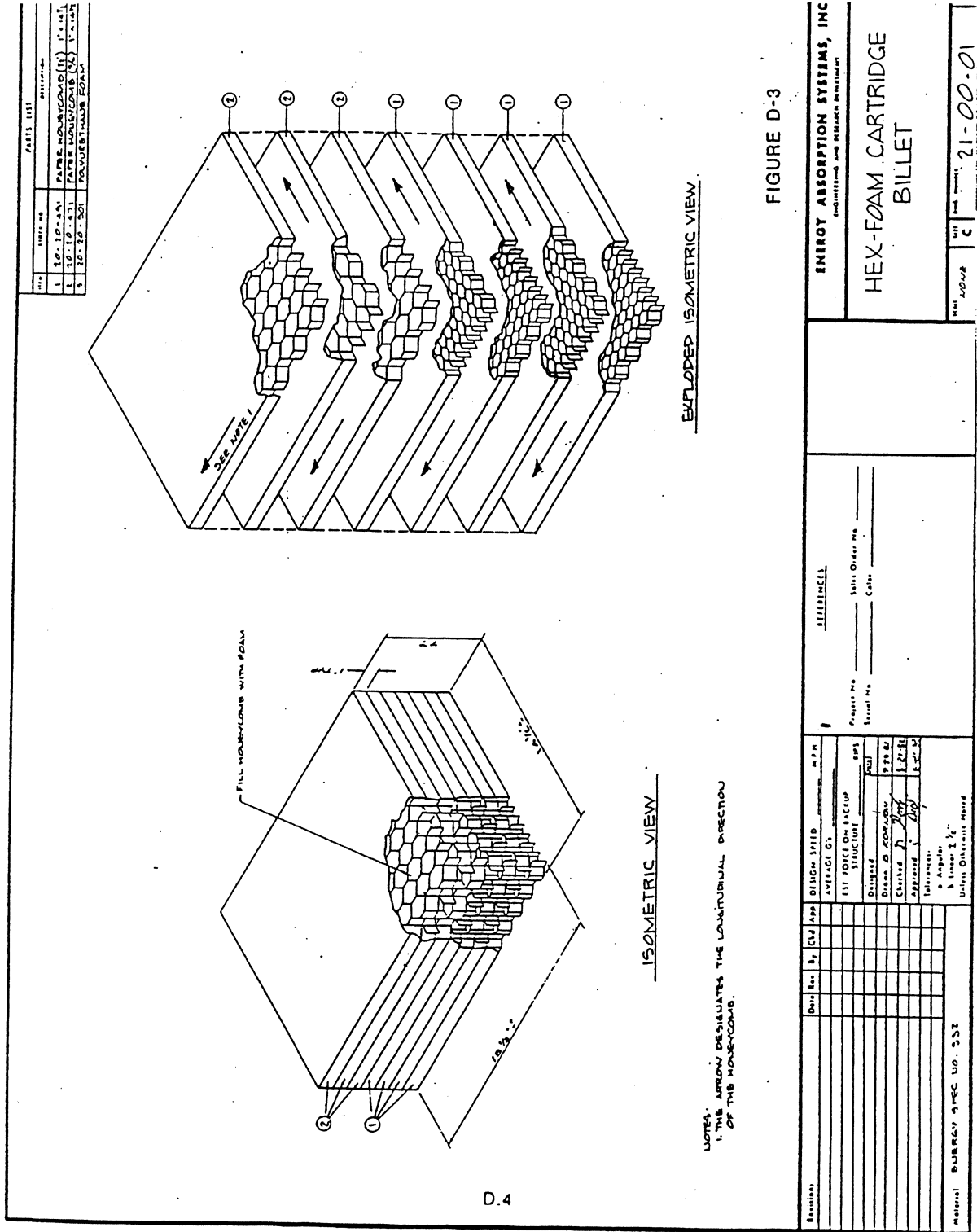
ITEM	STOCK NO.	DESCRIPTION
1		HEX-FOAM CARTRIDGE TYPE 80, 81 & 82
2		HI-DRO AND HI-DRI DIAPHRAGM ASSEMBLY
3		HEX-FOAM RETROFIT DIAPHRAGM
4		FRONT CABLE ANCHOR PLATE
5		FENDER PANEL STABILIZING BRACKET
6		PULL OUT CABLE
7		RESTRAINING CABLE
8		SECONDARY CABLE
9		SAFETY FLEX BELT
10		SLIDE STRAP
11		CARTRIDGE RESTRAINING BRACKET



TEST UNIT

FIGURE D-1

NAME	DATE	TIME	DATE
NONE	C		35-09-50



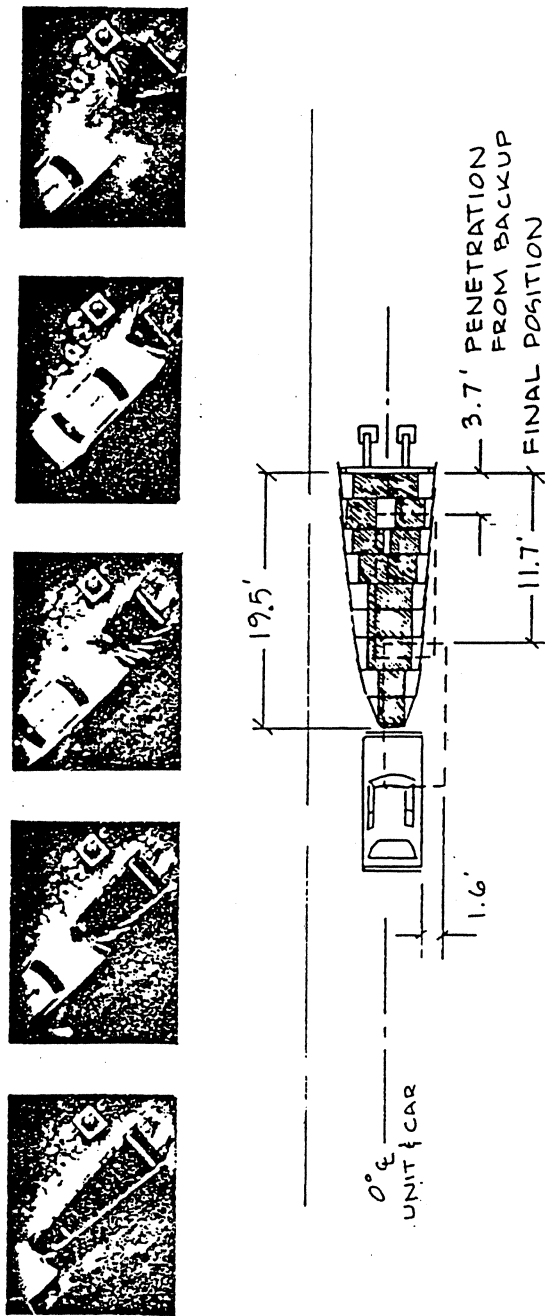


FIGURE 1. SUMMARY OF RESULTS - CELL SANDWICH TEST 13

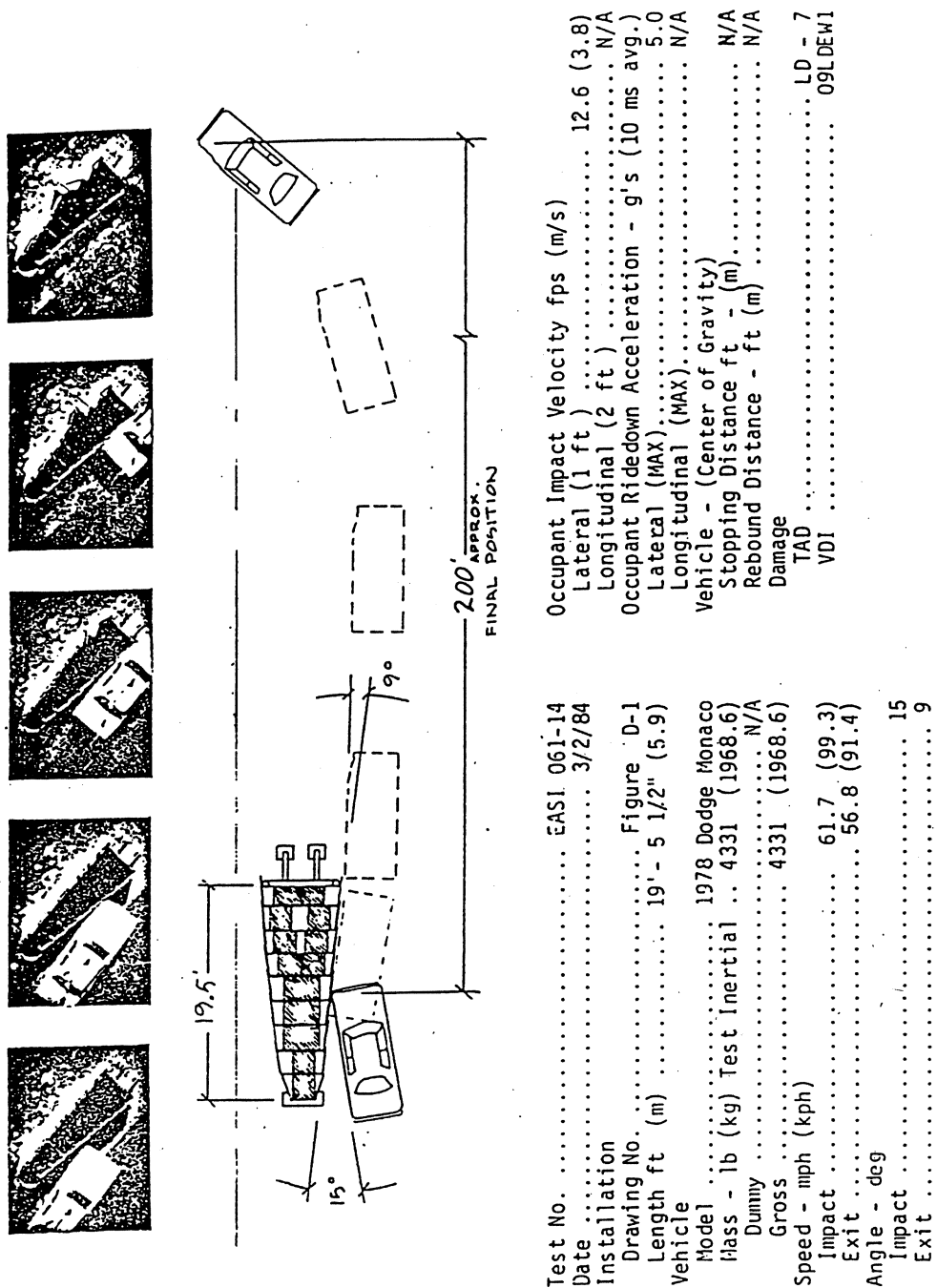
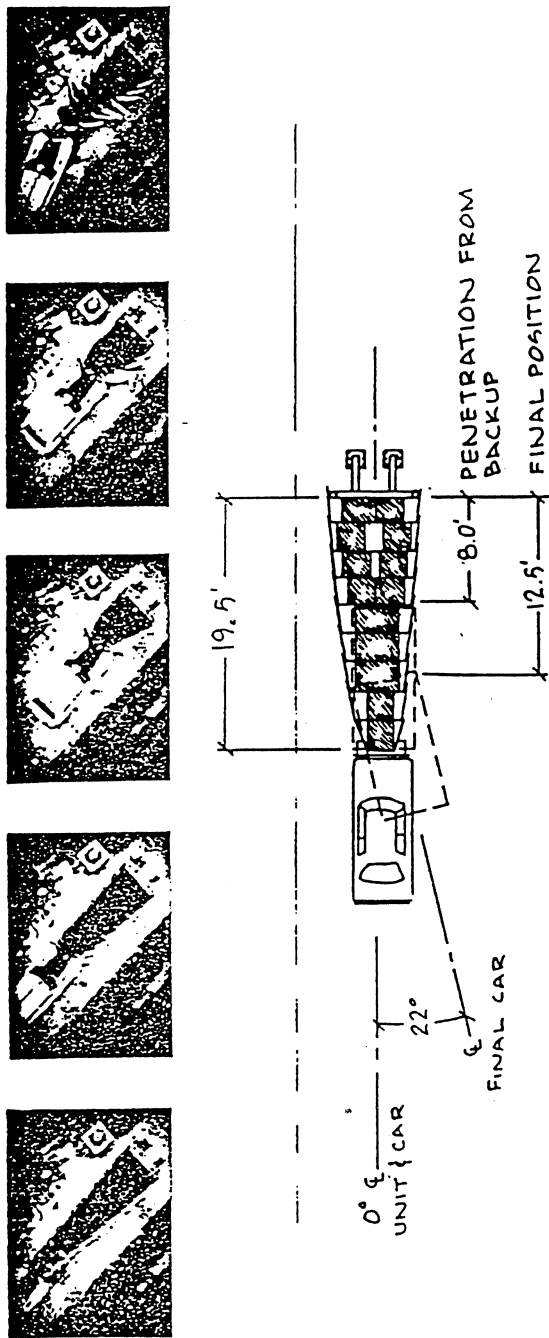
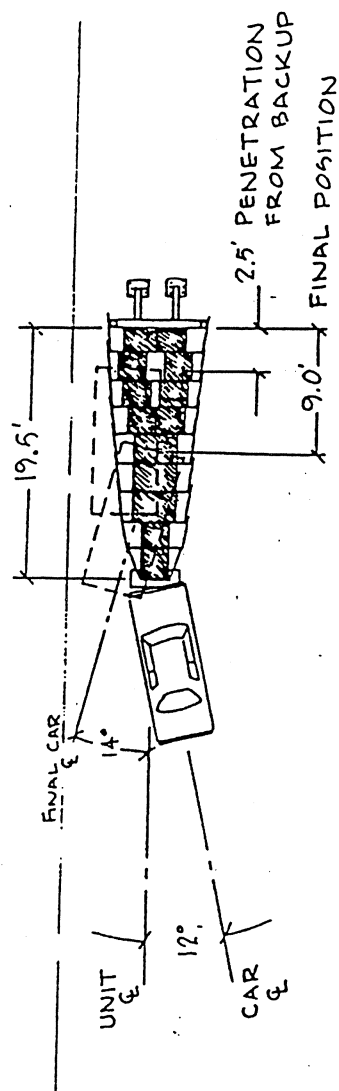


FIGURE 8. SUMMARY OF RESULTS - CELL SANDWICH TEST 14



Test No.	FASI 061-16	Occupant Impact Velocity fps (m/s)
Date	3/16/84	Lateral (1 ft.) 8.9 (2.7)
Installation		Longitudinal (2 ft.) 36.3 (11.1)
Drawing No.	Figure D-1	Occupant Ridedown Acceleration - g's (10 ms avg.)
Length ft. (m)	19'-5 1/2" (5.9)	Lateral (MAX) 2.6
Vehicle		Longitudinal (MAX) 15.2
Model	1978 Honda Civic	Vehicle - (Center of Gravity)
Mass - lb (kg) Test Inertial ...	1810 (822.7)	Stopping Distance ft. - (m) 12' - 10" (3.9)
Dummy	165 (75)	Rebound Distance - ft (m) 5' - 9 1/2" (1.8)
Gross	1975 (897.7)	Damage
Speed - mph (kph)		TAD FD - 2
Impact	65.1 (104.8)	VDI 12FDEW1
Exit	N/A	
Angle - deg		
Impact	0	
Exit	N/A	

FIGURE 15. SUMMARY OF RESULTS - CELL SANDWICH TEST 16



Test No.	.....	EASI 061-17	
Date	.....	3/23/84	
Installation	.....		
Drawing No.	.....	Figure D-1	
Length ft. (m)	.....	19' - 5 1/2" (5.9)	
Vehicle	.....		
Model	.....	1977 Ford LTD Wagon	
Mass - lb (kg)	.....	Test Inertial 4685 (2130)	
Dummy	.....	N/A	
Gross	.....	4685 (2130)	
Speed - mph (kph)	.....		
Impact	.....	62.2 (100.1)	
Exit	.....	N/A	
Angle - deg	.....		
Impact	.....	12	
Exit	.....	N/A	

FIGURE 22 - Summary of Results, - Cell Sandwich Test 17

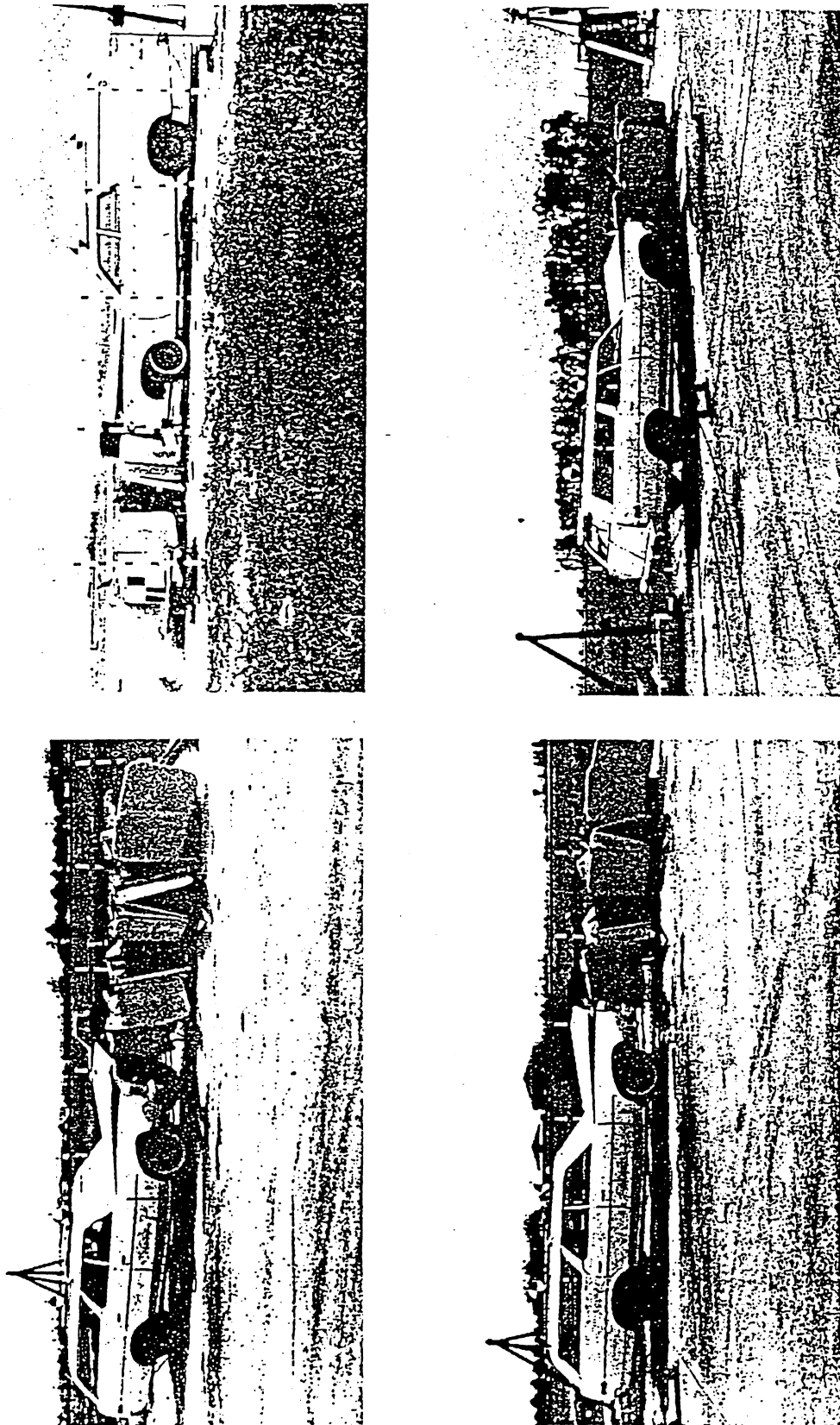


FIGURE 24- BARRIER DAMAGE/DEBRIS PATTERN - CELL SANDWICH TEST 17

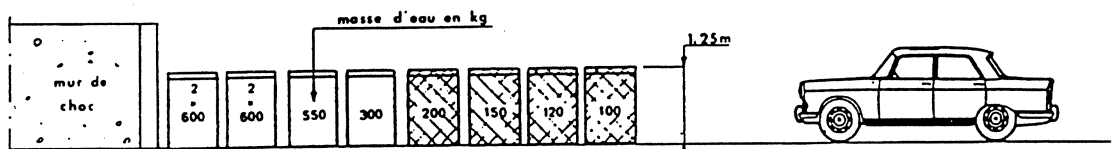
ANHANG 4

Französische Anpralldämpfer (Fässer),
Versuchsergebnisse

BUT DE L'ESSAI : Après une étude d'industrialisation de l'atténuateur hydraulique, cet essai est réalisé pour confirmer que les modifications des composants par rapport au choc AIH.02 sont faibles et que les performances sont conservées sous un choc frontal axé. Un filet enveloppe les 4 premiers fûts pour éviter les éventuelles projections de gros éclats de fûts.

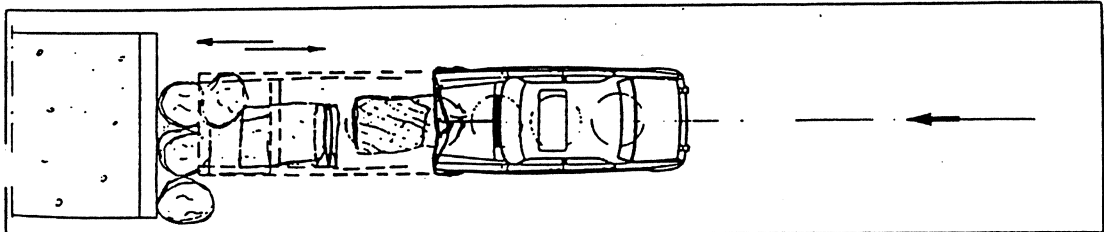
Essai NORMAL	Véhicule	Mannequins	Protection	Choc théorique	choc réel
ME-AIH.04/376 1.10.1975	Peugeot 404 1250 kg	conducteur passager AV	ceintures à enrouleur	V = 90 km/h frontal axé	87 km/h

DESCRIPTION DU DISPOSITIF : l'atténuateur est composé de fûts $\varnothing$ 85 cm en polyester armé de fibre de verre épaisseur 3 mm environ. Chaque fût contient un sac en toile nylon enduite "ZELU" avec fonds soudés, rempli d'une quantité variable d'eau, qui repose sur une plaque tissu polyester 3 X + résine accrochée au bord supérieur du fût par des sangles en 3 X et des crochets métalliques pour que le CdG soit à hauteur 55 cm. Ces fûts sont fermés par un couvercle et les quatre premiers sont revêtus d'un filet.



DEROULEMENT DE L'ESSAI

La voiture heurte successivement les fûts qui éclatent et s'aplatissent. L'avant de la berline s'abaisse. Les fûts écrasés restent entre le véhicule et l'obstacle, seuls les couvercles sont éjectés. La voiture s'arrête près du mur et rebondit de 4 m environ avant de s'immobiliser.



RESULTATS DE L'ESSAI

Distance d'arrêt du véhicule : 7,55 m
Rebond { distance : 3,95 m
 vitesse : 1 m/s
Enfoncement du véhicule : 24 cm
Atténuateur entièrement détruit ; fûts
écrasés restés devant l'obstacle mais
couvercles projetés à plusieurs mètres.

Décélérations maxi enregistrées sur le véhicule (capteurs STATHAM)

	pointes	filtrées
X" =	11,5 g	9 g
Y" =	12,0 g	6 g
Z" =	10,0 g	5 g

Dégâts sur le véhicule

- 20 % du prix neuf (montant des réparations : 4 000 F)

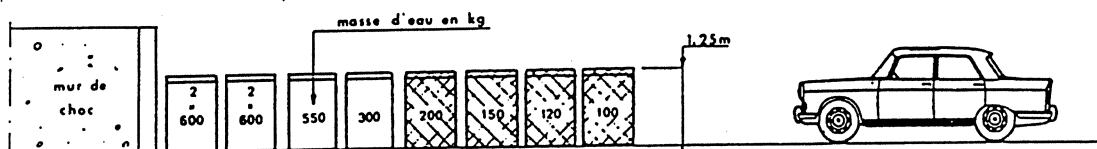
INTERPRETATION DES RESULTATS

Pour une énergie cinétique augmentée de 65 % par rapport à AIH.02, les décélérations sont notablement augmentées tout en restant dans le domaine admissible. Par contre, les dégâts sur le véhicule sont les mêmes et il est entièrement arrêté par l'atténuateur sans choc secondaire contre l'obstacle. Les projections sont supprimées (indépendamment des filets), sauf celles des couvercles qui doivent être cependant empêchées. Enfin, les sacs avec fonds soudés ne présentent pas une étanchéité absolue.

BUT DE L'ESSAI : Après une étude d'industrialisation de l'atténuateur hydraulique, cet essai est réalisé pour confirmer que les modifications des composants par rapport au choc AIH.02 sont faibles et que les performances sont conservées sous un choc frontal axé. Un filet enveloppe les 4 premiers fûts pour éviter les éventuelles projections de gros éclats de fûts.

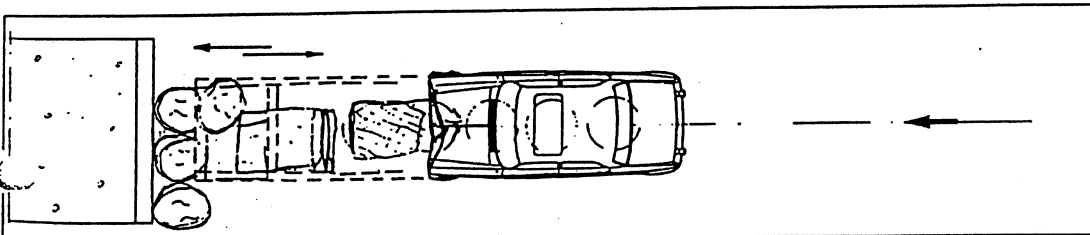
Essai NORMAL	Véhicule	Mannequins	Protection	Choc théorique	choc réel
ME-AIH.04/376 1.10.1975	Peugeot 404 1250 kg	conducteur passager AV	ceintures à enrouleur	V = 90 km/h frontal axé	87 km/h

DESCRIPTION DU DISPOSITIF : l'atténuateur est composé de fûts $\varnothing$ 85 cm en polyester armé de fibre de verre épaisseur 3 mm environ. Chaque fût contient un sac en toile nylon enduite "ZELU" avec fonds soudés, rempli d'une quantité variable d'eau, qui repose sur une plaque tissu polyester 3 X + résine accrochée au bord supérieur du fût par des sangles en 3 X et des crochets métalliques pour que le CdG soit à hauteur 55 cm. Ces fûts sont fermés par un couvercle et les quatre premiers sont revêtus d'un filet.



DEROULEMENT DE L'ESSAI

La voiture heurte successivement les fûts qui éclatent et s'aplatissent. L'avant de la berline s'abaisse. Les fûts écrasés restent entre le véhicule et l'obstacle, seuls les couvercles sont éjectés. La voiture s'arrête près du mur et rebondit de 4 m environ avant de s'immobiliser.



RESULTATS DE L'ESSAI

Distance d'arrêt du véhicule : 7,55 m
Rebond { distance : 3,95 m
 vitesse : 1 m/s
Enfoncement du véhicule : 24 cm
Atténuateur entièrement détruit ; fûts
écrasés restés devant l'obstacle mais
couvercles projetés à plusieurs mètres.

Décélérations maxi enregistrées sur le véhicule (capteurs STATHAM)

	pointes	filtrées
X" =	11,5 g	9 g
Y" =	12,0 g	6 g
Z" =	10,0 g	5 g

Dégâts sur le véhicule

- 20 % du prix neuf (montant des réparations : 4 000 F)

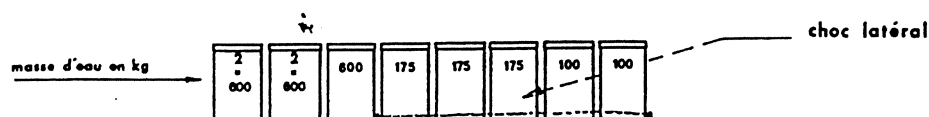
INTERPRETATION DES RESULTATS

Pour une énergie cinétique augmentée de 65 % par rapport à AIH.02, les décélérations sont notablement augmentées tout en restant dans le domaine admissible. Par contre, les dégâts sur le véhicule sont les mêmes et il est entièrement arrêté par l'atténuateur sans choc secondaire contre l'obstacle. Les projections sont supprimées (indépendamment des filets), sauf celles des couvercles qui doivent être cependant empêchées. Enfin, les sacs avec fonds soudés ne présentent pas une étanchéité absolue.

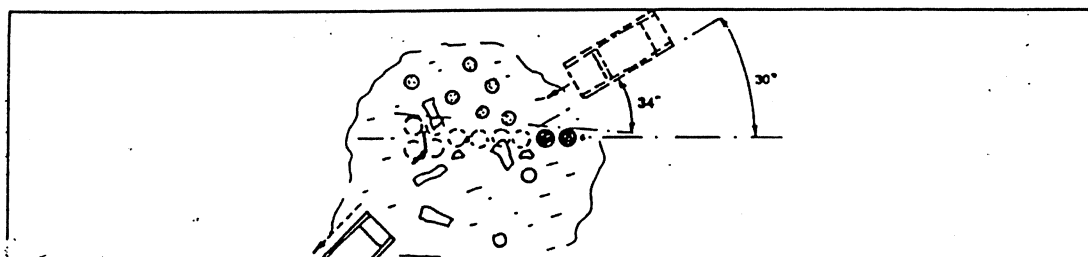
BUT DE L'ESSAI : déterminer le comportement d'une berline heurtant latéralement un atténuateur non complété par un système redirectionnel, en vue d'évaluer les risques apportés par une telle disposition. Par ailleurs, les éléments composant l'atténuateur ont été entièrement redéfinis pour réduire les délais et les coûts de fabrication.

Essai SIMPLIFIE	Véhicule	Mannequins	Protection	Choc théorique	Choc réel
MC-AIH.05/408 6 Oct. 1976	Peugeot 404 1250 kg	Conducteur passager AV	Ceint. 3 pts Ceint. 3 pts	V = 80 km/h Angle = 30°	80 km/h 34°

DESCRIPTION DU DISPOSITIF : l'atténuateur est composé de fûts $\varnothing$ 78 cm en tôle ondulée d'aluminium, épaisseur 0,8 mm. Chaque fût contient un sac en PVC d'épaisseur 3/10 mm rempli d'une quantité variable d'eau. Le sac repose sur un fond en contreplaqué accroché à l'intérieur du fût ou reposant au sol pour ceux de 600 litres. La fermeture de chaque fût est assurée par un second fond en contreplaqué et un couvercle en PVC.



DEROULEMENT DE L'ESSAI : l'aile AVG du véhicule heurte le 2ème bidon de l'atténuateur sous un angle de 34°. Les sacs éclatent, les couvercles sont éjectés et les fûts renversés. La voiture ralentie et déviée sur la gauche, traverse complètement le dispositif et s'immobilise contre une butte de protection.



RESULTATS DE L'ESSAI

- voiture sensiblement ralentie
- projection des couvercles

Dégâts sur le dispositif

- 8 bidons complètement détruits
seuls les 2 premiers bidons situés
en amont du choc sont intacts.

Dégâts sur le véhicule

- 33 % du prix neuf (montant des réparations : 8 000 F.)
- pare-brise cassé

INTERPRETATION DES RESULTATS

Le véhicule ne présente pas de comportement particulièrement dangereux (tête à queue) et sa vitesse est sensiblement diminuée. Les dégâts ne sont pas plus élevés qu'à la suite d'un choc comparable sur une glissière standard en section courante, d'autant plus qu'une partie de ces dégâts est due au choc secondaire sur la butte. Quelques éléments de tôle légers ont été entraînés sur la chaussée ; ils ne constituent pas des obstacles dangereux mais pourraient être à l'origine de coups de volant, si le trafic est important. Le bris de pare-brise semble causé par un couvercle heurté lors de sa projection verticale.

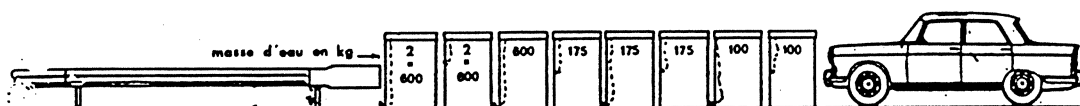
ATTENUATEUR DE CHOC A INERTIE, HYDRAULIQUE
TYPE AIH

BUT DE L'ESSAI : sur le modèle définitif de l'atténuateur, réalisation d'un choc frontal désaxé pour analyser le comportement du véhicule. Les couvercles sont reliés au fût ou au sol par un câble assez long, afin de réduire les projections.

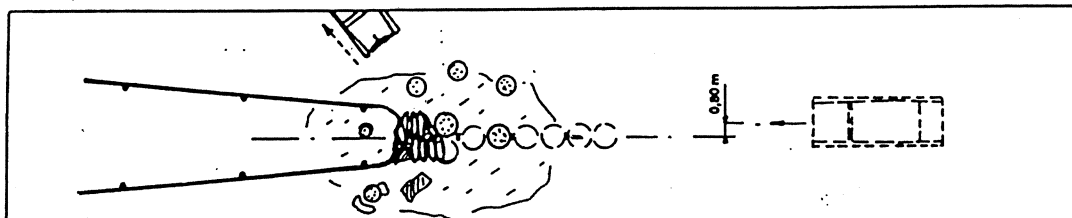
Essai SIMPLIFIE	Véhicule	Mannequins	Protection	Choc théorique	Choc réel
MC-AIH.06/413	Peugeot 404	Conducteur	Ceint. 3 pts	V = 80 km/h	83 km/h
17 Nov. 1976	1265 kg	passager AV	Ceint. 3 pts	0° décalé de 80 cm	

DESCRIPTION

Même dispositif que pour l'essai AIH.05 mais atténuateur placé devant un musoir en tôle non profilée de rayon 1 m.
Point particulier : les couvercles en bois sont reliés au fût ou au sol par un câble.



DEROULEMENT DE L'ESSAI : le véhicule arrive désaxé de 80 cm sur la droite de l'atténuateur et l'avant se déforme sur le premier bidon rencontré. La voiture s'enfonce dans le dispositif (parallèlement à son axe) sur 6,50 m environ puis pivote de 120° et repart en marche arrière sur quelques mètres avant de s'immobiliser.

RESULTATS DE L'ESSAI

Distance de pénétration maxi
du véhicule dans l'atténuateur env. 7,00 m
Enfoncement du musoir = 0,60 m
Peu de projection
Pare-brise intact
Les portières avant peuvent être
ouvertes sans difficulté.

Dégâts sur le dispositif

Atténuateur complètement détruit,
seuls les fonds et couvercles sont
récupérables
Musoir tordu
1 élément de glissement endommagé

Dégâts sur le véhicule

25 % du prix neuf. (montant des réparations : 6 000 F)

INTERPRETATION DES RESULTATS

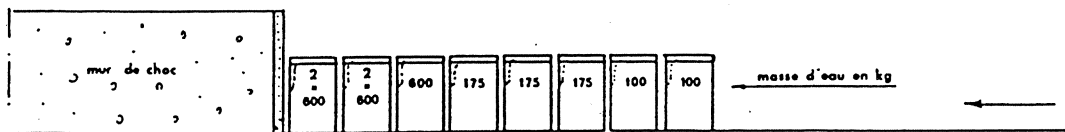
Pour ce choc frontal désaxé, le ralentissement apporté par l'atténuateur est suffisant pour éviter un choc dangereux sur l'obstacle placé en arrière. Les dégâts sur le véhicule sont faibles et sa trajectoire est assez satisfaisante (pas de tête à queue à grande vitesse).

BUT DE L'ESSAI : confirmation de l'efficacité du modèle amélioré sous le choc frontal axé d'une petite berline.

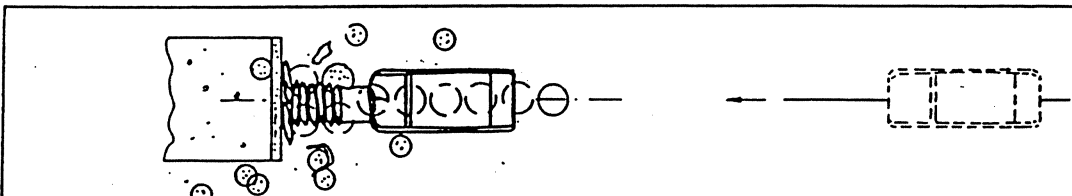
Essai NORMAL	Véhicule	Mannequins	Protection	Choc théorique	Choc réel
MC-AIH.07/414 23 nov. 76	Peugeot 204 1030 kg	Conducteur passager AV	Ceint. 3 pts Ceint. 3 pts	V = -100 km/h frontal axé	94 km/h

DESCRIPTION

Même dispositif que pour l'essai AIH.06 mais atténuateur placé devant un mur de choc.



DEROULEMENT DE L'ESSAI : le véhicule arrive dans l'axe de l'atténuateur. Les fûts, percutés tour à tour, éclatent, s'aplatissent et s'amoncellent devant la berline qui s'arrête 6,70 m après le début de choc, recule de 1,50 m environ puis s'immobilise.



RESULTATS DE L'ESSAI

- Distance d'arrêt du véhicule = 6,70 m
- Distance de rebond = 1,50 m

- Les portes avant peuvent être ouvertes sans difficulté

Dégâts sur le dispositif

Atténuateur complètement détruit, seuls les fonds et les couvercles sont récupérables.

Mesures de décélérations inexploitablees à la suite d'une rupture d'émission

Décélération longitudinale calculée
moyenne : 4,8 g - maxi : 9 g

Dégâts sur le véhicule

Enfoncement { haut calandre = 10 cm
pare-chocs = 7 cm

Pare-brise cassé

L'estimation du coût des réparations a été faite, mais ne peut être indiquée car elle paraît largement erronée.

INTERPRETATION DES RESULTATS

Le fonctionnement de l'atténuateur est très correct, à l'exception du premier couvercle qui heurte et casse le pare-brise en raison d'une trop grande longueur du câble de retenue. Ce dernier sera donc raccourci dans les prescriptions qui seront données pour les installations réelles. Les dommages sur le véhicule sont beaucoup plus faibles que sur un musoir, et moins élevés que sur l'atténuateur ATA. L'habitacle est absolument intact, et le choc serait très supportable par des occupants ceinturés.

OBJET DE L'ESSAI

Evaluer la réduction d'agressivité sous choc frontal des améliorations apportées par rapport à l'essai ERC.05/445 : réduction du poteau fragile, réduction des portiques, suppression de 2 fûts de 580 l. Observer le fonctionnement et l'éventuelle glissance apportés par un antigel permettant la protection à - 20° C.

Essai BERLINE	Véhicule	Mannequins	Protection	Choc théorique	Choc réel
MC-ERC.08/457	Renault 16	Conducteur	Ceint. 3 pts	V = 90 à 100	94 km/h
2 Mars 1978	1155 kg	passager AV	Ceint. 3 pts	Angle = 1°30'	1° 30'

DESCRIPTION

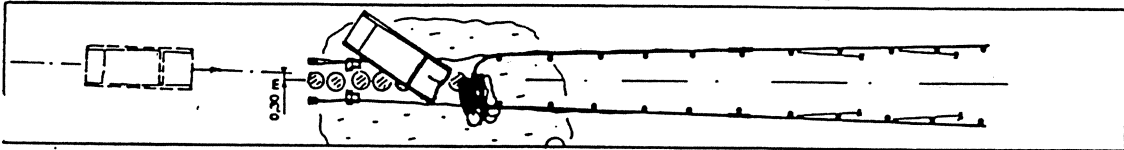
Même disposition que pour l'essai ERC.07/456

ERC : portiques étroits ; poteau fusible $\varnothing$ 65 mm avec amorce de rupture $\varnothing$ 55 mm

AIH : une seule file de bidons, type AIH 100-10

Extrémité de files en U : glissière GS2 et musoir conforme à la circulaire 75-131

DEROULEMENT DE L'ESSAI : le véhicule arrive avec un décalage de 30 cm et heurte le poteau de gauche qui se rompt. Les premiers bidons éclatent, le portique de gauche s'abaisse, puis celui de droite qui est accroché par l'aile AVD ; les 2 câbles détendus tombent au sol. La berline s'enfonce dans l'atténuateur, percute successivement contre tous les bidons qui éclatent et s'écrasent jusqu'au musoir qui s'enfonce légèrement. La voiture s'arrête et rebondit légèrement avant de s'immobiliser.

RESULTATS DE L'ESSAI

- Distance d'arrêt du véhicule = 7 m
- support fusible rompu, glissant sur le sol à une distance de 25 mètres
- projection de quelques couvercles de bidons tout près de l'atténuateur

Dégâts sur le dispositif

Atténuateur AIH : complètement détruit
Extrémité redirectionnelle à câbles ERC

- 1 support fusible cisailé
- les 2 petits câbles (maintenant les portiques) rompus

Extrémité de file en U

- le musoir et 1 élément de glissement endommagés
- 1 écarteur à redresser

Décélérations maxi enregistrées sur le véhicule (capteurs STATHAM)

pointes	filtrées	moyennes sur	
		50 ms	200 ms
X" = 15,5 g	10,5 g	9,6 g	7,1 g
Y" = 8 g	1,5 g	1 g	0,2 g
Z" = 12,5 g	5 g	-3,5 g	-0,1 g

Indice de sévérité ASI = 0,83

Domages sur le véhicule

39 % du prix neuf

Indices de déformations

Extérieure VDI	1 2 1 1 3 6 1
Intérieure VIDI	0 0 0 0 0

- pare-brise intact
- les portières peuvent être ouvertes normalement

INTERPRETATION DES RESULTATS

Les améliorations apportées à l'atténuateur se traduisent par une importante réduction des dommages véhicules et une légère diminution de l'indice de sévérité, alors que l'énergie cinétique de la voiture était augmentée de 7,5 %. Malgré cette augmentation, la forme et l'amplitude des décélérations mannequins restent semblables.

Les dispositions adoptées sont donc intéressantes tandis que les projections observées ne semblent pas présenter de danger pour d'autres véhicules.

DEMANDEURS DE L'ESSAI : SERLS et SETRA DES

BUT DE L'ESSAI

Déterminer les flèches lors d'un choc latéral au niveau du musoir après étude d'un renforcement des éléments redirectionnels (câbles + glissière) et d'une simplification du poteau d'origine.

Essai BERLINE	Véhicule	Mannequins	Protection	Choc théorique	Choc réel
MC-ERC.09/491 4 déc. 1979	Renault 16 1235 kg	Conducteur Passager AV	Ceint. 3 pts Ceint. 3 pts	V = 75 km/h Angle = 33°	60 km/h 33°
Indice d'Impact $I_{15} = mv^{1.5} \sin \alpha$				1	0,7

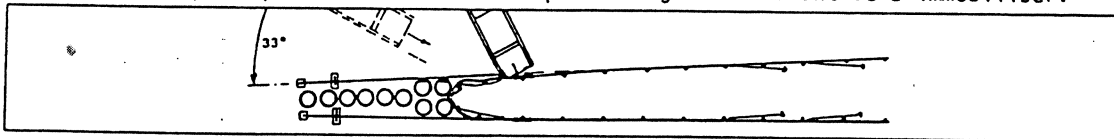
DESCRIPTION

Dispositif complet : 2 files en U avec musoir - 2 extrémités à câbles et atténuateur AIH 100-10

Modifications apportées à la solution testée par ERC.07/456 et 08/457

- glissière GRC - 2 supports C125 rajoutés derrière musoir - ancrage des files en U par tirants
- limiteur d'effort avancé de 8 m vers le musoir-serrage avec rondelles Belleville
- support fusible en fonte remplacé par un support léger en tube rond
- 2 derniers bidons de 580 l doublés

DEROULEMENT DE L'ESSAI (Malgré le doublement de cet essai - 1er tir n° 490 le 27 Nov. la vitesse théorique n'a pas été atteinte ; une enquête a montré que la fusée avait été endommagée par un tir antérieur). Le véhicule heurte le câble au niveau du musoir. Une faible poche se forme. La roue AVD accroche le 1er support de la file tandis que le câble passe derrière cette roue. La berline, prisonnière ne peut se redresser, l'avant se bloque rapidement et l'arrière pivote légèrement avant de s'immobiliser.



RESULTATS DE L'ESSAI

	réelle	corrigée
Flèche statique de la glissière	0,40	0,55 à 0,60
Flèche dynamique du véhicule	0,60	0,80 à 0,90
Longueur totale de la poche	= 9 m	
Glissement limiteur d'effort	= 7 mm	
Distance d'arrêt du véhicule	= 2,5 m	

Dégâts sur le dispositif

EMU = musoir plié, 1 élément de glissement endommagé, 4 supports tordus et 3 écarteurs à changer

ERC = câbles, portiques, ancrages récupérables

AIH = 4 fûts déplacés dont 2 viroles à changer

Décélérations maxi enregistrées sur le véhicule

pointes	calcul manuel	
	filtrées	moyenne sur 50 ms
X" = 12 g	8,5 g	7,8 g
Y" = 6 g	2,5 g	2,7 g
Z" = 9 g	2 g	0,5 g

Indice de sévérité ASI = 0,67

Dégâts sur le véhicule : 32% du prix neuf

Indices de déformations

Extérieure VDI	1 2 1 8 3 3 2
Intérieure VIDI	0 0 0 0 0

- pare-brise éjecté

- les portières sauf celle du passager AVD s'ouvrent normalement.

INTERPRETATION DES RESULTATS

Bien que la vitesse de choc ait été insuffisante de 20%, on peut évaluer que la flèche dynamique aurait été de 0,80 à 0,90 m pour un indice d'impact de 1. L'ancrage de la file GRC, assuré par le câble ERC et le tirant, lui donne pratiquement sa totale efficacité vis-à-vis de la distance $d = 0,90$ m. Pour deux files en U ouvertes de 15° après un musoir $R = 1$ m, un obstacle ponctuel de largeur 0,50 m est bien isolé "latéralement" (et "frontalement") si la distance nez de musoir/obstacle est au moins 2 m.

DEMANDEURS DE L'ESSAI : SERES et SETRA DES

BUT DE L'ESSAI :

Contrôler : - l'amélioration de l'effet redirectionnel de l'ensemble AIH 100-10 + dispositif à câbles après renforcement de certains éléments redirectionnels, et réduction de la hauteur du câble à 0,60 m
- le maintien de résistance de l'ancrage amont après réduction du poteau d'origine.

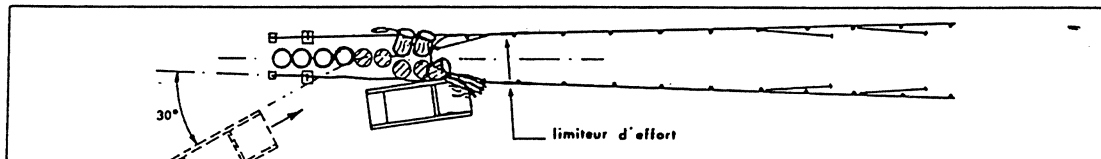
Essai BERLINE	Véhicule	Mannequin	Protection	Choc théorique	Choc réel
MC-ERC.10/494 3 Janv. 1980	Renault 16 1230 kg	Conducteur -	Ceint. 3 pts -	V = 80 km/h Angle = 30°	81 km/h 30°
Indice d'Impact I réel/I(1,25-80-30)			$I_{LS} = mv^{1,5} \sin \alpha$		
			1		1

DESCRIPTION

Même dispositif que pour l'essai MC-ERC.09/491

DEROULEMENT DE L'ESSAI

Le véhicule heurte le câble 40 cm après le portique ; une poche dynamique du câble forme mais la voiture très peu déviée s'enfoncé dans l'atténuateur. Puis la berline, renvoyée par le câble, se redresse et accroche les bidons qui éclatent, se renversent et s'amoncellent devant elle. Retenue par le câble qui s'est logé sous l'aile AVG, la voiture s'immobilise contre le musoir soit 5,40 m après le point de choc.



RESULTATS DE L'ESSAI

Flèche statique du câble	≈	nulle
Flèche dynamique	véhicule	= 1,15 m
	câble	= 1,00 m
Glissement limiteur d'effort	=	13,8 cm
Distance d'arrêt du véhicule	=	5,40 m

Dégâts sur le dispositif

- EMU = musoir plié
1 support tordu
AIH = 7 bidons détériorés
ERC = câble, portiques et ancrages réutilisables
- pas de projection de solide à plus de 1 m de ERC.

Décélérations maxi enregistrées sur le véhicule

	pointes	Calcul manuel	
		filtrées	moyenne sur 50 ms
X" =	13 g	11 g	10 g
Y" =	6,5 g	4 g	4 g
Z" =	8,5 g	2 g	1 g

Indice de sévérité ASI = 0,90

Dégâts sur le véhicule : 65% du prix neuf

Indices de déformations

Extérieure VDI	1	1	1	2	3	3	2
Intérieure VIDI	L	F	0	0	1	0	0

- pare-brise intact
- les portières, sauf celle du conducteur, peuvent être ouvertes normalement.

INTERPRETATION DES RESULTATS

L'indice ASI est assez élevé car l'atténuateur AIH est sollicité et arrête le véhicule sur une courte distance, en plus du redressement de trajectoire apporté par ERC. La décélération maxi sur 50 ms est de 10 g et correspond au type d'atténuateur choisi. Le comportement du véhicule est nettement amélioré par rapport à l'essai ERC.06/452 et l'efficacité du système redirectionnel est satisfaisante.

Les flèches sont les mêmes que pour AIH.06 et permettent d'assimiler l'ensemble ERC+AIH à une glissière GS2, autorisant les files de glissière suivantes en GRC.

ANHANG 5

Einfacher Anpralldämpfer für den Anfang von Betonleitmauern
(Auszug aus dem Forschungsbericht)

TABLE 2 Predicted Occupant Impact Velocities for 60-mph Head-On Impacts

Vehicle Weight (lb)	Longitudinal Occupant Impact Velocity (ft/sec)
1,800	32
2,250	31
3,000	30
4,500	28

TABLE 3 Summary of Frozen Sample Testing

Ratio of Wall Diameter to Thickness of Sample	Energy Absorbed (in.-lb)		Change (%)
	Unfrozen	Frozen	
0.06	152	182	19.7
0.09	330	443	34.2
0.13	616	837	35.9

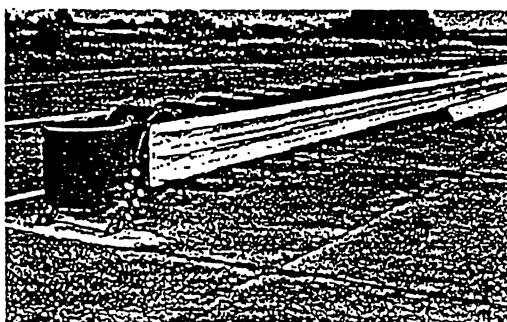
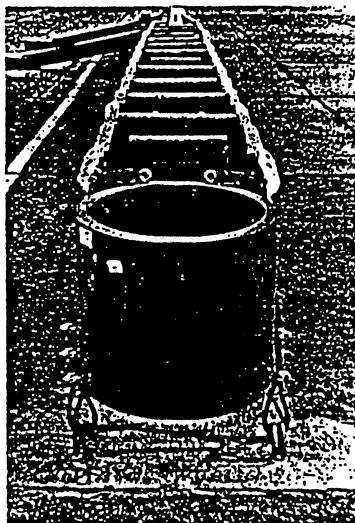


FIGURE 2 Low-maintenance end treatment.

Transportation Research Record 100

PRELIMINARY TESTS

Three preliminary full-scale crash tests were conducted in an effort to find any design flaws before compliance testing. All three tests involved 4,390-lb 1975 Ford Torino striking the cushion head-on.

Tests 1 and 2

The first test was conducted at 30 mph with an instrumented vehicle. The cushion performed well and stopped the vehicle in approximately 15 ft. The vehicle exhibited no tendency to vault over or under the cushion. The vehicle rebounded off the cushion at approximately 5 mph. As shown in Figure 3, the test vehicle was only lightly damaged; a cushion damage was limited to minor bending of some of the skid shoes under the steel diaphragms.

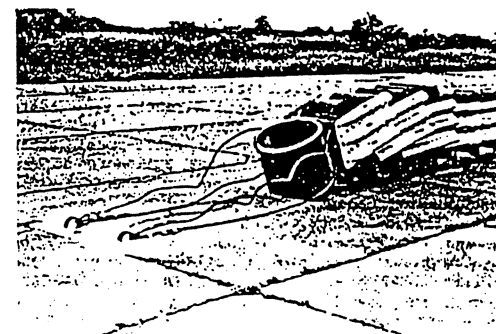
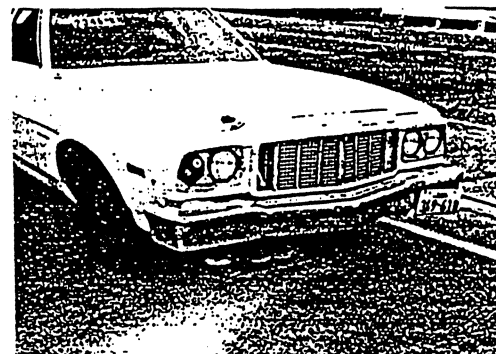


FIGURE 3 Test vehicle and low-maintenance end treatment after 30-mph impact.

The cushion was pulled back into place in less than an hour and a second test was conducted at 30 mph. The end treatment smoothly decelerated the vehicle over a distance of 17.5 ft and vehicle damage was light. The vehicle again rebounded off the cushion at approximately 5 mph. Some of the hinges supporting the three-beam fender panels were damaged and the legs under the leading diaphragm were bent when they contacted the legs under the second diaphragm. Figure 4 shows the end treatment and test vehicle after the second test.

Sicking and Ross

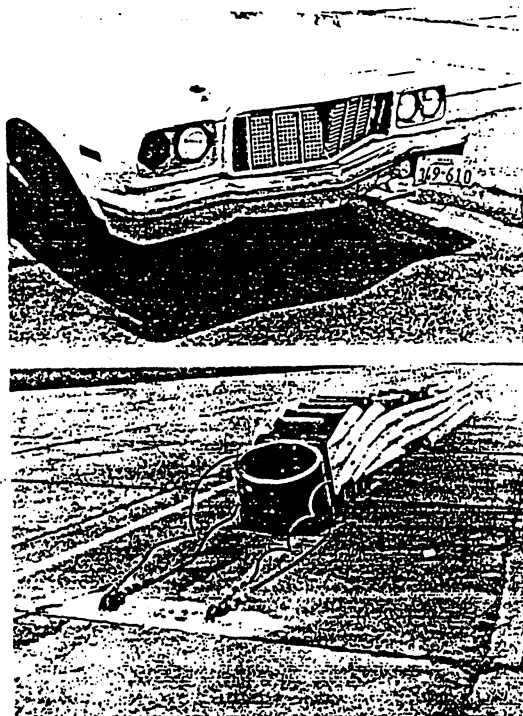


FIGURE 4 Vehicle and end treatment after 40-mph impact.

Test 3

The hinges on the front of the cushion were replaced with larger hinges and the method of attachment to the diaphragms was improved to reduce the possibility of damage. The legs on the first diaphragm were removed and replaced with a single leg in the center such that it would not contact the legs on the second diaphragm during impact. The test vehicle was then instrumented and a third test was conducted at 51 mph. The test vehicle was smoothly decelerated and was pushed back out of the cushion at approximately 7 mph. The vehicle was only moderately damaged, as shown in Figure 5. All occupant risk values, given in Table 4, were well below recommended limits (2). The end treatment was pulled back into place in less

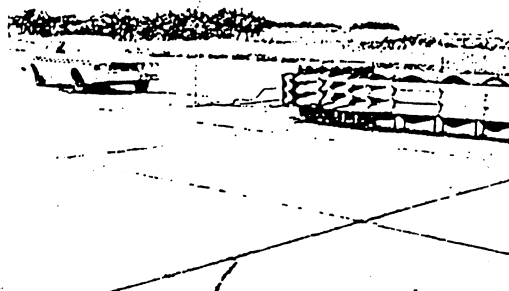


FIGURE 5 Vehicle and end treatment after Test 3.

than an hour and, with the exception of some of the new hinges, was undamaged.

COMPLIANCE TESTING

NCHRP Report 230 (2) calls for four full-scale crash tests of barrier end treatments. One of these tests calls for a 1,800-lb automobile to strike the middle of the end treatment at 60 mph and 15 degrees. Standard three-beam barriers and cable-supported narrow end treatments with three-beam fender panels have performed well under these test conditions (6,7). It was therefore decided that this test would be eliminated from the matrix and the remaining three crash tests would be conducted.

Test 4

After completion of the third test, the hinges were redesigned to withstand an impact load of more than 200 g's. The new hinges were fabricated from 3/4-in. steel pipe and rod and 1/8-in. steel plate. Compliance testing was then begun with a 1979 Honda that weighed 1,810 lb striking the cushion at 58 mph and zero degrees. The center of the test vehicle was offset 16 in. from the center of the cushion. The small automobile was smoothly decelerated to a stop over a distance of approximately 17 ft. As the front of the vehicle came to a stop, the rear began to spin out. As shown in Figure 6, the vehicle was yawed approximately 90 degrees from its original direction of travel when it stopped.

The modified hinges contacted the next fender panels and prevented the front five cells from col-

TABLE 4 Summary of Crash Test Results

Test No.	Vehicle Weight (lb)	Impact Speed (mph)	Angle of Impact (degrees)	Point of Impact	Vehicle Stopping Distance (ft)	Occupant Impact Velocity (ft/sec)		Occupant Ridedown Accelerations (10 msec avg g's)	
						Longitudinal	Lateral	Longitudinal	Lateral
1	4,390	30	0	Nose	15	NA	NA	NA	NA
2	4,390	40	0	Nose	17.5	NA	NA	NA	NA
3	4,390	51	0	Nose	22.5	22.0	NA	7.7	NA
4	1,810	58	0	Nose at 16-in. eccentricity	17.5	35.5	4.2	9.0	1.5
5	4,500	57	0	Nose	23.5	26.4	NA	14.1	NA
6	4,420	61	25	8th fender panel	NA	32.7	18.9	20.9	32.5

Note: NA = occupant did not strike side of vehicle.

^aNot measured.

Kleine Fahrzeugverschiebung!

Transportation Research Record 1065

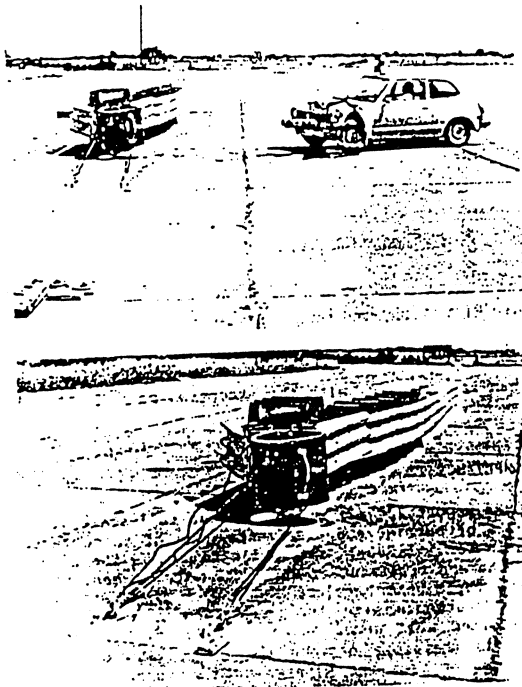


FIGURE 6 Vehicle and end treatment after Test 4.

lapsing completely. As a result, the longitudinal occupant impact velocity was somewhat high at 35.7 fps, whereas the recommended value is 30 fps and the maximum allowable impact speed is 40 fps. If the hinges had not prevented the front cells from collapsing completely, the test vehicle would have traveled approximately 2.5 in. further between impacts with each diaphragm and therefore the occupant impact velocity would have been much lower. There would have been little additional speed reduction between diaphragms because the front cells do not absorb a significant amount of energy. The occupant impact velocity can be estimated for this condition by integrating the accelerometer curve from the test and adding 2.5 in. of free travel (no acceleration) after collapsing each cell. The predicted occupant impact velocity from this type of analysis is approximately 31 fps.

As the data in Table 4 indicate, all other severity measures were within recommended limits (2). No components of the crash cushion were damaged, and it was restored with less than 4 man-hours of labor. After the fourth test the hinges were notched to prevent contact between hinges and the downstream fender panels.

Test 5

The fifth test involved a 1978 Mercury Grand Marquis that weighed 4,500 lb striking the cushion head-on at 57 mph. The cushion performed well and brought the vehicle to rest over a distance of approximately 23 ft. All measures of occupant risk were below recommended limits as the data in Table 4 indicate. The vehicle rebounded off the cushion at 10.5 mph.

The cushion and test vehicle were damaged moderately, as shown in Figure 7. One of the redirection cables snagged on a diaphragm and was broken, and one of the lightweight restoration cables between the diaphragms was cut. As a result, the cushion could not be pulled back into position as in previous tests. In addition, there was minor damage to several of the hinges and the legs under the diaphragms. There was still some minor contact between the 3/4-in. rods on the hinges and the fender panels. Therefore it is recommended that the hinges be replaced with a flat plate design. This design should be slightly stronger than those used in the tested design.

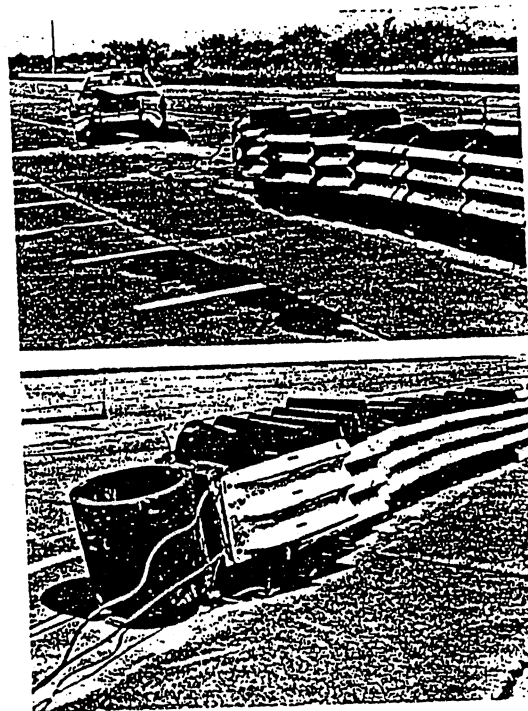


FIGURE 7 Vehicle and end treatment after Test 5.

Cushion repair was accomplished by replacing two 5/8-in.-diameter lateral restraint cables and two 1/4-in.-diameter restoration cables. It should be noted that the damaged lateral restraint cables were old and may have been frayed or damaged during previous research. However, it is recommended that all lateral restraint cables be visually inspected after every accident.

Analysis of test films indicated that all of the energy required to push the vehicle out of the cushion originated from the large-diameter cylinder at the rear of the treatment. If the 10.5-mph exit velocity is a significant concern, vehicle rebound can be virtually eliminated by placing displacement limitation devices on the redirection cables at the sixth diaphragm. These devices would allow the diaphragm to be freely pushed backward but would limit any forward motion of the diaphragm after the vehicle was stopped.

Test 6

The final test on the end treatment involved a 4,420-lb Ford LTD striking the cushion at 61 mph and 25 degrees. The center of the test vehicle was directed at the center of the barrier end to maximize the possibility of the vehicle snagging on the end of the barrier. The test vehicle was redirected and exited the barrier at a very low angle.

During the test the lateral support element at the front of the concrete barrier gave way and the front of the barrier deflected 4 in. As the barrier was deflected, it rolled away from the impacting vehicle thereby extending the lower curb face beyond the edge of the treatment. The wheels of the test vehicle snagged somewhat on the exposed lower face and generated relatively high longitudinal and lateral forces on the automobile. Although barrier anchorage for field installations would likely be more substantial and limit this problem, it is recommended that the barrier end be transitioned to a vertical wall to further reduce the likelihood of such an occurrence.

The end treatment was not damaged heavily for a test of this severity, as shown in Figure 8. Repair would have been limited to the replacement of the last diaphragm, two three-beam fender panels, one wood block-out on the face of the concrete barrier, and one redirection cable. No rubber cells showed any sign of damage. As in most impacts of this severity, the test vehicle sustained considerable damage.

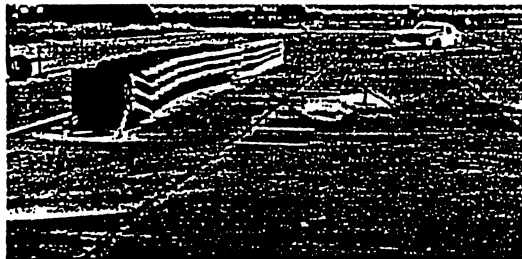


FIGURE 8 Vehicle and end treatment after Test 6.

CONCLUSIONS

A low-maintenance crash cushion end treatment for concrete barriers has been successfully designed and crash tested. The cushion (a) does not have any sacrificial energy-absorbing elements, (b) has sufficient strength to withstand most impacts without damage to any components, (c) is not significantly wider than the standard concrete safety shaped barrier, and (d) has been shown to meet nationally recognized safety standards (2). Rubber cylinder energy-absorbing cells used in the cushion have withstood six relatively severe crash tests and show no signs of significant damage.

The crash cushion end treatment described here represents a significant step toward reducing maintenance costs associated with such devices. The cushion can withstand relatively severe head-on impacts—small automobiles traveling at speeds of up to 60 mph and large automobiles traveling at speeds of up to 50 mph—without sustaining damage to any components. These impact conditions include more than 95 percent of expected head-on accidents (8). After these accidents the cushion can be repaired in less than an hour and total repair cost should be less than \$100. Further, even high-energy head-on and relatively severe side impacts do not cause a great deal of damage to the system. Finally, the design concepts proven in this study could be easily adapted to other types of cushions with a potential for similar reductions in maintenance costs.

ACKNOWLEDGMENTS

This research study was conducted under a cooperative program between the Texas Transportation Institute, the Texas State Department of Highways and Public Transportation (SDHPT), and the Federal Highway Administration. Harold Cooner of the SDHPT worked closely with the researchers, and his comments and suggestions were appreciated.

REFERENCES

1. D.L. Sicking and H.E. Ross, Jr. A Low Maintenance End Treatment for Concrete Barriers. Research Report 346-1P. Texas Transportation Institute, Texas A&M University System, College Station, Sept. 1985.
2. J.D. Michie. Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Appurtenances. NCHRP Report 230. TRB, National Research Council, Washington, D.C., March 1981.
3. Marine Dock Fenders. Goodyear Industrial Products Division, Akron, Ohio, undated.
4. Marine Fendering Systems. Uniroyal Inc., Marine Fender Systems, Mishawaka, Ind., undated.
5. P.K. Freakley and A.R. Payne. Theory and Practice of Engineering with Rubber. Applied Science Publishers Ltd, London, England, 1978.
6. D.L. Ivey, R.G. Robertson, and C.E. Buth. Test and Evaluation of W-Beam and Thrie-Beam Guardrails. Texas A&M Research Foundation, Texas A&M University System, College Station, March 1982.
7. D.L. Sicking and H.E. Ross, Jr. Crash Cushion for Narrow Objects. In Transportation Research Record 942, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1983, pp. 16-25.

The contents of this paper reflect the views of the authors, who are responsible for the opinions, findings, and conclusions presented herein. This paper does not necessarily reflect the official views or policies of the Texas State Department of Highways and Public Transportation or the Federal Highway Administration.

ANHANG 6

Connecticut Anpralldämpfer

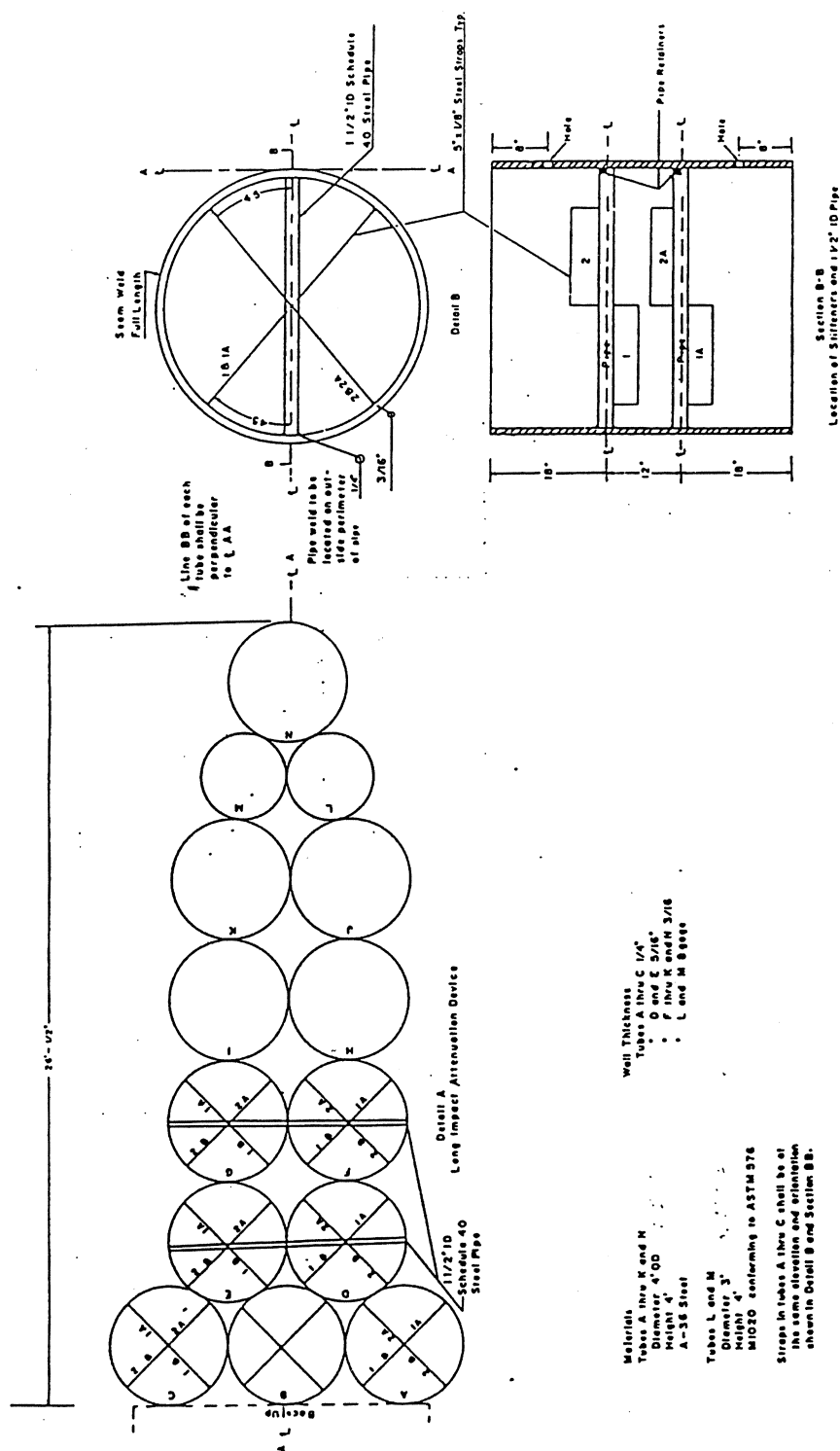


FIGURE 1 Shop fabrication details of CIAS.

Transportation Research Record 1024

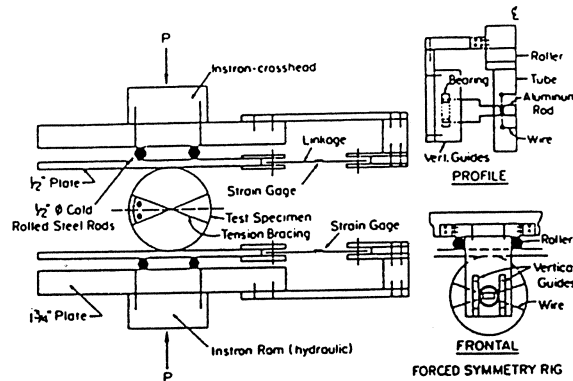


FIGURE 2 Braced tube and loading rig.

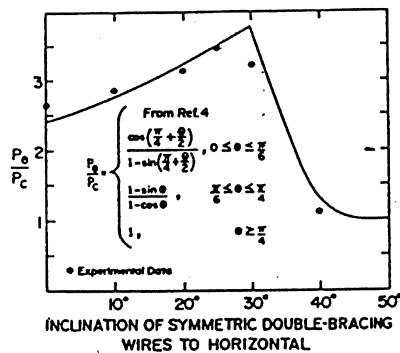


FIGURE 3 Variation in initial collapse loads with double bracing inclination.

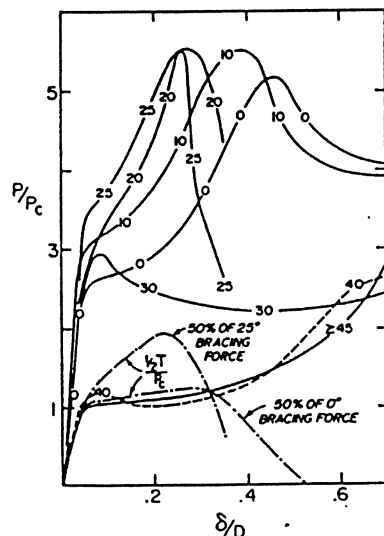


FIGURE 4 Load-deflection curves for double-braced tubes for various values of θ .

4. A vinyl-coated nylon nonlaminated cover to prevent the buildup of snow and ice in winter.

The complete design drawings for the CIAS may be obtained from Charles E. Dougan at ConnDOT.

The CIAS system is designed so that the tubes can be reused, even after an impact causing significant collapse of the system. Research has demonstrated that individual tubes can be reshaped and reused with an attendant saving in material cost. Thus, the CIAS has a potentially longer service life as compared with some of the conventional impact attenuators now in use. Test 9 described in the next section of the paper was conducted to show that the crash-test performance of the CIAS is unaffected when refurbished sections are used in the design. The data obtained verify that a CIAS constructed with refurbished cylindrical members meets all criteria set forth in NCHRP Report 230 and Transportation Research Circular (TRC) 191 (11,12).

CRASH-TEST PROGRAM

A total of nine full-scale crash tests were conducted at TT1. The crash tests were evaluated in accordance with the standards set forth in both TRC 191 and NCHRP Report 230. A summary of the nine crash tests is presented in Table 1. The complete individual crash-test reports and system design modifications made during the testing program have been described elsewhere (13).

It can be seen from Table 1 that design modifications took place during the first five crash tests. The major developments were as follows:

1. The height of the collapsing tubes was increased from 36 to 48 in. to eliminate vehicle ramping problems encountered in Tests 1 and 3.
2. The cover design was modified. Cellular plastic covers were replaced with a polyvinyl cover design. The polyvinyl cover remains attached to the crash cushion during the collapse and will prevent snow and ice from accumulating in the tube system in winter.
3. Steel skids were installed under the CIAS to reduce friction force buildup during the collapse process.
4. The tension stiffening system was modified, some tube thicknesses were changed, and an additional row of tubes was added to soften the impact response of the system.

TABLE 1 Summary of Crash-Tests Results

Test No.	Vehicle Weight (lb)	Impact Speed (mph)	Angle of Impact (degrees)	Point of Impact	Vehicle Stopping Distance (ft)	Vehicle Deceleration Data (g)						Vehicle Damage Classification ^d (TAD)	Comments		
						Occupant Impact Velocity ^a (ft/sec)		Occupant Ride-down Peak ^b (10-msec Avg)		Peak 50-msec Avg ^c				Avg over Entire Event ^e	
						Longitudinal	Lateral	Longitudinal	Lateral	Longitudinal	Resultant				
1	4,500	59.9	0	Nose	NA	29.8	NA	NA	13.7	NA	9.7	NA	NA	12FD2	Vehicle vaulted onto CIAS because of high center of gravity of vehicle and large friction forces developed at the rough concrete pad's surface; unit will rest on steel skids in future tests to reduce friction
2	1,800	59.8	0	Nose	13.4	34.9/39.2 ^f	8.3	1.9	14.5	14.5	14.5	6.2	12FD3	Cellular plastic covers performed unsatisfactorily; new cover design used in subsequent tests	
3	4,500	60.0	20	Along side	NA	28.2 ^g	10.4	3.0	7.4	NA	NA	NA	11FL4	Vehicle vaulted because of high center of gravity; tube heights increased from 36 to 48 in. to solve ramping problem	
4	4,500	60.4	20	Along side	18.1	27.6 ^g	11.5	1.5	20.6	13.3	13.5	6.5	11FD3	Stable impact response obtained; vehicle trapping achieved	
5	4,500	61.7	0	Nose	19.5	29.7	NA	NA	30.8	12.7	12.9	6.3	12FD3	Polyvinyl cover design deemed satisfactory; no cover used in subsequent tests	
6 ^h	4,500	58.0	15	Corner of test hazard	NA	32.0	14.3 ^g	11.6	9.6	9.5/6.6 ^h	10.0	3.7/1.9 ^h	11FL6	CIAS design now complete (see Figure 1) and used for Tests 6-9	
7 ⁱ	4,500	61.4	0	Nose	23.0	25.5 ^g	4.5	0.9	12.6	10.4	10.4	5.2	12FD3	Excellent test results	
8 ^j	1,800	60.9	0	Nose	16.0	30.96/34.66 ^f	NA	NA	12.8	11.6	11.6	5.7	12FD3	Excellent test results	
9 ^k	4,500	61.6	0	Nose	22.0	26.7	NA	NA	12.8	9.4	9.5	5.8	12FD2	Excellent test results; refurbished tubes employed	

Note: NA = not applicable.

^aNCITRP Report 330 recommends a longitudinal occupant impact velocity limit [(ΔV)_{lim}] of 40 ft/sec (acceptance factor). If the acceptance factor is set at 1.33, then [(ΔV)_{lim}]_{design} = 30 ft/sec. If the acceptance factor is set at 1.33, then [(ΔV)_{lim}]_{test} = 30 ft/sec.^bNCITRP Report 330 recommends longitudinal and lateral occupant ride-down acceleration limits [(a)_{lim}] of 20 g (acceptance factor) based on the highest 10-msec averages beginning with occupant impact. If the acceptance factor is set at 1.33, then [(a)_{lim}]_{test} = 15 g.^cFor direct-on impacts, TRC 191 specifies a maximum average vehicle deceleration of 12 g as calculated from vehicle impact speed and passenger compartment stopping distance. When the test article functions by redirecting the vehicle, the maximum resultant 50-msec vehicle deceleration is specified to be 12 g when the impact angle is 15 degrees or less.^dDamage scale specified according to procedures developed by the Traffic Accident Data Project of the National Safety Council.^eOccurs first.^fThe first impact velocity value is associated with the measured distance that the occupant would travel before impacting the compartment interior (1.35 ft). The second impact velocity value corresponds to an assumed occupant travel distance of 2 ft.^gTwo longitudinal and two lateral accelerometers were employed. Occupant impact velocities and decelerations are average values.^hLateral acceleration value.

Transportation Research Record 1024

The CIAS design was finalized following Test 5. No additional modifications were made during Tests 6 through 9, which are described as follows:

1. Test 6 (August 9, 1983)

a. System tested: The impact attenuator tested was that shown in Figure 1.

b. Test vehicle: A Plymouth Salon (1978) impacted the Connecticut attenuator at 58.0 mph and 15 degrees, directed at the rear corner of the system (Figure 5). The vehicle weighed 4,500 lb with 2,482 lb on the front axle and 2,018 lb on the rear axle.

c. Test results: The crash cushion smoothly redirected the vehicle. Figures 6-8 show the CIAS and the vehicle after Test 6 (see Table 1 for measured decelerations). This test demonstrated that the tube-stiffening system provides the lateral resistance required to redirect a vehicle under these severe test conditions.

2. Test 7 (August 11, 1983)

a. System tested: Same as that in Test 6 (see Figure 1).

b. Test vehicle: A Plymouth Salon (1978) impacted the attenuator at 61.4 mph and 0 degrees. The vehicle weighed 4,500 lb with 2,460 lb on the front axle and 2,040 lb on the rear axle. Views of the test vehicle and the CIAS before the test are shown in Figures 9 and 10.

c. Test results: The vehicle collapsed the attenuator almost completely, as shown in Figure 11 (see Table 1 for measured decelerations). The front end of the car sustained an average crush of 13.5 in. (Figure 12). All occupant risk values in this test were well below the guidelines of both TRC 191 and NCHRP Report 230.

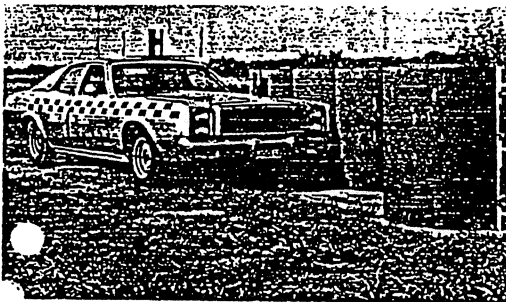


FIGURE 5 Vehicle alignment before Test 6.

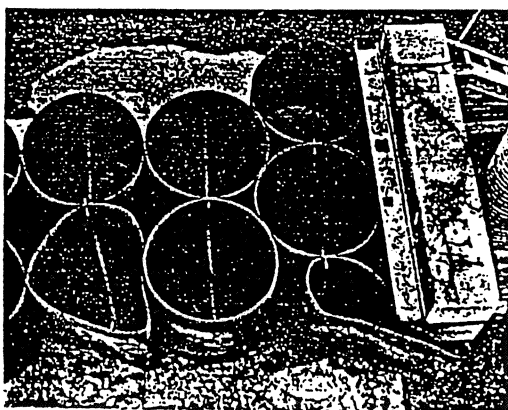


FIGURE 6 Top view of CIAS after Test 6.

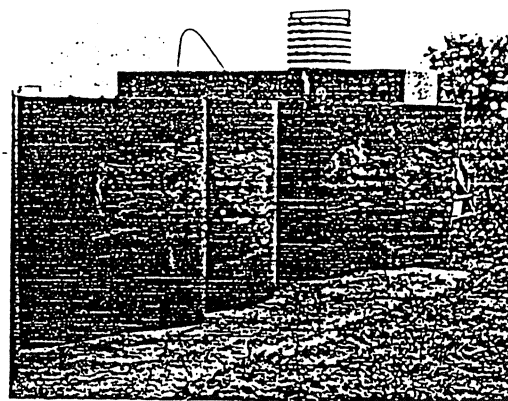


FIGURE 7 Side view of CIAS after Test 6.

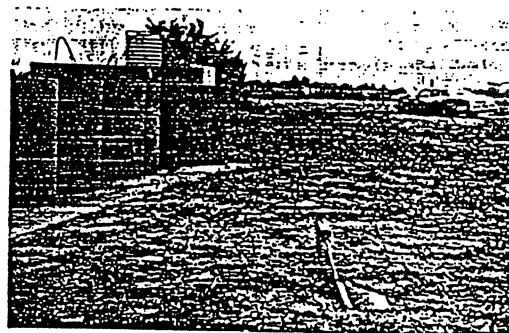


FIGURE 8 Side view of CIAS showing test vehicle after Test 6.

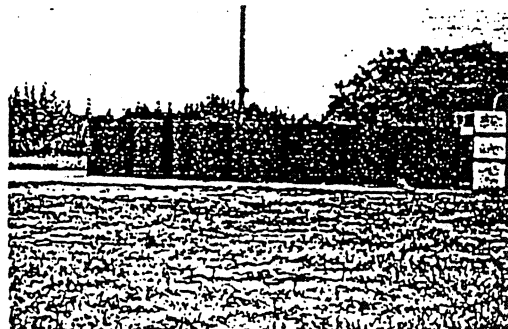


FIGURE 9 Side view of CIAS before Test 7.

Carney et al.

3. Test 8 (October 4, 1983)

a. System tested: Same as that in Tests 6 and 7 (see Figure 1).

b. Test vehicle: A Honda Civic (1977) impacted the attenuator at 60.9 mph and 0 degrees. The vehicle weighed 1,800 lb with 1,069 lb on the front axle and 731 lb on the rear axle (Figure 13).

c. Test results: The vehicle fully collapsed the first five rows of the attenuator, but the back two rows of the system were deformed only

slightly (Figures 14 and 15). The front end of the vehicle sustained an average crush of 9 in. (Figure 16). Two occupant impact velocities are reported in Table 1 for this test. As in Test 2, they correspond to occupant travel distances of 1.25 and 2.0 ft.

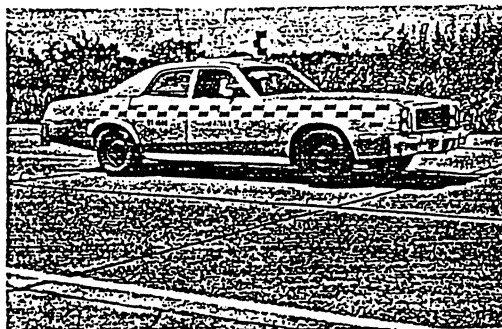


FIGURE 10 Test vehicle before Test 7.



FIGURE 13 Test vehicle before Test 8.

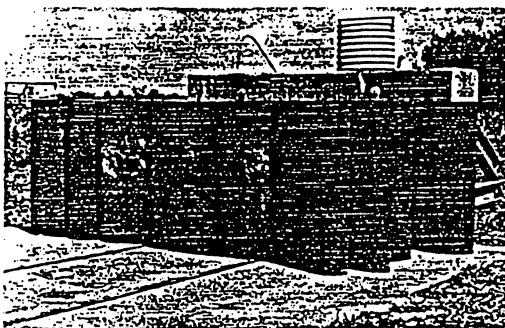


FIGURE 11 Front angular view of CIAS after Test 7.

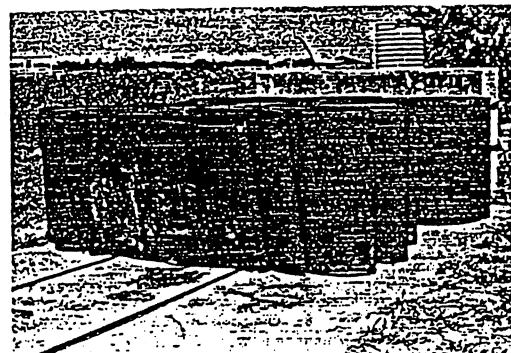


FIGURE 14 Side view of collapsed system, Test 8.

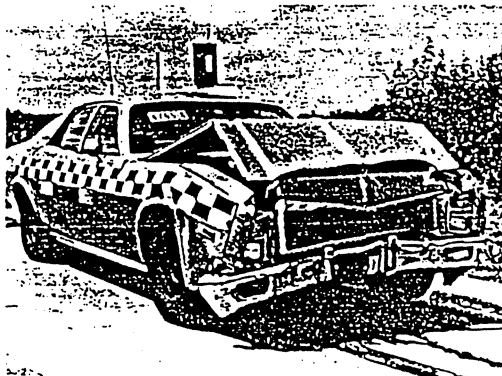


FIGURE 12 Frontal damage sustained by vehicle in Test 7.

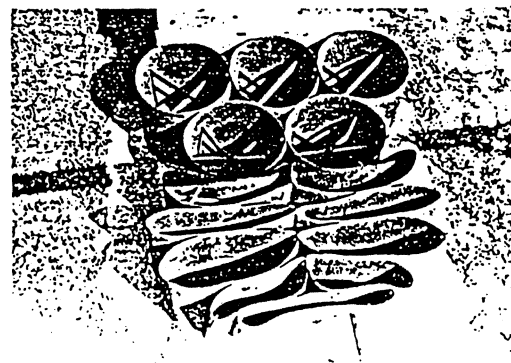


FIGURE 15 Top view of collapsed system, Test 8.

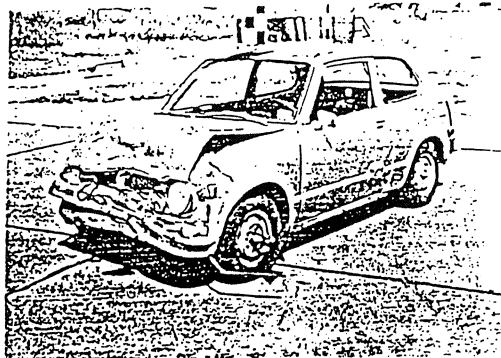


FIGURE 16 Damage sustained by vehicle, Test 8.

4. Test 9 (October 6, 1983)

a. System tested: Same as that in Tests 6-8 (see Figure 1).

b. Test vehicle: A Chrysler Newport (1979) impacted the attenuator at 61.6 mph and 0 degrees. The vehicle weighed 4,500 lb with 2,358 lb on the front axle and 2,142 lb on the rear axle.

c. Test results: This test is a repeat of Test 7 with refurbished CIAS materials. The unit was composed of 14 tubes used in previous crash tests to demonstrate that restored tubes would exhibit the same energy-dissipation behavior as virgin tubular sections.

Two major points were considered during the planning of the restoration process. First, the cost was to be held down without sacrificing quality. Second, the final process was to be one that could be practically performed on an attenuator in actual use after an impact.

The 4-ft-high tubes were available from four earlier crash tests: Tests 4, 5, 6, and 7. The prior location of each steel tube used in the restored unit and the action taken to correct the damage are summarized in Table 2. Six tubes had no previous damage: five of these (J, K, L, M, and N) were left damaged from Test 6; the other (C) had not been used before. It contained thin 1/8-in. straps that were replaced with the correct pipes and straps. Three tubes (B, D, and E) were rerolled by placing hydraulic jacks inside them. Two tubes (F and G) were only slightly out of round. Neither contained

TABLE 2 Summary of Refurbished Tubes Used in Crash Test 9

Restored Unit Tube	Prior Location	Corrective Action
A	A, Test 6	Rerolled and steel added
B	B, Test 6	Rerolled with jacks
C	E, unused	Bracing replaced with correct type
D	D, Test 5	Rerolled with jacks
E	E, Test 6	Rerolled with jacks
F	H, Test 5	Rerolled with steel addition
G	I, Test 6	Rerolled with steel addition
H	J, Test 7	Rerolled
I	K, Test 7	Cut and reverse rolled
J	J, Test 5	Left undamaged
K	K, Test 6	Left undamaged
L	L, Test 5	Left undamaged
M	M, Test 5	Left undamaged
N	N, Test 5	Left undamaged

bracing, but the addition of the needed pipes and straps made the tubes round again.

The remaining three tubes (A, H, and I) were rerolled by a commercial metal fabricator. Before the tubes could be rerolled, all protrusions such as seam welds and bracing had to be removed and ground smooth. Tube A had not been severely damaged. The

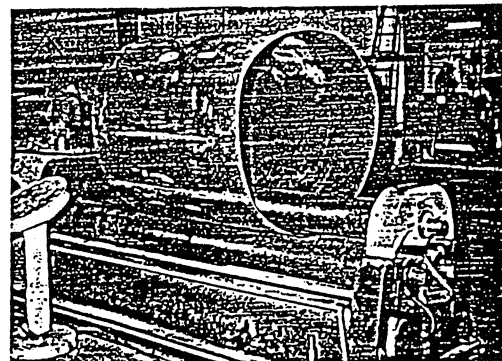


FIGURE 17 Tube A mounted in rolling mill.



FIGURE 18 Tubes H and I after Test 7.

Garney et al.

pipes and straps were removed and it was rerolled from the existing semiround shape. Figure 17 shows Tube A mounted in a rolling mill before it was rerolled. After 1.5 hr of rerolling, new pipes and straps were added to the tube.

Figure 18 shows Tubes H and I, which had been severely deformed, before each was removed from the previous attenuator. After 3 hr of rerolling, Tube H looked as it does in Figure 19. A different method of rerolling was tried for Tube I: it was cut along the seam with a torch. Figure 20 shows Tube I after cutting. It was then flattened, rolled on the reverse side, and re welded. A total of 2.5 hr was spent cutting, rolling, and welding the tube.

It can be seen from Figures 21 and 22 and Table 1 that the system's response in Test 9 was essentially identical to that in Test 7. The only discernible difference to be reported concerns the relative stiffness of the front ends of the test vehicles employed in Tests 7 and 9. The Chrysler Newport was significantly stiffer than the Plymouth Salon used in Test 7, sustaining an average crush of only 8 in. This very successful test proves that collapsed tubes can be economically restored and used again in the CIAS without affecting system performance.

DISCUSSION

The final design of the CIAS evolved during the first phase of the testing program. No design changes

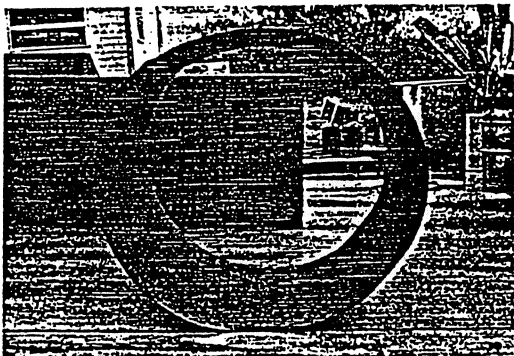


FIGURE 19 Tube H after rerolling.

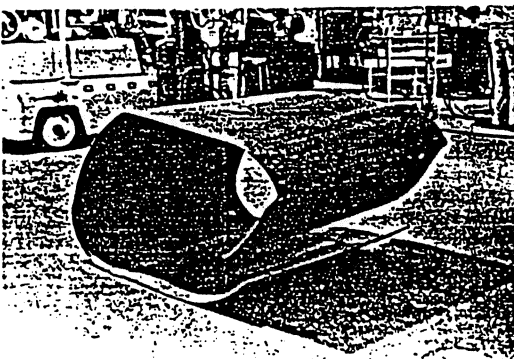


FIGURE 20 Tube I after cutting.

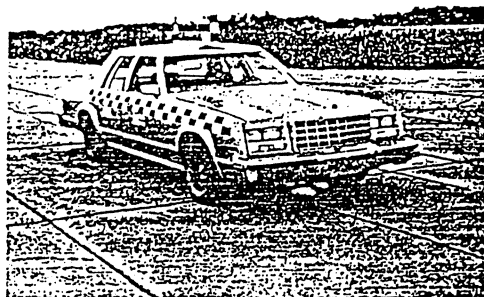


FIGURE 21 Before Test 9: test vehicle (top) and top view of CIAS (bottom).

were made subsequent to the fifth crash test. Tests 6-9 all exhibited excellent performance characteristics with respect to both NCHRP Report 230 and TRC 191.

The CIAS possesses unique trapping and redirection characteristics. An extensive full-scale crash testing program (16 tests) (8) has verified the effectiveness of the system, which has a unit fabrication cost of \$4,200. ConnDOT installed four such systems in the field in 1984. The locations were selected by the Office of Research and other affected units based on field experience. ConnDOT research personnel will monitor the performance of the CIAS, working closely with maintenance, design, traffic, and law enforcement personnel to obtain sufficient data to evaluate the effectiveness of the system. A 3-year performance evaluation is planned during which a frequent regular inspection routine will be set up. The inspectors will be equipped with cans of spray paint to cover scrape marks on the tubes caused by minor hits. With such a procedure, brush-type hits can be easily detected.

ConnDOT has produced a short narrated color film to document the construction of the units, highlight the crash-testing program, describe how the system is installed in the field, and summarize available performance data. Information regarding this film can be obtained from the second author of this paper.

SUMMARY AND CONCLUSIONS

The development of a new crash cushion is described in this paper. This impact-attenuation device is composed of steel tubular members formed from

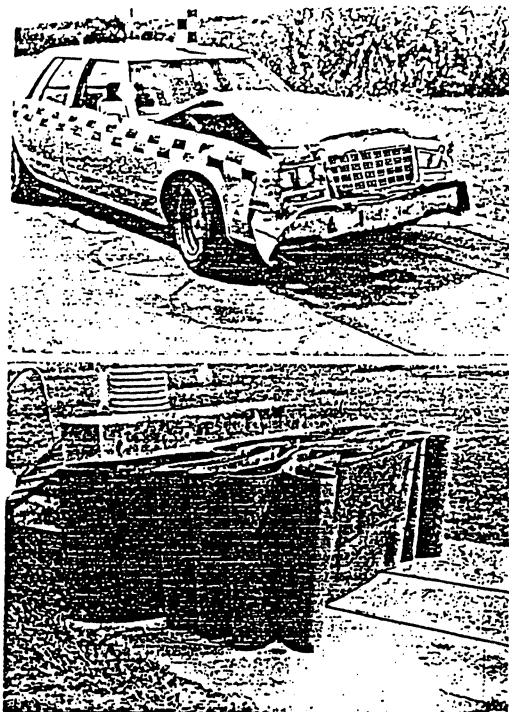


FIGURE 22 After Test 9: damage sustained by test vehicle (top) and side view of collapsed system (bottom).

straight plate sections, which are bolted together to form a cluster. This device is unique in that it will trap an errant vehicle under most impact conditions. The vehicle will be redirected back out into the roadway only when the impact location is so close to the rear of the system that it is impossible to obtain an acceptable energy-dissipation and deceleration-trapping response because of the proximity of the site hazard. No other attenuation system in use today possesses this capability.

In addition, the Connecticut impact-attenuation system exhibits the following characteristics:

1. It satisfies the impact performance standards outlined in TRC 191 and NCHRP Report 230;
2. It is inexpensive to fabricate;
3. It is inexpensive to repair after impact (Test 9 demonstrated that collapsed tubes can be restored to their original circular configurations and reused), and the energy-dissipating tubes can be refurbished and reused;
4. There is no flying debris associated with the crash event; and
5. It is constructed of readily available materials.

ACKNOWLEDGMENT

The work described in this paper was performed as part of a ConnDOT HPR project in cooperation with the U.S. Department of Transportation.

REFERENCES

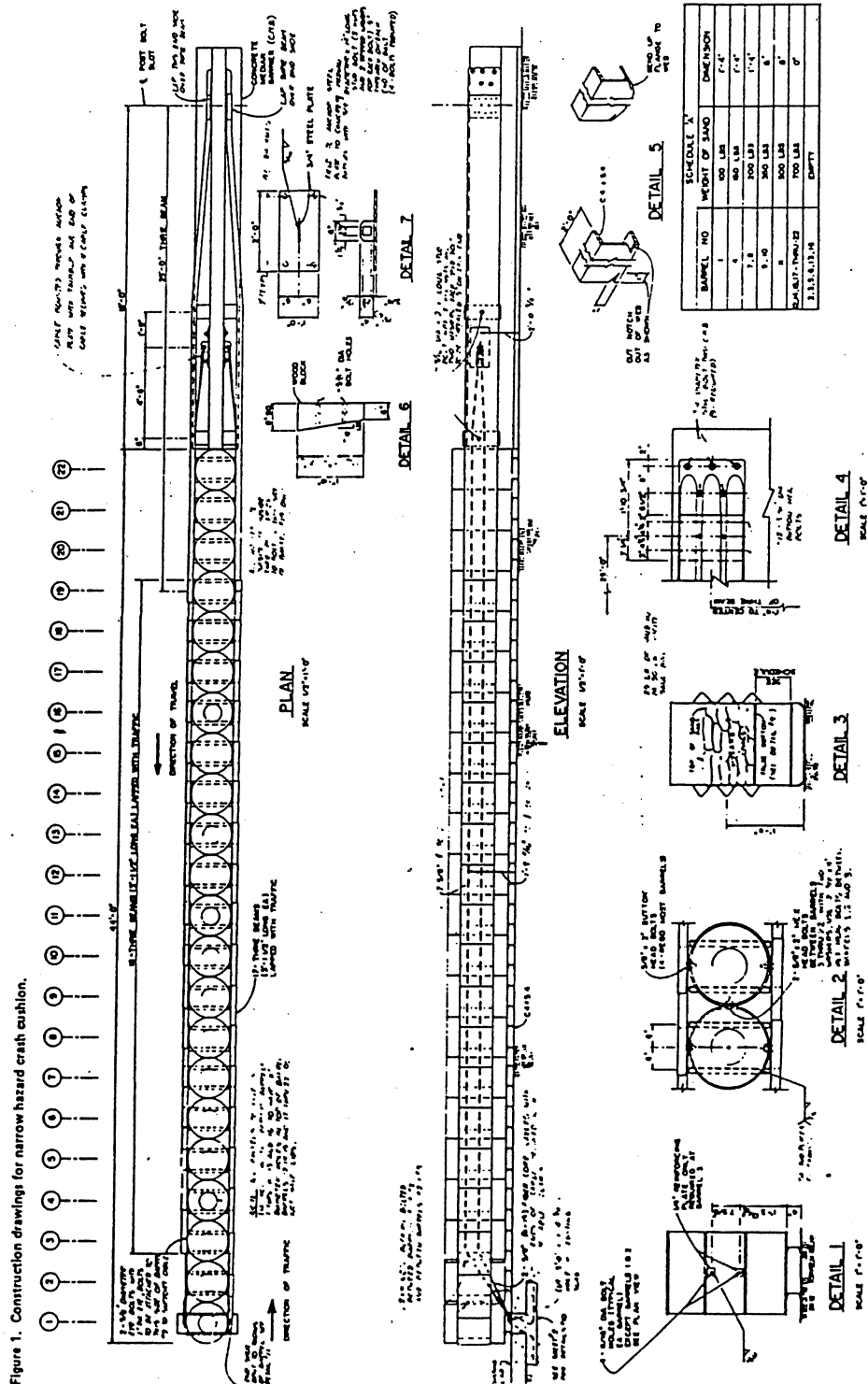
1. J.F. Carney III. Experimental Evaluation of a Portable Energy-Absorbing System for Highway Service Vehicles: Final Report for Phase I. Report 402-1-77-3. Connecticut Department of Transportation, Wethersfield, Jan. 1977.
2. J.F. Carney III. Experimental Evaluation of a Portable Energy-Absorbing System for Highway Service Vehicles: Final Report. Report 402-F-79-1. Connecticut Department of Transportation, Wethersfield, Dec. 1978.
3. Portable Crash Cushion Saves Lives of Maintenance Crews. TR News, No. 107, July-Aug. 1983, p. 4.
4. J.F. Carney III and D.A. Larsen. Accident Experience with Connecticut Crash Cushion. Report 343-16-80-19. Connecticut Department of Transportation, Wethersfield, Dec. 1980.
5. R.V. Anderson. Crash Attenuator Saves Life of Minnesota Maintenance Man. TR News, No. 104, Jan.-Feb. 1983.
6. P. Brown, P. Geib, and R. Leonard. Monitoring Field Installations of Impact Energy Attenuators by Videotape, Phase II. Report FHWA/CA/07/80/01. California Department of Transportation, Sacramento, July 1980.
7. J.F. Carney III. Report on Model Tests Conducted at the University of Cambridge, England. Report 722-1-80-13. Connecticut Department of Transportation, Wethersfield, July 1980.
8. J.F. Carney III. Development and Experimental Evaluation of a Steel-Tube Vehicle Impact Attenuation System: Final Report. Report 722-F-81-13. Connecticut Department of Transportation, Wethersfield, Sept. 1981.
9. S.R. Reid, J.F. Carney, III, and S.L.K. Drev. Energy Absorbing Capacities of Braced Metal Tubes. International Journal of Mechanical Sciences, Vol. 25, No. 9-10, 1983, pp. 649-667.
10. J.F. Carney III and J.R. Veillette. Impact Response and Energy Dissipation Characteristics of Stiffened Metallic Tubes. Structural Impact and Crashworthiness, Vol. 2, 1984, pp. 564-575.
11. Recommended Procedures for Vehicle Crash Testing of Highway Appurtenances. Transportation Research Circular 191. TRB, National Research Council, Washington, D.C., Feb. 1978.
12. Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Appurtenances. NCHRP Report 230. TRB, National Research Council, Washington, D.C., March 1981.
13. J.F. Carney III and C.E. Dougan. Summary of the Results of Crash Tests Performance on the Connecticut Impact-Attenuation System. Report 876-1-83-13. Connecticut Department of Transportation, Wethersfield, Dec. 1983.

The contents of this paper reflect the views of the authors, who are responsible for the facts and accuracy of the data. The contents do not necessarily reflect the official views or policies of the Connecticut Department of Transportation or FHWA. This paper does not constitute a standard, specification, or regulation.

ANHANG 7

Anpralldämpfer für schmale Hindernisse

Transportation Research Record 942



Transportation Research Record 942

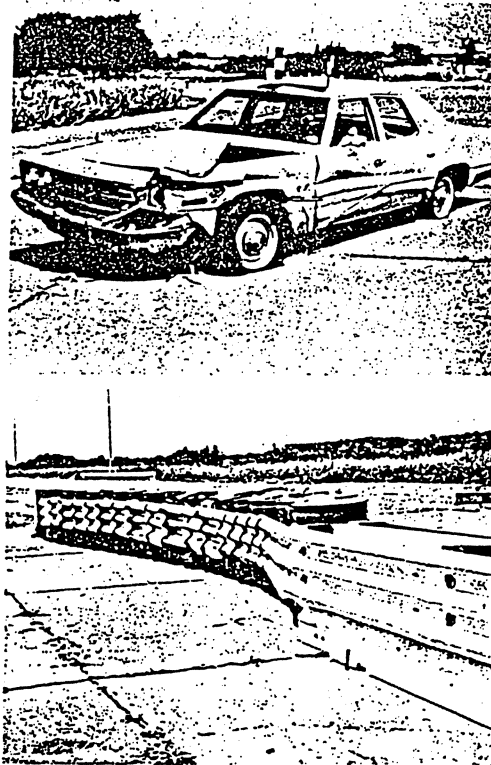
Table 2. Summary of crash tests.

Test No.	Vehicle Weight (lb)	Impact Speed (mph)	Angle of Impact (degrees)	Point of Impact	Vehicle Stopping Distance (ft)	Vehicle Acceleration Data (g)				Vehicle Damage Classification			
						Occupant Impact Velocity (ft/sec)		Occupant Ride/Down, Peak 10 msec avg		Avg Over Stopping Distance		Vehicle Damage State	
						Longitude	Latitude	Longitude	Latitude	Longitude	Latitude	Traffic Accident Damage State	Vehicle Damage Index
1	2093	4300	55.3 89	20	Barrel 11	NA	NA	3.1	0.8	NA	4.8	10LFQ4	10LYEW4
2	2096	2410	58.7 94	0	Nose	15.3	32.3	7.5	1	7.5	0.9	12FD2	12FEDW3
3	2043	4300	60.3 92	0	Nose	20.9	28.0	9.4	1	5.8	0.7	12FD2	12FEDW3
4	1066	2335	59.7 76	10	1-ft off-set from nose	11.4	36.9	10.0	1	10.5	2.0	1FL4	01FDEW5

*No occupant impact during test.

*Kombi an N. J. Muesel
ist nachgegeben

Figure 4. Test vehicle and installation after test 1.



beam, five drums, and two 37.5-in. (95.3-cm) three-beam fish scales. This test was considered successful based on the safety performance and the relatively light damage incurred by the crash cushion.

Test 2

Test 2 examined the head-on impact behavior of the crash cushion. In this test a 2,410-lb (1094-kg) Chevrolet Vega (1976) impacted the nose of the cushion at 0 degrees and 58.7 mph (94.4 km/h). The test vehicle was decelerated smoothly to a stop and did not pitch or yaw significantly during the test. Occupant impact velocities and vehicle accelerations (see Table 2) were within acceptable limits (4,5) for this type of test. One three-beam fish scale was detached from the third drum and skidded along the ground approximately 60 ft (18.2 m). In a highway situation this three-beam plate could have posed a hazard to other traffic.

As shown in Figure 5 damage to the test vehicle was extremely light for a test of this nature. Figure 6 shows the crash cushion after test 2. The crash cushion was restored by replacement of 18 steel drums. All other materials were salvageable. The test was considered successful.

Test 3

Test 3 evaluated the behavior of the cushion after

Figure 5. Test vehicle after test 2.

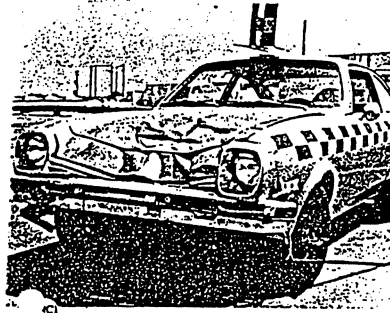
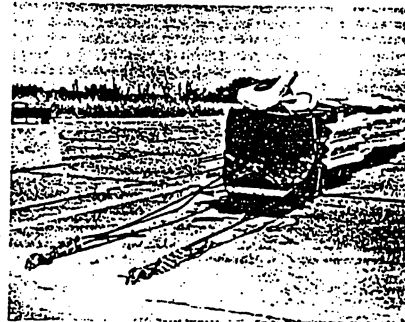
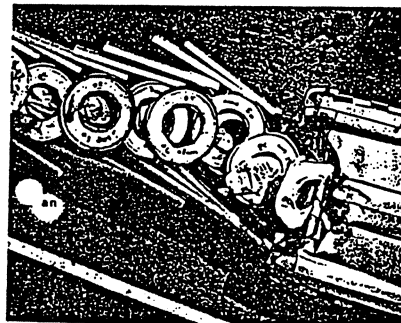


Figure 6. Test installation after test 2.



Transportation Research Record 942

head-on impact with a large vehicle. For this test a 4,500-lb (2043-kg) Plymouth Fury (1977) impacted the nose of the crash cushion head-on at 60.5 mph (97.4 km/h). The test vehicle was decelerated to a stop smoothly over a distance of 20.9 ft (6.4 m). The front of the test vehicle pitched up less than 5 degrees and did not yaw significantly during the test. All occupant risk values (given in Table 2) were well below acceptable limits (4,5). A three-beam fish scale became detached from the third drum and skidded along the ground approximately 135 ft (41 m).

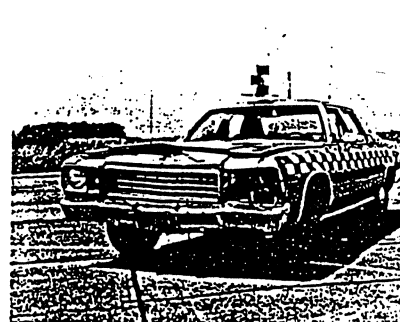
The test vehicle, shown in Figure 7, experienced light damage for a test of this nature. Figure 8 shows the crash cushion after test 3. The cushion was heavily damaged, as would be expected from this test; however, the only unsalvageable materials were 19 steel drums. This test was successful, with the exception of the three-beam plate that became detached from drum no. 3.

Test 4

Analysis of high-speed films from test 2 revealed that the test vehicle's bumper impacted the leading three-beam fish scale on the upstream side of the treatment before the drum to which the fish scale was attached was impacted. Researchers concluded that, if the leading fish scale could be bent around the drum and more bolts could be placed in it, this fish scale would not be dislodged during the head-on impacts. Therefore, two additional three-beam fish scales were added to the upstream side of the crash cushion before test 4. One of these three-beam plates, a standard three-beam end shoe, was attached to the leading drum and bent around it. Three bolts were also used to attach the end shoe to the drum.

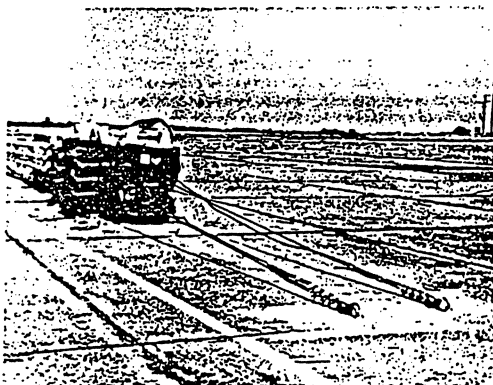
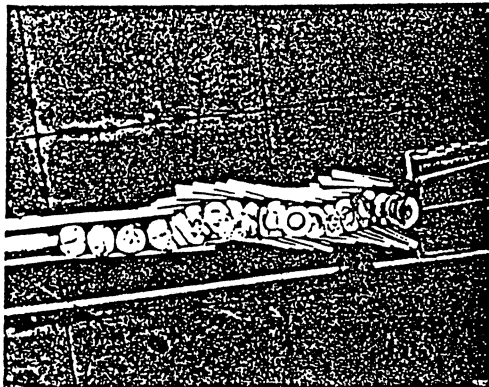
Test 4 evaluated the crash cushion for unsymmetrical loading at the nose. For this test a 2,335-lb (1060-kg) Chevrolet Vega (1975) impacted the nose of the crash cushion at 10 degrees and 59.7 mph (96.1 km/h). On impact the left front side of the test vehicle snagged on the nose of the cushion. The vehicle then yawed approximately 45 degrees as it was decelerated smoothly to rest. The longitudinal occupant impact velocity was 38.9 ft/sec (11.9 m/sec), which is below the maximum recommended value of 40 ft/sec (12.2 m/sec). Other occupant risk values were also within acceptable limits (4,5). None of the three-beam fish scales became dislodged during this test.

Figure 7. Test vehicle after test 3.



Transportation Research Record 942

Figure 8. Test installation after test 3.



Damage to the test vehicle was moderate, as shown in Figure 9. Figure 10 shows the crash cushion after test 4. Restoration of the crash cushion involved replacement of 14 steel drums. The angle impact test on the nose of a crash cushion is a

Figure 9. Test vehicle after test 4.

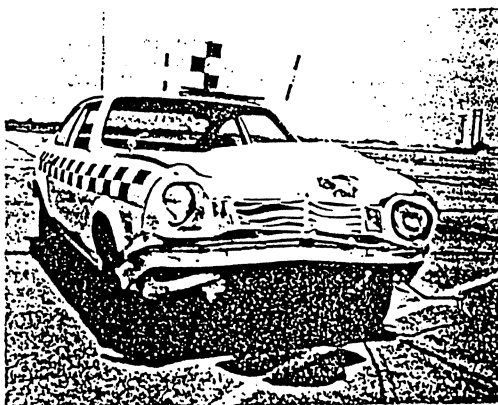
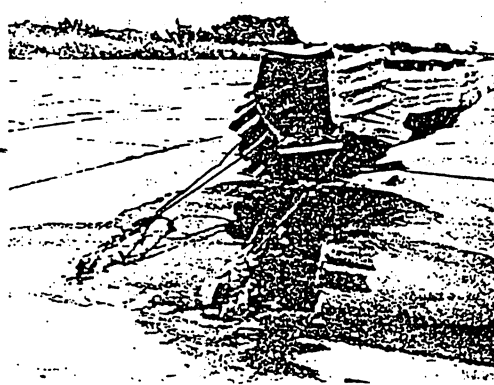
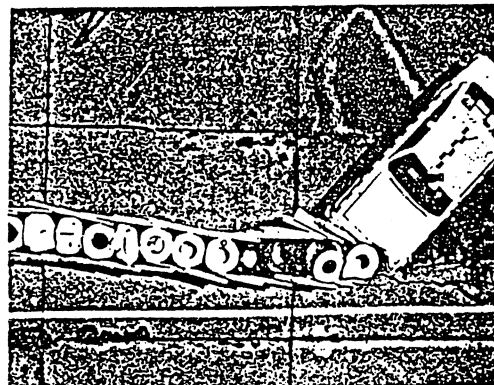


Figure 10. Test installation after test 4.



relatively new test and it is not known whether crash cushions tested previously could pass this test. Therefore, this test was considered successful even though the longitudinal occupant impact velocity was near the maximum acceptable limit.

CRASH CUSHION COSTS

Material costs and labor requirements for fabrication and installation of crash cushions are given in

Table 3. Installation costs of crash cushion.

Item	Cost (\$)
Materials	
Steel drums	66
Thrie beam	694
Thrie-beam end shoes	135
C4 x 5.4 steel channels	179
5/8-in. steel cable	161
Sand bags and sand	360
Miscellaneous	247
Subtotal	1,842
Labor ^a	
Shop fabrication, 55 person-hr	825
Site installation, 39 person-hr	585
Subtotal	1,410
Total	3,252

^a Labor costs calculated at \$15 per person-hr.

ANHANG 8

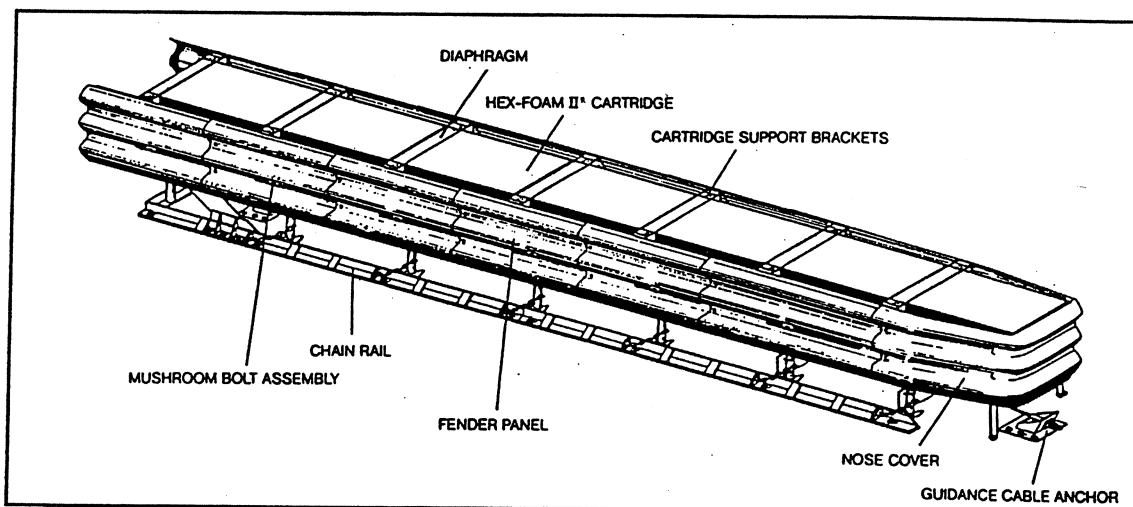
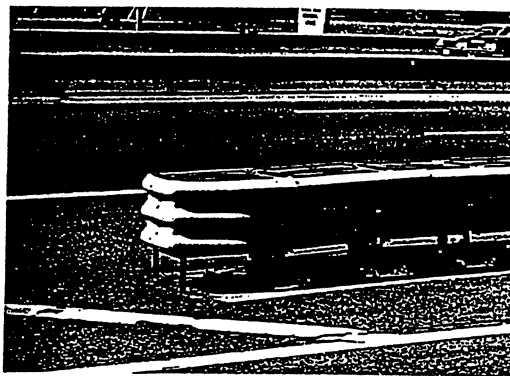
Das GREAT - System

THE G-R-E-A-T SYSTEM

The ideal crash cushion for narrow-site hazards

The G-R-E-A-T[®] (Guard Rail Energy Absorbing Terminal) System provides unequalled energy-absorbing and redirective abilities in a narrow, compact unit. Ideal for narrow hazards such as the ends of double-faced guardrails and at butterfly signs, this unit can also be mounted directly onto the end of a concrete median barrier.

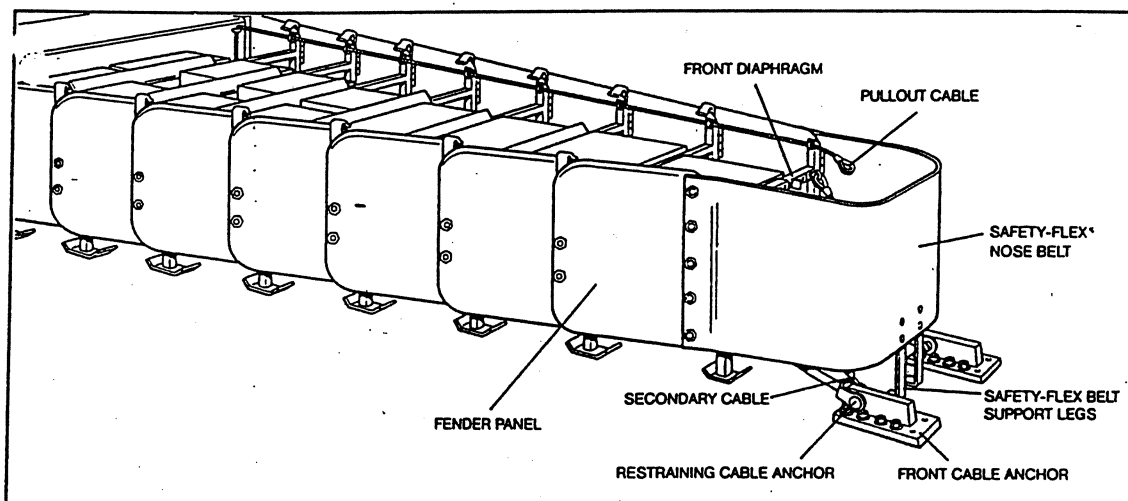
The G-R-E-A-T System consists of crushable Hex-Foam[®] II cartridges surrounded by a framework of triple-corrugated steel guardrail. When hit head-on, the energy-absorbing cartridges crush to dissipate the energy of the impact, while the steel guardrail side panels telescope. Only the cartridges and plastic nose cone are expended.



THE HEX-FOAM[®] SANDWICH SYSTEM

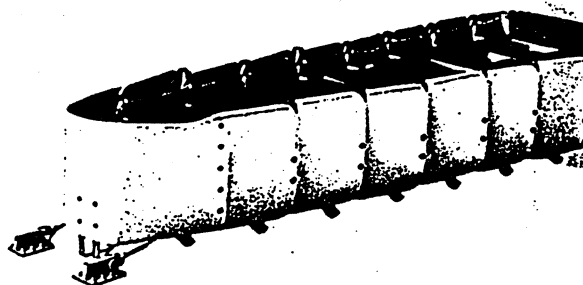
**Wide hazard protection
for light and
heavy vehicles**

Offering impact protection for both the lighter and the heavier vehicles, the Hex-Foam[®] Sandwich System is perfect for wide hazards such as bridge piers and tollbooths. It is effective against head-on and angle hits at typical highway speeds.



When hit head-on, a series of cartridges, placed between lightweight tubular steel diaphragms and surrounded by overlapping fender panels, is crushed. This action gently stops the vehicle. Hit at an angle, the system safely redirects the vehicle.

Only the cartridges are expended during a crash. Three sizes of cartridges are required, permitting convenient stocking of these easily replaceable elements. The Hex-Foam Sandwich System is available in standard widths of 3'0", 5'0", and 7'6".



HI-DRO[®] SYSTEM

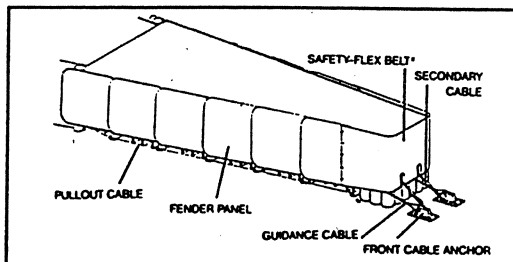
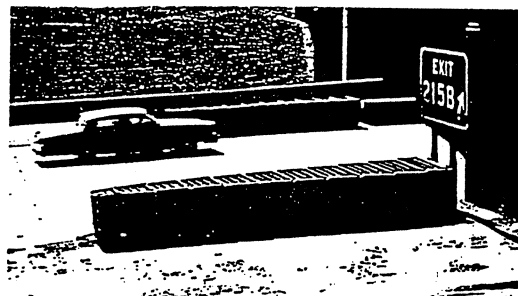
**The crash cushions for
most high-frequency
impact areas**

Hi-Dro[®] Sandwich System

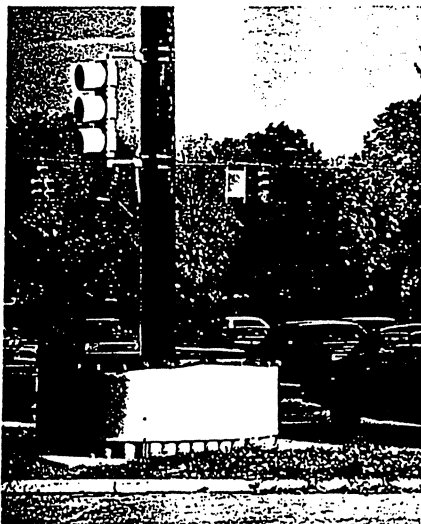
The Hi-Dro[®] Sandwich System is the ideal crash cushion for most high-frequency impact areas. It's perfect for hazards in busy traffic areas, gores at exit ramps, bridge piers, and bifurcations on high-volume highways. The Hi-Dro cushion provides motorist protection at impact angles from head-on up to 15 degrees and at speeds up to 60 mph.

The Hi-Dro System consists of a series of flexible cartridges filled with a water-and-antifreeze mixture placed between solid diaphragms in a multilayered sandwich construction. When a Hi-Dro cushion is struck, the force of the impact is absorbed as the liquid is pushed out.

The key to the Hi-Dro System's cost effectiveness is its exceptional reusability. It withstands numerous impacts without severe damage, and after most impacts only the expelled liquid needs to be replaced.

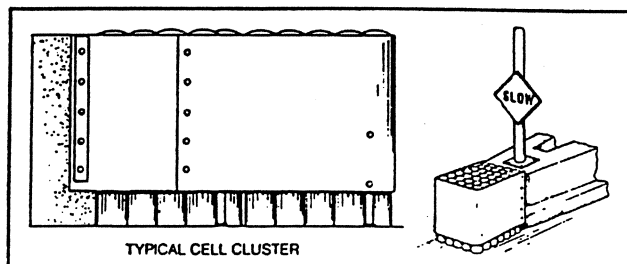


Hi-Dro[®] Cell Cluster



The Hi-Dro[®] Cell Cluster is specifically designed for areas where space is limited and traffic speeds do not exceed 45 mph. These hazards include tollbooths, utility poles, railroad crossing signals, and traffic lights. Like the Hi-Dro Sandwich System, the smaller cell cluster unit also features extraordinary reusability.

The unit consists of Hi-Dro cells fastened together in a cluster, then wrapped with a flexible "safety belt." The variety of available cluster configurations is virtually limitless.

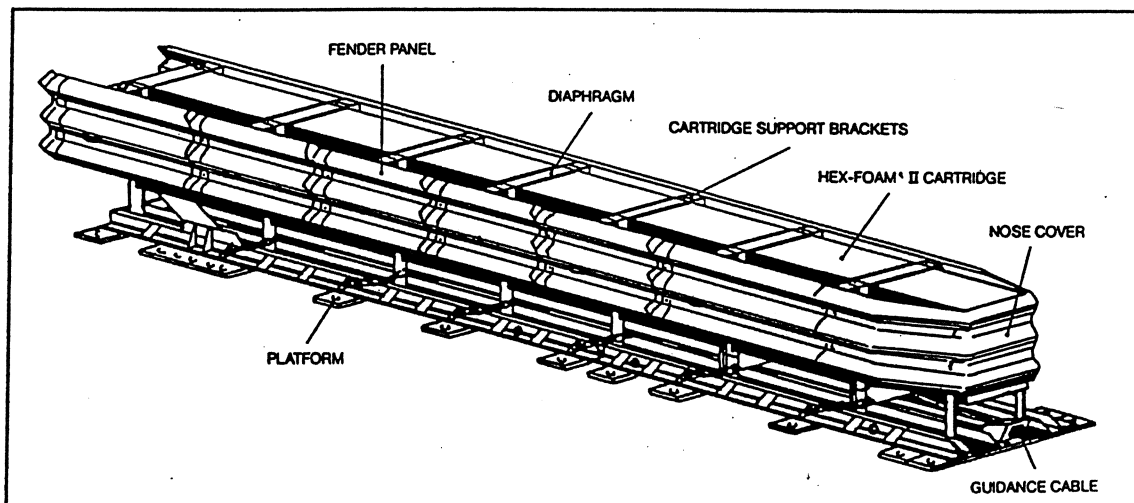
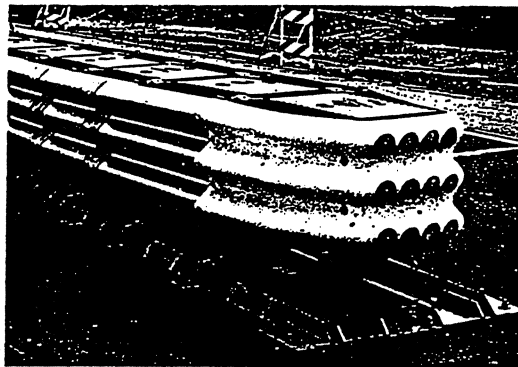


THE G-R-E-A-T[®]_{CZ}

The portable crash cushion for construction zones

The Construction Zone G-R-E-A-T[®] System (G-R-E-A-T_{CZ}) is a compact, portable unit that offers the same lifesaving features of permanent systems. It is used in construction zones to protect motorists from temporary median barrier ends, bridge piers, and temporary or permanent safety walls, among other hazards. Like the G-R-E-A-T System, this system uses Hex-Foam[®] II cartridges to absorb the energy of an impact.

Transporting the G-R-E-A-T_{CZ} is easy because of its light weight and modular construction. Narrow in width (2'0" or 2'6"), the unit is constructed in segments that are connected during installation. Normally, only the quick installation of anchor bolts or pins is necessary to set and affix the unit on suitable surfaces.



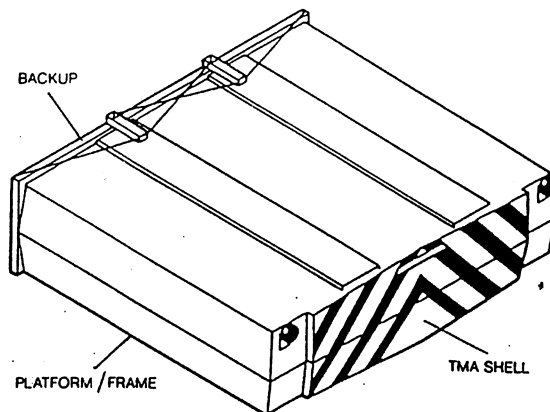
HEX-FOAM[®] TMA

Tough, efficient truck-mounted attenuator with fiberglass shell

This easy-to-install truck-mounted attenuator protects maintenance crews, highway construction workers, equipment, and errant motorists.

The TMA consists of a crushable Hex-Foam[®] cartridge that is encased in a sturdy fiberglass shell. The shell is bolted to a backup that, in turn, can be easily and quickly connected to and disconnected from the truck, using only three pins. An optional hydraulic actuator permits a 15-degree upward tilt to compensate for rough terrain, while another optional unit tilts the attenuator 90 degrees upward for traveling.

The Hex-Foam TMA has been tested to protect a stationary maintenance vehicle from impacting vehicles moving at speeds of up to 45 mph. The TMA unit weighs approximately 1,400 pounds.

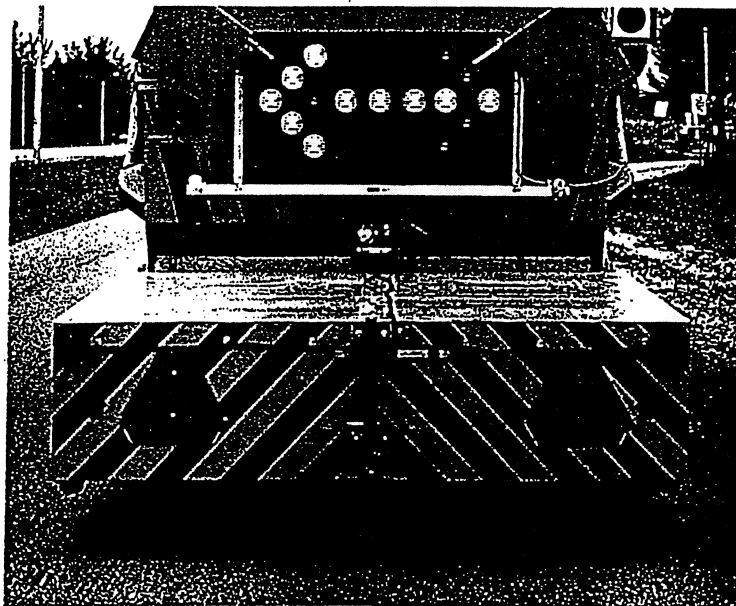
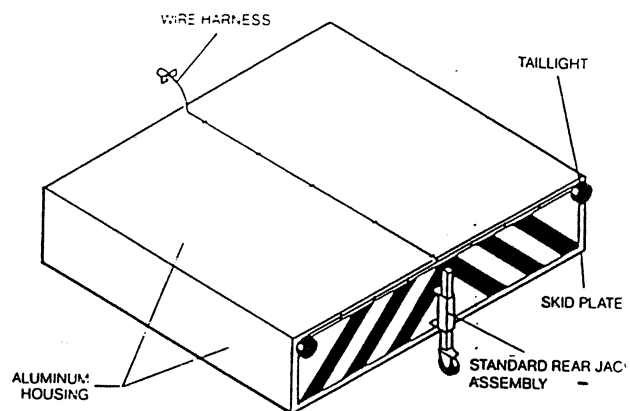


ALPHA 1000™ TMA

Economical, lightweight truck-mounted attenuator with aluminum shell

The ALPHA 1000™ TMA System weighs approximately 1,100 pounds, even with optional hydraulic tilt mechanisms. The lifesaving component of this unit is the unique configuration of aluminum cells. The columnar-shaped cells collapse upon impact, thereby dissipating the collision energy and bringing the impacting vehicle to a safe, controlled stop.

The ALPHA 1000 TMA has been tested to protect the maintenance vehicle while sustaining an impact of up to 45 mph. Because of its lightweight, the ALPHA 1000 TMA can be mounted to a wide variety of trucks.

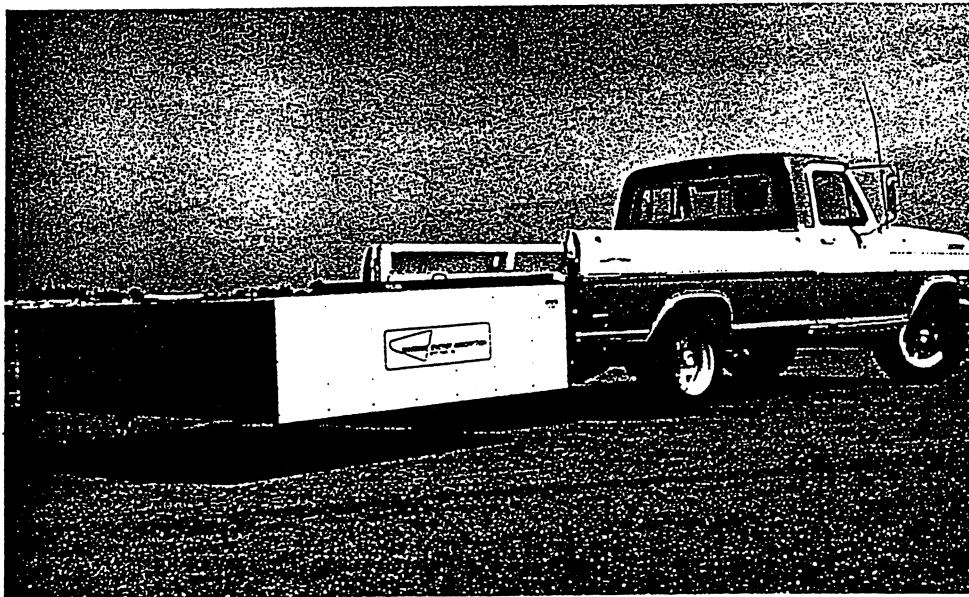
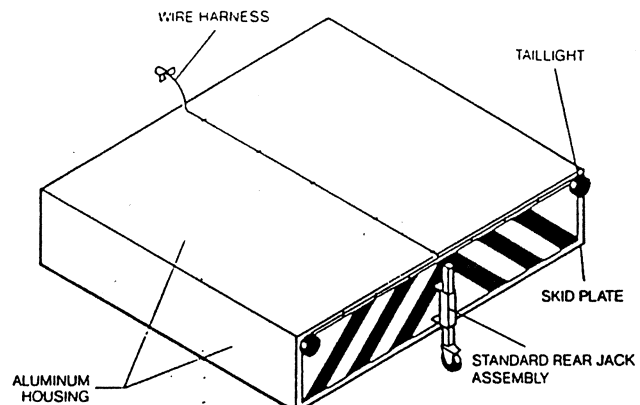


ALPHA 500™ TMA

High-performance attenuator for pickup trucks

The ALPHA 500™ is the only TMA system specifically designed for quick mounting on a $\frac{3}{4}$ -ton or larger pickup truck. Utilizing a unique configuration of collapsible aluminum cells, the ALPHA 500 TMA provides excellent protection for truck operators and errant motorists.

The ALPHA 500 TMA System features a corrosion-resistant aluminum shell that bolts to a lightweight backup for pickup mounting. The system has been tested to protect a stationary pickup truck from a 4,500-pound impacting vehicle traveling at speeds up to 45 mph.



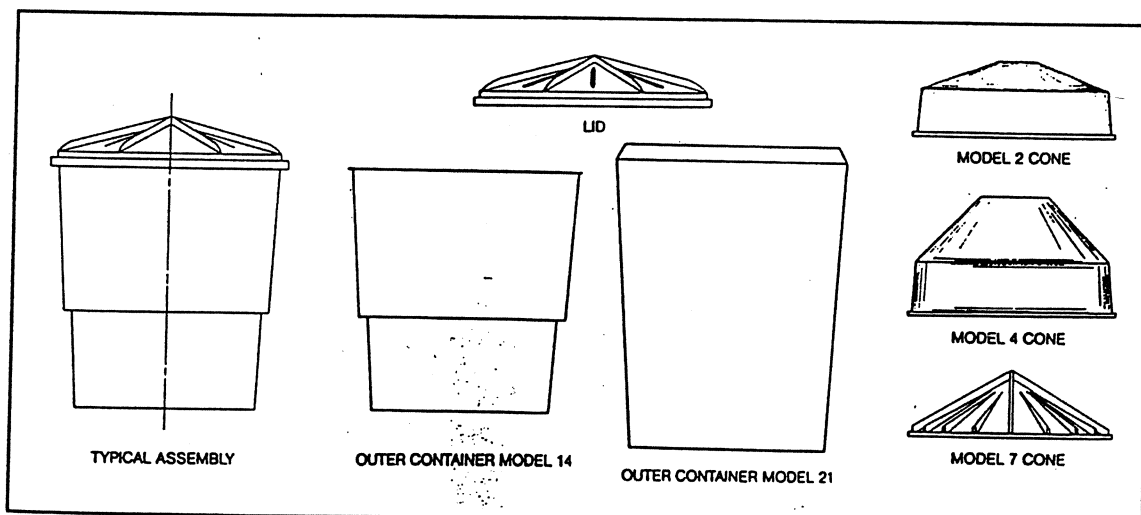
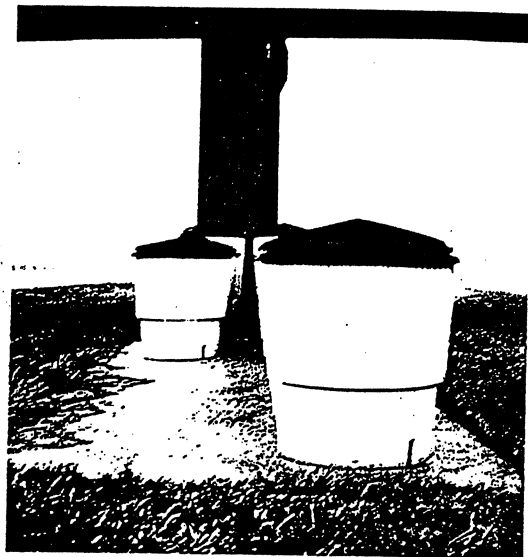
ENERGITE III SYSTEM

The proven inertial barrier system

The Energite*III System provides an economical crash cushion for low-frequency impact areas. For very wide hazards such as "T" intersections and wide gores, and for areas of less frequent impact, the Energite III System can offer the lowest initial cost and the best alternative for assuring motorist safety.

Consisting of a planned array of sand-filled plastic containers, the Energite III System is designed to break up on impact. As the vehicle passes through the array, its speed is slowed by the transfer of its momentum to the sand, allowing for a safe, steady deceleration.

With proper placement, the Energite III System can safely decelerate vehicles for a wide range of design velocities with head-on impacts.

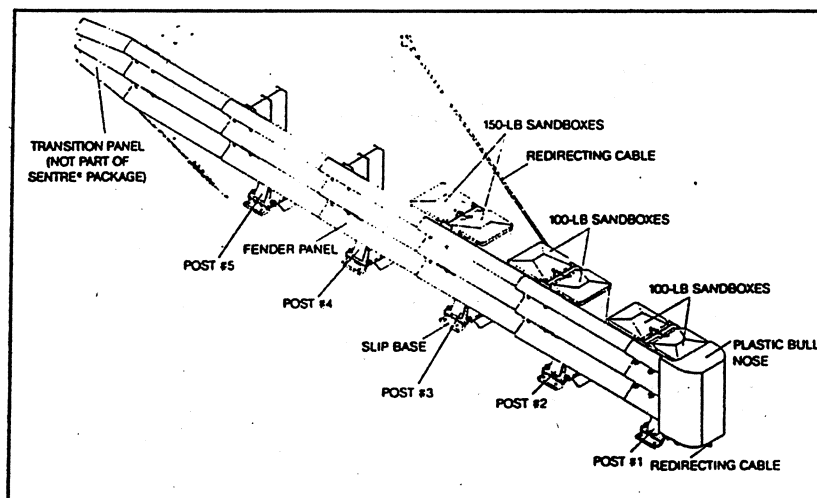


Sentre®

Crashworthy guardrail end treatment

The Sentre® System is the safe solution to hazardous guardrail ends. The Sentre System not only protects motorists from that unforgiving "hard point" on a guardrail, but it also controls vaulting, ramping, and spearing—common problems experienced with all other treatments.

Made up of telescoping panels, support posts with slip bases, a redirecting cable, and sand-filled boxes, the Sentre System gently guides an impacting vehicle away from the hard point. All major components are reusable after a typical hit, making Sentre a safe, economical solution to the guardrail end hazard.



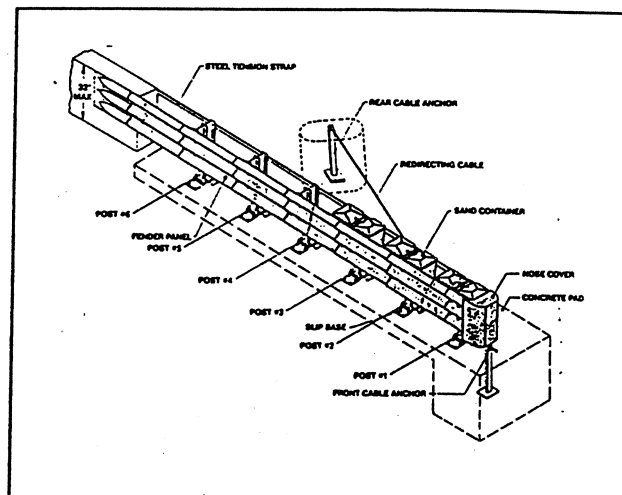
TrendTM

Combination transition section and end treatment for rigid barrier ends

Here's one Energy Absorption product that does two important jobs: it provides both an end treatment for rigid barriers and a transition section, thereby protecting errant motorists from the deadly hard point on barrier ends.

In applications where the standard section of guardrail can be eliminated, the TRENDTM System can protect motorists while reducing the required length of barrier. Barrier ends, bridge rails, abutments, and railroad signals can be shielded in as little as 20 feet without the risk of vaulting, ramping, or spearing.

The TREND System consists of nested fender panels, support posts with slip bases, a redirecting cable, a tension strap, and sand-filled boxes for dissipating collision energy. The TREND System has a low initial cost, permits reduction of installation lengths while still protecting motorists, and is reusable.



ANHANG 9

Rundschreiben des ASB von 24. August 1988
betreffend umfahrbare Signalstände

Eidgenössisches Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement
Département fédéral des transports, des communications et de l'énergie
Dipartimento federale dei trasporti, delle comunicazioni e delle energie



Bundesamt für Strassenbau
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle strade

3003 Bern, 24. August 1988

An die Kantonsingenieure

An die Chefs der kantonalen Autobahnbüros

Sehr geehrte Herren

Im vergangenen Jahr führte das Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau an der ETH Zürich (IVT) im Auftrag des Tiefbauamtes des Kantons Basel-Landschaft und im Einvernehmen mit unserem Amt Anfahrversuche an konventionelle und an neuartige, umfahrbare Signalständer durch. Wir senden Ihnen in der Beilage eine Kopie des Versuchsprogrammes und der Schlussfolgerungen aus dem Bericht des IVT. Die Ergebnisse sind derart eindeutig, dass wir Sie bitten, in Zukunft Signale, die nicht hinter eine aus andern Gründen montierte Leitschranke zu stehen kommen, nicht mehr mit einer Leitschranke gegen Anfahrten zu schützen, sondern sie auf umfahrbare Signalständer zu versetzen. Wird im Zuge einer Unterhaltsmassnahme (Belagserneuerung, Erneuerung von Leitschranken infolge Korrosion, usw.) eine ganze Nationalstrassenteilstrecke sicherheitstechnisch überprüft, so ist den Erkenntnissen aus dem genannten Bericht ebenfalls Rechnung zu tragen.

Mit freundlichen Grüssen
BUNDESAMT FUER STRASSENBAU
Der Direktor

K. Suter

Beilage erwähnt

