



INSTITUT FÜR STRASSEN-, EISENBAHN- UND FELSB
AN DER EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

VORSTEHER: PROF. H. GROB

ANFAHRVERSUCHE AN LEITSCHRANKEN
MIT KASTENPROFIL

ESSAIS D'IMPACT SUR GLISSIÈRES DE SÉCURITÉ
AVEC PROFIL EN CAISSON

PROVE D'URTO SU BARRIERE DI SICUREZZA
CON PROFILI A SEZIONE SCATOLARE

H. KÖSTER, DIPL. ING. ETH

FORSCHUNGS-AUFTRAG 13/80
DES EIDGENÖSSISCHEN DEPARTEMENTES DES INNERN

SCHLUSSBERICHT, JULI 1981

INHALTSVERZEICHNIS

VORWORT

1. EINLEITUNG

- 1.1. Ausgangslage
- 1.2. Ziel der Versuche
- 1.3. Versuchsprogramm

2. VERSUCHSBEDINGUNGEN

3. VERSUCHSDURCHFUEHRUNG

4. ANFAHRVERSUCHE

- 4.1. Versuch K 1
- 4.2. Versuch K 2
- 4.3. Versuch K 3
- 4.4. Versuch K 4
- 4.5. Versuch K 5
- 4.6. Versuch K 6

5. RESULTATE

- 5.1. Pw-Versuche
- 5.2. Lw-Versuche

6. VORSCHLAEGE ZUR VERBESSERUNG DER LEITSCHRANKENSYSTEME MIT KASTENPROFIL

7. ZUSAMMENFASSUNG

8. LITERATURANGABEN

V O R W O R T

Der vorliegende Bericht beschreibt die Anfahrversuche an Leitschranken mit Kastenprofilen. Diese Leitschrankenart ist bereits seit vielen Jahren im Einsatz, wurde aber bisher noch nicht getestet. Die Versuche ergaben bei den Pw-Anfahrten das erwartete gute Verhalten, hingegen kam das schlechte Abschneiden bei den Lw-Anfahrten allgemein doch eher unerwartet. Daher haben diese Versuchsergebnisse auch noch Auswirkungen auf die neuen ASB-Richtlinien für die Ausführung von Leitschranken.

Diese Versuchsserie hat einmal mehr gezeigt, dass theoretische Ueberlegungen allein für die Beurteilung von Leitschranken nicht ausreichen, denn trotz theoretisch besseren Voraussetzungen bietet das Kastenprofil keine bessere Lw-Tauglichkeit als die Planke A. Ausserdem sieht man hier wieder, dass es unmöglich ist, eine einfache Leitschranke zu konstruieren, die sowohl bei Pw-Anfahrten als auch bei Lw-Anfahrten günstig wirkt. Es müssen Kompromisse gemacht werden. Die Versuche dienen auch dazu, den für die Verkehrssicherheit günstigsten Kompromiss zu finden. Wir möchten daher der Strassenbauforschungskommission des EDI danken, dass sie diese Anfahrversuche und die ergänzende Unfallauswertung an der Mittelleitschranke mit Kastenprofil als Beitrag zur Erhöhung der Verkehrssicherheit ermöglicht hat.

Die Versuche fanden im Juni 1980 statt. Sie wurden von den Angehörigen meines Instituts in Zusammenarbeit mit den Herren E. Fuhrer, W. Krähenbühl und P. Balmer von der Ingenieurschule Biel durchgeführt. Allen Beteiligten sei an dieser Stelle bestens gedankt. Unser Dank geht speziell an das Tiefbauamt des Kantons Solothurn, das uns für die Montagearbeiten eine Equipe des Autobahnwerkhofes Oensingen kostenlos zur Verfügung gestellt hat. Diesen Herren sei hier für die angenehme Zusammenarbeit ebenfalls bestens gedankt. Die Firma Gebr. Gysi, Baar, hat das Leitschrankenmaterial zu günstigen Konditionen geliefert sowie die Rammarbeiten mit grossem Können und Einsatz ausgeführt. Für die Instandstellungsarbeiten an den Leitschranken nach den einzelnen Anfahrten, hatte uns das Tiefbauamt des Kantons Aargau freundlicherweise eine Ramme zur Verfügung gestellt.

Wir hoffen, dass dieser Bericht den interessierten Stellen eine ausreichende Entscheidungsgrundlage für die Beurteilung und Anwendung der Leitschranken mit Kastenprofil bietet.

Zürich, Juni 1981

Prof. H. Grob

1. EINLEITUNG

1.1. Ausgangslage

Die Anwendung der Leitschranken mit Kastenprofil, die in der Schweiz zuerst vom Kanton Zürich [1] eingeführt wurden, nimmt hierzulande immer mehr zu. Die Verbreitung des Kastenprofils wird nicht zuletzt durch die gute Uebergangsmöglichkeit auf Brückenleitschranken gefördert.

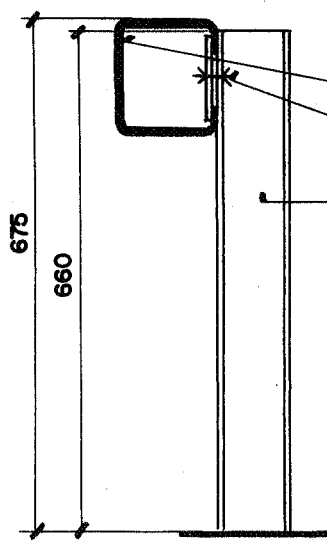
Im Gegensatz zu den anderen stark verbreiteten Leitschrankensystemen wurden aber die Leitschranken mit Kastenprofil in der schweizer Ausführung bisher noch nicht in Anfahrvorsuchen getestet. Darum hat das ISETH ein entsprechendes Forschungsgesuch an die Kommission des EDI für Strassenbauforschung gestellt. Dieser Kredit wurde am 28. April 1980 bewilligt, so dass wir im Juni 1980 die vorgesehene Versuchsserie durchführen konnten.

1.2. Ziel der Versuche

In den Anfahrvorsuchen soll das Verhalten der Leitschranken mit Kastenprofil untersucht werden, um eine Beurteilungsgrundlage für diese Leitschrankenart zu bekommen. Ferner sollen eventuell erforderliche Verbesserungen an diesen Leitschrankensystemen abgeklärt werden.

Dank den standardisierten Versuchsbedingungen werden die Ergebnisse vergleichbar mit denjenigen von anderen Leitschranken. Damit soll erreicht werden, dass die Versuche Hinweise für die sinnvolle Anwendung des Kastenprofils unter Berücksichtigung der Gesamtheit der normierten Leitschrankensysteme ergeben.

VERSUCH K1, K2, K4, K6



LEITSCHRANKE MIT KASTENPROFIL 150/130

KASTENPROFIL 150/130/3

SECHSKANTSCHRAUBE M8x35

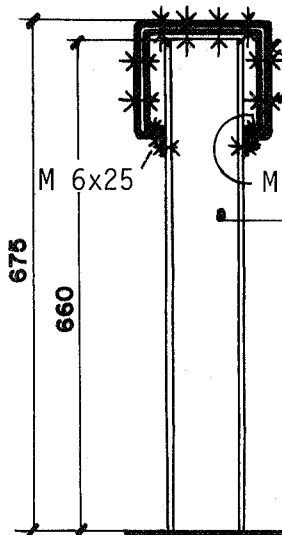
PFOSTEN IPE 100 GERAMMT LÄNGE 1750 mm

PFOSTENABSTAND 4m BEI VERSUCH K1 / K6

PFOSTENABSTAND 2m BEI VERSUCH K2 / K4

VERSUCH K6 MIT EINGESCHWEISSTEN VERSTEIFUNGEN
AUF DER RÜCKSEITE DES KASTENPROFILS

VERSUCH K3, K5



LEITSCHRANKE MIT KASTENPROFIL 180/150

KASTENPROFIL 180/150/4

SECHSKANTSCHRAUBE M16x30

PFOSTEN IPE 100 GERAMMT LÄNGE 1750 mm

PFOSTENABSTAND 4m

Abbildung 1: Systemskizzen

1.3. Versuchsprogramm

Die Leitschranken mit Kastenprofil gliedern sich in 2 Systeme:

1. Strassenrandleitschranke mit Kastenprofil 130/150/3 mm, seitlich am Pfosten montiert.
2. Mittelstreifenleitschranke mit dem grösseren Kastenprofil 150/180/4 mm, das auf dem Pfosten aufgesattelt wird.

Siehe Abbildung 1 "Systemskizzen".

Bei beiden Leitschrankensystemen sollte die Wirkungsweise sowohl bei Pw- als auch bei Lw-Anfahrten untersucht werden. Ferner war vorgesehen, die Randleitschranke mit einem auf 2 m verringerten Pfostenabstand zu testen. Das gesamte Versuchsprogramm sollte also 6 Versuche umfassen, wovon je 3 Versuche mit Lws und mit Pws geplant waren und zwar in der Art, dass an jeder Systemvariante je ein Pw- und ein Lw-Versuch durchgeführt werden sollte.

Aufgrund der Versuchsergebnisse wurde das ursprünglich vorgesehene Versuchsprogramm während der Versuchsserie etwas abgeändert. Als sich nämlich zeigte, dass die Randleitschranke, d. h. der kleine Kasten, bei Lw-Anfahrten schlecht wirkt, wurde für den letzten Lw-Versuch eine verbesserte Variante dieses Leitschrankensystems festgelegt und getestet. Quer über den normalerweise offenen Schlitz auf der Rückseite des kleinen Kastens wurden - analog wie beim grossen Kasten - jeweils in den Drittelpunkten Versteifungen angeschweisst. Das endgültige Versuchsprogramm ist in der folgenden Tabelle 1 angegeben.

TABELLE 1: Versuchsprogramm

Versuch Nr.	Leitschranke		Pfostenabstand	Fahrzeugart
1	Kastenprofil	130/150/3 mm	2 m	Pw
2	Kastenprofil	130/150/3 mm	4 m	Pw
3	Kastenprofil	150/180/4 mm	4 m	Pw
4	Kastenprofil	130/150/3 mm	2 m	Lw
5	Kastenprofil	150/180/4 mm	4 m	Lw
6	Kastenprofil	130/150/3 mm*	4 m	Lw

* verbesserte Variante mit angeschweissten Versteifungen

2. VERSUCHSBEDINGUNGEN

Die Pw- und Lw-Versuche wurden mit gebrauchten Fahrzeugen ähnlicher Art und vergleichbaren Zustands durchgeführt. Das Gesamtgewicht der Pw betrug 1 to, dasjenige der Lw 10 to. Das Gewicht wurde durch Beladen mit Betonklötzen erreicht.

TABELLE 2: Technische Daten der Versuchsfahrzeuge

Versuch Nr.	Typ	G E W I C H T			Achs- abstand	Schwer- punkt	Reifen
		Vorder- achse	Hinter- achse	Total			
1 2 3	Pw						
	Ford Taunus	510	500	1'010	260	129/131	165-13
	Vauxhall Viva	495	490	985	246	122/124	165-13
3	Ford 17 M	525	480	1'005	271	129/142	175-14
4 5 6	Lw						
	Bedford	3'210	6'770	9'980	425	290/135	9.00-20
	Volvo	3'620	6'380	10'000	470	300/170	9.00-20
	Volvo	4'100	5'930	10'030	470	277/193	10.00-20

Auch in den anderen Werten entsprachen die Versuchsbedingungen den mittlerweile standardisierten Bedingungen der Sindelfinger-Versuche von 1962-1968 und denjenigen der Sigma-Versuche von 1977 [2, 3]. Die wichtigsten Versuchsdaten sind in nachstehender Tabelle 3 aufgeführt. Infolge eines Absteckungsfehlers betrug der Anprallwinkel bei den Pw-Versuchen nicht wie vorgesehen 20° sondern 22°. Die Lws prallten im 15° Winkel an.

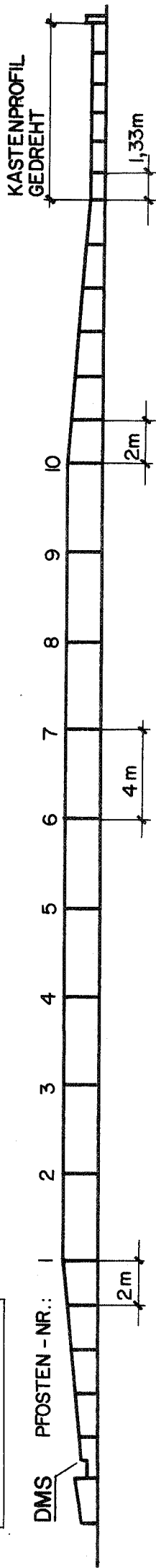
TABELLE 3: Versuchsbedingungen

Versuch Nr.	Leitschranke	Pfosten- abstand	Fahrzeug- art	Gewicht	Anprall- winkel	Geschwindig- keit [km/h] Sollwert
1	K. 130/150/3 mm	4 m	Pw	1 to	22°	100
2	K. 130/150/3 mm	2 m	Pw	1 to	22°	100
3	K. 150/180/4 mm	4 m	Pw	1 to	22°	100
4	K. 130/150/3 mm	2 m	Lw	10 to	15°	70
5	K. 150/180/4 mm	4 m	Lw	10 to	15°	70
6	K. 130/150/3 mm verstärkt	4 m	Lw	10 to	15°	70

Die Versuchsleitschranke hatte eine Länge von ca. 65 m, respektive ca. 88 m bei den Lw-Versuchen. Sie war beidseitig abgespannt. Die Pfosten waren alle gerammt. Im steinigen, harten Boden auf dem Versuchsgelände entstand allerdings eine erheblich grössere Einspannung als im Normalfall auf der Strasse vorhanden ist.

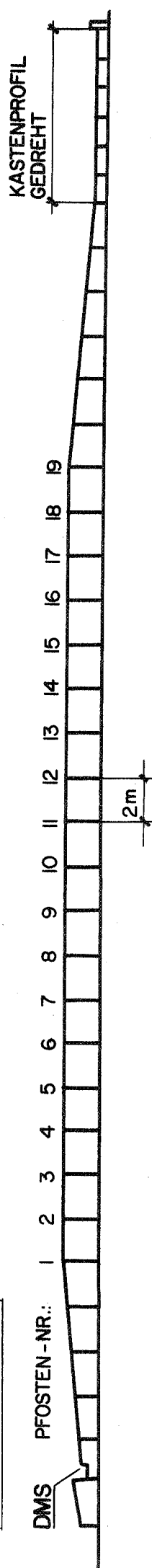
VERSUCH K 1

KASTENPROFIL 150/130



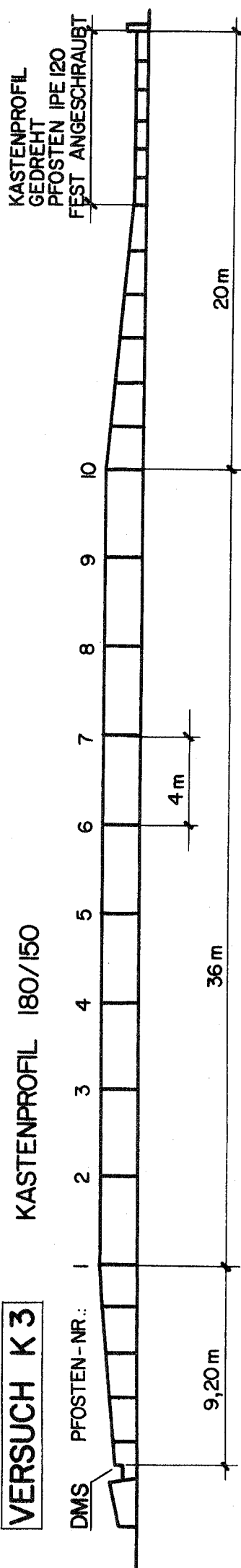
VERSUCH K 2

KASTENPROFIL 150/130



VERSUCH K 3

KASTENPROFIL 180/150

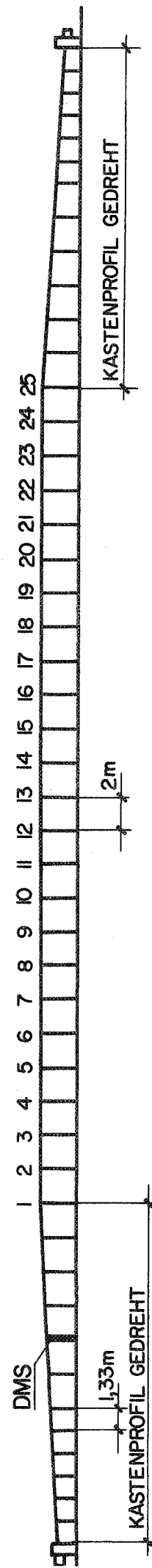


DMS: LAGE DES DEHNUNGSMESSSTREIFENS

ABB. 2: VERSUCHSLEITSCHRANKEN BEI DEN Pw-VERSUCHEN

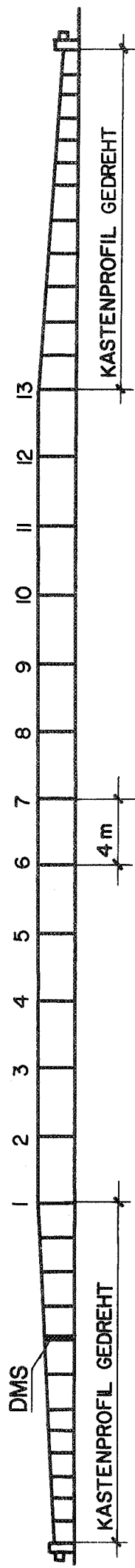
VERSUCH K4

KASTENPROFIL 150/130



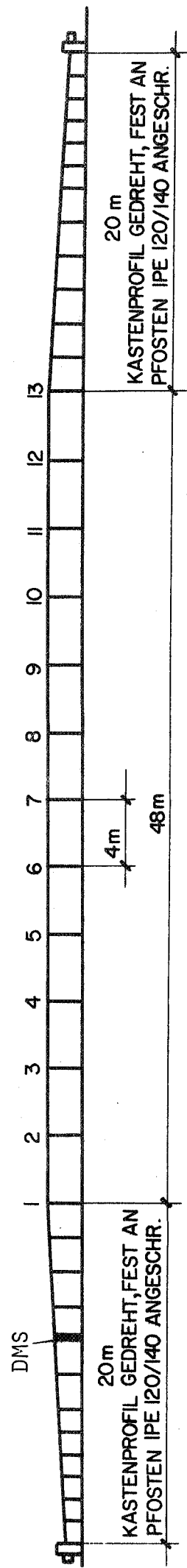
VERSUCH K5

KASTENPROFIL 180/150



VERSUCH K6

KASTENPROFIL 150/130 mit eingeschweissten Verstärkungen



DMS: LAGE DES DEHNUNGSMESSTREIFENS

ABB. 3: VERSUCHSLEITSCHRANKEN BEI DEN Lw-VERSUCHEN

3. VERSUCHSDURCHFUEHRUNG

Die Anfahrversuche wurden auf unserem Versuchsgelände in Vauffelin bei Biel (Abbildung 6) in Zusammenarbeit mit der automobiltechnischen Abteilung der Ingenieurschule Biel durchgeführt.

Die Beschleunigung der Fahrzeuge auf die angestrebten Geschwindigkeiten erfolgte mittels Seilwinden im direkten Zug. Während des Beschleunigungsvorganges wurden die Fahrzeuge durch eine Schiene geführt. Diese endete ca. 10 m vor dem Anprallpunkt. Die Führung erfolgte beim Pw durch eine Führungsgabel (Abbildung 4) und beim Lw mit einer abwerfbaren Führungsrolle (Abbildung 5).



Abbildung 4:
Führungsgabel für Personenwagen



Abbildung 5:
Führungsrolle für Lastwagen

Am Ende der Führungsschiene wurden die Zugseile durch eine entsprechende Vorrichtung ausgeklinkt.

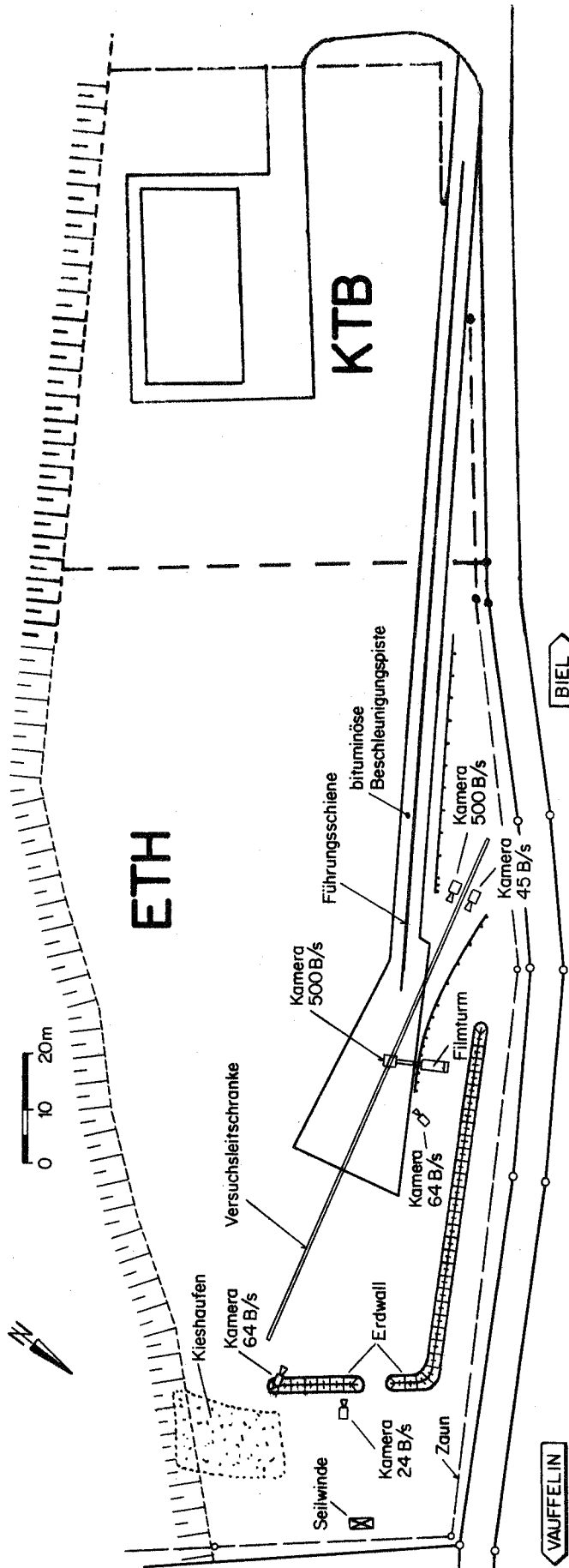


ABB. 6: VERSUCHSGELAENDE DES ISETH FUER
LEITSCHRANKEN-ANFAHRVERSUCHE IN VAUFFELIN (BE)

Die Geschwindigkeit der Versuchsfahrzeuge wurde mit einer Lichtschranke am Ende der Führungsschiene, d. h. also ca. 10 m vor dem Anprall, gemessen. Bei der Filmauswertung wurde die gemessene Geschwindigkeit dann nochmals kontrolliert.

Fünf 16 mm Filmkameras wurden eingesetzt, um den kurzen Anprallvorgang festzuhalten. Die Aufnahmegeschwindigkeit betrug bei 2 Kameras bis zu 500 B/sec, bei den anderen 64 B/sec.

Beim Anprall wurde die Verzögerung des Versuchsfahrzeuges in Längs-, Quer- und Vertikalrichtung mittels Beschleunigungsgeber registriert. Diese waren bei den Pws zwischen den Vordersitzen und bei den Lws hinter dem Führerhaus unten am Rahmen angebracht. Die Anordnung der Beschleunigungsgeber erfolgte somit in der Nähe der Fahrzeugschwerpunkte. Die Verzögerungswerte wurden über ein Schleppkabel in den Messwagen übermittelt, wo sie von einem Bandgerät aufgezeichnet wurden.

Bei der Auswertung wurden die gespeicherten Werte über einen Demodulator in ein Aufzeichnungsgerät gegeben. Die Kurven der Verzögerungswerte stellen die gemäss dem ISO-Normenentwurf (ISO TC 22/SC 12175 E) mit 100 Hz gefilterten Werte dar. Zusätzlich wurden die Kurven der mittleren Beschleunigung über 50 msec aufgezeichnet, da für den menschlichen Körper vor allem diese länger dauernden Verzögerungen massgebend sind.

Die dynamische seitliche Durchbiegung der Schranke wurde anhand der Fahrspur und der Filmaufnahmen festgestellt.

In der Endverankerung, die dem Anprallpunkt näher gelegen war, wurden die im Kastenprofil (Längselement) ungefähr auftretenden Zugkräfte gemessen. Die gemessenen Werte sind aber nur jeweils innerhalb einer Fahrzeugart (Pw-Lw) vergleichbar, weil die Endverankerung des Kastenprofils bei den Lastwagenversuchen anders ausgeführt wurde als bei den Pw-Versuchen. Da bei den Lastwagenversuchen ein Teil der Zugkräfte bereits vor der Messstelle über fest mit dem Kastenprofil verbundene Pfosten in den Boden eingeleitet wurde, sind die gemessenen Werte zu niedrig.

4. ANFAHRVERSUCHE

Messwerte

Systemskizze

Beschreibung des Versuchsablaufes

Leitschrankschaden und Ablauf des Anprallvorganges

Aufzeichnung der Verzögerungswerte

Fotos

ANMERKUNG:

Es ist uns bekannt, dass die Energie keine vektorielle Grösse ist, und somit die Bezeichnung "senkrechte Anprallenergie" physikalisch gesehen falsch ist. Aus praktischen Gründen (Vergleichbarkeit) sowie wegen der grösseren Aussagekraft (die Anprallenergie sagt ohne gleichzeitige Betrachtung des Anprallwinkels nicht viel aus), verwenden wir aber dennoch diese Bezeichnung für die Energie, welche sich aus der zur Leitschranke senkrechten Komponente der Anprallgeschwindigkeit berechnet:

$$E_{\perp} = \frac{1}{2} \cdot M \cdot v_{\perp}^2 = \frac{1}{2} \cdot M \cdot v^2 \cdot \sin^2 \alpha$$

ANFAHRVERSUCH K 1

Versuchsbedingungen

Schutzplankentyp	Kastenprofil 130/150 mm, Pfostenabstand 4 m
Pfosten	IPE 100
Pfostenbefestigung	gerammt
Pfostenabstand	4 m
Gesamtlänge	65 m
Gesamthöhe über FOK	67,5 cm
Versuchsfahrzeug	Ford Taunus
Fahrzeugmasse	1010 kg
Anprallgeschwindigkeit	105 km/h
Senkrechte Anprallenergie	60,3 kJ (6,15 Mp·m)
Anprallwinkel	22°
Anprallpunkt	52 cm nach Pfosten 2 (Platzmarkierung 3)

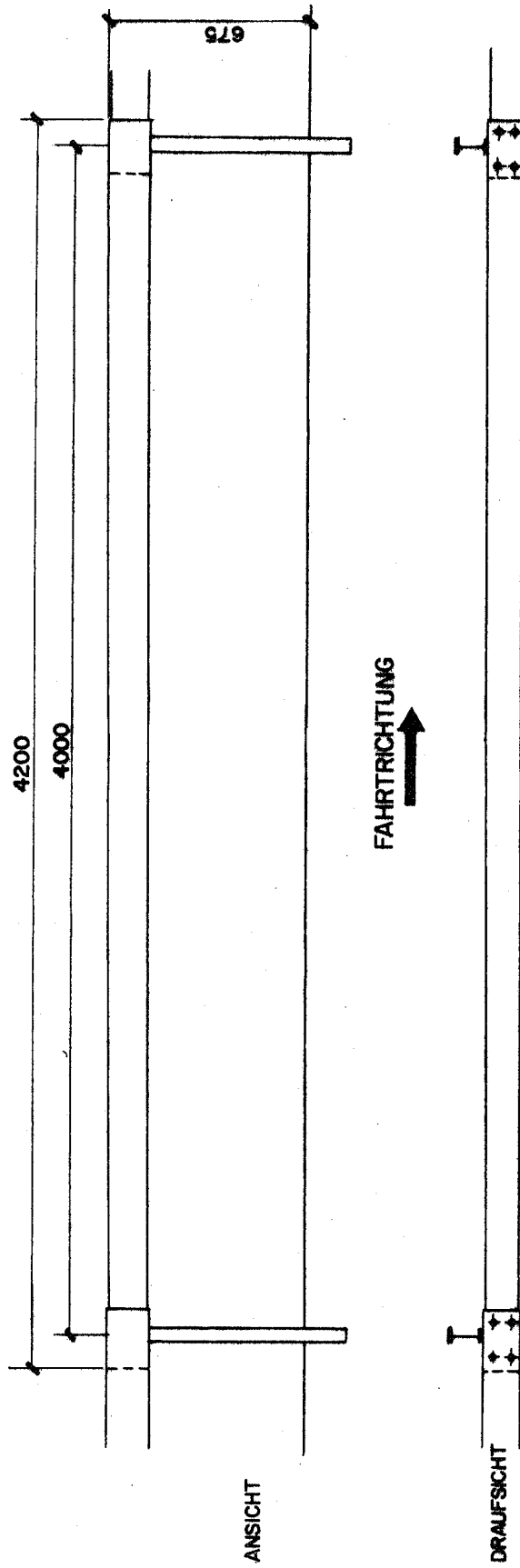
Versuchsergebnisse

Abprallgeschwindigkeit	}	Wagen kommt an der Leitschranke	
Abprallwinkel		zum Stehen	
Kontaktstrecke		ca. 12.8 m (beim ersten Anprall)	
Max. Durchbiegung dynamisch		ca. 77 cm	
Max. Durchbiegung bleibend		47 cm	
Schaden an der Schutzplanke		4 Kastenprofile, 4 Pfosten	
Zugkraft in der		8.4 to	
Endverankerungsschraube			
Schaden am Fahrzeug		Totalschaden (Türen verklemmt) ganze linke Seite, Vorderachse, Lenkung, Rad vorn links abgerissen, Stoßstange vorn, Kühlergrill	
Max. Längsverzögerungen		8.5 g	pro 50 ms 2,5 g
Max. Querverzögerungen		9.5 g	pro 50 ms 6 g
Max. Vertikalbeschleunigungen		14.5 g	pro 50 ms 2 g

<u>Gesamteindruck</u>	sehr gut bis gut
-----------------------	------------------

VERSUCH KI

LEITSCHRANKE MIT KASTENPROFIL 150/130



BEFESTIGUNG PFOSTEN - PLANKE

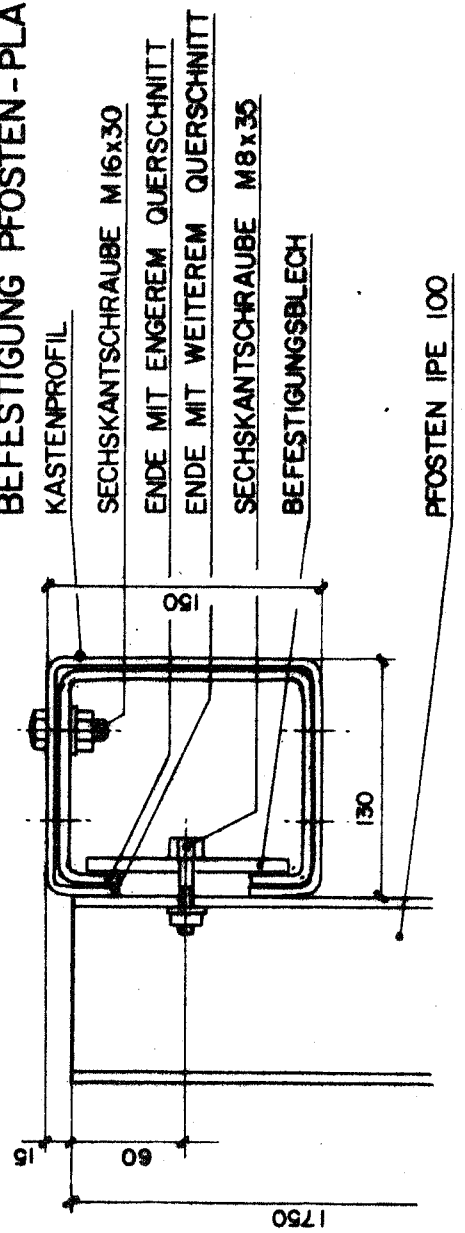


ABB. 7

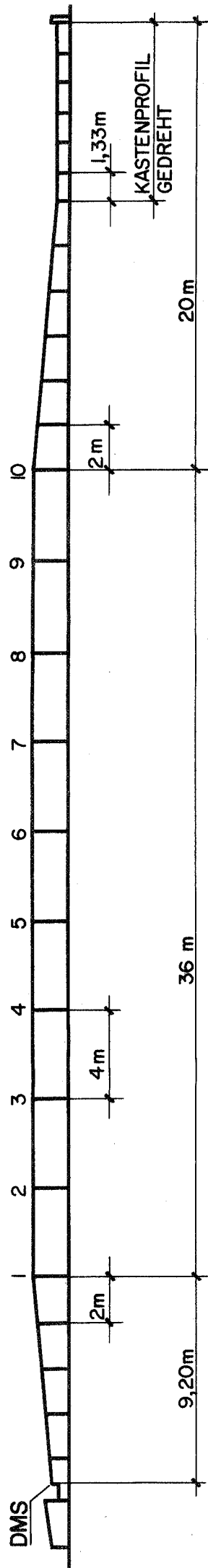
VERSUCHSABLAUF K 1

Der Pw prallt mit 105 km/h und einem Winkel von 22° in die Leitschranke. Im ersten Moment des Anpralls schneidet sich das Kastenprofil vorne links tief in den Kotflügel und Motorraum des Pws ein. Dabei kommt das Kastenprofil innen vom linken Vorderrad zu liegen. Auch die Pfosten gelangen zwischen das Rad und den eingedrückten Kotflügel. Sie werden also von der Achse und nicht vom Rad umgebogen. Die Radaufhängung ist der Belastung nicht gewachsen. Darum wird bei Pfosten 5 das linke Vorderrad abgeknickt. Vorher wurde die Lenkung stark nach links eingeschlagen. Der Pfosten 5 wird bei der Anfahrt nur leicht verbogen.

Bei der Umlenkung wird der Wagen links etwas angehoben. Da sich das Kastenprofil auf der ganzen Wagenlänge eng an die Karosserie anlegt, wird dabei auch das Kastenprofil nach oben ausgelenkt und es verwindet sich etwas. Im Bereich des Anprallpunktes, d. h. zwischen den Pfosten 2 und 3, klafft das Kastenprofil etwas auf.

Das Kastenprofil zeigt eine homogene Balkenwirkung und lenkt das Fahrzeug gut um. Die Auslenkung des Balkens beginnt ca. 2 m vor dem Pw. Der Wagen wird nicht zurückgeschleudert, sondern bleibt während des ganzen Anprallvorgangs relativ dicht bei der Leitschranke. Der maximale Abstand von der Leitschranke beträgt ca. 0,5 m im Bereich der Pfosten 7 und 8. Danach nähert sich der Wagen wieder der Leitschranke und kommt kurz vor dem Ende an ihr zum Stehen. Beim Schlusspanprall schwenkt das Heck des Pws nach aussen.

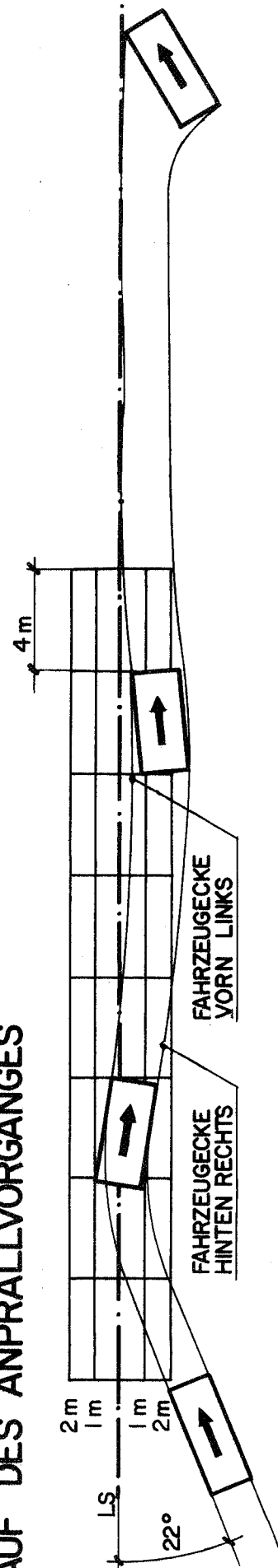
KASTENPROFIL 150/130

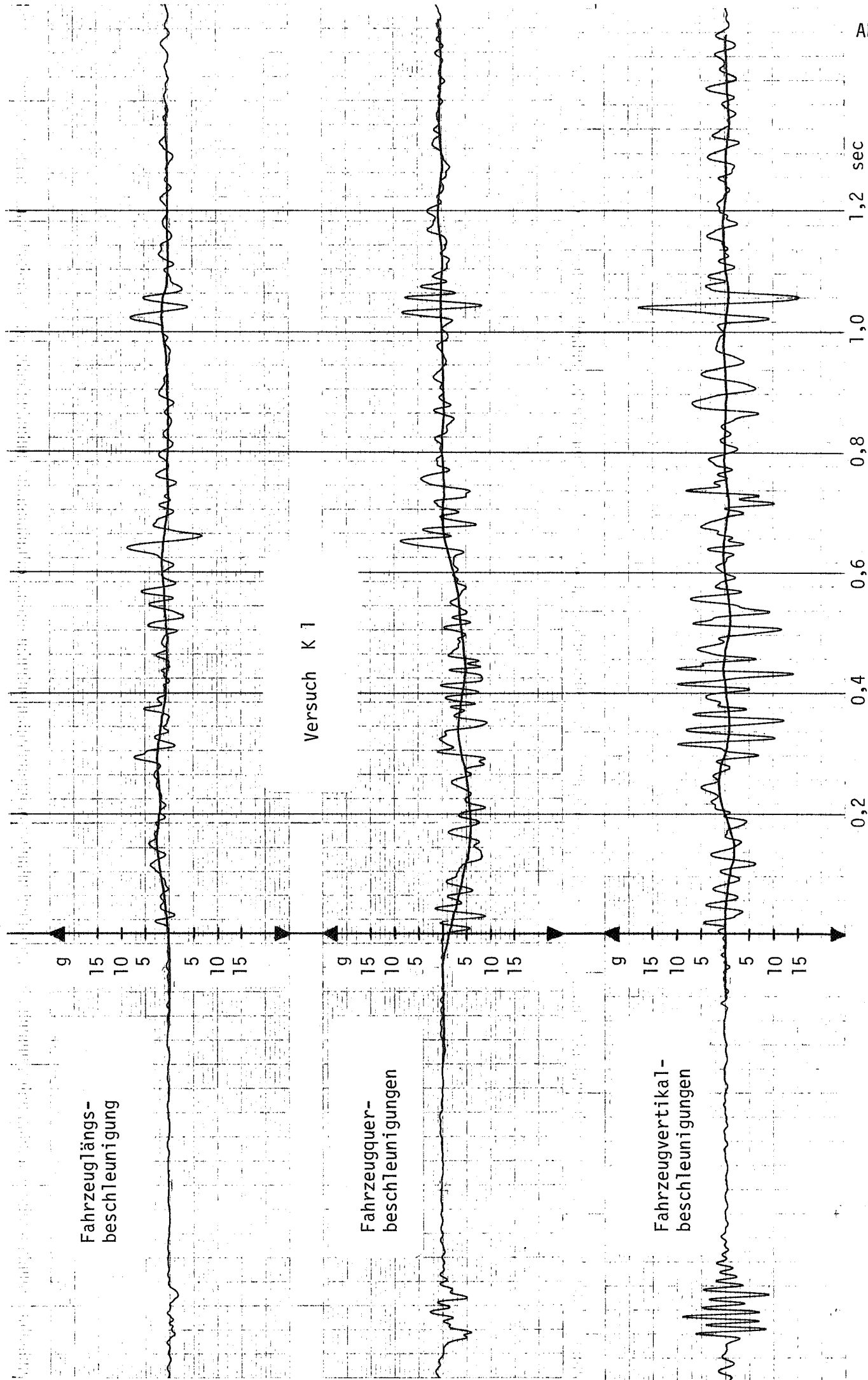


SCHADEN AN DER LEITSCHRANKE

	LEICHT VERBOGEN				UMGEFAHREN				LEICHT VERBOGEN				
PLANKENSCHADEN 4													
PFOSTENSCHADEN 4													
HÖHE OK PLANKEN	67,5	74	70	78	78	72	66	64	67,5	cm			
BLEIB. DURCHBIEGUNG	0	20	46	46	23	0			0	cm			
LÄNGSVERSCHIEBUNG	0	14	48	48	24	2			0	cm			
	0	4	3	3	3	0			0	mm			

ABLAUF DES ANPRALLVORGANGES





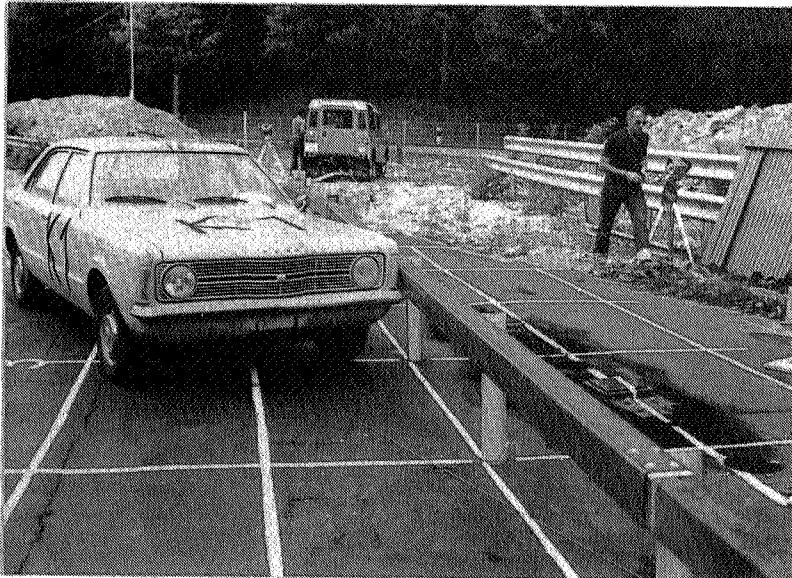


ABB. 10

Leitschranke mit Kasten-
profil 150/130.
Höhe relativ zum Versuchs-
fahrzeug K 1

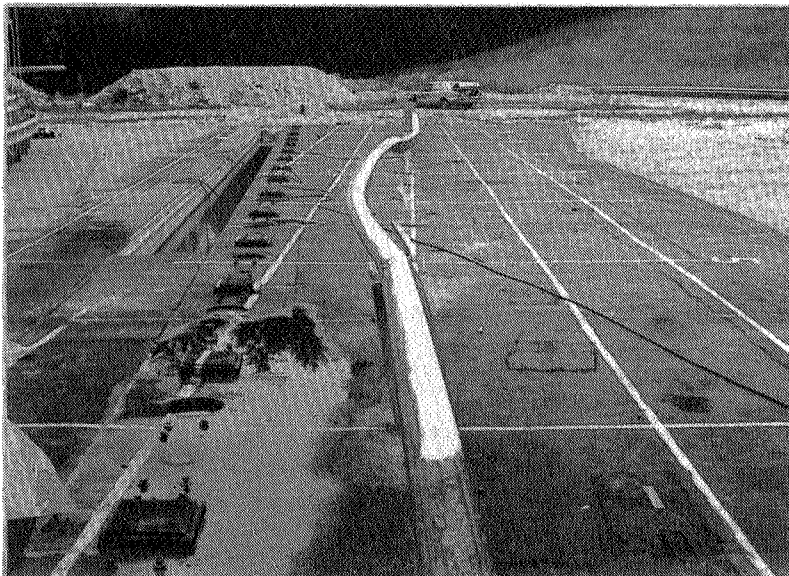


ABB. 11

Schaden an der Leitschranke
und Endstellung des Ver-
suchsfahrzeugs.
Durchbiegung der Leitschranke

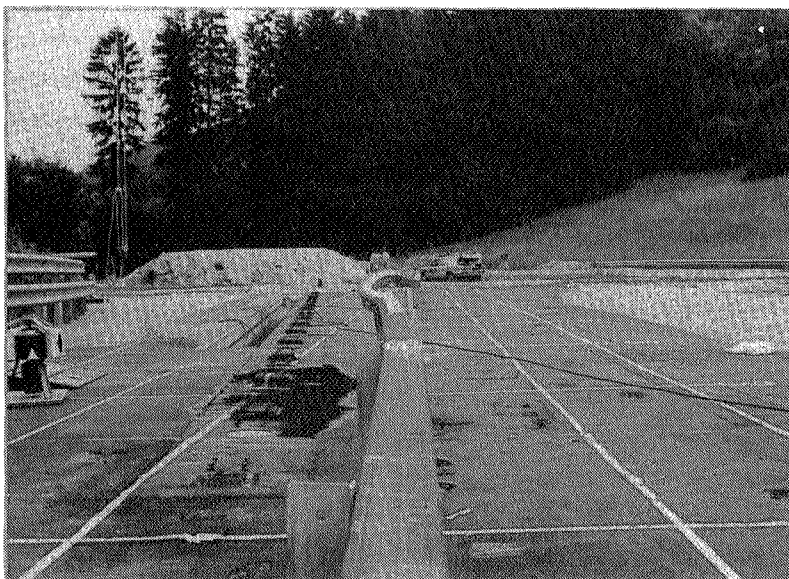


ABB. 12

Schaden an der Leitschranke
und Endstellung des Ver-
suchsfahrzeugs.
Verformung der Leitschranke

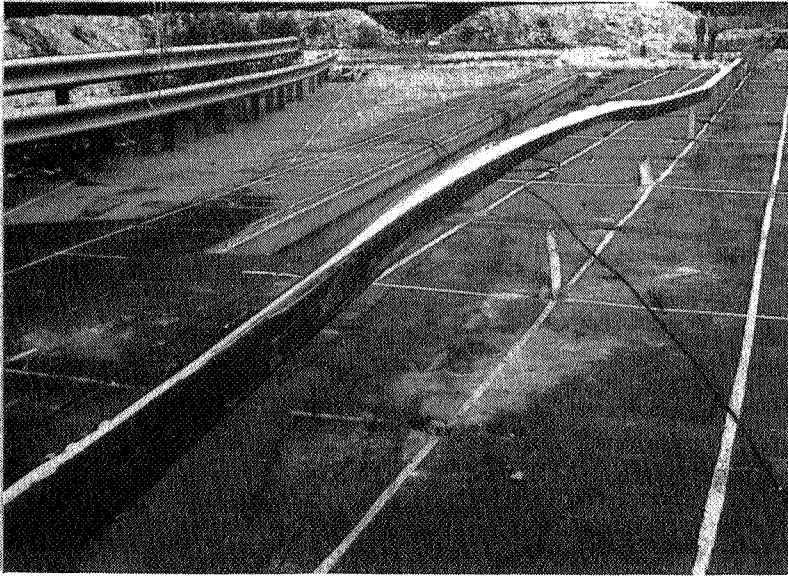


ABB. 13

Schaden an der Leitschranke.
Verwindung des Kastenprofils
im Anprallbereich

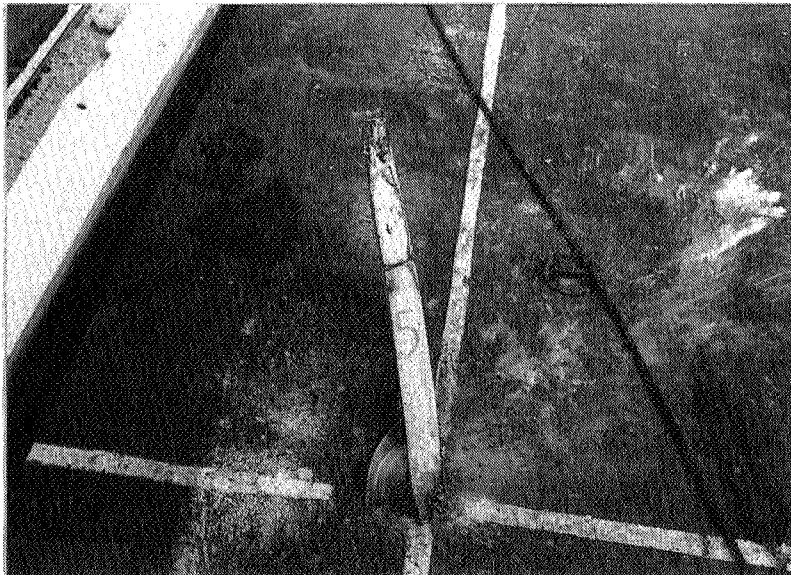


ABB. 14

Verdrehter Pfosten 3
(Rasterlinie 5)



ABB. 15

Endstellung des Pws sowie
Fahrzeugschaden

ANFAHRVERSUCH K 2

Versuchsbedingungen

Schutzplankentyp	Kastenprofil 130/150 mm, Pfostenabstand 2 m
Pfosten	IPE 100
Pfostenbefestigung	gerammt
Pfostenabstand	2 m
Gesamtlänge	65 m
Gesamthöhe über FOK	67,5 cm
Versuchsfahrzeug	Vauxhall Viva
Fahrzeugmasse	985 kg
Anprallgeschwindigkeit	102 km/h
Senkrechte Anprallenergie	55,5 kJ (5,7 Mp·m)
Anprallwinkel	22°
Anprallpunkt	30 cm nach Pfosten 3

Versuchsergebnisse

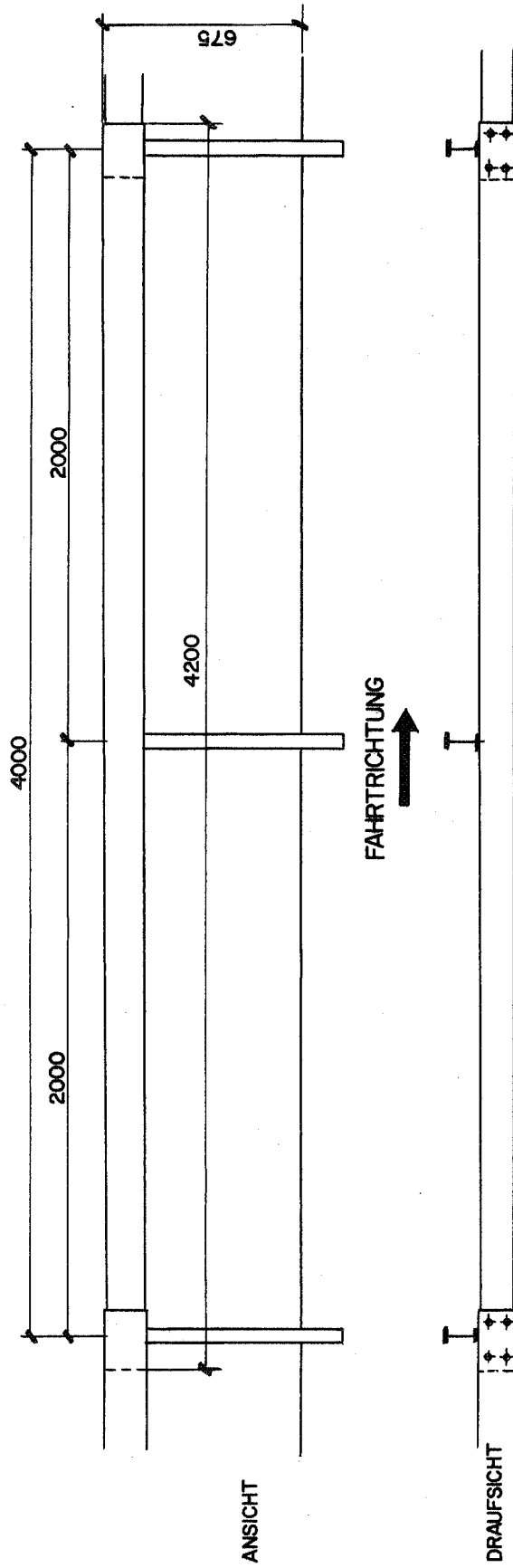
Abprallgeschwindigkeit	Seitlicher Ueberschlag infolge Bodenun-
Abprallwinkel	ca. 6° ebenheit
Kontaktstrecke	ca. 9,2 m (beim ersten Anprall)
Max. Durchbiegung dynamisch	ca. 58 cm
Max. Durchbiegung bleibend	37 cm
Schaden an der Schutzplanke	4 Kastenprofile, 5 Pfosten
Zugkraft in der Endverankerungsschraube	6,7 to
Schaden am Fahrzeug	Totalschaden (3 Türen lassen sich öffnen) (Ueberschlag) Kotflügel vorn links, Tür links, Quer- träger, Lenkung, Dach
Max. Längsverzögerungen	13 g pro 50 ms 3,5 g
Max. Querverzögerungen	15 g pro 50 ms 5 g
Max. Vertikalbeschleunigungen	20 g pro 50 ms 1,0 g

Gesamteindruck gut

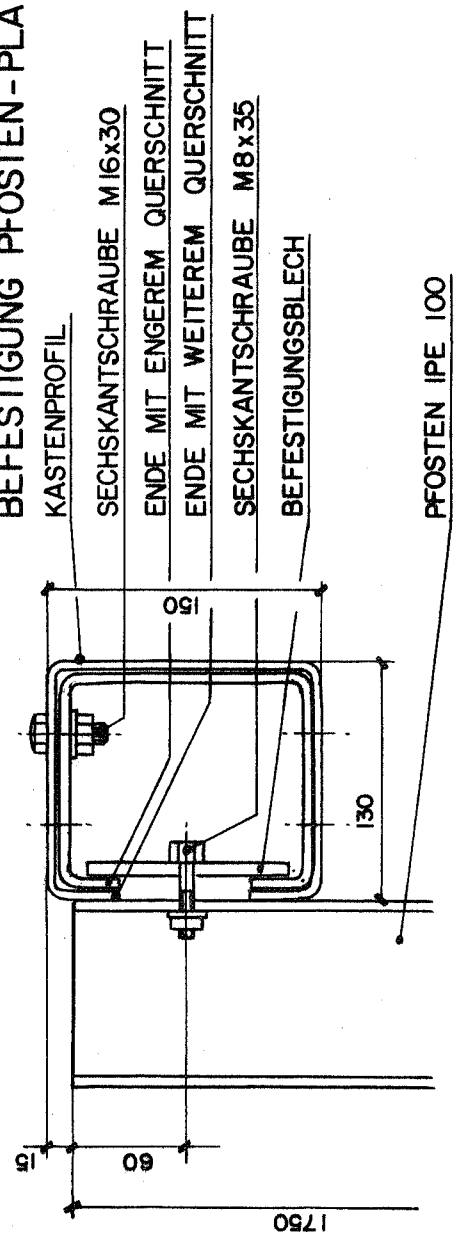
Bemerkungen Belag nass

VERSUCH K2

LEITSCHRANKE MIT KASTENPROFIL 150/130



BEFESTIGUNG PFOSTEN - PLANKE



VERSUCHSABLAUF K 2

Der Pw prallt mit 102 km/h im 22° Winkel an die Leitschranke. Der Pfostenabstand beträgt dieses Mal nur 2 m gegenüber 4 m im ersten Versuch.

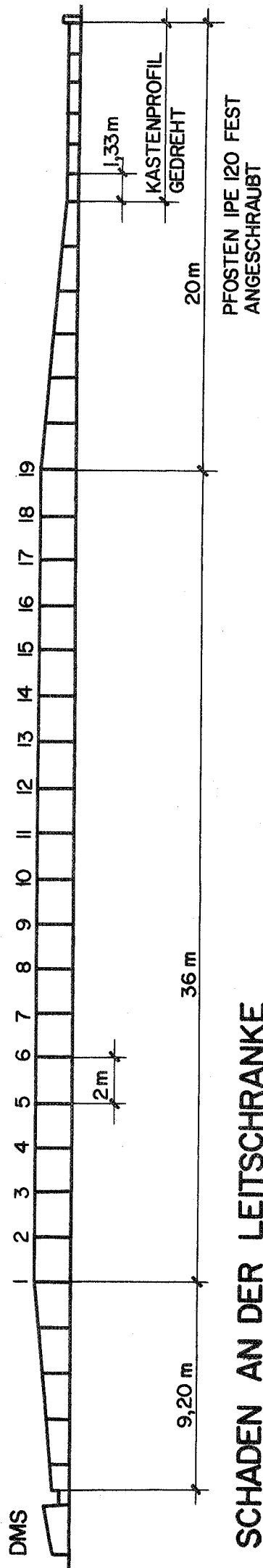
Zuerst treten beim Anprall nur Karosseriedeformationen auf, weil sich das Kastenprofil tief in den Kotflügel einschneidet. Dadurch wird das linke Vorderrad freigelegt und es läuft aussen an den Pfosten vorbei.

Beim Anprall wird der Wagen links etwas angehoben. Das Kastenprofil, welches sich auf der ganzen Fahrzeuglänge dicht an die Karosserie anlegt, macht die Höhenbewegung (nach oben und nach unten) mit. Dabei verwindet es sich etwas. Im Anprallbereich (zwischen den Pfosten 3 und 4) lässt sich ein leichtes Aufklaffen des Kastenprofils feststellen.

Die Leitschranke zeigt eine gleichmässige Wirkungsweise. Ein Einknicken an den Stössen oder extrem harte Schläge an den Pfosten sind nicht festzustellen. Infolge des kleineren Pfostenabstandes wirkt die Leitschranke allerdings härter als im Versuch 1. Nach der Umlenkung wird der Wagen, begünstigt durch den nassen Belag, von der Leitschranke weggeschleudert und fliegt ca. 2 m weit, wobei das Heck abhebt. Am Ende der befestigten Fläche steht der Pw fast quer zur Leitschranke mit der Front zu dieser hin. Er rutscht dann seitlich in der ursprünglichen Fahrtrichtung weiter, bis er sich auf dem unbefestigten, steinigen Boden seitlich überschlägt.

Der verringerte Pfostenabstand bewirkt erwartungsgemäss kleinere Deformationen der Leitschranke als beim ersten Versuch. Hingegen bringt die härtere Konstruktion keine eindeutige Erhöhung der Verzögerungswerte. Wohl sind die maximalen Verzögerungswerte deutlich grösser als im ersten Versuch, doch die für den Menschen massgebenderen Werte über eine Dauer von 50 Millisekunden liegen in diesem Versuch eher tiefer. Dieses kann möglicherweise auf den nassen Belag zurückgeführt werden, auf dem das Fahrzeug infolge niedriger Griffigkeit bei höheren Seitenkräften früher ins Rutschen gerät (vgl. Skizze des Versuchsablaufes). Weiterhin können Fahrzeugeinflüsse sowie die gegenüber Versuch 1 etwas geringere Anprallenergie eine Rolle spielen. Es ist aber auch möglich, dass der geringere Pfostenabstand eine noch gleichmässige Wirkung der Leitschranke bewirkt und somit die Verzögerungsspitzenwerte abflacht (vgl. Verzögerungskurven).

KASTENPROFIL 150/130

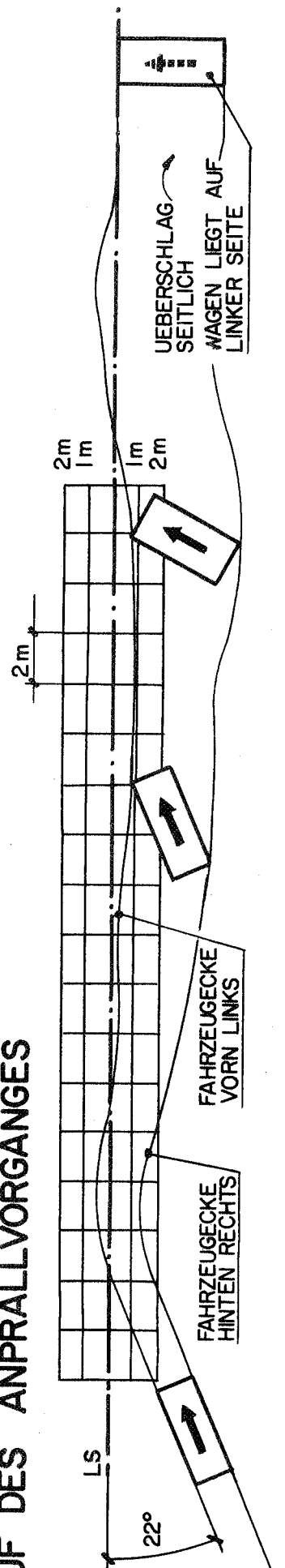


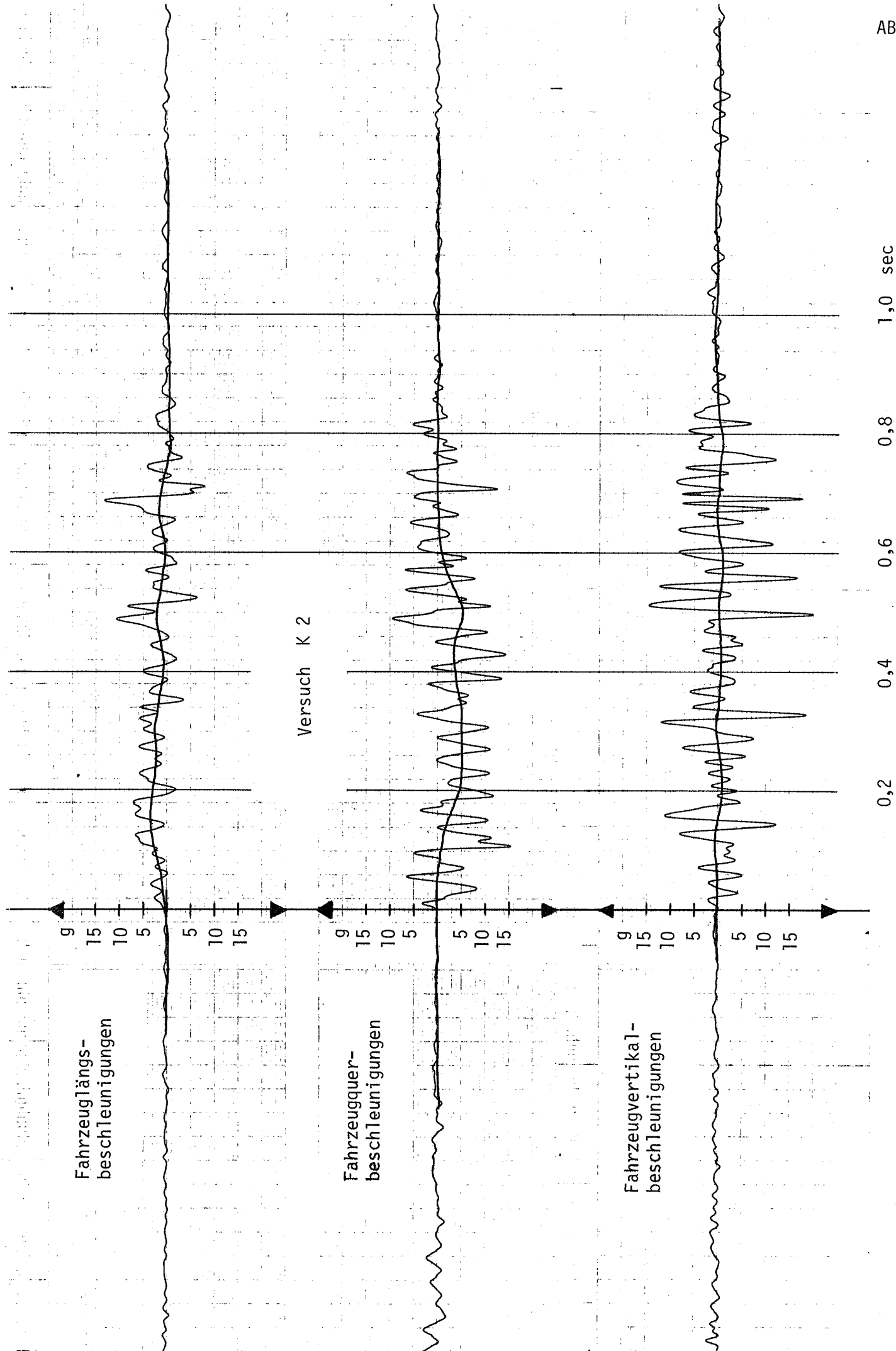
SCHADEN AN DER LEITSCHRANKE



HÖHE OK PLANKEN	67,5	69	71,5	71	74	71	67,5	cm
BLEIB. DURCHBIEGUNG	4	13	39	33	18	5	5	0 cm
LÄNGSVERSchiebung	4	11	35	36	21	3	3	0 cm
	NICHT FESTGESTELLT							
								OBERKANTE } DES KASTENS UNTERKANTE }

ABLAUF DES ANPRALLVORGANGES





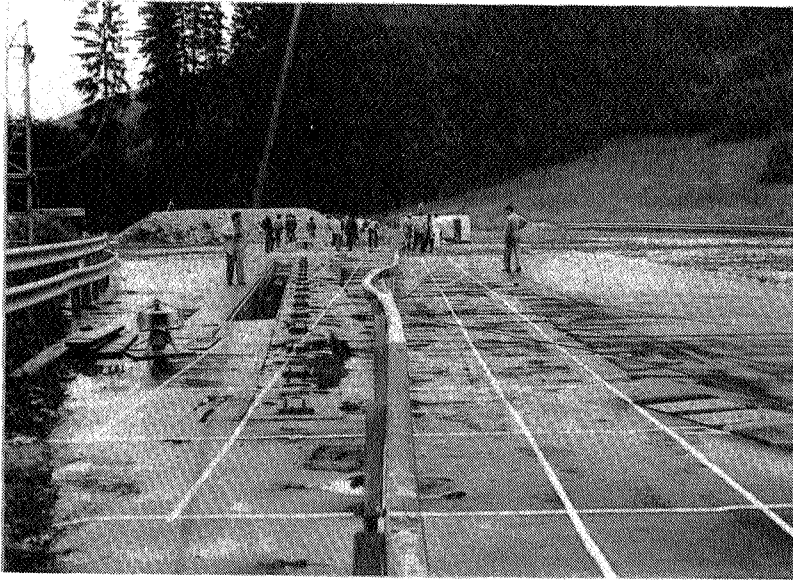


ABB. 19

Leitschrankschaden und
Endlage des Versuchsfahr-
zeugs.
Durchbiegung der Leitschranke



ABB. 20

Leitschrankschaden

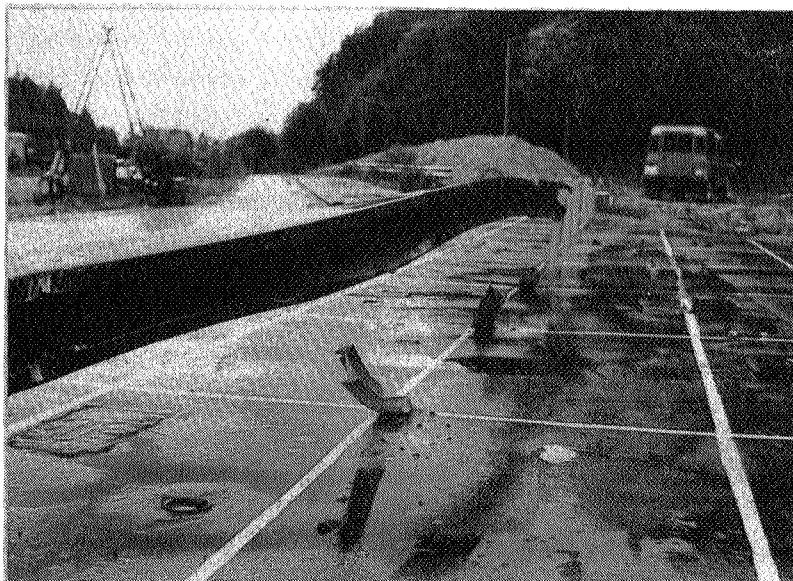


ABB. 21

Verformung des Kastenpro-
fils.
Leichtes Aufklaffen des
Profils.

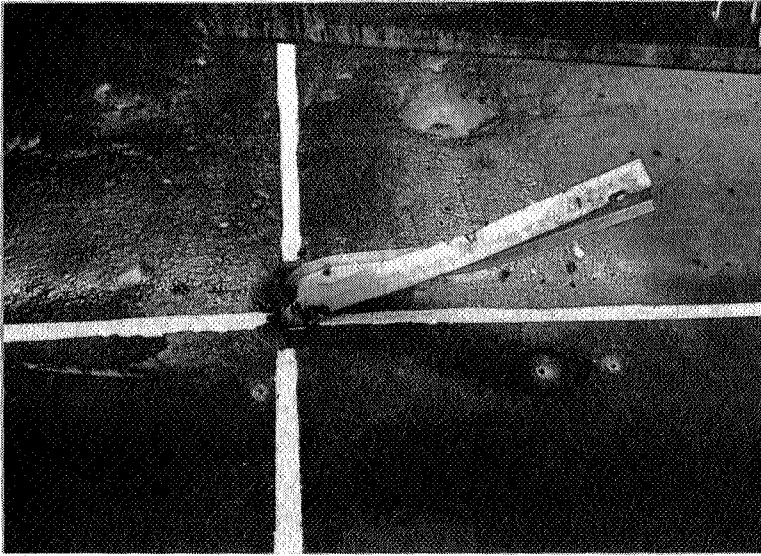


ABB. 22

Umgefahrter Pfosten 6.
In der Verbindung Pfosten-
Kastenprofil ist nicht die
Schraube M8, sondern das
Pfostenloch gerissen.



ABB. 23

Umgefahrter Pfosten 7 mit
Reifenspuren.
Auch hier hat die Schraube
M8 gehalten.



ABB. 24

Endstellung des Versuchs-
fahrzeugs (nach dem Auf-
richten).
Der Schaden am Dach stammt
vom Ueberschlag infolge
Bodenunebenheit.

ANFAHRVERSUCH K 3

Versuchsbedingungen

Schutzplankentyp	Kastenprofil 150/180 mm
Pfosten	IPE 100
Pfostenbefestigung	gerammt
Pfostenabstand	4 m
Gesamtlänge	65 m
Gesamthöhe über FOK	67,5 cm
Versuchsfahrzeug	Ford 17 M
Fahrzeugmasse	1005 kg
Anprallgeschwindigkeit	101 km/h
Senkrechte Anprallenergie	55,5 kJ (5,7 Mp·m)
Anprallwinkel	22°
Anprallpunkt	50 cm nach Pfosten 2 (Platzmarkierung 3)

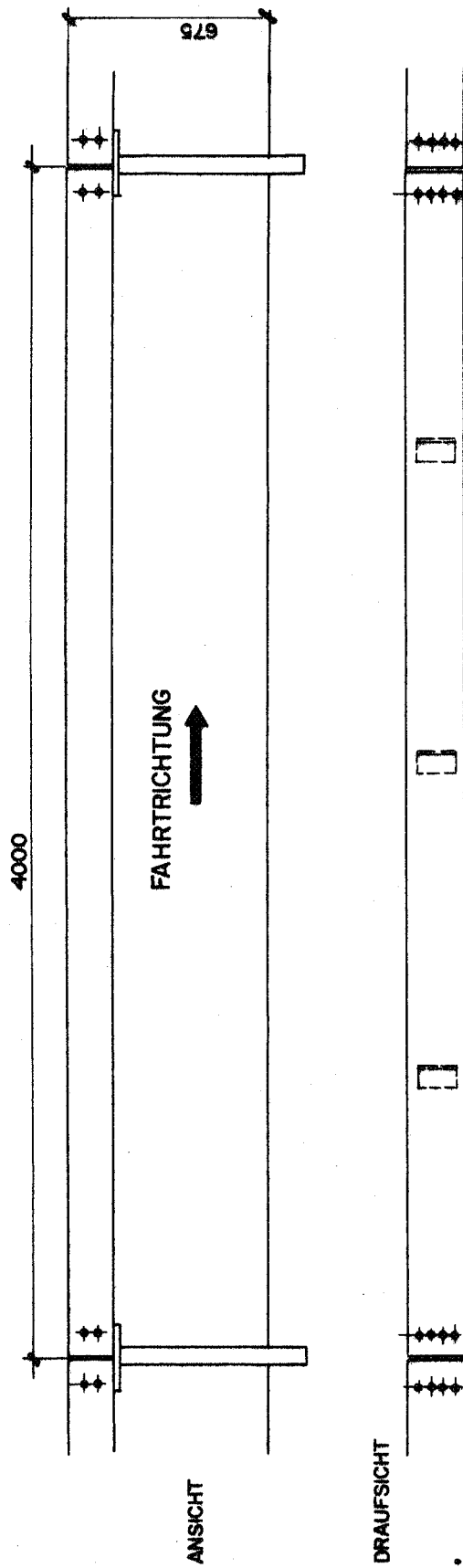
Versuchsergebnisse

Abprallgeschwindigkeit	}	Stillstand an der Leitschranke		
Abprallwinkel				
Kontaktstrecke		ca. 8,5 m (beim ersten Anprall)		
Max. Durchbiegung dynamisch		ca. 70 cm		
Max. Durchbiegung bleibend		56 cm		
Schaden an der Schutzplanke		3 Kastenprofile, 3 Pfosten		
Zugkraft in der		6 t		
Endverankerungsschraube				
Schaden am Fahrzeug		Totalschaden (beide Türen zu öffnen) Kotflügel vorn links, Rad vorn links abgerissen, Kotflügel vorn rechts gestaucht, Kühlergrill, Schleifspuren ganze linke Seite		
Max. Längsverzögerungen	11 g	pro 50 ms	3 g	
Max. Querverzögerungen	12,5 g	pro 50 ms	6 g	
Max. Vertikalbeschleunigungen	22 g	pro 50 ms	1,5 g	

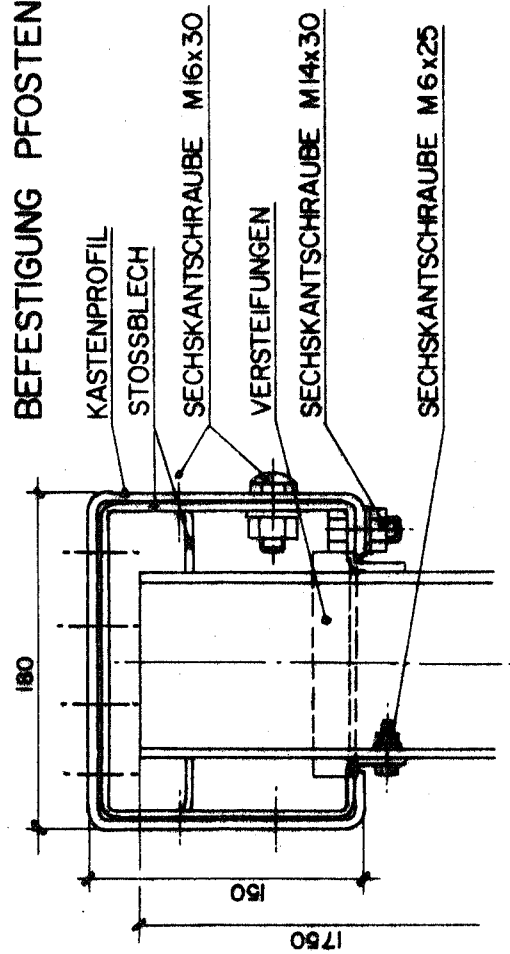
Gesamteindruck sehr gut bis gut

VERSUCH K3

LEITSCHRANKE MIT KASTENPROFIL 180/150



BEFESTIGUNG PFOSTEN, PLANKE UND PLANKENSTOSS



VERSUCHSABLAUF K 3

Der Pw prallt mit 101 km/h in einem Winkel von 22° an die Leitschranke. Auch das grosse Kastenprofil schneidet sich tief in die Karosserie ein. Das linke Vorderrad gelangt daher wiederum hinter die Pfosten.

Im Anprallbereich zwischen Pfosten 2 und 4 verwindet sich das Kastenprofil, weil die Steifigkeiten des Kastens in x- und y-Richtung ungleich sind. Ueber den Pfosten wird es in der ursprünglichen Lage gehalten. Durch den Anprall wird das Kastenprofil in diesem Bereich auch verformt, d.h. eingedrückt.

Beim Anprall wird auch dieses grössere Kastenprofil vom Auto angehoben. Doch im Gegensatz zum kleineren Kasten senkt es sich anschliessend wieder und hängt durch. Weil das Kastenprofil 180/150 im Gegensatz zum kleineren Kasten fest mit den Pfosten verbunden ist und die Kastenprofilstösse ein grösseres Lochspiel aufweisen, werden sie beim Anprall stärker auseinandergezogen. Daher entsteht keine Längsverspannung im Holm. Diese grösseren Längsverschiebungen in den Stössen und das grössere Eigengewicht führen deshalb dazu, dass das Kastenprofil nach dem Umfahren der Pfosten durchhängt.

Die Ausbiegung der Leitschranke beginnt trotz des steiferen Balkens wieder erst ca. 2 m vor dem Pw. Die Leitschranke zeigt eine gleichmässige Wirkung, d. h. die Pfosten und die Stossstellen des Kastenprofils bilden keine Inhomogenitäten. Allerdings zeigen die ungleichmässigen Längsverschiebungen in den Stossstellen, dass letztere ein wenig als Gelenke wirken und der Balken die Tendenz hat, hier einzuknicken. Begünstigt wird dieser Effekt durch die starke Einspannung der Pfosten in dem harten Boden auf dem Versuchsgelände.

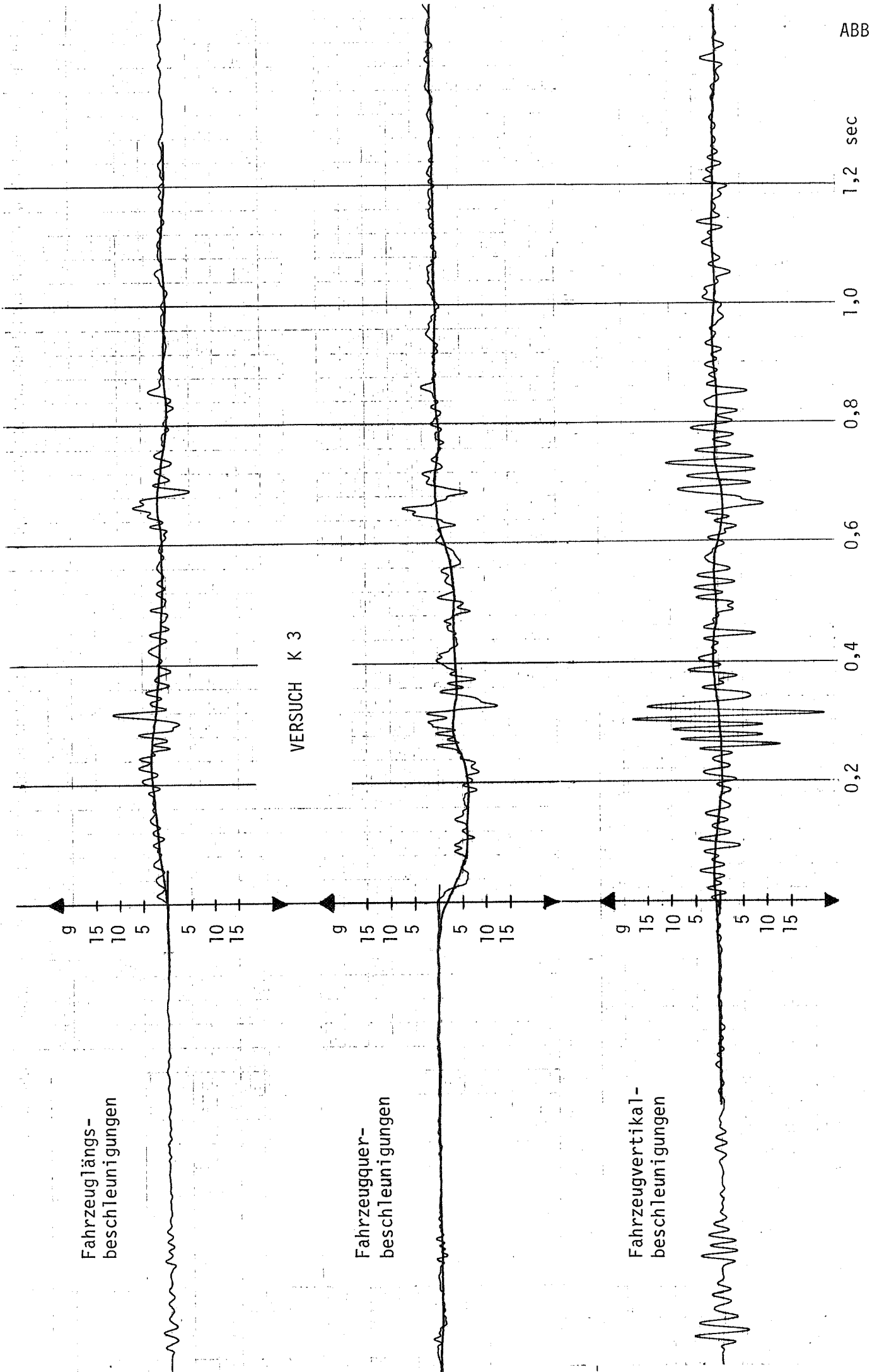
Nach der Umlenkung rutscht der Wagen mit kleinem seitlichen Abstand von der Leitschranke an dieser entlang. Dabei sind die Vorderräder zur Leitschranke hin eingeschlagen. Darum nähert sich der Wagen dieser wieder und prallt nochmals an. Nach einem kurzen Zurückschleudern folgt dann noch ein Anprall. Dort bleibt der Wagen dann an der Leitschranke stehen. Entweder bei einem dieser sekundären Anprallvorgänge oder durch ein Schlagloch bzw. hervorragenden Stein im unbefestigten Gelände wird das linke Vorderrad abgerissen.

KASTENPROFIL 180/150



PLANKENSCHADEN	3																	
PFPOSTENSCHADEN	3																	
HÖHE OK PLANKE	67	64	58	46	44	43	47	56	68 cm									
BLEIB. DURCHBIEGUNG	4	21	34	54	53	42	25	15	0 cm									
	2	21	33	58	52	40	19	12	0 cm									
LÄNGSVERSCHIEBUNG	10	12			0		4		10									
	0	5	7		0				5									
	0	0	0		0		12		5									
	0	7		15		4			0									
												DES KASTENS OBEN OBERKANTE 10 UNTERKANTE 8 UNTERKANTE 10 UNTERKANTE 7						

[illegible]



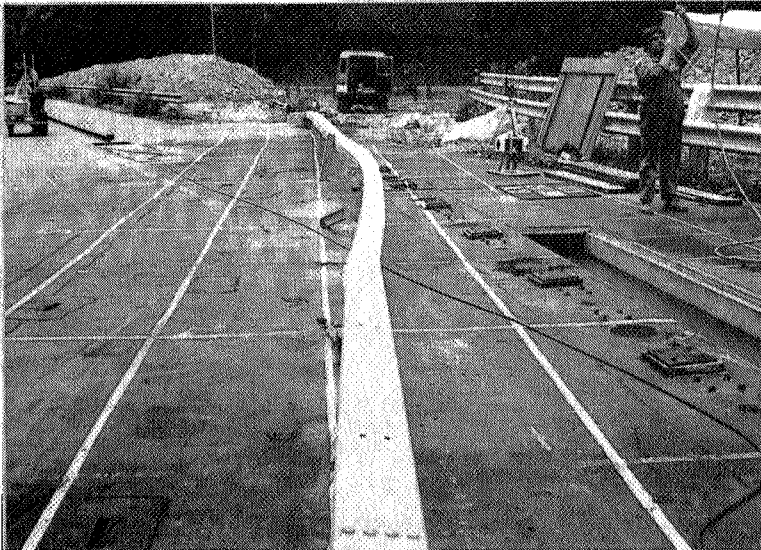


ABB. 28

Leitschrankenschaden.
Durchbiegung der Leitschranke

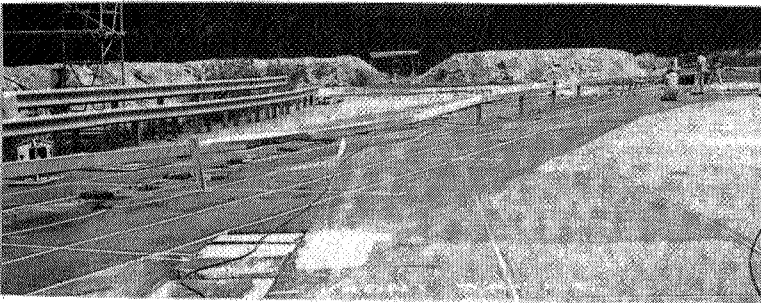


ABB. 29

Leitschrankenschaden.
Durchhängendes Kastenprofil.
Endstellung des Pw

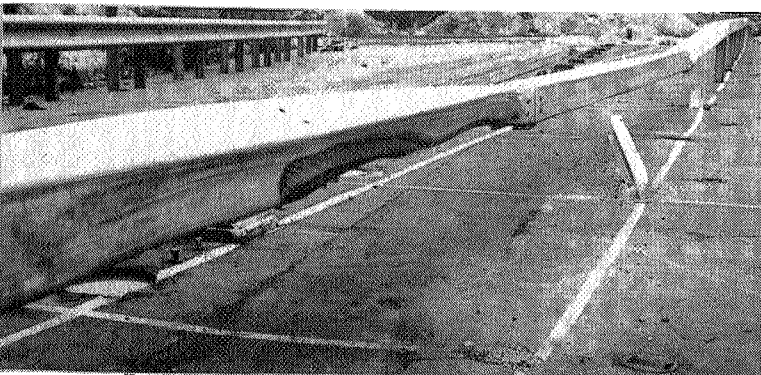


ABB. 30

Leitschrankenschaden,
eingedrücktes Kastenprofil

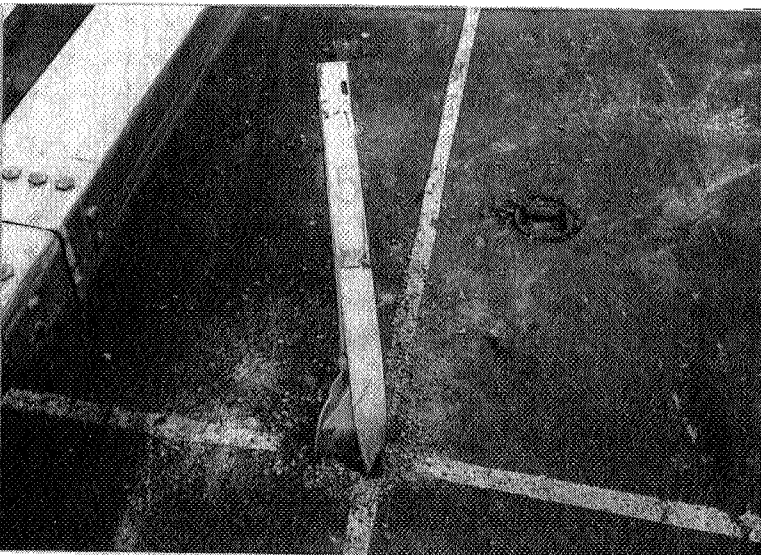


ABB. 31

Verdrehter Pfosten 3
(Rastermarkierung 5)

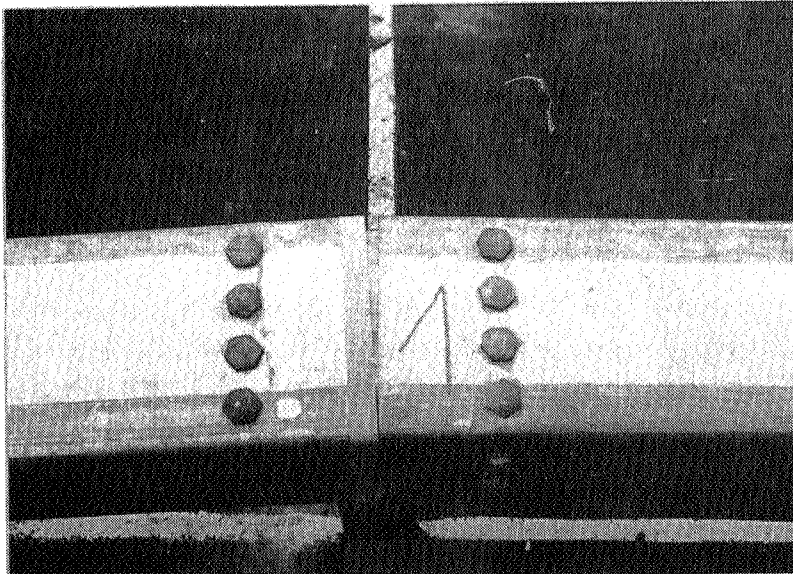


ABB. 32

Ungleichmässig gezogener
Kastenprofilstoss
(Anfahrseite oben)

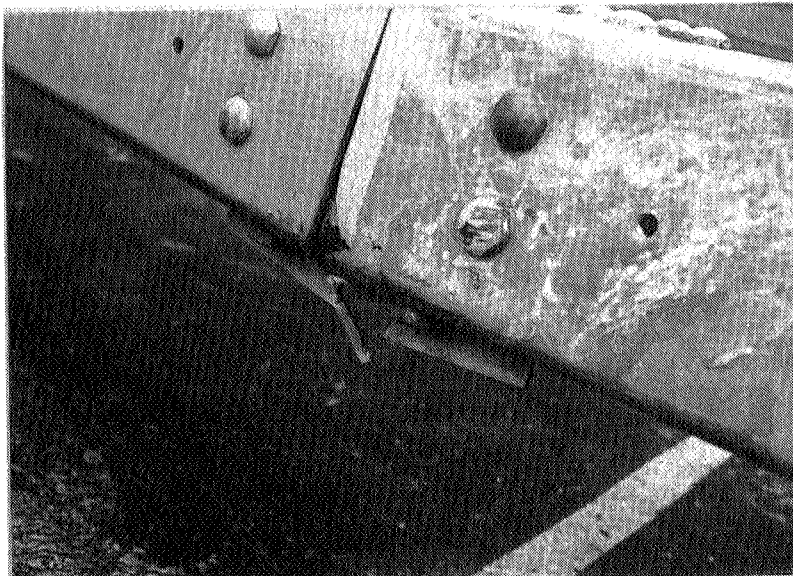


ABB. 33

Befestigung Pfosten-Kasten-
profil: gerissene
Stosslasche anstatt
gebrochene Schraube M6

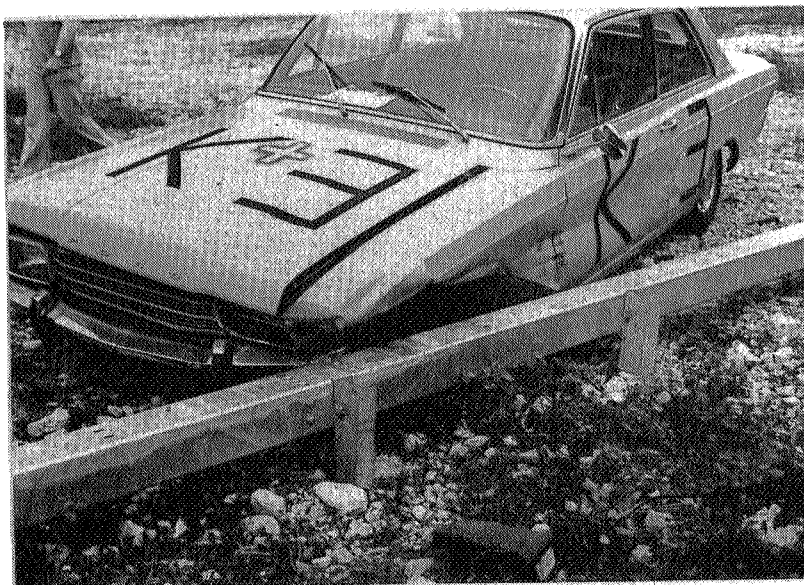


ABB. 34

Endstellung des Versuchs-
wagens und Fahrzeugschaden

ANFAHRVERSUCH K 4

Versuchsbedingungen

Schutzplankentyp	Kastenprofil 130/150 mm
Pfosten	IPE 100
Pfostenbefestigung	gerammt
Pfostenabstand	2 m
Gesamtlänge	88 m
Gesamthöhe über FOK	67,5 cm
Versuchsfahrzeug	Lw Bedford
Fahrzeugmasse	9980 kg
Anprallgeschwindigkeit	71 km/h
Senkrechte Anprallenergie	130 kJ (13,3 Mp·m)
Anprallwinkel	15°
Anprallpunkt	42 cm nach Pfosten 7 (Heckanprall 65 cm vor Pfosten 7)

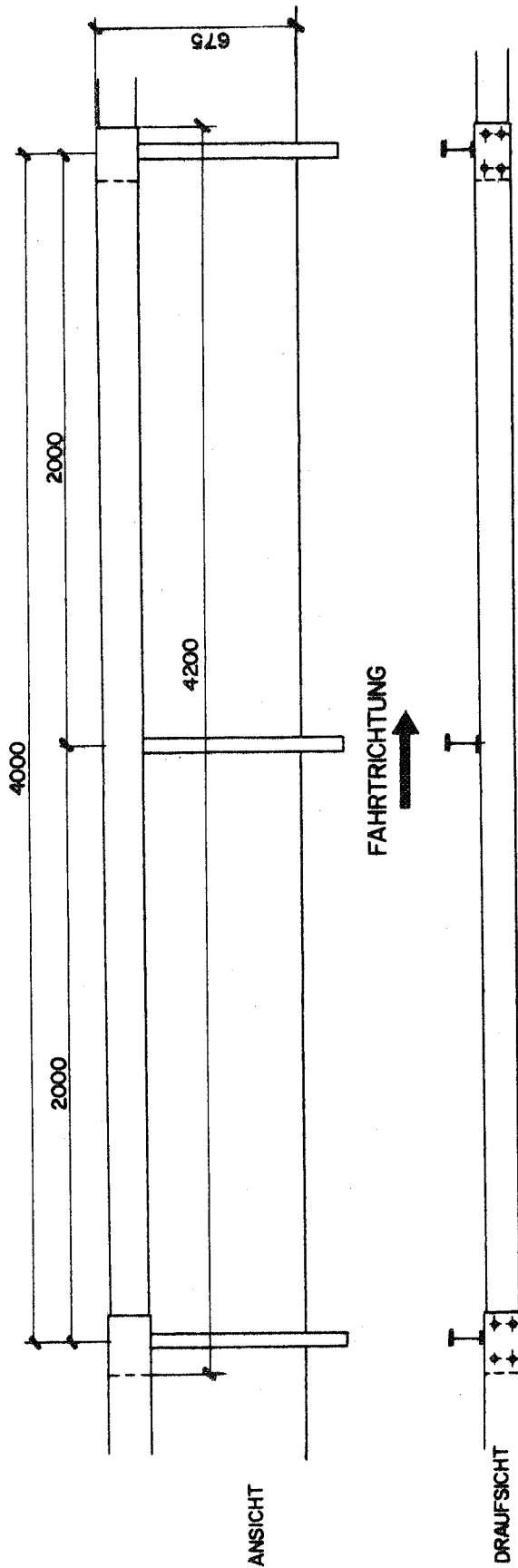
Versuchsergebnisse

Abprallgeschwindigkeit	} Ueberschlag, Leitschranke wurde überquert
Abprallwinkel	
Kontaktstrecke	Ueberschlag → Leitschranke wurde überquert
Max. Durchbiegung dynamisch	} Leitschranke wurde überquert
Max. Durchbiegung bleibend	
Schaden an der Schutzplanke	11 Kastenprofile, 19 Pfosten
Zugkraft in Verankerungs- schraube	8 to
Schaden am Fahrzeug	Totalschaden (Ueberschlag), Lenkung kaputt
Max. Längsverzögerungen	4,5 g pro 50 ms 1,5 g
Max. Querverzögerungen	9,5 g pro 50 ms 3,5 g
Max. Vertikalbeschleunigungen	6,5 g pro 50 ms 1,5 g

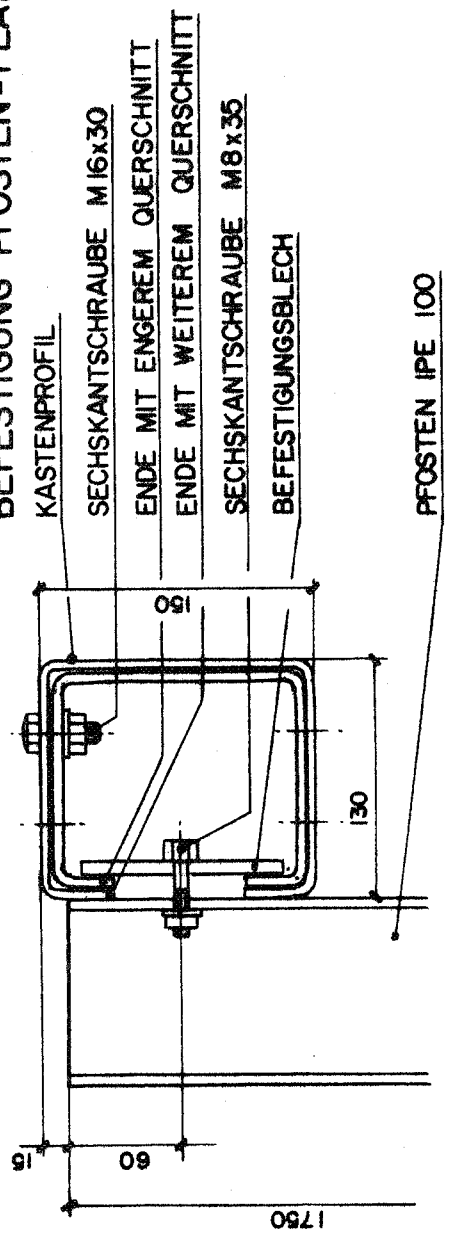
Gesamteindruck ungenügend

VERSUCH K4

LEITSCHRANKE MIT KASTENPROFIL 150/130



BEFESTIGUNG PFOSTEN - PLANKE



VERSUCHSABLAUF K 4

Der Lastwagen prallt mit 71 km/h in einem Anfahrwinkel von 15° an die Leitschranke an. Schon bei der ersten Berührung durch den Lw klafft das Kastenprofil vollständig auf und verliert dadurch seine Steifigkeit. Aus dem Kastenprofil wird ein flaches Stahlband.

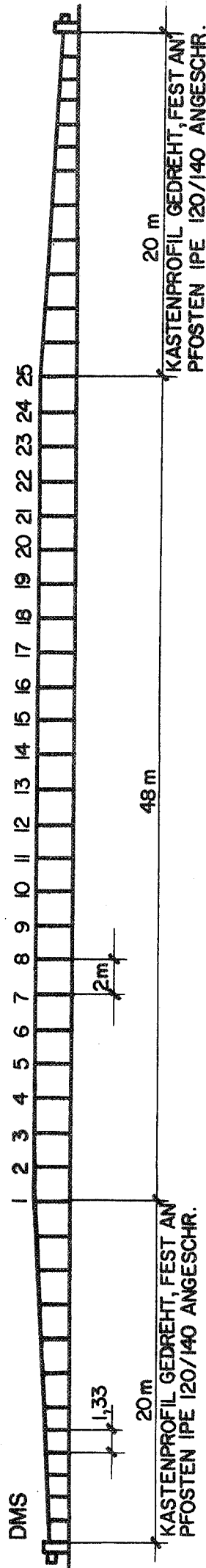
In der ersten Phase des Anprallvorgangs (Bereich der Pfosten 8, 9, 10) löst sich das Kastenprofil erst sehr spät vom Pfosten, praktisch erst bei unmittelbarer Anfahrt.

Bei zunehmender Beanspruchung wird das Kastenprofil durch die Fahrzeugkarosserie hinuntergedrückt. Es gerät schliesslich unter die Stossstange und unter das Trittbrett und wird vom linken Vorderrad zu Boden gerissen. Das Herunterreißen des Längselementes erfolgt im Bereich der Pfosten 11, 12 bereits 4 bis 8 m vor dem Lw. Kurz vor dem Ueberschlag rückt der Wagen vorne etwas von der Leitschranke ab. Diese erreicht dadurch wieder eine grössere Höhe im Bereich des Führerhauses. Im Heckbereich des Lw ist das Kastenprofil hingegen fast zu Boden gedrückt.

In dem Moment, als der Lastwagen etwa bis in Parallelstellung zur Leitschranke umgelenkt ist, schwenkt das Heck nach links (ausen) aus. Das aufgeklaffte, sehr tief hinuntergerissene Kastenprofil kann dem ausschwenkenden Lw-Heck keinen Widerstand entgegensetzen. Daher schwenkt dieses weiter herum und hebt vom Boden ab (Wagenfront im Bereich der Pfosten 12, 13), so dass der Wagen schliesslich über das linke Vorderrad abkippt. Die Lenkung ist dabei ganz zur Leitschranke hin eingeschlagen. Der Lw fällt von oben auf die Leitschranke und rutscht auf der Seite liegend auf ihr entlang. Dann macht er noch eine seitliche Rolle. In Endstellung steht der Lw mit dem Führerhaus zur Leitschranke hin rechtwinklig hinter ihr auf den Rädern.

VERSUCH K4

KASTENPROFIL 150/130



SCHADEN AN DER LEITSCHRANKE

PLANKENSCHADEN II

PFOSTEN 19

HÖHE OK PLANKEN

BLEIB. DURCHBIEGUNG DES KASTENS

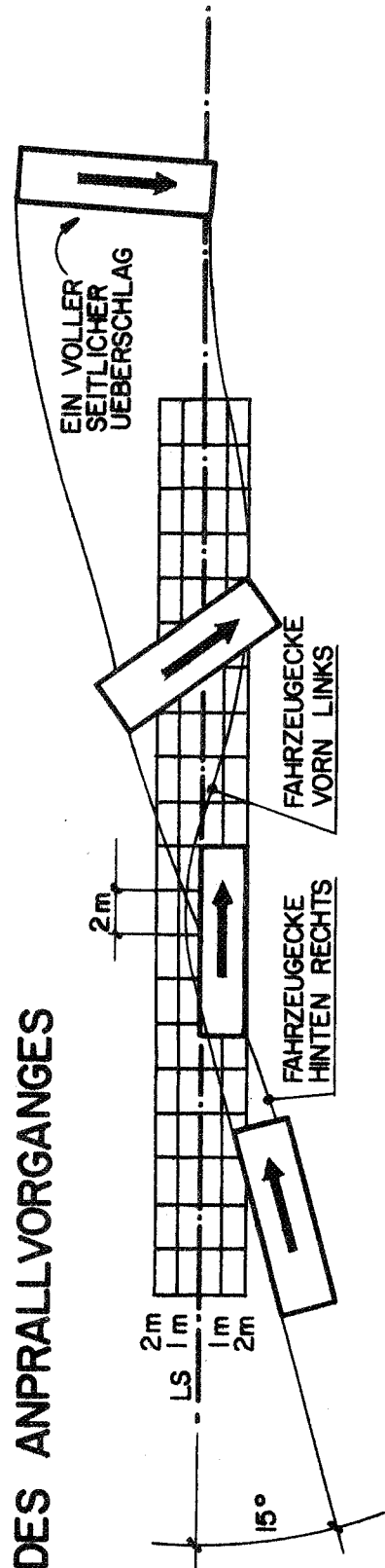
LÄNGSVERSCHIEBUNG

28 33 14 6 mm IN DEN KASTENPROFILSTÖSSEN

alles niedergedrückt



ABLAUF DES ANPRALLVORGANGES



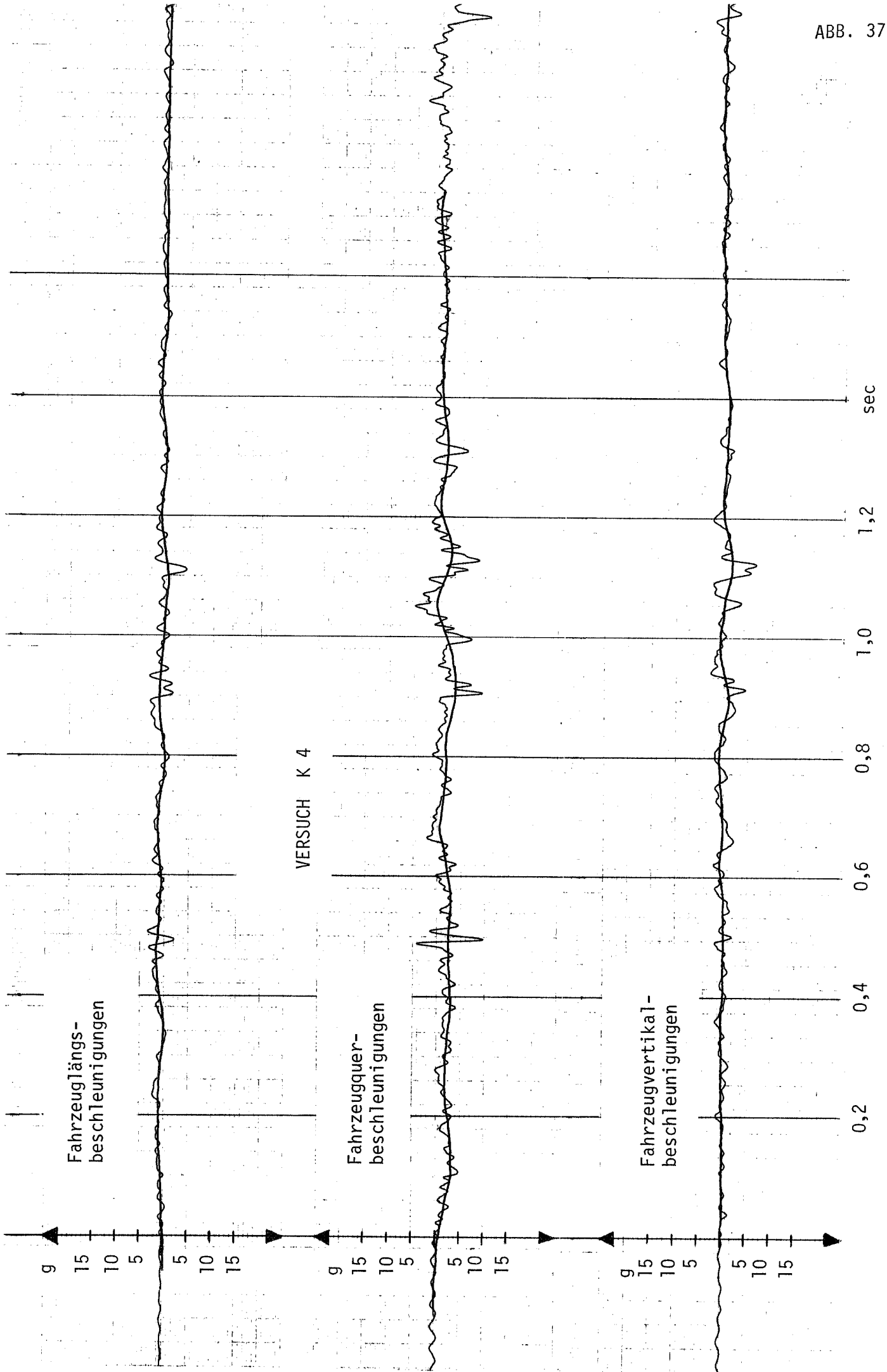




ABB. 38

Lw vor der Leitschranke
zur Verdeutlichung der
Höhenverhältnisse

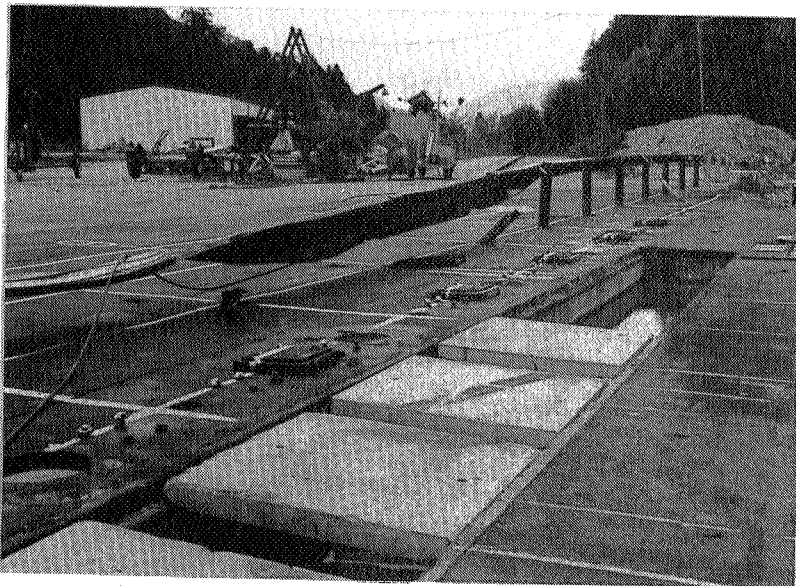


ABB. 39

Leitschrankschaden,
aufgeklafftes Kastenprofil

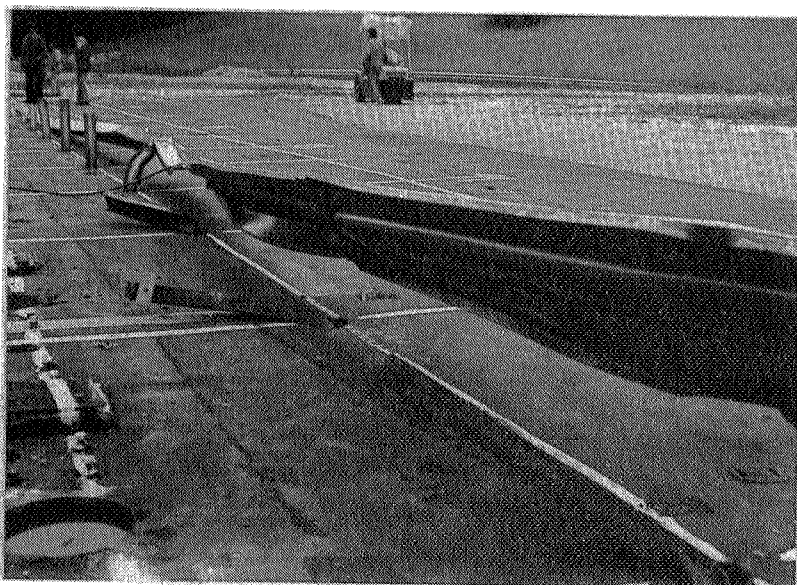


ABB. 40

Vollständig aufgeklafftes
Kastenprofil

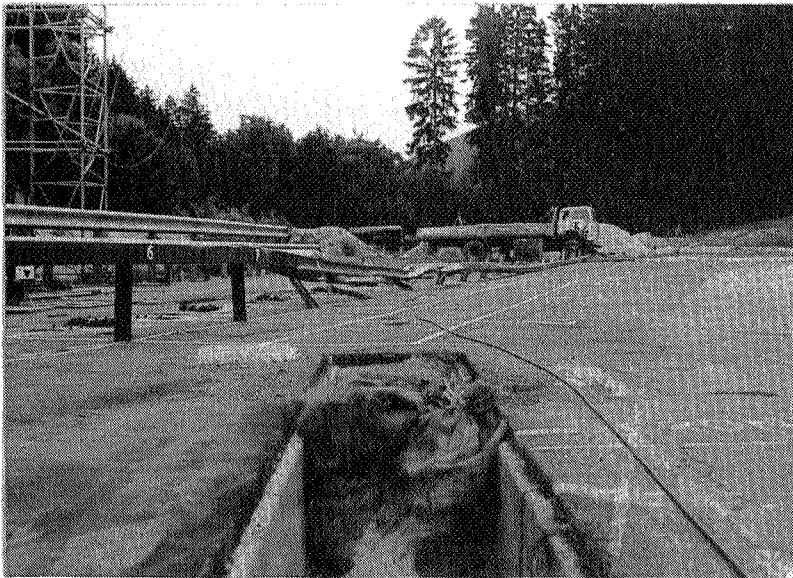


ABB. 41

Leitschrankenschaden und
Endstellung des Lws
(hinter der Leitschranke)

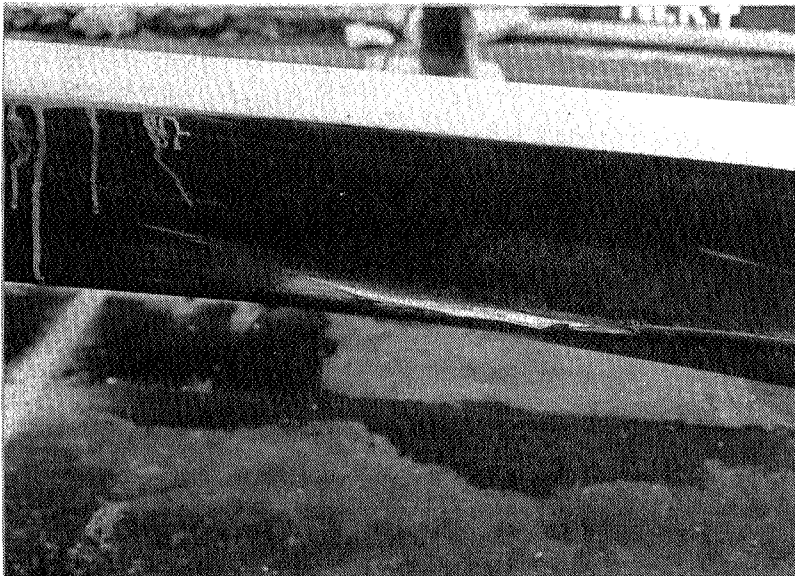


ABB. 42

Radmutterspur im Kasten-
profil
(kurz nach Pfosten 7)

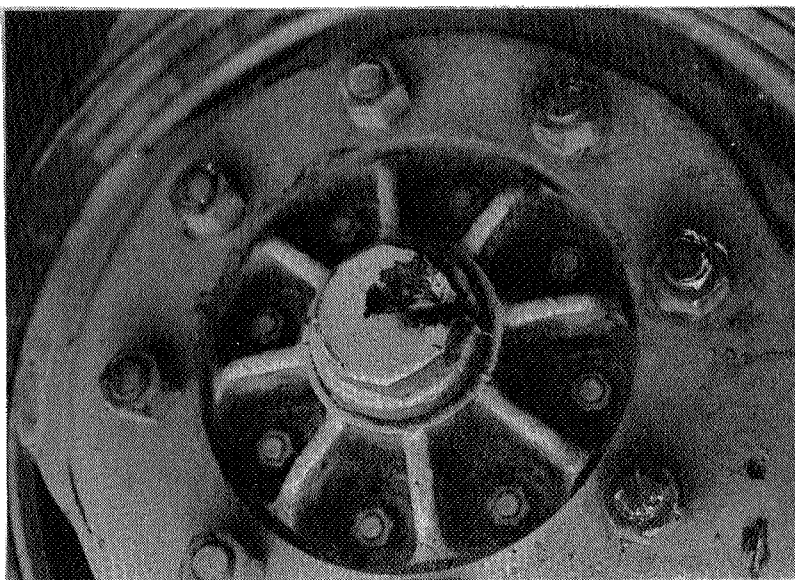


ABB. 43

Linkes Vorderrad des Lws.
An den Radmuttern sind
Spuren und Metallspäne vom
Kastenprofil zu erkennen.

ANFAHRVERSUCH K 5

Versuchsbedingungen

Schutzplankentyp	Kastenprofil 150/180 mm
Pfosten	IPE 100
Pfostenbefestigung	gerammt
Pfostenabstand	4 m
Gesamtlänge	88 m
Gesamthöhe über FOK	67,5 cm
Versuchsfahrzeug	Lw Volvo F 85
Fahrzeugmasse	10000 kg
Anprallgeschwindigkeit	ca. 69 km/h *
	(Messwert von Lichtschrankenmessung)
Senkrechte Anprallenergie	123 kJ (12,5 Mp·m)
Anprallwinkel	15°
Anprallpunkt	35 cm nach Pfosten 4 (Platzmarkierung 7)

Versuchsergebnisse

Abprallgeschwindigkeit	nicht feststellbar *
Abprallwinkel	kleiner 5° *
Kontaktstrecke	31,6 m
Max. Durchbiegung dynamisch	ca. 1,3 m *
Max. Durchbiegung bleibend	94 cm
Schaden an der Schutzplanke	9 Kastenprofile, 10 Pfosten
Zugkraft in der Verankerungsschraube	8,5 to
Schaden am Fahrzeug	Stoßstange, Front, Eckblech, Trittbrett, Tür, Kotflügel (alles vorn links), Lenkung ev. leicht beschädigt, Brücke vorn links, Seitenladen beidseits, Felge hinten links
Max. Längsverzögerungen	2 g pro 50 ms 1 g
Max. Querverzögerungen	5,5 g pro 50 ms 2 g
Max. Vertikalbeschleunigungen	4,5 g pro 50 ms 1 g

Gesamteindruck

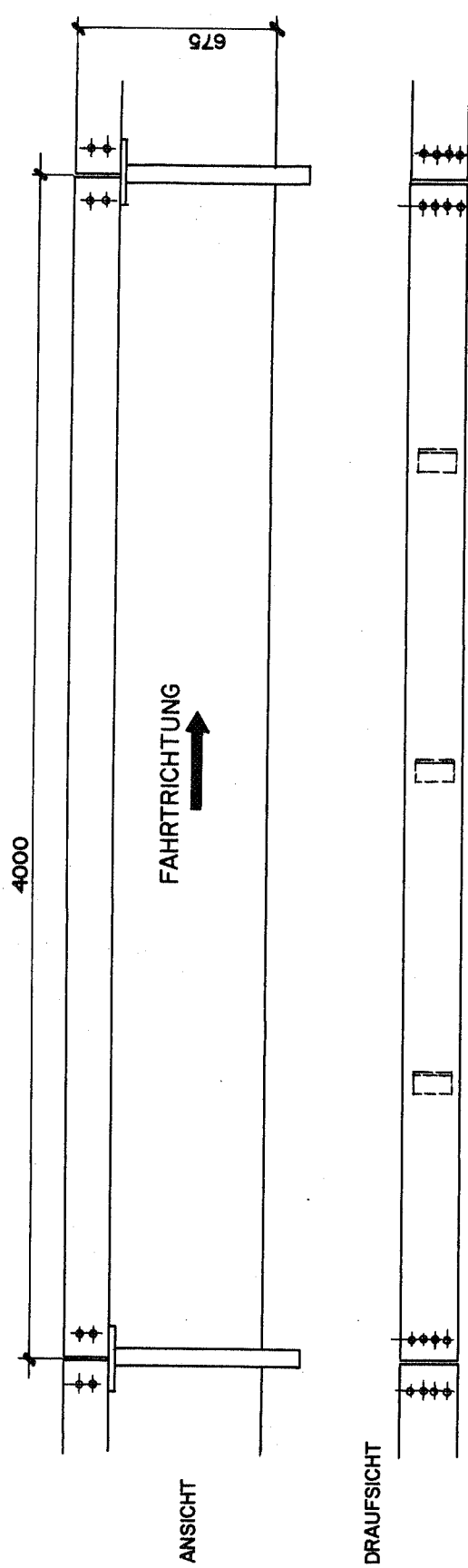
befriedigend

Bemerkungen

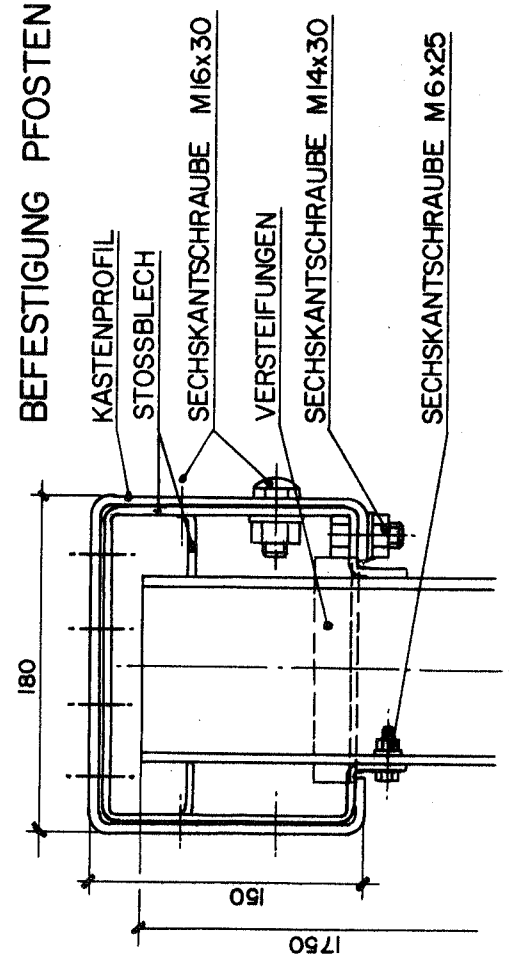
- * Turmkamera defekt
→ unvollständige Auswertung
- Belag nass

VERSUCH K5

LEITSCHRANKE MIT KASTENPROFIL 180/150



BEFESTIGUNG PFOSTEN, PLANKE UND PLANKENSTOSS



VERSUCHSABLAUF K 5

Infolge eines Defektes an der Turmkamera existieren von diesem Versuch keine Filmaufnahmen senkrecht von oben. Somit ist eine Filmauswertung nur beschränkt möglich, d. h. es können nur qualitative Angaben gemacht aber keine exakten Messwerte berechnet werden.

Der Lw prallt mit ca. 69 km/h im 15° Winkel an die Leitschranke an. Beim Anprall verdreht sich das Kastenprofil um ca. 90° , so dass die Oeffnung des Kastens nach hinten schaut. Dadurch wird das Kastenprofil in seiner weniger steifen Richtung beansprucht. Ueber den Pfosten wird es demgegenüber in seiner ursprünglichen Lage gehalten.

Die Ausbiegung der Leitschranke beginnt etwa 4 m vor dem Lw. Dabei werden die Pfosten zurückgebogen. Das Kastenprofil wird aber nicht oder nur sehr wenig mit hinuntergezogen. Eine vollständige Trennung des Kastens vom Pfosten erfolgt hingegen erst sehr spät, meist erst bei direkter Anfahrt des Pfostens durch den Lw.

Bei der hohen Anprallenergie wirken die Kastenprofilstösse als Gelenke. Dieser Effekt wird begünstigt durch die grossen Längsverschiebungen in den Stossstellen. Sie bilden Knickstellen und das ganze Längselement wird zu einer Art Gliederkette. Dieses relativ weiche Band legt sich zuerst gut an die Karosserie an. Im weiteren Versuchsablauf wird es dann aber beim Anprall des Fahrzeughecks von den Hinterrädern bis auf den Boden hinuntergedrückt. Dem stärkeren Heckanprall kann das Kastenprofil also nur noch geringeren Widerstand entgegensetzen.

Der Lastwagen wird durch die Leitschranke gerade noch umgelenkt (vermutlich begünstigt durch den nassen Strassenbelag). Dabei erreicht der Wagen einen sehr grossen Kippwinkel von ca. 42° . Die rechten Räder heben ab, wobei das Hinterrad bis auf eine Höhe von ca. $1,3 \div 1,5$ m ab Boden gelangt. Nach der Umlenkung fährt der Wagen entlang der Leitschranke, von der er sich erst auf dem unbefestigten Gelände löst und in einem kleinen Winkel wegrollt. Der Wagen wird in einer der Kiesschüttungen gebremst. Er ist nur relativ leicht beschädigt.

KASTENPROFIL 180/150

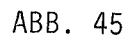


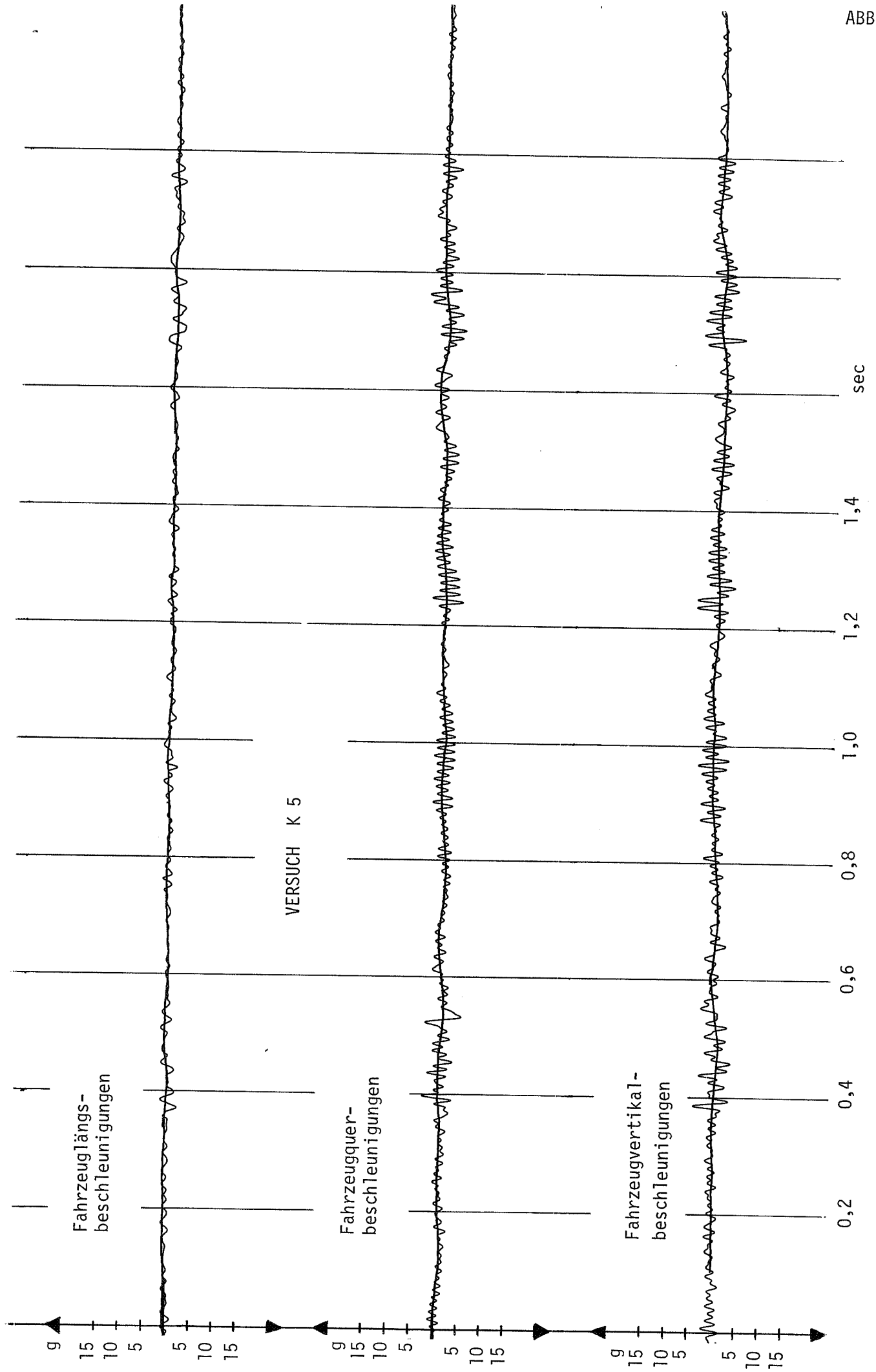
PFOSTENSCHADEN 10

BLEIB. DURCHBIEGUNG  OBERKANTE
UNTERKANTE

mm } IN DEN KASTENPROFILSTÖSSEN
mm }

ABLAUF DES ANPRALLVORGANGES





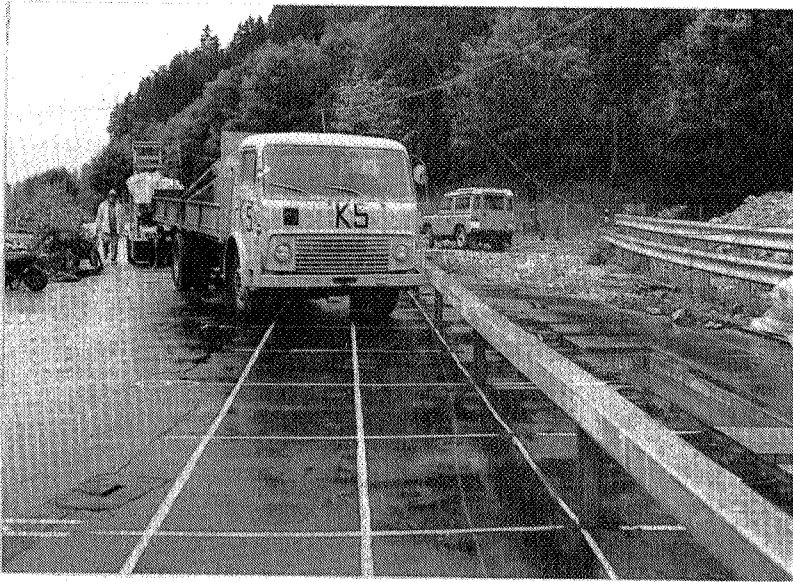


ABB. 47

Versuchslastwagen vor der
Leitschranke



ABB. 48

Leitschrankenschaden und
Endstellung des Lws.

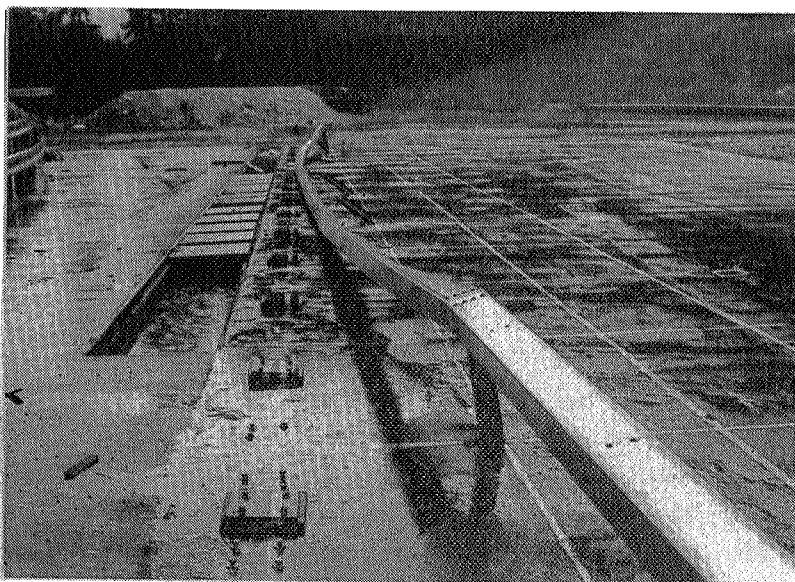


ABB. 49

Leitschrankenschaden und
Durchbiegung der Leit-
schranke.

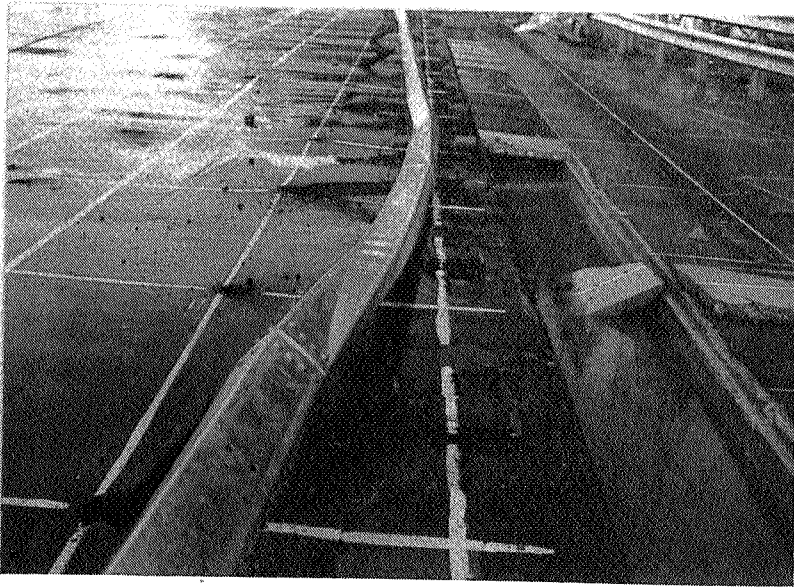


ABB. 50

In sich verdrehtes Kastenprofil 150/180

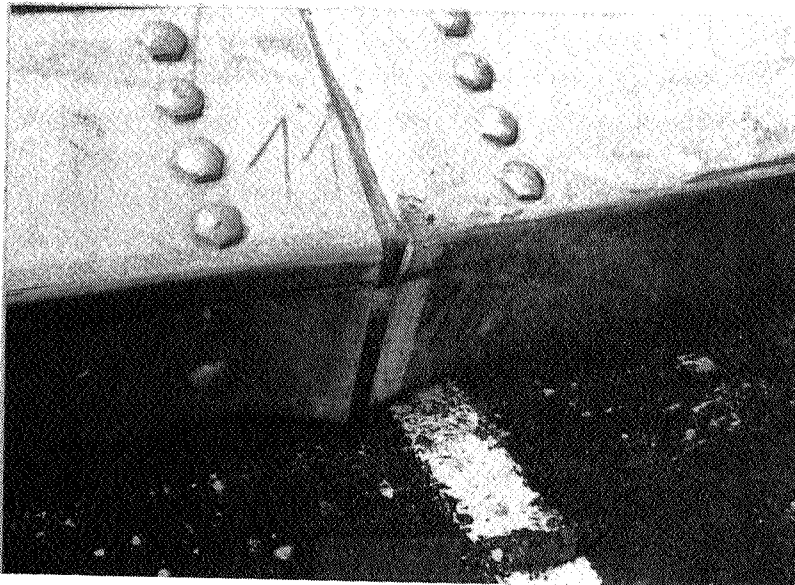


ABB. 51

Gezogener und aufgebogener Kastenprofilstoss



ABB. 52

Fahrzeugschaden und Endstellung des Lws

ANFAHRVERSUCH K 6

Versuchsbedingungen

Schutzplankentyp	Kastenprofil 130/150 mit eingeschweissten Versteifungen
Pfosten	IPE 100
Pfostenbefestigung	gerammt
Pfostenabstand	4 m
Gesamtlänge	88 m
Gesamthöhe über FOK	67,5 cm
Versuchsfahrzeug	Lw Volvo F 86
Fahrzeugmasse	10030 kg
Anprallgeschwindigkeit	71 km/h
Senkrechte Anprallenergie	130,7 kJ (13,3 Mp·m)
Anprallwinkel	15°
Anprallpunkt	30 cm nach Pfosten 4 (Platzmarkierung 7)

Versuchsergebnisse

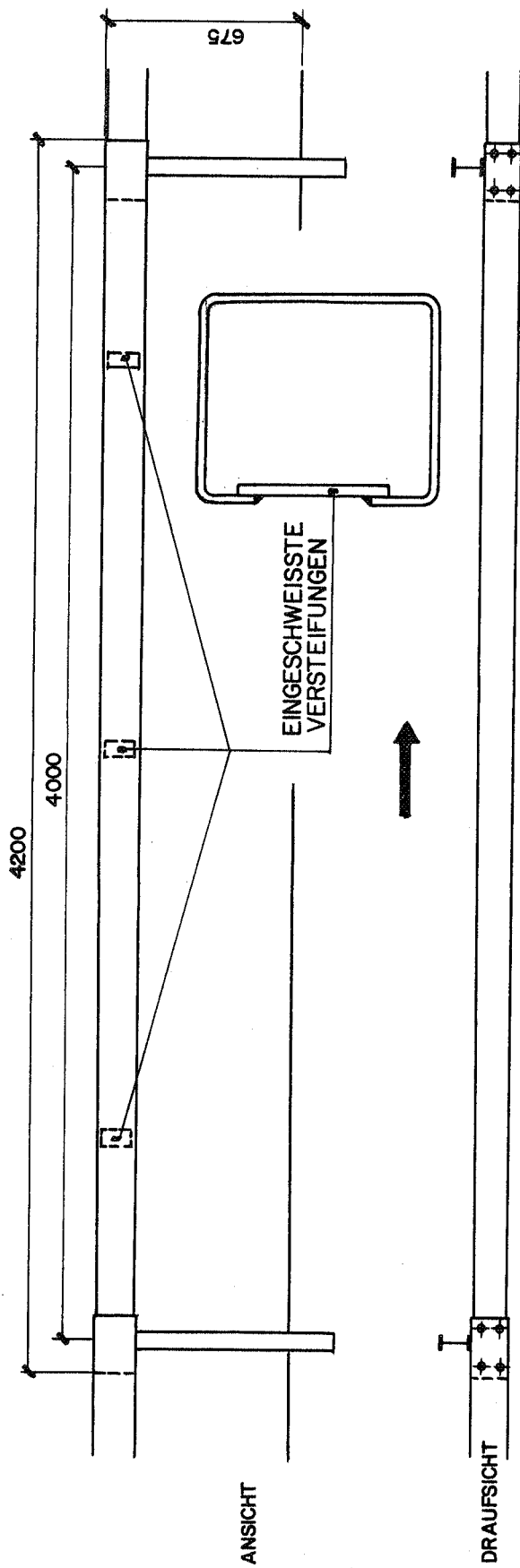
Abprallgeschwindigkeit	}	Lw kippt um und rutscht auf der		
Abprallwinkel		Leitschranke entlang		
Kontaktstrecke		ca. 50 m		
Max. Durchbiegung dynamisch		ca. 135 cm		
Max. Durchbiegung bleibend		70 cm		
Schaden an der Schutzplanke		12 Kastenprofile, 11 Pfosten		
Zugkraft in der		11,5 to		
Verankerungsschraube				
Schaden am Fahrzeug		Totalschaden (umgekippt)		
		Stoßstange, Eckblech, Kotflügel, Kabine,		
		Brücke, Seitenladen		
Max. Längsverzögerungen	2,5 g	pro 50 ms	1 g	
Max. Querverzögerungen	12,5 g	pro 50 ms	1,5 g	
Max. Vertikalbeschleunigungen	15 g	pro 50 ms	1,5 g	

Gesamteindruck

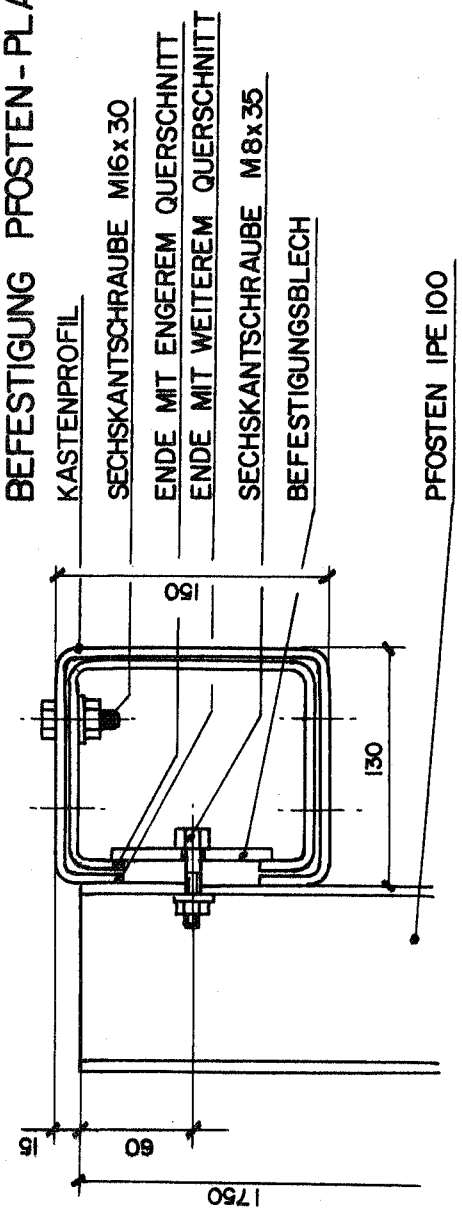
befriedigend bis ungenügend

VERSUCH K6

LEITSCHRANKE MIT KASTENPROFIL 150/130



BEFESTIGUNG PFOSTEN-PLANKE



VERSUCHSABLAUF K 6

Für diesen Versuch haben wir das Kastenprofil 150/130 auf der offenen Rückseite durch in den Drittelpunkten angeschweisste Flachstahlstücke versteift. Dadurch hat es beim Anprall weitgehend seine Form behalten. Ein Aufklaffen des Profils ist nur noch zwischen den einzelnen Versteifungen aufgetreten (normale Breite der Oeffnung auf der Rückseite des Kastenprofils: 7 cm, max. Aufklaffweite: 21 cm; vergleiche Versuch 4).

Der Lw prallt mit 71 km/h in einem Winkel von 15° gegen die Leitschranke. Zuerst legt sich das Kastenprofil gut an die Karosserie an. Durch die grosse Beanspruchung und die zunehmende Querneigung des Lws wird das Längselement aber hinuntergedrückt. Schliesslich gerät es in den Bereich der Räder. Es sind mehrere Einschnitte von den Radmuttern im Kastenprofil zu sehen. Beim Ausschwenken des Hecks drücken die Hinterräder das Kastenprofil ganz zu Boden.

Die Ausbiegung der Leitschranke beginnt ca. 4 bis 6 m vor dem Lw. Da sich das Kastenprofil erst spät von den Pfosten löst, kann es sein, dass es von diesen etwas hinuntergezogen und dadurch das Niederwalzen begünstigt wird.

Der Pfosten 9 leistet sehr grossen Widerstand. Er bleibt praktisch bis zur Anfahrt gerade stehen. Auch löst sich das Kastenprofil nicht von diesem Pfosten. Dadurch bildet sich vor Pfosten 9 ein regelrechter Sack, der eine Beschleunigung der bereits vorher begonnenen Kippbewegung des Lws bewirkt.

Die Kippbewegung des Lws beginnt nach der Umlenkung im Bereich des Pfostens 8, wenn einerseits dem Heckanprall nicht genügend Widerstand entgegengesetzt werden kann (starkes Ausschwenken) und andererseits das Längselement immer tiefer gerissen wird. Nach dem Kippen rutscht der Lw auf der Seite liegend auf der Leitschranke entlang bis ca. 4 m vor die Endverankerung. Dort bleibt er dann - nun wieder auf der Anfahrseite - dicht an der Leitschranke liegen.

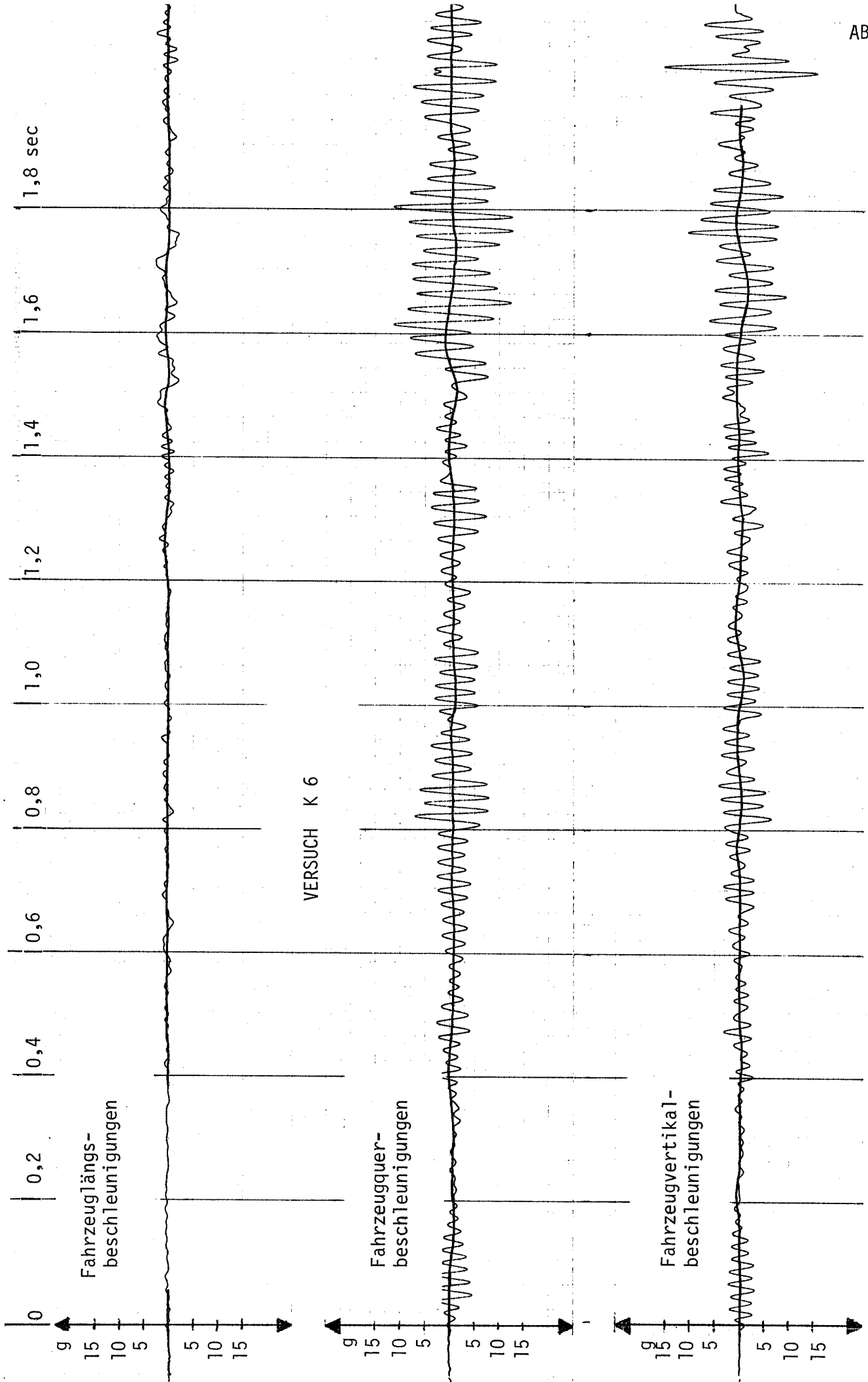




ABB. 56

Versuchs-Lw vor der
Leitschranke



ABB. 57

Kastenprofil 130/150
mit den eingeschweissten
Versteifungen

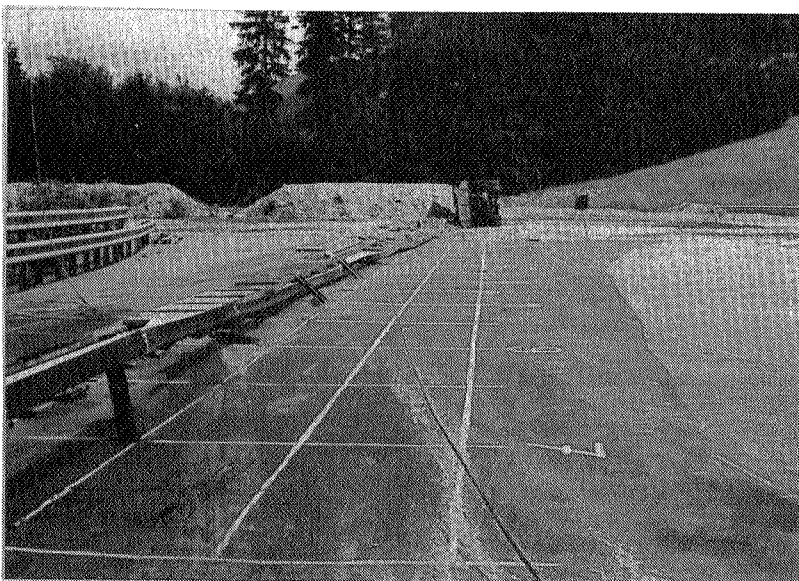


ABB. 58

Leitschrankenschaden und
Endlage des Versuchswagens.

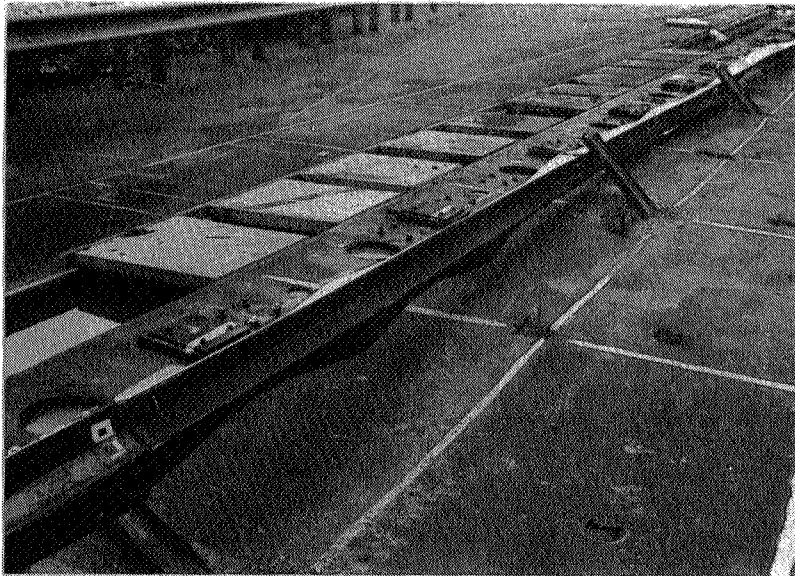


ABB. 59

Stark zerstörte Leitschranke

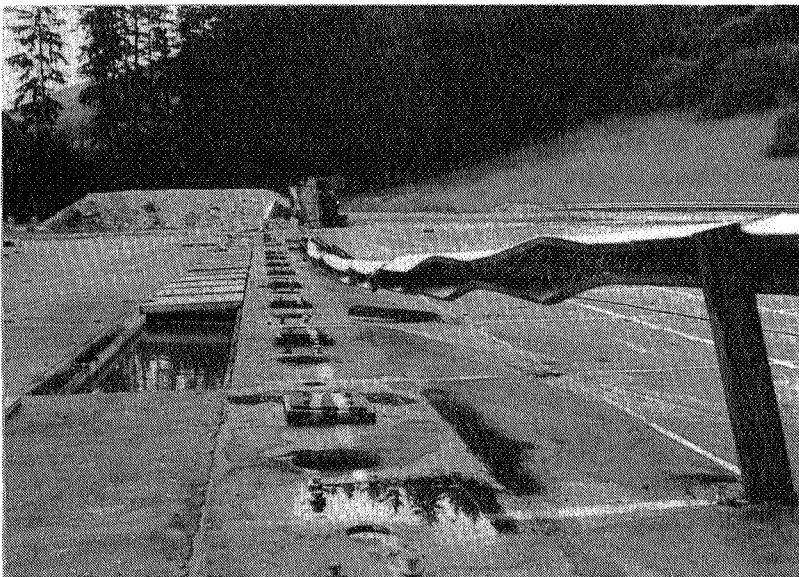


ABB. 60

Die eingeschweissten Versteifungen bewirkten, dass das Kastenprofil seine Form behielt. Es konnte nur zwischen den Versteifungen aufklaffen.

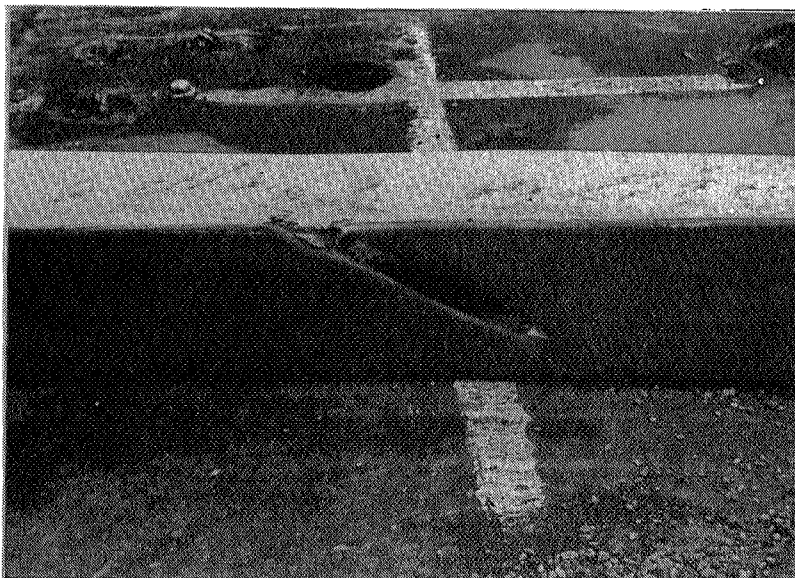


ABB. 61

Zerstörung des Kastenprofils durch die Radmuttern des Lws.

5. RESULTATE

Die Versuche haben gezeigt, dass bei der Beurteilung der Leitschranken mit Kastenprofil deutlich zwischen dem Verhalten bei Pw-Anfahrten und demjenigen bei Lw-Anfahrten unterschieden werden muss. Die Tabelle 6 enthält eine Zusammenstellung der wichtigsten Versuchsergebnisse.

5.1. Pw-Versuche

Die Anprallversuche mit Pw sind gut abgelaufen. Die Fahrzeuge wurden von der Leitschranke nicht zurückgeschleudert (Ausnahme K2 bei nassem Straßenbelag), sondern kamen an der Schutzeinrichtung zum Stehen. Zur Versuchsauswertung sei noch ergänzt, dass Abprallwinkel nur berücksichtigt wurden, wenn sich das Fahrzeug wirklich von der Leitschranke entfernte. Wenn es sich wohl mal leicht von der Leitschranke löste, aber gleich wieder an diese herankam, dann wurde der Abprallwinkel nicht bestimmt. Denn dieser Vorgang ist relativ ungefährlich für den nachfolgenden Verkehr und nicht vergleichbar mit wirklichen Abprallern.

Die aufgetretenen Verzögerungen sind in Anbetracht der schweren Anprallbedingungen tolerierbar. Die SI-Werte* liegen etwas über 1, also im kritischen Bereich für nichtangeschnallte Insassen. Für angegurtete Fahrzeuginsassen sollten die Verzögerungen aber erträglich sein. Beim Versuch K2 (Randleitschranke mit 2 m Pfostenabstand) traten erstaunlicherweise die kleinsten Querverzögerungen pro 50 msec auf, obwohl der Versuchsablauf eine deutlich härtere Wirkung des Systems zeigte, was auch in den maximalen Verzögerungswerten zum Ausdruck kommt. Ob die kleinere Querverzögerung auf den nassen Belag zurückzuführen ist, oder ob der verringerte Pfostenabstand die Wirkungsweise der Leitschranke verbessert, indem er eine günstigere Balkenwirkung der Leitschranke bewirkt, lässt sich nach diesem einen Versuch nicht sagen. Bei den Versuchen K 1 (Randleitschranke) und

* SI-Wert = Index für die Anprallschwere und Verletzungsgefahr der Fahrzeuginsassen. Bei $SI > 1$ sind normalerweise schwere Verletzungen für nicht angeschnallte Fahrzeuginsassen zu erwarten [4]

K 3 (Mittelstreifenleitschranke) sind die gemessenen Verzögerungswerte über 50 msec praktisch identisch.

Bei den schweren Anfahrbedingungen ist der Schaden an den Versuchsfahrzeugen naturgemäss gross. Weil sich das schmälere Kastenprofil stark in die Karosserie einschneidet und es ausserdem etwas härter wirkt, ist der Fahrzeugschaden vielleicht ein wenig grösser als bei der Leitschranke mit Planke Profil A.

Die dynamische Durchbiegung der Randleitschranke mit Kastenprofil (Versuch K 1) ist deutlich kleiner als diejenige der Leitschranke mit Planke Profil A (4 m Pfostenabstand). Die dynamische Durchbiegung im Versuch K 1 liegt etwa auf dem Niveau der einfachen Distanzleitschranke mit Planke Profil A. Wie der Versuch K 2 gezeigt hat, verringert sich die dynamische Durchbiegung der Randleitschranke bei 2 m Pfostenabstand noch deutlich. Beim Mittelstreifenkastenprofil (Versuch K 3) wurden trotz der grösseren Steifigkeit ungefähr gleich grosse Deformationen gemessen wie beim kleinen Kasten mit 4 m Pfostenabstand (Versuch K 1). Die Durchbiegungswerte der Mittelstreifenleitschranke mit Kastenprofil 150/180 (K 3) entsprechen etwa denjenigen der doppelten Leitschranke mit Planke Profil A und 2 m Pfostenabstand. Sie sind deutlich kleiner als bei der doppelten Distanzleitschranke mit 4 m Pfostenabstand.

Die Tabelle 4 gibt einen Ueberblick über die wichtigsten Messwerte für die Versuche mit Kastenprofil und diejenigen mit Planke Profil A [3] sowie dem Seilzaun [5]. Diesen Vergleichen darf man allerdings nicht allzuviel Gewicht beimessen, da sie nur auf jeweils 1 Versuch pro System basieren und daher statistisch nicht abgesichert sind. Andererseits hat die Erfahrung aber gezeigt, dass die Versuche recht gut reproduzierbar sind.

Der Leitschrankenschaden ist bei allen Systemen mit Kastenprofil ungefähr gleich. Auch bei den Kontaktstrecken sind keine grossen Unterschiede aufgetreten. Erwartungsgemäss ist die Kontaktstrecke bei der weichen Randleitschranke mit 4 m Pfostenabstand (K 1) etwas grösser als bei den härteren Systemen.

TABELLE 4: VERGLEICH VON PW-VERSUCHEN AN VERSCHIEDENEN LEITSCHRANKENSYSTEMEN

LEITSCHRANKE	Pfo- stenab- stand [m]	senkrechte Anprallenergie [kJ]	Durchbiegung dynamische [cm]	Durchbiegung bleibende [cm]	Kontaktstrecke [m]	Plankenschaden		Verzögerungen über 50 msec.		Anwendungsort: R = Strassenrand M = Mittelstreifen
						Holme	Pfosten	längs [g]	quer [g]	
*Kastenprofil 130/150	4	60	77	47	12,8	4	4	2,5	6	R
*Kastenprofil 130/150	2	56	58	37	9,2	4	5	3,5	5	R
*Kastenprofil 150/180	4	56	70	56	8,5	3	3	3	3	M
Leitschranke mit Planke Profil A	4	44	124	101	17,0	5	5	2	4	R
einfache Distanz- Leitschranke	2	42	71	52	7,2	4	4	6,3	6,5	R
doppelte Leitschranke mit Planke Profil A	2	49 44	78 68	64 48	20,0 19,9	8 6	11 10	3 3,7	5,3 6,5	M
doppelte Distanzleit- schranke	4	45	131	102	17,5	6	5	-	-	M
** Seilleitschranke	2,5	43	116	-	15,7	-	11	2,2	3,9	M

- * ca. 30 % grössere Anprallenergie als bei den anderen Versuchen wegen des 2° grösseren Anfahrwinkels
 ** Mittelwerte aus den 3 Versuchen (S1,S7,S9) an den zur Zeit in der Schweiz eingebauten Seilzaunvarianten

Die Kontaktstrecken bei den Leitschranken mit Kastenprofil entsprechen ungefähr derjenigen, die bei der einfachen Distanzleitschranke mit Planke Profil A gemessen wurde. Sie sind also erheblich kleiner als bei den anderen Systemen mit Planke A. Auch bezüglich Leitschrankenschaden stimmen die Systeme mit Kastenprofil weitgehend mit der einfachen Distanzleitschranke überein. Die Leitschranke mit Planke Profil A und die doppelte Distanzleitschranke erlitten aber auch nur unwesentlich mehr Schaden.

5.2. Lw-Versuche

Die Lw-Versuche sind weniger gut abgelaufen. Die Randleitschranke mit Kastenprofil 130/150 und 2 m Pfostenabstand (K 4) wurde vom Lw überquert, nachdem der Kasten bereits bei der ersten Berührung vollständig aufgeklafft war und dadurch seine Steifigkeit verloren hatte. Die Mittelleitschranke mit Kastenprofil 150/180 (K 5) konnte den anprallenden Lw gerade noch umlenken. Der Lw erreichte einen sehr grossen Kippwinkel, richtete sich dann aber wieder auf und fuhr in einem kleinen Abprallwinkel von der Leitschranke weg. Die im Versuch K 6 getestete Randleitschranke mit angeschweissten Versteifungen konnte den Lw zwar umlenken, doch kippte dieser dabei um und rutschte auf der Leitschranke liegend weiter. Dieser Versuchsablauf entspricht demjenigen des Lw-Anpralls an die Leitschranke mit Planke Profil A und 4 m Pfostenabstand (siehe Tabelle 5).

Bei den Randleitschranken dürfte somit die verbesserte Version des Kastenprofils (mit den eingeschweissten Verstärkungen) der Leitschranke mit Planke Profil A bezüglich Lastwagendurchbruchssicherheit ungefähr ebenbürtig sein. Im Mittelstreifen bietet das grosse Kastenprofil eindeutig weniger Sicherheit bei Lw-Anfahrten als die doppelte Distanzleitschranke mit Planke Profil A. Es liegt etwa auf dem Niveau der doppelten Leitschranke mit Planke Profil A. Verantwortlich für das schlechte Verhalten der Leitschranken mit Kastenprofil bei Lw-Anfahrten dürfte in erster Linie die niedrige Bauhöhe dieser relativ steifen Leitschranken sein.

Zudem bietet die flache Frontfläche des Kastenprofils möglicherweise eine zu grosse Angriffsfläche für das Vorderrad des Lws. Durch die Reibung

zwischen Reifen und Kastenprofil sowie das Einfressen der Radmutter in das Kastenprofil kann das Herunterreißen dieses Längselementes begünstigt werden, besonders wenn das Kastenprofil aufklafft und infolgedessen nicht mehr durch die Klemmplatten gehalten werden kann.

Die dynamische Durchbiegung war beim grossen Kastenprofil (K 5) und beim verstärkten kleinen Kastenprofil (K 6) ungefähr gleich gross. Mit ca. 1,3 m war sie etwa gleich wie bei der einfachen Distanzleitschranke, aber etwas kleiner als bei den anderen Systemen mit Planke Profil A.

Der Schaden an den Leitschranken war nach diesen Versuchen naturgemäss gross. Da solch schwere Lastwagenanfahrten in der Praxis aber selten vorkommen, darf dieser Tatsache keine grössere Bedeutung beigemessen werden. Es geht in erster Linie um die Frage, ob eine Leitschranke in der Lage ist, den aprallenden Lw aufzuhalten und umzulenken. Auch die Verzögerungswerte sind bei den Lastwagenversuchen von untergeordneter Bedeutung. Aus diesem Grund wurden der Leitschrankenschaden und die Fahrzeugverzögerungen in der folgenden Vergleichstabelle nicht berücksichtigt.

TABELLE 5: VERGLEICH VON Lw-VERSUCHEN AN VERSCHIEDENEN LEITSCHRANKENSYSTEMEN

Leitschranke	Pfostenab- stand [m]	Ergebnis	dyn. Durch- biegung [m]	Anwendungs- ort
Kastenprofil 130/150	2	durchbrochen	-	R
Kastenprofil 130/150 mit eingeschweissten Verstärkungen	4	umgekippt	1,35	R
Kastenprofil 150/180	4	knapp umgelenkt	1,30	M
Leitschranke mit Planke Profil A	4	umgekippt	1,24	R
Einfache Distanz- leitschranke mit Planke Profil A	2	umgelenkt	1,32	R
Doppelte Leitschranke mit Planke Profil A	2	umgelenkt durchbrochen	1,63 -	M
Doppelte Distanz- leitschranke	4	gut umgelenkt	1,54	M

6. VORSCHLÄGE ZUR VERBESSERUNG DER LEITSCHRANKENSYSTEME MIT KASTEN-PROFIL

Die wichtigsten Verbesserungen sind Massnahmen, die beim kleinen Kasten die Erhaltung der Querschnittsform bewirken und das Aufklaffen des Profils sicher verhindern. Bereits beim Pw-Anprall klappte das Profil leicht auf. Beim Lw hatte dieser Effekt massgeblichen Anteil am Versagen der Konstruktion (K 4). Darum wurden vor dem 6. Versuch, analog wie beim grossen Kastenprofil, auf der Rückseite pro Element 3 Versteifungsbleche über den Schlitz des Kastens geschweisst. Diese erfüllten ihren Zweck und bewirkten, dass das Profil nur noch zwischen den Versteifungen leicht aufklappte, ansonsten aber seine Form behielt. Der bessere Versuchsaufbau des 6. Versuches gegenüber dem 4. Versuch dürfte auf diese Verbesserung des Systems zurückzuführen sein.

Uebrigens trat das Problem des Aufklaffens beim kleinen Kastenprofil bereits 1978 in den Versuchen mit der Brückenleitschranke mit 2 Kastenprofilen 130/150 auf [6]. Das ISETH hat schon damals Versuche mit dem verstärkten Kastenprofil an der Brückenleitschranke gemacht, die ebenfalls erheblich günstiger verliefen. Diese Verbesserung des Kastenprofils 130/150 sollte nun endlich in der Praxis eingeführt werden.

Weil sich das Kastenprofil tief in die Fahrzeugkarosserie einschneidet und die Pfosten dabei umgefahren werden, würden dünnere Pfosten vermutlich die Wirkungsweise der Leitschranke bei Pw-Anfahrten noch verbessern (Erfahrungen in den USA), insbesondere wenn harter Boden wie auf dem Versuchsgelände eine grosse Einspannung der Pfosten bewirkt.

Bei weicheren Pfosten könnte auch der Pfostenabstand verkleinert werden, ohne dass dies zu einer zu grossen Verhärtung des Systems führen würde. Der kleinere Pfostenabstand in Verbindung mit schwächeren Pfosten wäre günstig, weil er vermutlich eine gleichmässige Wirkung der Leitschranke bewirkt sowie die Tendenz zur Verdrehung des Kastenprofils und die Gelenkwirkung in den Stössen verringert. Die Balkenwirkung würde durch die homogenere Arbeitsweise des Systems verbessert. Mit den heutigen Pfosten

sollte der Pfostenabstand nur bei beschränktem Deformationsraum auf 2 m verringert werden, trotz des guten Versuchsablaufes (K 2). Denn die Leitschranke wirkt mit 2 m Pfostenabstand gesamthaft doch deutlich härter und der Mehraufwand ist im Normalfall nicht erforderlich. Ob sich der kleinere Pfostenabstand günstig oder eher ungünstig auf die Lastwagendurchbrechbarkeit auswirkt, lässt sich aufgrund der vorliegenden Versuche nicht sagen. Denn es fehlt die direkte Vergleichsmöglichkeit, d. h. ein Test am selben System mit 4 m und mit 2 m Pfostenabstand.

Aber nicht nur der Pfosten, sondern auch die Befestigung Kastenprofil-Pfosten ist etwas zu stark. Darum löst sich das Längselement teilweise erst sehr spät vom Pfosten. Dieses Problem zeigt sich darin, dass sich relativ viele Pfosten beim Umfahren verdreht haben. Durch das späte Loslösen des Kastenprofils vom Pfosten besteht die Gefahr, dass es mit diesem hinuntergerissen wird, wenn die Pfosten umgefahren werden, oder dass sich ein Sack bildet, weil der Kasten zu lange vom Pfosten gehalten wird ohne nachzugeben.

Die Filmauswertung sowie die grossen, ungleichmässigen Längsverschiebungen in den Stössen des Kastenprofils 150/180 zeigen, dass dieser Stoss bei starker Beanspruchung als Gelenk wirkt. Insbesondere wenn die Pfosten sehr fest stehen, knickt die Leitschranke nach Art einer Gliederkette in den Stössen ein. Im Extremfall, z. B. bei einbetonierten Pfosten, könnte dieser Sackbildungseffekt bedenklich werden, wenn nämlich die Leitschranke reisst oder der Wagen das Element, das er vor sich herschiebt, überfährt. Mit schwächeren Pfosten und kleinerem Pfostenabstand liesse sich dieses Problem entschärfen. Auch im Hinblick auf eine einfachere Montage (Anfragen verschiedener Kantone) scheint eine Ueberarbeitung des Stosses beim grossen Kasten angebracht zu sein.

7. ZUSAMMENFASSUNG

- Bei Personenwagenanfahrten wirken die Leitschranken mit Kastenprofil gut. Die Fahrzeuge wurden grösstenteils nicht zurückgeschleudert, sondern kamen an der Leitschranke zum Stehen. Die Verzögerungswerte und die Beschädigungen waren tolerierbar.
- Bei Lastwagenanfahrten können die Leitschranken mit Kastenprofil hingegen nicht voll befriedigen.
 - Um wenigstens eine gewisse Lastwagentauglichkeit zu erhalten, muss beim kleinen Kastenprofil 130/150 unbedingt das Aufklaffen verhindert werden. Dieses kann durch Einschweissen von Versteifungen im offenen Schlitz erfolgen - analog wie beim grossen Kastenprofil. Die Randleitschranke mit den Versteifungen hat sich bei Lastwagenanfahrten im Versuch ähnlich verhalten wie die Leitschranke mit Planke Profil A und 4 m Pfostenabstand.
 - Die Mittelstreifenleitschranke mit Kastenprofil 150/180 ist nur beschränkt lastwagensicher. Gemäss den Versuchsabläufen kann sie diesbezüglich mit der doppelten Leitschranke mit Planke Profil A verglichen werden. Die doppelte Distanzleitschranke bietet hingegen deutlich mehr Sicherheit.
- Die dynamischen Deformationen sind bei den Leitschranken mit Kastenprofil vergleichsweise klein. Diese Leitschrankensysteme bieten sich daher bei beschränktem Deformationsraum an.
- Die Wirkungsweise der Leitschranken mit Kastenprofil liesse sich vermutlich durch die Verwendung schwächerer Pfosten bei gleichzeitig verringertem Pfostenabstand verbessern. Die Leitschranken würden dann homogener wirken und die schwächeren Pfosten könnten von den Pws leichter umgefahren werden. Ein anderer Pfostenabstand würde beim grossen Kastenprofil auch eine andere Pfostenbefestigung und Stossausführung erfordern. Letzteres wäre aber auch im Hinblick auf eine einfachere Montage willkommen. Eine weitere Untersuchung dieses Problems wäre wünschenswert.

TABELLE 6: UEBERSICHT UEBER DIE VERSUCHSERGEBNISSE

Versuch Nr.	Leitschranken- typ Höhe: OK 67,5 cm	Pfostenab- stand [m]	Pfostenart	Versuchsfahrzeug			Anprall		Abprall		Verzögerungswerte über 50 msec			Dynamische Durchbiegung [cm]	Versuchs- ergebnis	Bewertungs- grund
			Typ	Gewicht [to]	Geschwin- digkeit [km/h]	Winkel [°]	Winkel [°]	Energie [kJ]	Winkel [°]	Geschwin- digkeit [km/h]	längs [g]	quer [g]	vertikal [g]			
K 1	Kasten 150/130	4	IPE 100 Ford Taurus	1	105	22	22	60	0	0	2,5	6	2	77	sehr gut bis gut	grösserer Schaden/ Verzöger.
K 2	Kasten 150/130	2	IPE 100 Vauxhall Viva	1	102	22	22	56	seitlicher Überschlag infolge unebenen Geländes	0	3,5	5	1	58	gut	zurück- schleudern/ quer- stellen
K 3	Kasten 180/150	4	IPE 100 Ford 17 M	1	101	22	22	56	0	0	3	6	1,5	70	sehr gut bis gut	grösserer Schaden/ Verzöger.
K 4	Kasten 150/130	2	IPE 100 Bedford	10	71	15	15	130	LS durch- brochen	LS durch- brochen	1,5	3,5	1,5	-	ungenügend	LS durch- brochen
K 5	Kasten 180/150	4	IPE 100 Volvo	10	ca. 69	15	15	123	<5°	***	1	2	1	130	befriedi- gend	Lw knapp umgelenkt
K 6	Kasten 150/130 mit einge- schweissten Versteifungen	4	IPE 100 Volvo	10	71	15	15	131	umgekippt	umgekippt	1	1,5	1,5	135	befriedi- gend bis ungenügend	Lw kippt auf LS

- sehr gut : Fz einwandfrei umgelenkt, Stillstand längs an LS, geringer Schaden an LS und an Fz, erträgliche Verzögerungen
- gut : Fz einwandfrei umgelenkt, kleiner Abprallwinkel (0÷10°), mittlerer Schaden an LS und Fz, erträgliche Verzöger.
- befriedigend: Fz umgelenkt, grosser Schaden an LS und Fz, grosse Verzögerung
- ungenügend : Fz durchbricht LS, grosser Schaden

*** : nicht feststellbar wegen Kameradefekt

8. LITERATURANGABEN

- [1] P. Pingoud
Neuere Leitschranken, Stand 1969
Institut für Strassen- und Untertagbau
an der ETH Zürich; Mitteilung Nr. 18, 1970
- [2] Böhringer, Roschmann,
Domhan
Anfahrversuche an Leitplanken
Innenministerium Baden Württemberg, 1969
- [3] K. Gösswein
Anfahrversuche an Schutzplanken mit
Sigma-Pfosten
Studiengesellschaft für Stahlleitplanken
e. V. Siegen, 1977
- [4]
Highway Research Record 460
Traffic Safety Barriers and Lighting
Supports
Highway Research Board 1973

National Cooperative Highway Research
Program Report, Bridge Rail Design
Factors, Trends and Guidelines
Transportation Research Board 1974
- [5] M. Klingler
Anfahrversuche an Varianten der Seilleit-
schranke System "British Ropes"
Institut für Strassen-, Eisenbahn- und
Felsbau an der ETH Zürich;
Mitteilung Nr. 43, 1979
- [6] M. Klingler
Anfahrversuche an Schutzplanken für Brücken
Auftraggeber: Tiefbauamt des Kantons Zürich
Institut für Strassen-, Eisenbahn- und Fels-
bau an der ETH Zürich, 1978 (unveröffent-
licht)