

Prüfung und Bewertung von Schutzeinrichtungen der Aufhaltestufe H4b für den Einsatz auf Brücken

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Verkehrstechnik Heft V 224

The logo for 'bast' is written in a bold, lowercase, green font with a white outline. The letters are slightly shadowed, giving it a 3D appearance. It is positioned in the bottom right corner of the page.

Prüfung und Bewertung von Schutzeinrichtungen der Aufhaltestufe H4b für den Einsatz auf Brücken

Teile 1 und 2

von

Ulrich Bergerhausen
Holger Klostermeier
Ralf Klöckner
Janine Kübler

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 224

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines
B - Brücken- und Ingenieurbau
F - Fahrzeugtechnik
M - Mensch und Sicherheit
S - Straßenbau
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Schünemann Verlag GmbH, Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen, Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos angeboten; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Ab dem Jahrgang 2003 stehen die Berichte der BAST zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BAST-Archiv ELBA zur Verfügung.
<http://bast.opus.hbz-nrw.de/benutzung.php?la=de>

Impressum

Bericht zu den Forschungsprojekten AP 99 640:
Rückhaltesysteme mit hohem Rückhaltevermögen auf Brücken
und F1100/6405008: Prüfung und Bewertung von
Fahrzeugrückhaltesystemen der Aufhaltstufe H4b auf Brücken

Projektbetreuung

Teil 1: Ulrich Bergerhausen und Ralf Klöckner
Teil 2: Holger Klostermeier und Ulrich Bergerhausen

Herausgeber

Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0
Telefax: (0 22 04) 43 - 674

Redaktion

Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag

Fachverlag NW in der
Carl Schünemann Verlag GmbH
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53
Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48
www.schuenemann-verlag.de

ISSN 0943-9331

ISBN 978-3-95606-011-3

Bergisch Gladbach, April 2013

Kurzfassung – Abstract

Teil 1

Verfahren zur Untersuchung der Eignung von Schutzeinrichtungen der Aufhaltestufe H4b auf Brücken

Bei der Ausstattung eines Brückenbauwerkes kommt der Schutzeinrichtung dann eine besondere Bedeutung zu, wenn durch einen möglichen Lkw-Absturz eine Gefährdung entstehen kann, durch die unbeteiligte Dritte betroffen sind. Bei Unfällen mit sehr schweren Lkw und ungünstigem Unfallverlauf stoßen die derzeit eingesetzten Schutzeinrichtungen an die Grenze ihrer Leistungsfähigkeit.

Grundvoraussetzung für den Einsatz neuer Schutzeinrichtungen in Deutschland ist eine positive Prüfung nach DIN EN 1317. Darüber hinaus ist es sowohl für Brückenneubauten als auch bei der Brückeninstandsetzung erforderlich, die Größe der auf die Kappe und die Tragkonstruktion einwirkenden Kräfte einer Schutzeinrichtung zu kennen, damit eine Bemessung wirtschaftlich sinnvoll, aber dennoch sicher erfolgen kann. Ziel des vorliegenden Forschungsprojektes ist es, Schutzeinrichtungen auf Brücken mit einem sehr hohen Aufhaltevermögen nach DIN EN 1317 zu testen und dabei die auftretenden Kräfte zu messen. Gleichzeitig sollen Erkenntnisse über das Verhalten der Schutzeinrichtungen mit einem sehr hohen Aufhaltevermögen bei begrenzten Platzverhältnissen gewonnen werden.

In diesem Forschungsprojekt haben sechs Schutzeinrichtungen den Nachweis ihrer Funktionsfähigkeit gemäß DIN EN 1317 erbracht. Anhand der insgesamt durchgeführten 27 Anprallprüfungen an 14 Systemen zeigt sich, dass die Entwicklung von Schutzeinrichtungen mit einem sehr hohen Aufhaltevermögen bei gleichzeitig begrenztem Wirkungsbereich schwierig ist. Kommen weitere Randbedingungen, wie z. B. Lärmschutz oder Fortführung auf der Strecke hinzu, so zeigt sich, dass derzeit keines der geprüften Systeme universell einsetzbar ist. Für die Verwendung muss vielmehr im Einzelfall geprüft werden, ob und welches System eingesetzt werden kann.

Vor diesem Hintergrund wird empfohlen, dass möglichst frühzeitig eine enge Abstimmung der Brückenplanung mit der Streckenplanung erfolgt, um sinnvolle und verkehrssichere Lösungen zu bekom-

men. Daher sollte nach Möglichkeit bereits in der Planung eines Brückenbauwerkes die Schutzeinrichtung unter Berücksichtigung aller anderen Randbedingungen einbezogen werden. Eine separate Planung der Schutzeinrichtung im Anschluss oder gar die Berücksichtigung als letztes Element des Bauwerks kann dazu führen, dass keine geeignete Schutzeinrichtung zur Verfügung steht.

Die Kraftmessungen beruhen auf Einzelereignissen, zeigen aber dennoch die Größenordnung der beim Anprallvorgang entstehenden Einwirkungen und bestätigen damit die vorherigen Untersuchungen. Aus den Messwerten wurden Vorschläge erarbeitet, für welche Einwirkungen Brücken bemessen werden sollen, auf denen die hier diskutierten Schutzeinrichtungen installiert werden sollen. Die Größenordnung der Werte zeigt, dass die Einwirkungen bei H4b-Systemen um bis zu sechsmal höher liegen als der seinerzeitige Lastansatz des DIN-Fachberichts 101 „Einwirkungen“, Ausgabe 2003. Damit wurden wichtige Eckwerte für die zukünftige Bemessung neuer Brücken beziehungsweise für das Nachrüsten bestehender Brücken gewonnen. Die Ergebnisse wurden bereits in der Fortschreibung des neuen DIN-Fachberichtes von 2009 berücksichtigt.

Die untersuchten und hier vorgestellten Schutzeinrichtungen erfüllen die Anforderungen an Aufhaltefähigkeit und Insassenschutz und weisen Kraftmessungen auf. Wünschenswert wären weitergehende Entwicklungen, die auch weitere Anforderungen erfüllen, die in diesem Bericht aufgeführt sind. Da die Anforderungen an die Verkehrssicherheit nicht gleichbleibend sind, sondern sich den Anforderungen der Entwicklung anpassen, wird auch zukünftig eine Weiterentwicklung der Schutzeinrichtungen mit sehr hohem Aufhaltevermögen erforderlich sein. So werden die Anforderungen an das Aufhaltevermögen steigen, wenn zum Beispiel Schwerverfahrzeuge mit höheren Lasten auf den Straßen fahren werden.

Part 1

Procedure to investigate the suitability of safety barriers of containment level H4b on bridges

The protective devices are of special importance when equipping bridge structures if a possible truck accident can pose a risk to passers-by. Modern protective devices quickly reach their limits in situations where accidents occur, involving very heavy trucks and where the accident situation is unfavourable.

The basic requirement for the use of protective devices in Germany is a positive test in accordance with DIN EN 1317. Furthermore, the forces of a protective device which are applied to the dome and the supporting support structure need to be known for both new bridges and when carrying out bridge repairs so that a structural design can be carried out in an economically viable but nevertheless safe manner. The aim of this research project is the testing of protective devices on bridges which have a high containment capacity pursuant to DIN EN 1317 and thereby determine the applied forces. At the same time, knowledge should be gained of the behaviour of the protective devices with a very high containment capacity in situations where space is restricted.

In the scope of this research project, six protective devices have provided proof of their serviceability pursuant to DIN EN 1317. The 27 collision tests which were carried out on 14 systems proved that the development of protective devices with a very high containment capacity and restricted range of action is difficult. Should there be additional boundary conditions e.g. noise abatement measures of continuation along the route, it becomes apparent that none of the tested systems that exist today can be put to universal use. On the contrary, it has to be determined in each individual case, whether a system can be used and if so, which one.

With this in mind, it is recommended that a close coordination of the bridge planning is carried out together with the route planning in order to obtain solutions which make sense and are safe for traffic. If possible, planning of a bridge should also take the protective device and all of the other boundary conditions into account. A subsequent separate planning of the protective device or even the taking of into account as the final structural element can

result in a suitable protective device not being available.

The force measurements are based on individual events but nevertheless reproduce the action variables that are applied during the collision process and therefore confirm the previous findings. The measured values serve as a basis for the working on recommendations concerning the actions for which the bridges are to be measured, on which the protective devices which are the subject of discussion here, are to be installed. The variable of the values shows that the actions with H4b systems are up to 6 times higher than the current load approach in the DIN technical report 101 "Actions", version from 2003. It was therefore possible to acquire important benchmarks for the future measuring of new bridges or the re-equipping of existing ones. The results have already been taken into account in the extrapolation of the new DIN technical report from 2009.

The tested protective devices which are presented here meet the containment capacity and passenger protection requirements, in addition to them also including force measurements. Further developments which also meet additional requirements such as are included in this report would have been desirable. As the traffic safety requirements do not remain the same, but adapt in accordance with the development requirements, it will continue to be the case in the future that a further development of the protective devices with a very high containment capacity will be necessary. The demands placed on the containment capacity increase, if heavy vehicles with higher loads are to be driven on the roads for example.

Kurzfassung – Abstract

Teil 2

Prüfergebnisse und Bewertung von Schutzeinrichtungen der Aufhaltestufe H4b auf Brücken

Lkw-Abstürze von Brücken können eine besondere Gefährdung darstellen, wenn sich unterhalb der Brücke häufig Personen aufhalten.

Die in Deutschland auf Brücken überwiegend als Absturzsicherung eingesetzte Schutzeinrichtung ist die einfache Distanzschutzplanke mit einem Pfostenabstand von 1,33 m (EDSP 1,33) mit Geländer und einem verzinkten Stahlseil im Handlauf, bei der die Schutzplanke und das Geländer gemeinsam wirkend das Rückhaltevermögen erzielen. Darüber hinaus werden auch Betonschutzwände eingesetzt. Die EDSP 1,33 mit Geländer ist in einer Anprallprüfung nach den Anforderungen der neuen europäischen Norm DIN EN 1317 „Rückhaltesysteme an Straßen“ von der BASt geprüft worden. Das System hat dabei gezeigt, dass es in der Lage ist, schwere Fahrzeuge bis zu einem Gewicht von etwa 13 Tonnen vor dem Absturz von einer Brücke zu bewahren. Gleichzeitig ist diese Schutzeinrichtung so konstruiert, dass sie auch Pkw sicher aufzuhalten und ohne erhebliche Gefährdung der Insassen umzulenken vermag.

Bei Unfällen mit sehr schweren Lkw und ungünstigem Unfallverlauf stoßen diese Schutzeinrichtungen aber an die Grenze ihrer Leistungsfähigkeit. Deshalb hat die BASt gemeinsam mit dem BMVBS Untersuchungen vorangetrieben, die das Ziel haben, Schutzeinrichtungen bereitzustellen, die in der Lage sind, auch sehr schwere Lkw vor dem Absturz von Brücken zu bewahren. Dazu galt es, technische Randbedingungen für die Entwicklung von Schutzeinrichtungen durch die Industrie vorzugeben und geeignete Prüfverfahren zur Sicherstellung der Einsatzfähigkeit auf deutschen Brückenbauwerken zu entwickeln.

Im Rahmen des vorliegenden Projektes konnte erstmals gezeigt werden, dass Schutzeinrichtungen, die in einer realen Anprallprüfung der höchsten Aufhaltestufe entsprechend DIN EN 1317 für sehr schwere Lkw nachgewiesen haben, auf Brückenbauwerken in Deutschland installiert werden können, ohne inakzeptable Schäden an den Brücken-

kappen befürchten zu müssen. Darüber hinaus konnten erstmals die Kräfte gemessen werden, die beim Anprallvorgang auf das Bauwerk einwirken.

Eine Anprallprüfung stellt zwar ein Einzelergebnis dar. Dennoch zeigen diese Messungen die Größenordnung der beim Anprallvorgang entstehenden Einwirkungen. Aus den Messwerten wurde ein Vorschlag zur Festlegung der bei der statischen Auslegung eines Brückenbauwerks anzusetzenden Einwirkungen (Kräfte und Momente) erarbeitet, wenn auf dem Bauwerk Schutzeinrichtungen mit sehr hohem Aufhaltevermögen installiert werden sollen. Die genauen Werte der ermittelten Einwirkungsgrößen gelten spezifisch für die untersuchte Schutzeinrichtung. Die Größenordnung der Werte lässt sich jedoch auf andere Schutzeinrichtungen mit sehr hohem Aufhaltevermögen auf Brücken übertragen. Der Vorschlag sieht Einwirkungen vor, die etwa 3- bis 4-mal höher liegen als der derzeitige Lastansatz des DIN-Fachberichts 101 „Einwirkungen“.

Part 2

Test results and evaluation of safety of containment level H4b on bridges

The falling of trucks off bridges can especially be hazardous should persons frequently be underneath the bridge.

The primary protective device which serves to prevent falling that is used in Germany is the simple spaced safety barrier with a post clearance of 1.33m (SSSB 1.33) with banister and a galvanized steel cable in the handrail, on the basis of which the safety barrier and the banister jointly achieve the containment capacity. Concrete protective walls are also used. The SSSB 1.33 with banister has been subjected to a collision test which was carried out by the BASt in accordance with the latest requirements of the new European DIN EN 1317 standard “vehicle restraint systems on roads”. The system has proven that it is capable of preventing heavy vehicles with a maximum weight of around 13 tonnes from falling off bridges. This protective device is constructed in such a manner that it is also able to restrain cars without difficulty and turn the vehicle back without placing the passengers at any considerable risk.

These protective devices quickly reach their limits however should accidents occur involving very

heavy trucks and if the accident situation should be unfavourable. This is why the BASt has cooperated with the BMVBS in order to carry out tests with the aim of providing protective devices which are also able to prevent very heavy trucks from falling from bridges. The essential aspects here were the stipulation of technical boundary conditions for the development of protective devices by the industry and the development of suitable test procedures which are suitable for ensuring the usability on German bridge structures.

In the scope of this project, it was possible to prove in collision tests for the first time that protective devices which achieved the highest containment level as defined in DIN EN 1317 for very heavy trucks can be installed on bridge structures in Germany without there being any need to fear unacceptable damage being caused to the bridge domes. It was also possible to measure the forces which act on the structure in the event of a collision occurring.

It is the case that a collision test is only an individual result but these measurements show the extent of the actions that are applied during the collision process. The measured values served as the basis for the making of a recommendation for the determination of the actions (forces and moments) which is necessary if protective devices with a very high containment capacity are to be installed on the structure. The exact values of the determined action variables have specific validity for the tested protective device. The value variables can therefore be transferred to other protective devices which have a very high containment capacity rate on bridges. The recommendation provides for actions which are around 3-4 times higher than the current load base specified in DIN technical report 101 "Actions".

Inhalt

Teil 1

Verfahren zur Untersuchung der Eignung von Schutzeinrichtungen der Aufhaltestufe H4b auf Brücken

1	Einleitung	11
2	Problemstellung und Zielsetzung	12
3	Entwicklung geeigneter Mess- und Prüfmethode	12
3.1	Anforderungen an eine Prüfeinrichtung aus Sicht des Brückenbaus	13
3.1.1	Allgemeines	13
3.1.2	Maßgebende Bemessungsschnitte	14
3.1.3	Wichtung der Schnitte zur Kraftmessung	15
3.2	Anforderungen an Prüfungen von Schutzeinrichtungen	15
3.2.1	Allgemeines	15
3.2.2	Schutzeinrichtungen auf Bauwerken	17
3.3	Umsetzungen der Mess- und Prüfanforderungen	19
3.3.1	Beschreibung der Versuchsanlage	19
3.3.2	Kraftmessung	22
3.4	Pflichtenheft	23
4	Ermittlung der Beanspruchbarkeiten von Brücken	25
4.1	Beanspruchbarkeit der Kappen	25
4.1.1	Schnitt 1-1	25
4.1.2	Schnitt 2-2	25
4.1.3	Schnitt 3-3	25
4.1.4	Schnitt 4-4	26
4.2	Beanspruchbarkeit der Brückenkragarme im Schnitt 5-5	26
4.2.1	Schlaff bewehrte Brückenkragarme	26
4.2.2	Vorgespannte Brückenkragarme	27

5	Durchgeführte Anprallversuche	28
5.1	Versuchsablauf	28
5.1.1	Anprallversuch TB 11	29
5.1.2	Anprallversuch TB 81	29
5.2	Kraftmessungen	30
5.2.1	Allgemeines	30
5.2.2	Messung an der Kappenanschlussbewehrung	31
5.2.3	Messung an der Konsolaufhängung	34
5.3	Festlegung der charakteristischen Einwirkungsgrößen	36
5.4	Vergleich mit DIN-Fachbericht 101	40
6	Schlussfolgerungen	41
6.1	Brückenbauliche Belange	41
6.2	Anordnung von Schutzeinrichtungen auf der Brückenkappe	42
7	Zusammenfassung und Ausblick	44
8	Literatur	45

Teil 2

Prüfergebnisse und Bewertung von Schutzeinrichtungen der Aufhaltestufe H4b auf Brücken

1	Einleitung	49
2	Problemstellung und Zielsetzung	50
3	Grundlagen der Prüfungen	50
3.1	Pflichtenheft	50
3.2	Versuchsanlage und Messeinrichtungen	51
3.3	Anforderungen an die zu prüfenden Schutzeinrichtungen	52
3.3.1	Allgemeine Anforderungen nach DIN EN 1317 [4]	52

3.3.2	Allgemeine Anforderungen nach RPS 2009 [9]	53	6.7.2	Messung an der Konsolaufhängung ...	98
3.3.3	Randbedingungen für Schutzeinrichtungen auf Bauwerken	55	7	Festlegung der charakteristischen Einwirkungsgrößen	100
4	Prüfung der Schutzeinrichtungen ...	57	7.1	Allgemeines	100
4.1	Allgemeines	57	7.2	System A	100
4.2	Versuchsablauf	61	7.3	System B	100
4.3	System A	62	7.4	System C	101
4.4	System B	64	7.5	System D	101
4.5	System C	66	7.6	System E	101
4.6	System D	68	7.7	System F	102
4.7	System E	70	7.8	Zusammenstellung der charakteristischen Einwirkungsgrößen	102
4.8	System F	72	7.9	Vergleich mit DIN-Fachbericht 101 (2003)	105
5	Auswertung der Prüfungen und charakteristische Prüfergebnisse ...	73	7.10	Vergleich mit DIN-Fachbericht 101 (2009)	105
5.1	TB 11 – Versuche	73	8	Schlussfolgerungen	105
5.2	TB 81 – Versuche	75	8.1	Wirkungsweise der Fahrzeugrückhaltesysteme	105
6	Kraftmessungen	76	8.2	Einwirkung auf die Brückenkonstruktion infolge des Anpralls eines schweren Fahrzeugs	106
6.1	Allgemeines	76	9	Weitergehende Überlegungen	106
6.2	Messung System A	77	9.1	Allgemeines	106
6.2.1	Messung an der Kappenanschlussbewehrung	77	9.2	Modifikation der Schutzeinrichtungen	107
6.2.2	Messung an der Konsolaufhängung ...	77	9.3	Position auf der Brückenkappe gemäß Kap 1	107
6.3	Messung System B	78	9.4	Geländer	108
6.3.1	Messung an der Kappenanschlussbewehrung	78	9.5	Änderung der Verankerung	108
6.3.2	Messung an der Konsolaufhängung ...	80	9.6	Lärmschutzwände und Übersteigenschutz	109
6.4	Messung System C	83	9.7	Übersteigbarkeit der Schutzeinrichtung	110
6.4.1	Messung an der Kappenanschlussbewehrung	83	9.8	Abweichung von der Ausführung der Brückenkappe entsprechend Kap 1 ...	110
6.4.2	Messung an der Konsolaufhängung ...	85	9.9	Zweiradfahrerschutz	111
6.5	Messung System D	87	9.10	Anschluss an Streckensysteme	111
6.5.1	Messung an der Kappenanschlussbewehrung	87	10	Zusammenfassung und Ausblick ...	112
6.5.2	Messung an der Konsolaufhängung ...	90	11	Literatur	113
6.6	Messung System E	91			
6.6.1	Messung an der Kappenanschlussbewehrung	91			
6.6.2	Messung an der Konsolaufhängung ...	94			
6.7	Messung System F	95			
6.7.1	Messung an der Kappenanschlussbewehrung	95			

Teil 1

Verfahren zur Untersuchung der Eignung von Schutzeinrichtungen der Aufhaltestufe H4b auf Brücken

von

Ulrich Bergerhausen

Ralf Klöckner

Janine Kübler

Unter Mitarbeit von

Martina Balzer-Hebborn

Uwe Ellmers

Jürgen Fleisch

Heinz Friedrich

Bert Quaas

Michael Staeck

1 Einleitung

Lkw-Abstürze von Brücken können eine besondere Gefährdung darstellen, wenn sich unterhalb der Brücke häufig Personen aufhalten. Für Schutzeinrichtungen auf Straßenbrücken gelten in Deutschland zurzeit die „Richtlinien für passive Schutzeinrichtungen an Straßen (RPS)“ [1] mit den Ergänzungen aus 1996 [2] sowie die „Richtzeichnungen für Ingenieurbauten (RiZ-ING)“ [3].

Die in Deutschland überwiegend als Absturzsicherung eingesetzte Schutzeinrichtung ist die Einfache Distanzschutzplanke mit einem Pfostenabstand von 1,33 m (EDSP 1,33) mit Geländer und einem verzinkten Stahlseil im Handlauf, bei der die Schutzplanke und das Geländer gemeinsam wirkend das Rückhaltevermögen erzielen (Bild 2). Darüber hinaus werden auch Betonschutzwände eingesetzt (Bild 3) oder im Einzelfall alternative Konstruktionen. Die EDSP 1,33 mit Geländer ist in einer Anprallprüfung nach den Anforderungen der neuen europäischen Norm DIN EN 1317 „Rückhaltesysteme an Straßen“ [4] von der BASt geprüft worden (Kapitel 6.2) [5]. Das System hat dabei gezeigt, dass es in der Lage ist, schwere Fahrzeuge bis zu einem Gewicht von etwa 13 Tonnen vor dem Absturz von einer Brücke zu bewahren. Gleichzeitig ist dieses System so konstruiert, dass es auch in der Lage ist, Pkw sicher aufzuhalten und ohne erhebliche Gefährdung der Insassen umzulenken.

Diese Prüfergebnisse decken sich mit den Praxiserfahrungen, in denen sowohl Stahlschutzplanken als auch Betonschutzwände ihre Tauglichkeit unter Beweis gestellt haben. Allerdings wurde die einseitige Betonschutzwand in Ortbetonbauweise nach der Richtzeichnung (RiZ) Kap 11 noch nicht nach DIN EN 1317 geprüft.

Bei Unfällen mit sehr schweren Lkw und ungünstigem Unfallverlauf stoßen diese Schutzeinrichtungen aber an die Grenze ihrer Leistungsfähigkeit. Deshalb hat die BASt gemeinsam mit dem BMVBS Untersuchungen vorangetrieben, die das Ziel haben, Schutzeinrichtungen bereitzustellen, die in der Lage sind, auch sehr schwere Lkw vor dem Absturz von Brücken zu bewahren.

Voraussetzung für den Einsatz neuer Schutzeinrichtungen in Deutschland ist eine positive Prüfung nach DIN EN 1317. Ein wichtiges Leistungsmerkmal ist dabei das Aufhaltevermögen eines Systems. Dieses wird in Anprallversuchen mit realen Fahr-



Bild 1: Dichte Bebauung unterhalb einer Talbrücke

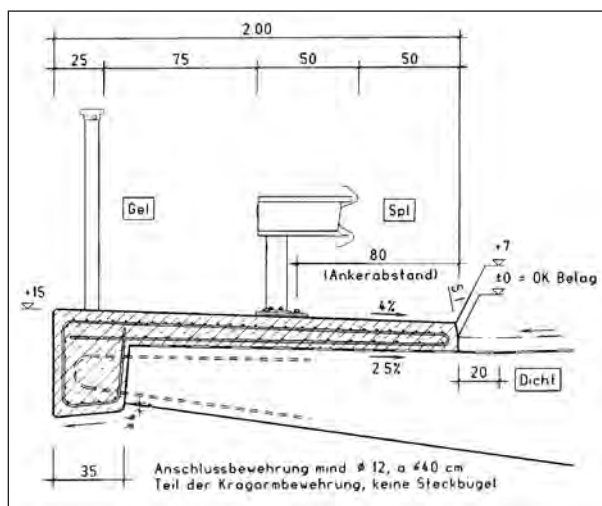


Bild 2: Richtzeichnung Kap 1: Einfache Distanzschutzplanken mit Geländer und Stahlseil im Handlauf auf Brücken

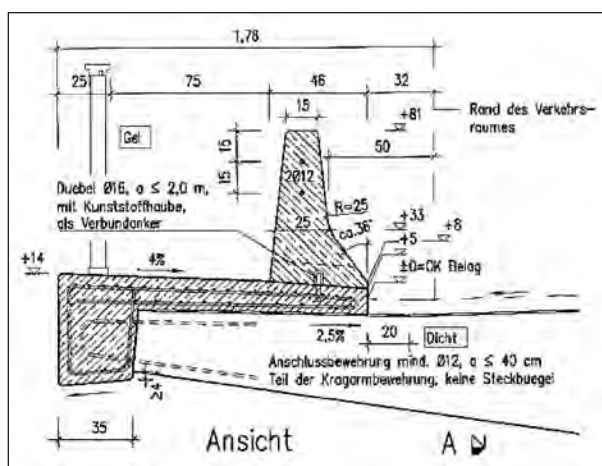


Bild 3: Richtzeichnung Kap 11: Einseitige Betonschutzwand in Ortbetonbauweise auf Brücken

zeugen der Fahrzeugarten Pkw, Bus oder Lkw bestimmt. Neben der Bestimmung des Aufhaltever-



Bild 4: Beinahe-Absturz eines Lkw von einer Brücke

mögens werden auch der Platzbedarf neben der Fahrbahn und die Gefährdung für Pkw-Insassen durch die Schutzeinrichtung ermittelt.

Vor diesem Hintergrund erfolgte eine gemeinsame Initiative des BMVBS und der BAST, die die Hersteller von Schutzeinrichtungen animieren sollte, auf Basis der durch die BAST vorgegebenen Randbedingungen (Kapitel 3.4) Schutzeinrichtungen zu entwickeln, die anschließend in einer Anprallprüfung bei der BAST ihre Eignung unter Beweis stellen sollen. Damit aber auch eine Aussage über die auf das Bauwerk einwirkenden Kräfte möglich ist, muss eine Prüfeinrichtung entwickelt werden, die es erlaubt, die beim Anprallvorgang entstehenden Kräfte messen zu können.

2 Problemstellung und Zielsetzung

Erste Voruntersuchungen der BAST [6] zu Schutzeinrichtungen für sehr schwere Lkw zum Einsatz auf Brücken zeigen, dass beim Anprall dieser Fahrzeuge (z. B. eines Sattelzugs mit einem Gesamtgewicht von 38 t) Kräfte auf die Brücke einwirken können, die die Beanspruchbarkeit der Bauwerke bei weitem übersteigen würden und erhebliche Schäden erwarten lassen. Bei einem Anprallversuch mit einem leichten Lkw im Jahr 1996 wurden die Kräfte gemessen, die die Verankerung der Schutzeinrichtung in das Brückenbauwerk übertrug [6]. Aus diesen Messwerten wurden mittels einer energetischen Betrachtung die Kräfte für eine Schutzeinrichtung mit der Fähigkeit, sehr schwere Lkw aufzuhalten, abgeschätzt. Die so ex-

trapolierten Kräfte erreichten Größenordnungen, die im Anprallfall zu einem Versagen der Brückenkappe und auch des Brückenkragarms führen würden.

Bei neuen Brücken stellt sich das Problem in dieser Form nicht, da dann die Konstruktion den auftretenden Kräften angepasst werden kann. Anders sieht es dagegen bei bestehenden Brücken aus. Nachträgliche Verstärkungsmaßnahmen erfordern den Einsatz umfangreicher technischer und finanzieller Mittel.

Für die nachträgliche Verstärkung von Brückenkappen würden i. d. R. der Abriss und Neubau der Kappen erforderlich. Danach könnten diese beispielsweise stärker bewehrt und robuster mit der Fahrbahnplatte verbunden werden. Dies wäre z. B. mittels einer nachträglich stirnseitig eingeklebten Bewehrung oder mit nachträglich gesetzten Tellerankern möglich. Beide Verstärkungsmaßnahmen wären technisch realisierbar, aber mit finanziellem Aufwand verbunden.

Für eine nachträgliche Verstärkung des Brückenüberbaus, z. B. verdübelter Aufbeton, aufgeklebte oder eingeschlitzte Kohlefaserlamellen oder andere Verstärkungsmaßnahmen, wären ungleich höhere Aufwendungen nötig.

Das bestehende hohe Sicherheitsniveau auf deutschen Autobahnbrücken soll weiter gesteigert werden. Dazu soll die Identifizierung geeigneter Schutzeinrichtungen erfolgen. Darüber hinaus werden Messungen durchgeführt, die eine kostenintensive Überdimensionierung zukünftiger bzw. die Ertüchtigung bestehender Brückenbauwerke ebenso vermeiden sollen wie die Überdimensionierung der Schutzeinrichtungen selbst. Im Idealfall reicht es aus, eine bestehende EDSP zu demontieren und an gleicher Stelle eine neue Schutzeinrichtung mit sehr hohem Aufhaltevermögen zu errichten. Das Gelände soll dabei möglichst erhalten bleiben.

3 Entwicklung geeigneter Mess- und Prüfmethode

Der Bedarf an Schutzeinrichtungen auf Brücken, die auch für sehr schwere Lkw eine wirksame Absturzsicherung darstellen, wird weniger im Bereich des Brückenneubaus entstehen, sondern vielmehr auf den bestehenden Bauwerken. Der Bund, mit

einem Bestand von ca. 37.000 Brücken im Zuge von Bundesfernstraßen, stellt daher Forderungen auf, die Schutzeinrichtungen erfüllen müssen. Im Rahmen eines von der BAST erstellten „Pflichtenhefts für die Konstruktion von Fahrzeugrückhaltesystemen der Aufhaltestufe H4b auf Brücken“, welches in Kapitel 3.4 dokumentiert ist, erfolgt die Festlegung, welchen Anforderungen Fahrzeugrückhaltesysteme mit sehr hoher Durchbruchssicherheit für den Einsatz auf Brücken genügen müssen.

Nach den Ergänzungen zu den RPS [2] gilt, dass neu entwickelte Fahrzeugrückhaltesysteme mittels erfolgreicher Anprallprüfungen ihre Eignung nachweisen müssen. Die Anprallprüfungen werden nach den Vorgaben der DIN EN 1317 [4] durchgeführt und ausgewertet. Zusätzlich werden im Pflichtenheft (Kapitel 3.4) weitere Anforderungen formuliert. Diese Anforderungen richten sich in erster Linie an Schutzeinrichtungen, die auf vorhandenen Brücken eingesetzt werden sollen. Schutzeinrichtungen, die diese Anforderungen erfüllen, können dann gleichermaßen bei Neubauten eingesetzt werden. Die in dem Pflichtenheft enthaltenen Anforderungen sind so ausgelegt, dass möglichst keine Veränderungen der Brücken- bzw. der Brückenkappenkonstruktion nötig sind, um Schutzeinrichtungen mit sehr hoher Rückhaltefähigkeit auf Brücken installieren zu können. Im Pflichtenheft wird der Grundsatz verfolgt, dass Schutzeinrichtungen so konstruiert sein müssen, dass deren Einsatz ohne zusätzliche Ertüchtigungsmaßnahmen bestehender Brücken möglich ist. Gleichzeitig soll die Rückhaltefähigkeit gegenüber den bisher eingesetzten Standard-Schutzeinrichtungen erhöht werden, möglichst ohne eine erhöhte Gefährdung für Pkw-Insassen in Kauf nehmen zu müssen.

3.1 Anforderungen an eine Prüfeinrichtung aus Sicht des Brückenbaus

3.1.1 Allgemeines

Deutschland weist neben Österreich als einziges Land die Besonderheit auf, dass Schutzeinrichtungen und Geländer bei Betonbrücken nicht auf dem Konstruktionsbeton der Fahrbahnplatte, sondern auf einer Brückenkappe (in Österreich: Randleiste) befestigt werden. Die Kappe wird durch die Brückenabdichtung vom Konstruktionsbeton getrennt

und ist nur stirnseitig durch die Kappenanschlussbewehrung mit dem Überbau durch Bewehrungsstäbe $2 \text{ } \varnothing 12 \text{ mm}$ im Abstand von 40 cm verbunden. Lediglich bei reinen Stahlbrücken sind die Kappen ebenfalls aus Stahl gefertigt. Dies betrifft aber nur 7 % der Brücken im Zuge von Bundesfernstraßen. Die restlichen 93 % der Brücken werden in Beton, Stahlbeton oder Verbundbauweise mit Betonkappen ausgeführt.

Damit bei einer Anprallprüfung möglichst realistische Bedingungen herrschen, ist es erforderlich, eine Kappe nachzubauen, auf der die Schutzeinrichtungen installiert werden können. Für die Konstruktion der Kappe sollen dabei die Vorgaben der Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten (ZTV-ING) [8] (Betontechnologie) und der RiZ-ING [3] (konstruktive Ausführung) eingehalten werden. Der Regelfall der Kappenausbildung in Deutschland ist in der Richtzeichnung Kap 1 (Bild 2) dargestellt. Die Brückenkappe ist 2 m breit und weist eine Querneigung von 4 % auf. Nach Kap 1 wird die 50 cm breite Schutzeinrichtung 50 cm von der Schrammbordkante zurückversetzt installiert. Am Gesimsrand wird ein Geländer entsprechend den Richtzeichnungen Gel montiert. Zwischen Geländer und Hinterkante der Schutzeinrichtung ist ein 75 cm breiter Betriebs- bzw. Fluchtweg vorgesehen.

Diese Vorgaben gelten auch für die neu zu entwickelnden Schutzeinrichtungen. Besonderer Wert ist dabei auf den Betriebsweg zu legen, damit auch bei der Installation neu entwickelter Schutzeinrichtungen weiterhin eine Bauwerksprüfung nach DIN 1076 [9] bzw. Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076 (RI-EBW-PRÜF) [10] möglich ist.

Aus den Voruntersuchungen der BAST [6] ist ferner bekannt, dass die beim Anprallvorgang resultierenden Einwirkungen eine relevante Größenordnung aufweisen. Damit sichergestellt werden kann, dass die Beanspruchbarkeiten der Bauwerke beim Anprallvorgang nicht überschritten werden, liegt ein besonderes Interesse in der Ermittlung der Größe der auftretenden Beanspruchungen. Eine zuverlässige Aussage über die auftretenden Kräfte ist aber nur dann möglich, wenn diese beim Anprallvorgang gemessen werden. Das bedeutet, dass eine Prüfeinrichtung benötigt wird, mit der eine Kraftmessung während des Anprallversuchs durchgeführt werden kann.

3.1.2 Maßgebende Bemessungsschnitte

Bevor festgelegt werden kann, wo und welche Kräfte gemessen werden sollen, muss zunächst untersucht werden, welche Stellen im Bauwerk besonders kritisch sind. Im Rahmen eines Forschungsvorhabens [7], das die Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Lehrstuhl für Stahlbau, im Auftrag der BASt durchgeführt hat, wurden folgende Kriterien untersucht (siehe Bilder 5 und 6):

- Im Schnitt 1-1: Momentenbeanspruchbarkeit im Hinblick auf mögliches Bruchversagen in der Betondruckzone an der Brückenkappenoberseite bzw. Zugversagen der unteren Bewehrungslage. Diese Beanspruchung könnte beispielsweise entstehen, wenn die auf der Kappe montierten Schutzplankenpfosten bei einem Horizontalstoß gegen die Schutzeinrichtung ein Biegemoment einleiten, welches tendenziell zum Abheben der Kappe von der Fahrbahntafel führt. Zusätzlich wird die Beanspruchbarkeit im Hinblick auf mögliches Schubversagen betrachtet. Dieses könnte auftreten, wenn die Räder eines abirrenden Fahrzeugs auf den Gesimsbalken gelangen und eine vertikale Scherbeanspruchung im Schnitt 1-1 verursachen.
- Im Schnitt 2-2: Schubbeanspruchbarkeit des Gesimsanschnitts. Die beim Anprall eingeleitete Horizontalkraft erzeugt im Schnitt 2-2 eine Schubbeanspruchung, bevor sie durch die Kappenanschlussbewehrung im Kragarm rückverankert wird.
- Im Schnitt 3-3: Beanspruchbarkeit der Anschlussbewehrung, d. h. Momententragfähigkeit und Widerstand gegen Schubversagen in vertikaler Richtung. Die Momentenbeanspruchung resultiert aus dem im Schnitt 1-1 beschriebenen Moment, das über die Kappenanschlussbewehrung in den Überbau eingeleitet wird. Dabei könnte sich im unteren Gesimsbereich eine Betondruckzone ausbilden. Wird dieses Moment aber von einer großen Horizontalkraft überlagert, ist es auch möglich, dass nur Zugkräfte in der Anschlussbewehrung auftreten.
- Im Schnitt 4-4: In Abhängigkeit der Anschlussbedingungen des Rückhaltesystems sind die aufnehmbaren Kräfte im Lasteinleitungsbereich (einschließlich der Dübelkräfte) festzulegen.

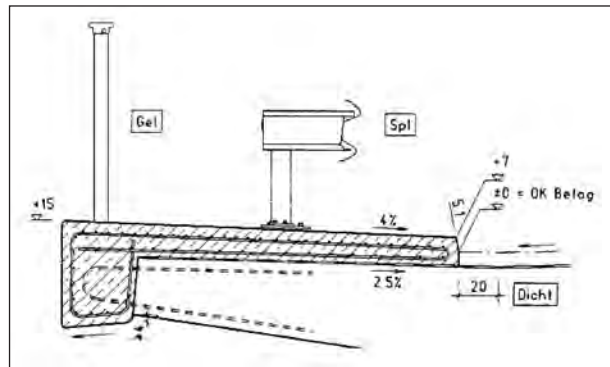


Bild 5: Brückenkappe gemäß Richtzeichnung Kap 1

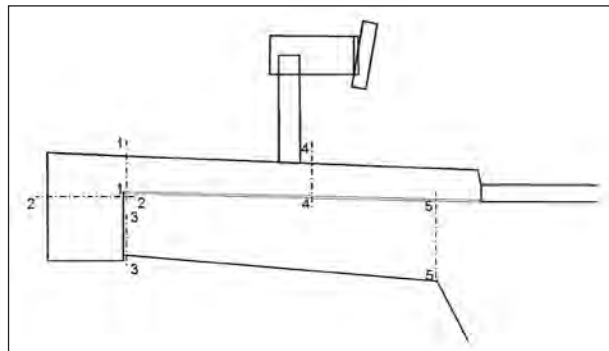


Bild 6: Brückenkappe im Rechenmodell mit maßgebenden Schnitten

Hierfür ist aber eine Einzelfallbetrachtung notwendig, weil verschiedene Verankerungsanordnungen denkbar sind.

- Im Schnitt 5-5: Momenten- und Schubkraftbeanspruchbarkeit des Brückenkragarms. Die beim Anprallvorgang auftretenden Einwirkungen Biegemoment und Horizontalkraft müssen durch die Kragarmbewehrung aufgenommen werden. Die auftretenden Vertikalkräfte erzeugen Schubbeanspruchungen.
- In einem Schnitt 6-6 (in der Zeichnungsebene, daher in den Bildern 5 und 6 nicht dargestellt): Momenten- und Schubbeanspruchbarkeit der Brückenkappe in Längsrichtung. In den zuvor genannten Schnitten fand eine Betrachtung in Brückenquerrichtung statt. Es treten aber auch gleichermaßen Beanspruchungen in Brückenlängsrichtung auf. Allerdings sind diese wegen der hohen Steifigkeit der Brücke in Längsrichtung im Verhältnis zur Querrichtung von untergeordneter Rolle.

Die Beanspruchbarkeit des Brückenkragarms in Längsrichtung ist bei den lokalen Betrachtungen nicht zu untersuchen.

3.1.3 Wichtung der Schnitte zur Kraftmessung

Grundsätzlich wäre es wünschenswert, an allen zuvor erläuterten Schnitten die Kräfte zu messen. Dies ist allerdings sehr aufwändig und auch teuer. Deshalb wird untersucht, welche Kraftmessungen unerlässlich sind und auf welche möglicherweise verzichtet werden kann. Ausgehend vom Schadenspotenzial, das durch eine Überbeanspruchung an den einzelnen Bauwerksstellen hervorgerufen werden kann, wird eine Reihung der Prioritäten zur Kraftmessung erarbeitet.

Bezogen auf das Schadenspotenzial ist der Schnitt 5-5 (Bild 6) am wichtigsten. Treten Überbeanspruchungen am Anschnitt des Brückenkragarms auf, die zu Schäden in der Fahrbahnplatte führen, so sind diese nur mit erheblichem Aufwand zu beheben (siehe Kapitel 2).

Danach ist der Schnitt 3-3 der nächstwichtigste. Treten in diesem Bereich Überbeanspruchungen der Kappenanschlussbewehrung auf, so kann diese nicht ohne weiteres ersetzt werden. Da die Kappenanschlussbewehrung in den Konstruktionsbeton einbindet, muss sie bei Beschädigungen nachträglich neu eingebohrt und anschließend eingeklebt werden. Zur Ausführung dieser Instandsetzungsarbeiten ist es erforderlich, wie auch bei Kragarmbeschädigungen im Schnitt 5-5, zunächst diese Stelle freizulegen, d. h., Kappe und ggf. Fahrbahnbelag nebst Abdichtung müssen entfernt werden, damit diese Bereiche zugänglich sind.

Bei Schäden an der Kappe in den Bereichen der Schnitte 1-1, 2-2 und 4-4 sind nicht so hohe Aufwendungen für Instandsetzungen zu erwarten, da nur die Kappe selbst instanzzusetzen ist und der Rückbau dieser nicht erforderlich ist.

Zur Beurteilung des Kraftflusses wäre es im Bereich der Pfostenverankerung (Schnitt 4-4) von Interesse, die Ankerzugkräfte zu kennen. Es wird erwartet, dass an diesen Stellen ein Großteil der Kräfte in das Bauwerk eingeleitet wird.

3.2 Anforderungen an Prüfungen von Schutzeinrichtungen

3.2.1 Allgemeines

Fahrzeug-Rückhaltesysteme an Straßen sind Systeme, die von der Fahrbahn abkommende Fahrzeuge abweisen und aufhalten. Die EN 1317 [6]

dient dazu, diese Systeme entsprechend ihrem Leistungsvermögen zu klassifizieren. Mit der schrittweisen Einführung der deutschen Fassung der Anforderungs- und Prüfnorm DIN EN 1317 „Rückhaltesysteme an Straßen“ erhalten die bereits gültigen Teile (zurzeit Teile 1, 2 und 3) den Status einer nationalen Norm.

In den Mitgliedsstaaten der EU dürfen zukünftig nach erfolgter Harmonisierung der EN 1317 auf der Grundlage eines EU-Mandats nur noch Rückhaltesysteme eingesetzt werden, die den Anforderungskriterien der Prüfnorm entsprechen. Firmen, die solche Produkte auf dem Markt anbieten, müssen diese nach den Vorgaben der EN 1317 prüfen lassen, um Nachweise über die Leistungsfähigkeit und Gefährdungsbegrenzung beim Anprall unterschiedlich schwerer Fahrzeuge mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten an ihre Rückhaltesysteme zu erbringen.

In ihrer Funktion als neutrale und unabhängige PÜZ-Stelle (Prüfen, Überwachen, Zertifizieren) führt die BAST Anprallprüfungen an Fahrzeug-Rückhaltesystemen durch. Die Prüfbedingungen, die in der EN 1317 [6] festgelegt sind, stellen Beanspruchungstests der Fahrzeug-Rückhaltesysteme dar, gewährleisten für alle Fahrzeug-Rückhaltesysteme einheitliche Bedingungen bei der Prüfung und ermöglichen dadurch für den Anwender Vergleiche der Wirkungsweise verschiedener Systeme. Eine positive Prüfung gewährleistet den Marktzugang der geprüften Produkte in den Mitgliedsstaaten der EU.

Die EN 1317 besteht aus 6 Teilen, von denen die Teile 1 bis 3 als DIN EN vorliegen und der Teil 4 als Vornorm vorliegt. Die Teile 5 und 6 befinden sich derzeit im Entwurfsstadium. Die einzelnen Teile der Norm haben die folgenden Inhalte:

Teil 1: Terminologie und allgemeine Kriterien für Prüfverfahren,

Teil 2: Leistungsklassen, Abnahmekriterien für Anprallprüfungen und Prüfverfahren für Schutzeinrichtungen,

Teil 3: Leistungsklassen, Abnahmekriterien für Anprallprüfungen und Prüfverfahren für Anpralldämpfer,

Teil 4: Leistungsklassen, Abnahmekriterien für Anprallprüfungen und Prüfverfahren für Anfangs-, End- und Übergangskonstruktionen von Schutzeinrichtungen,

Teil 5: Kriterien für Dauerhaftigkeit und Konformitätsbewertung,

Teil 6: Fußgänger-Rückhaltesysteme, Brückengeländer.

Die DIN EN 1317 beschreibt die Prüfungen und die Anforderungen an die Fahrzeug-Rückhaltesysteme und ordnet die Systeme anhand der Prüfergebnisse verschiedenen Leistungsklassen zu. Für Schutzeinrichtungen, d. h. für Fahrzeugrückhaltesysteme, die längsseits einer Straße oder im Mittelstreifen errichtet werden, gibt es nach Teil 2 der DIN EN 1317 folgende Leistungsklassen, in die die Schutzeinrichtungen eingeordnet werden:

- Aufhaltestufe,
- Wirkungsbereichsklasse,
- Anprallheftigkeitsstufe.

Grundsätzlich müssen zum Nachweis einer Aufhaltstufe zwei Versuche durchgeführt werden, die sich in ihrer Zielsetzung unterscheiden. Ein Versuch mit hoher Anprallenergie, d. h. mit dem Anprall eines Lkw oder Busses als Versuchsfahrzeug, soll

das Aufhaltevermögen und die seitliche Auslenkung der Schutzeinrichtung bestimmen

Ein zweiter Versuch wird mit einem Pkw durchgeführt. Mit ihm soll der Nachweis erbracht werden, dass die Schutzeinrichtung die Fähigkeit zum Aufhalten und Umlenken besitzt, ohne die Insassen von kleinen Pkw einer übermäßigen Beanspruchung auszusetzen (Anprallheftigkeit). In den Tabellen 1 und 2 sind die möglichen Aufhaltstufen mit den zugehörigen Anprallparametern für den dauerhaften Einsatz dargestellt.

Der Wirkungsbereich einer Schutzeinrichtung ist der Abstand zwischen der ursprünglichen Systemvorderkante und der maximalen seitlichen Position des Systems während des Anprallvorgangs. Diese Abstände sind für Schutzeinrichtungen in verschiedene Stufen eingeteilt, die in Tabelle 3 dargestellt sind. Der Wert des Wirkungsbereichs ist an die jeweilige Aufhaltstufe gekoppelt und wird bei der Prüfung mit schwerem Fahrzeug ermittelt.

Die Bewertung der Anprallheftigkeit, das heißt die Belastung von Pkw-Insassen, wird anhand von Beschleunigungen bestimmt, die im Fahrzeug wäh-

Bezeichnung	Aufhaltstufe	Prüftyp
Normales Aufhaltevermögen	N1	TB 31 (schwerer Pkw)
	N2	TB 32 (schwerer Pkw) und TB 11 (leichter Pkw)
Höheres Aufhaltevermögen	H1	TB 42 (Lkw) und TB 11 (leichter Pkw)
	H2	TB 51 (Bus) und TB 11 (leichter Pkw)
	H3	TB 61 (Lkw) und TB 11 (leichter Pkw)
Sehr hohes Aufhaltevermögen	H4a*	TB 71 (Lkw) und TB 11 (leichter Pkw)
	H4b*	TB 81 (Sattelzug) und TB 11 (leichter Pkw)

* Die Stufen H4a und H4b gelten gleichwertig nebeneinander.

Tab. 1: Aufhaltstufen nach DIN EN 1317 für den dauerhaften Einsatz

Prüftyp	Anprallgeschwindigkeit [km/h]	Anprallwinkel [Grad]	Gesamtmasse des Fahrzeugs [kg]	Anprallenergie [kJ]
TB 11	100	20	900	41
TB 31	80	20	1.500	43
TB 32	110	20	1.500	82
TB 42	70	15	10.000	127
TB 51	70	20	13.000	287
TB 61	80	20	16.000	462
TB 71	65	20	30.000	572
TB 81	65	20	38.000	724

Tab. 2: Parameter für Prüftypen nach DIN EN 1317

Wirkungsbereichsklasse	Stufe des Wirkungsbereiches
W 1	$W \leq 0,6 \text{ m}$
W 2	$W \leq 0,8 \text{ m}$
W 3	$W \leq 1,0 \text{ m}$
W 4	$W \leq 1,3 \text{ m}$
W 5	$W \leq 1,7 \text{ m}$
W 6	$W \leq 2,1 \text{ m}$
W 7	$W \leq 2,5 \text{ m}$
W 8	$W \leq 3,5 \text{ m}$

Tab. 3: Klassen des Wirkungsbereiches

Anprallheftigkeit	Kennwerte		
A	$ASI \leq 1,0$	und	$THIV \leq 33 \text{ km/h}$ $PHD \leq 20 \text{ g}$
B	$ASI \leq 1,4$		

Tab. 4: Anprallheftigkeitsstufen nach DIN EN 1317-2

rend des Pkw-Anpralls gemessen werden. Aus den gemessenen Beschleunigungen werden dann die drei Anprallheftigkeitsindizes ASI (Acceleration Severity Index), THIV (Theoretical Head Impact Velocity) und PHD (Post Impact Head Deceleration) berechnet, die zur Einstufung der Anprallheftigkeitsstufe entsprechend Tabelle 4 führen. Hierbei stellt die Anprallheftigkeitsstufe A für die Insassen eines von der Fahrbahn abkommenden Fahrzeugs eine geringere Belastung als Stufe B dar. Darüber hinaus besagt die DIN EN 1317-2 [4], dass an besonders gefährlichen Stellen, an denen das Aufhalten eines von der Fahrbahn abkommenden Fahrzeugs von vorrangiger Bedeutung ist, die Wahl und Errichtung eines Fahrzeug-Rückhaltesystems ohne spezielle Anprallheftigkeitsstufe erforderlich sein können.

Neben den Kriterien Aufhaltstufe, Anprallheftigkeitsstufe und Wirkungsbereichsklasse, die zu einer Einstufung der Schutzeinrichtung führen, gibt es noch andere Kriterien, die für einen positiven Anprallversuch erfüllt sein müssen. Hierzu gehören sowohl das Verhalten der Schutzeinrichtung als auch das Fahrzeugverhalten während und nach dem Anprall. Die Schutzeinrichtung muss vor allem das Aufhalten und das Umlenken des anprallenden Fahrzeugs gewährleisten. Es dürfen sich keine wesentlichen Teile der Schutzeinrichtung lösen und die Hauptelemente dürfen nicht brechen oder reißen. Wesentlich ist ebenfalls, dass das Fahrzeug nach dem Anprall nicht umkippen oder sich überschlagen

darf. Das Abprallverhalten des Fahrzeugs nach dem Anprall an das System ist durch das sog. Box-Kriterium begrenzt. Dies stellt eine seitliche Grenze parallel zur Schutzeinrichtung dar, die in einem definierten Bereich nach dem Abprall von keinem Reifen des Fahrzeugs überquert werden darf.

3.2.2 Schutzeinrichtungen auf Bauwerken

Die Prüfung der Schutzeinrichtungen auf einer simulierten Brückenkappe gemäß RiZ Kap 1 [3] basiert auf dem Grundsatz, dass die Prüfsituation die Realität so weit abbilden sollte, dass die Funktionsweise aller beteiligten Konstruktionselemente dem Systemverhalten bei tatsächlichen Unfällen mit vergleichbarer Anpralllast entspricht. Nur wenn dies gewährleistet ist, lassen die Prüfergebnisse den Schluss zu, dass die geprüften Schutzeinrichtungen die Anforderungen auch im realen Unfallgeschehen erfüllen werden.

Unter allen beteiligten Konstruktionselementen sind dabei alle Teile der Schutzeinrichtung zu verstehen, die während des Anprallversuchs Kräfte aufgenommen oder weitergeleitet haben. Da eine Kraftaufnahme nicht in allen Fällen zu einer Deformation des Teiles führt und die Kräfte innerhalb der Schutzeinrichtung bei dem Anprallversuch nach DIN EN 1317 nicht gemessen werden, sind die am Umlenkungsvorgang beteiligten Konstruktionselemente nicht ohne weiteres identifizierbar. Daraus ergibt sich zunächst, dass Schutzeinrichtungen nur in der Umgebung (z. B. gleichartiger Untergrund) und in der konstruktiven Ausführung eingesetzt werden sollten, wie sie geprüft wurden.

Für die konstruktive Änderung geprüfter Schutzeinrichtungen ist in der DIN EN 1317 zukünftig ein Verfahren vorgesehen. Die Änderung muss mit der Zertifizierstelle abgestimmt werden und ggf. müssen zusätzliche Tests durchlaufen werden. Bis zur Einführung dieser Regelungen nimmt die BAST bereits ähnliche Beurteilungen für Schutzeinrichtungen vor, die bei ihr geprüft wurden.

Hinsichtlich des Umfeldes des Einsatzortes gilt, dass angesichts der vielen unterschiedlichen realen Einsatzsituationen obige Forderung einer gleichartigen Umgebung in vielen Fällen nicht vollständig erfüllbar ist. Somit stellt sich die Frage, wie weit sich die Randbedingungen des Einsatzortes von denen der Prüfung unterscheiden dürfen, ohne dass die Eignung der Schutzeinrichtung infrage zu stellen ist.

Die Erfahrung aus zahlreichen Anprallprüfungen lehrt, dass sich die konkreten Randbedingungen einer Prüfsituation je nach Ablauf des Anprallvorgangs und damit je nach Konstruktion der Schutzeinrichtung unterschiedlich auswirken. Die Bedeutung der einzelnen Randbedingungen des Umfeldes ist daher einzelfallspezifisch sowohl hinsichtlich des Umfeldes als auch hinsichtlich der konstruktiven Ausführung der Schutzeinrichtung und zunächst nicht allgemein beantwortbar (s. Kapitel 6.2).



Bild 7: Ausführung einer Einfachen Distanzschutzplanke mit Geländer gemäß Richtzeichnung Kap 1



Bild 8: Ausführung einer Betonschutzwand aus Fertigteilen vor einer Lärmschutzwand analog Richtzeichnung Kap 1

Generell gilt, dass Schutzeinrichtungen in der Aufbauweise geprüft werden sollten, in der sie später auch eingesetzt werden sollen (Kapitel 6.1). Schutzeinrichtungen für den Einsatz auf Brücken in Deutschland sollen daher auch auf einem Betonfundament mit einer Schrammbordhöhe von 7 cm und einer Querneigung von 4 % entsprechend der Geometrie der deutschen Brückenkappen (Kap 1) geprüft werden. Der Entwurf der RPS (Stand, Dezember 2003) [17] sieht vor, dass in Deutschland zukünftig nur Fahrzeug-Rückhaltesysteme eingesetzt werden dürfen, die ihr Leistungsvermögen in Anprallprüfungen nach DIN EN 1317 nachgewiesen haben.

Für die Anprallprüfungen werden die Schutzeinrichtungen daher in der Form aufgestellt, wie sie auch später auf Brücken installiert werden sollen.

Den Herstellern wird empfohlen, ihre Schutzeinrichtung im Abstand von 50 cm vom Schrammbord entsprechend RiZ Kap 1 zu errichten und möglichst den Notgehweg von 75 cm einzuhalten. Es besteht aber auch die Möglichkeit, die Schutzeinrichtung direkt an der Schrammbordkante zu installieren.

Eine Besonderheit auf Brücken stellt die Konstruktion des Dilatationsstoßes dar (Bilder 9 und 10), der



Bild 9: Übergang Strecke – Brücke



Bild 10: Ausführung eines Dilatationsstoßes bei einer Einfachen Distanzschutzplanke

aus Sicht der Verkehrssicherheit einen Schwachpunkt der Schutzeinrichtung auf Bauwerken vor allem beim Anprall sehr schwerer Fahrzeuge darstellen könnte. In der DIN EN 1317 heißt es, dass der Anprall im Allgemeinen an einem Punkt ungefähr in einem Drittel der Länge der installierten Schutzeinrichtung erfolgen soll. Darüber hinaus soll der Anprallpunkt so gewählt werden, dass er die schlechtesten Prüfbedingungen für die Schutzeinrichtung darstellt. Ebenfalls soll die Wahl des Anprallpunktes so erfolgen, dass etwaige Schwachpunkte der Konstruktion berücksichtigt werden.

Da sich die Konstruktion des Dilatationsstoßes im Allgemeinen in ihrer Gestaltung und Funktionsweise von der sonstigen Schutzeinrichtung unterscheidet, wäre ein direkter Anprall in diesem Bereich der Schutzeinrichtung nicht zielführend. Eine gesonderte Prüfung der Dilatationsstoß-Konstruktion ist mit einem sehr hohen finanziellen Aufwand für die Hersteller verbunden und scheint im Verhältnis zu den, verglichen mit der Brückenlänge, wenigen Stellen, an denen Dilatationsstoß-Konstruktionen eingebaut werden, und wegen der geringen Wahrscheinlichkeit, dass der Anprall direkt am Dilatationsstoß stattfindet, unverhältnismäßig. Um jedoch die Hersteller der Schutzeinrichtungen dazu zu bewegen, bei der Entwicklung der Schutzeinrichtung auch Lösungen für die Konstruktion des Dilatationsstoßes zu entwickeln, und aus der Anprallprüfung Informationen über die Kraftübertragung am Dilatationsstoß zu erhalten, werden die Hersteller aufgefordert, in der Anprallprüfung eine Dilatationsstoß-Konstruktion mit einzubauen.

Liegt ein Dilatationsstoß im Einflussbereich eines Anpralls, so verhält sich die Schutzeinrichtung tendenziell weicher. Für den Pkw-Anprallversuch hat dies eine Verringerung der Anprallheftigkeit zur Folge, für den Anprallversuch mit einem Lkw eher eine Verringerung der Rückhaltefähigkeit bei Vergrößerung des Wirkungsbereichs. Der Pkw-Anprallversuch wird durch die Anwesenheit der Dilatation eher günstig, der Lkw-Versuch eher ungünstig beeinflusst. Um möglichst kritische Prüfbedingungen zu gewährleisten, wird von den Herstellern gefordert, die Schraubverbindungen der Dilatationsstoß-Konstruktion bei der Pkw-Prüfung zu fixieren, um ein steiferes und damit ungünstiges Systemverhalten für den Pkw-Anprall zu erzwingen.

Für die Übertragung der Prüfergebnisse in die Praxis bedeutet das, dass auf diese Weise ein Anprall simuliert werden kann, der weit entfernt vom Dilata-

tionsstoß stattfindet (steiferes System als dicht am Dilatationsstoß). Für den Anprall mit dem schweren Fahrzeug wurden die Fixierungen der Dilatation entsprechend dem tatsächlichen Einsatz gelockert, um den Einfluss der Dilatation auf das System zu erfassen. Hierdurch kann festgestellt werden, ob die Schutzeinrichtung mit Dilatationsstoß in der Lage ist, einen 38-t-Lkw aufzuhalten, ohne dass die Dilatationsstoß-Konstruktion versagt.

Eine weitere Besonderheit bei der Prüfung von Schutzeinrichtungen auf Brücken nach Kap 1 stellt das Geländer am Gesimsrand dar. Den Herstellern wird empfohlen, ein Regelgeländer nach den Zeichnungen Gel 3 und Gel 14 bei der Anprallprüfung zu installieren, um gegebenenfalls dessen Einfluss auf das System- und Fahrzeugverhalten beurteilen zu können. Diese Forderung wurde erhoben, da nicht ausgeschlossen werden kann, dass ein Geländer neben seiner Funktion als Fußgänger-rückhaltesystem auch als Bestandteil der Schutzeinrichtung fungiert (Wirkungsbereich der Schutzeinrichtung reicht bis ins Geländer).

3.3 Umsetzungen der Mess- und Prüfanforderungen

3.3.1 Beschreibung der Versuchsanlage

Um allen Herstellern von Schutzeinrichtungen gleiche Voraussetzungen zu gewährleisten, wird von der BAST eine geeignete Brückennachbildung mit entsprechenden Messeinrichtungen zur Verfügung gestellt (Bild 11).

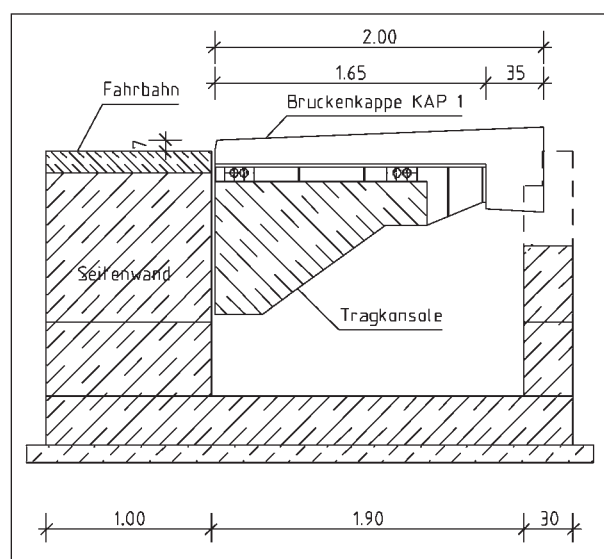


Bild 11: Prüfeinrichtung mit Brückenkappe nach Kap 1

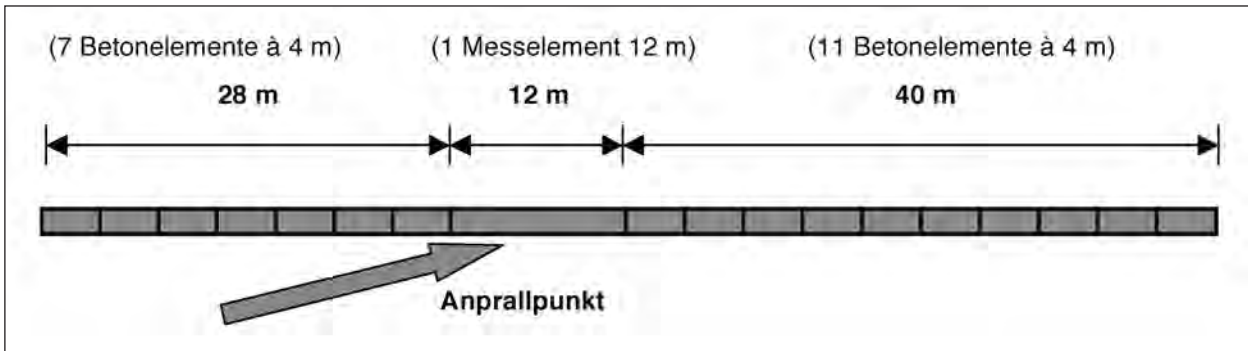


Bild 12: Schematische Übersicht der Prüfanlage



Bild 13: Blick in die Messgrube mit aufgehängter Konsole und Stahlkonstruktion, ohne Stahlbetonkappe (Bild: TÜV Automotive GmbH)

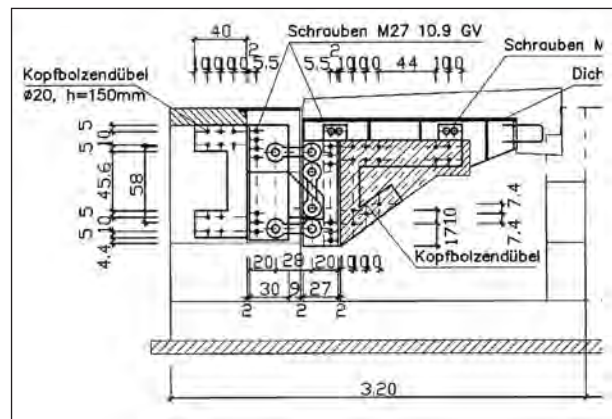


Bild 14: Schnitt durch die Messgrube mit Darstellung der Augenstäbe

Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit wurde das Testgelände der TÜV Automotive GmbH in München-Allach als Standort gewählt. Dort war bereits eine Prüfanlage vorhanden, die im Rahmen eines vom österreichischen Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie geförderten Straßenforschungsvorhabens [11] entwickelt wurde. Teile dieser Prüfanlage konnten auch für die Brückennachbildung der BAST genutzt werden.

Die Planung der zu errichtenden Prüfeinrichtung orientierte sich an den bereits vorhandenen baulichen Gegebenheiten. Die neue Prüfanlage ermöglicht den Nachbau einer Brückenkappe gemäß der Richtzeichnung Kap 1. Dabei können die auftretenden Kräfte im Anprallbereich auf einer Länge von zwölf Metern gemessen werden (Bild 12).

Dieser Bereich besteht aus einer Stahlbetonsohle mit umschließenden aufgehenden Stahlbetonwänden, sodass eine Grube entsteht (Bilder 13 und 14). An der fahrbahnseitigen Wand der Messgrube sind drei 4 m lange Stahlbetonkonsolen aufgehängt, die

jeweils an zwei Stellen mit der Grubenwand verbunden sind

Diese Verbindung besteht aus in die Grubenwand und in die Konsolen einmündenden Stahlblechen. Die Stahlbleche wiederum werden mittels Kopfbolzendübeln in den Stahlbetonbauteilen verankert. Zwischen dem Stahlblech der Grubenwand und dem Stahlblech der Konsole sind je Aufhängung drei Augenstäbe angeordnet (Bild 14). Jeder Augenstab kann bis zu 780 kN übertragen (Bild 15).

Auf den Konsolen liegt im oberen Bereich eine durchgehende 12 m lange Kappe als Betonfertigteile auf (Bild 17). Damit auf den vorhandenen Konsolen eine Schrammbordhöhe von 7 cm gemäß den RPS 89 [1] realisiert werden kann, ist eine Stahlübergangskonstruktion zwischen den Konsolen und der Kappe erforderlich. Die Länge der einzelnen Stahlelemente beträgt, wie die der Konsolen, ebenfalls 4 m und ist an jeweils acht Stellen mit jeweils zwei Schrauben M24 an aus den Konsolen ragenden Laschen befestigt. Zur Übertragung der Längskräfte sind die drei Stahlelemente untereinander mit jeweils zwei Augenstäben verbunden.

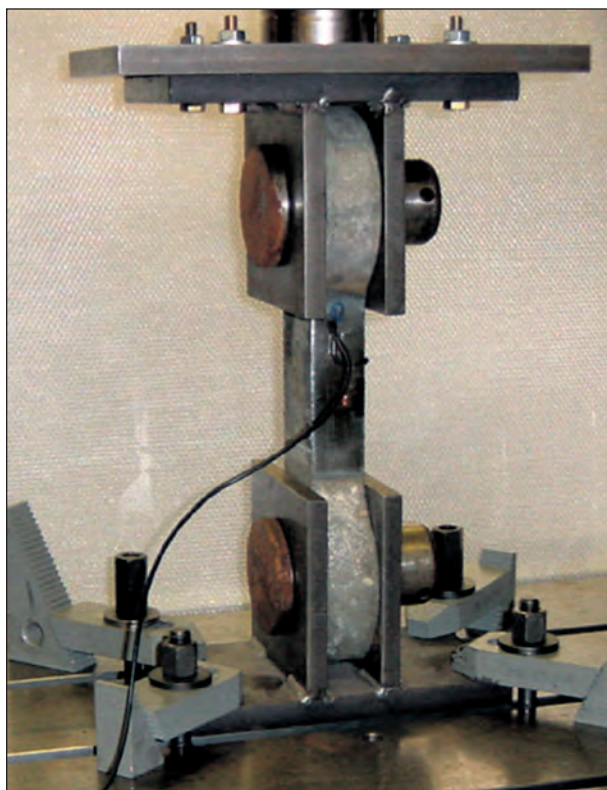


Bild 15: Kalibrierung eines Augenstabs (Bild: TÜV Automotive GmbH)

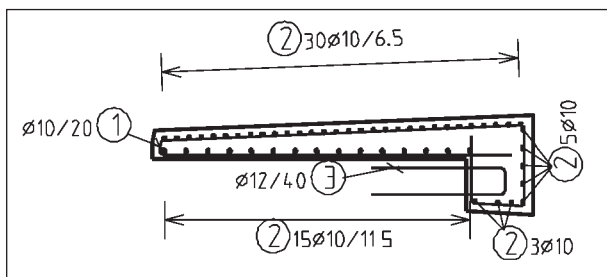


Bild 16: Bewehrung des Kappenfertigteils



Bild 17: Einheben der 12-m-Kappe

Das oben aufliegende Kappenfertigteil entspricht in Betonzusammensetzung, Geometrie und Bewehrung den Vorgaben der Richtzeichnung Kap 1 (Bild der 16 und 17). Da die Stahlkonstruktion bzw.

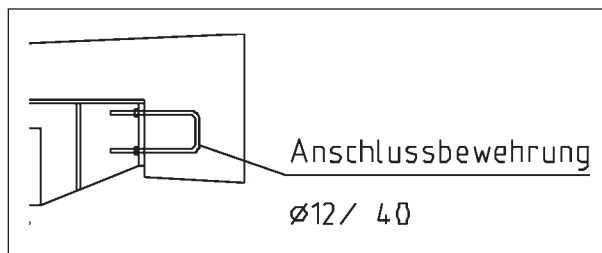


Bild 18: Prüfeinrichtung mit Brückenkappe nach Kap 1



Bild 19: Einheben der Stahlbetonelemente außerhalb des Messbereichs auf das Streifenfundament

Stahlplatte oberseitig mit einer Bitumenschweißbahn gemäß ZTV-ING, Teil 7, Abschnitt 4 „Brückenbeläge auf Stahl mit einem Dichtungssystem“ [8], versehen ist, kann ein realitätsnahes Gleitverhalten der Kappe auf dem Überbau erwartet werden. Die einzige Verbindung der Kappe mit der Stahlkonstruktion erfolgt gemäß RiZ Kap 1 über die Kappenanschlussbewehrung. Diese besteht aus Betonstahl BSt 500 mit 2 $\varnothing 12/40$ cm (Bild 18).

An den beiden Schenkelenden des Anschlussbügels wurden Gewinde aufgewalzt, sodass eine stirnseitige Schraubverbindung mit der Stahlübergangskonstruktion möglich ist. Zur Aufnahme der Längskräfte wird die Kappe mittels zweier Augenstäbe an ihrer Kurzseite mit der Grubenwand verbunden

In den Bereichen links und rechts neben der Messgrube wird ein Streifenfundament weitergeführt, damit die zu prüfende Schutzeinrichtung auf einer ausreichenden Länge aufgebaut werden kann. Auf dem Streifenfundament liegen Betonfertigteile, die oberseitig die gleiche Geometrie haben wie die Kappe im Bereich der Messbrücke (Bild 19). Sie entsprechen ebenfalls den Vorgaben der RiZ Kap 1, wurden allerdings geometrisch an die Gegebenheiten auf dem Testgelände angepasst. In den Bereichen der Streifenfundamente erfolgt keine Kraftmessung.

3.3.2 Kraftmessung

Die Messung der beim Anprallvorgang auftretenden Kräfte erfolgt grundsätzlich an zwei verschiedenen Stellen der Messbrücke, am Kragarm und an der Kappenanschlussbewehrung (Bild 20).

Zur Erfassung der auf den Kragarm einwirkenden Kräfte sind die Augenstäbe der Konsolaufhängung mit Dehnungsmessstreifen ausgestattet (Bild 21). Die drei Konsolen werden jeweils an zwei Stellen

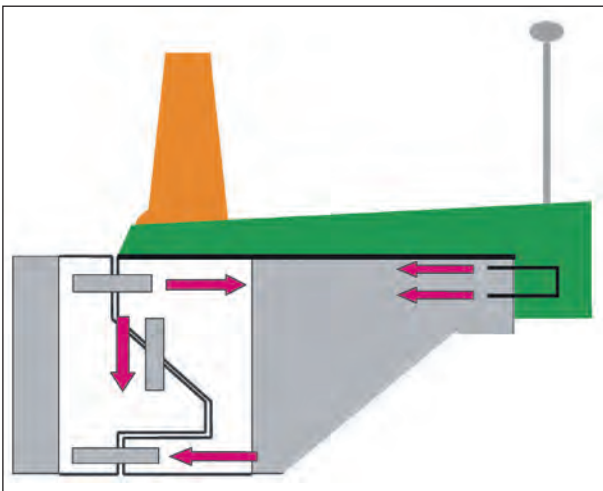


Bild 20: Schemadarstellung der Versuchsanlage mit Darstellen der Messstellen



Bild 21: Augenstäbe der Konsolaufhängung mit Dehnungsmessstreifen

an der Messgrubenwand mit jeweils drei Augenstäben aufgehängt. Damit ergibt sich die Gesamtanzahl von 18 Augenstäben. Beim Anprallvorgang werden die Kräfte durch die 18 Dehnungsmessstreifen gleichzeitig mit einem Abtastintervall von $100 \mu\text{s}$ aufgezeichnet. Die Messung an den Augenstäben erfasst die Kräfte, die auf die Fahrbahntafel und damit auf das Haupttragwerk einwirken.

Aus diesen Messungen lassen sich die Schnittgrößen Moment, Horizontalkraft und Vertikalkraft in den Schnitten 3-3 und 5-5 gemäß Kapitel 3.1.2 errechnen bzw. direkt ablesen.

Die Messungen an den Augenstäben stellen das Kernstück der Versuchsanlage dar, da sich aus diesen Messungen bereits relativ umfassende Aussagen zu den Einwirkungen ableiten lassen.

Neben den Messungen an den Augenstäben werden auch die Zugkräfte in der Kappenanschlussbewehrung gemessen. An der Verankerungsstelle der Kappenanschlussbewehrung in der Stahlunterkonstruktion werden Kraftmessdosen angebracht. Die Kraftmessdosen weisen eine Nennlast von 100 kN auf. Diese Nennlast ist ausreichend, da ein Bewehrungsstab mit 12 mm Durchmesser und einer Streckgrenze von $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$ seine Belastungsgrenze bei $F = 56,5 \text{ kN}$ erreicht. Zur Reduzierung des Querkrafteinflusses auf die Messgenauigkeit werden dabei plangeschliffene und oberflächengehärtete Unterlegscheiben eingebaut.

Die Kraftmessdosen (Bild 22) werden im Bereich der mittleren Tragkonsole an jedem Bewehrungsstab angeschlossen. In den beiden benachbarten Konsolen erfolgt aus Gründen der Kostenreduzierung nur an jedem zweiten Paar eine Kraftmessung. Damit kann die Anzahl der Kraftmessdosen von 60 auf 40 reduziert werden. Die Zwischenwerte können interpoliert werden. Die Messung der



Bild 22: Kraftmessdosen an der Kappenanschlussbewehrung

Kräfte in der Kappenanschlussbewehrung liefert eine direkte Aussage über die Beanspruchung an einer deutschen Standard-Brückenkappe. Mit visueller Begutachtung der Kappe nach einem Anfahrversuch und der Messung in der Anschlussbewehrung ist eine Aussage über mögliche Schäden an deutschen Kappen möglich.

Das Abtastintervall von 100 μ s sowohl für die Augenstäbe als auch für die Kraftmessdosen entspricht der Leistungsfähigkeit des Messkraftverstärkers. Dieser hat ein Messintervall von 100 μ s und eine Auflösung von 12 Bit. Es werden 18 Kanäle für die Dehnungsmessstreifen (DMS) an den Augenstäben und 40 Kanäle für die Kraftmessdosen an der Kappenanschlussbewehrung benötigt. Insgesamt werden beim Anprallvorgang 10.000 Werte pro Sekunde an jeweils 58 Messstellen über einen Messkraftverstärker aufgenommen und gespeichert.

Insbesondere zur Beurteilung der lokalen Lasteinleitung und der Dimensionierung des Anschlusses bei stählernen Kappen wäre es hilfreich, die Kräfte der Schutzeinrichtungsanker zu kennen. Da in Deutschland aber ca. 93 % der Brücken mit Betonkappen gebaut sind, erfolgte der Umbau der vorhandenen Versuchsanlage in der Weise, dass eine Brückenkappe gemäß der Richtzeichnung Kap 1 nachgebaut wurde. In dem österreichischen Forschungsvorhaben [11], bei dem auf einer stählernen Versuchsanlage die Systeme aufgebaut werden, können die Kraftmessdosen unterhalb des Stahldecks angebracht werden. Bei den Versuchen der BAST wird aber eine Betonkappe verwendet, bei der eine Anbringung der Kraftmessdosen unterhalb der Betonkappe nicht möglich ist. Eine alternative Anbringung oberhalb der Brückenkappe würde den Versuch unzulässig beeinflussen. Es ist deshalb bei den Versuchen der BAST nicht möglich, Kraftmessdosen an Verankerungen der Schutzeinrichtung anzubringen. Allerdings wird durch den hier gewählten Weg eine größere Realitätsnähe erwartet. Auch von Ankern mit implantierten Dehnungsmessstreifen wird Abstand genommen, weil nicht ausgeschlossen werden kann, dass die damit einhergehende Querschnittsschwächung des Ankers Einfluss auf das Trag- bzw. Bruchverhalten hat, was das Ergebnis der Anprallprüfung infrage stellen könnte. Der Verzicht auf die Kenntnisse der Ankerkräfte ist wegen des Bestrebens nach realitätsnahen Prüfbedingungen vertretbar. Zudem können mit den Erkenntnissen aus den Versuchsabläufen und statischen Berechnungen die maximal auftretenden Beanspruchungen im Lasteinleitungsreich hinreichend genau abgeschätzt werden.

3.4 Pflichtenheft

Anhand der aktuellen Erfahrungen wird das Pflichtenheft hinsichtlich der technischen Details zukünftig bei Bedarf ergänzt. Die für diesen Bericht wichtigen Grundsätze gelten aber unverändert. Im Folgenden wird das Pflichtenheft (Stand: April 2001) wiedergegeben:

„1. Einleitung

Für den Einsatz von Fahrzeugrückhaltesystemen der Aufhaltstufe H4b auf Brücken sind die nachfolgend genannten Randbedingungen einzuhalten. Dabei wird zwischen dem Einsatz auf neuen und auf vorhandenen Bauwerken unterschieden.

2. Grundsätze

2.1 Prüfung

Alle Fahrzeugrückhaltesysteme der Aufhaltstufe H4b für den Einsatz auf Brücken müssen eine Prüfung nach DIN EN 1317-2 einschl. Kräftemessung auf einer von der BAST zur Verfügung gestellten Brückennachbildung in München erfolgreich bestehen. Dabei sind auch die Dilatationsstöße zu beachten.

Aus versuchstechnischen Gründen kann voraussichtlich nicht die volle Breite von 2,0 m einer Kappe nach der Richtzeichnung Kap 1 zur Verfügung gestellt werden. Deshalb kann eine genaue Festlegung zur Anordnung des Systems auf der Prüfeinrichtung erst nach Vorlage der Systemzeichnungen erfolgen.

Werden bei der Anprallprüfung nur die unter Kapitel 4.2 bzw. Kapitel 4.3.1 angegebenen Vorgaben der Kraftwerte nicht eingehalten, der Versuch jedoch nach den sonstigen Gesichtspunkten der DIN EN 1317-2 bestanden, so wird für das weitere Vorgehen fallweise entschieden, ggf. sind weitere Anprallprüfungen notwendig.

2.2 Betrieb und Wartung

Das Bauwerk muss durch das Dienstpersonal sicher und leicht begehbar sein. Deshalb ist ein Betriebsweg von 75 cm Breite analog der Richtzeichnung Kap 1 vorzusehen.

2.3 Anordnung im Querschnitt

Die Fahrzeugrückhaltesysteme dürfen bis an den Kappenrand entspr. der Richtzeichnung Kap 11 gesetzt werden, dies gilt auch für Systeme, die nicht aus Beton bestehen.

3. Einsatz auf neuen Bauwerken

Die Fahrzeugrückhaltesysteme sollten möglichst auf einer Kappe entspr. der Richtzeichnung Kap 1

installiert werden können. Sind systembedingt Änderungen der Kappenkonstruktion oder auch weiterer Bauteile nötig, so müssen diese den Konstruktionsgrundsätzen der ZTV-K bzw. denen der Richtzeichnungen entsprechen. Der Verzicht auf eine Kappenkonstruktion ist nicht zulässig.

4. Einsatz auf bestehenden Bauwerken

4.1 Allgemeines

Die Fahrzeurückhaltesysteme müssen sich auf einer in Deutschland üblicherweise vorhandenen Brückenkappe (z. B. entspr. der Richtzeichnung Kap 1) installieren lassen.

Sind bauliche Veränderungen unumgänglich, dürfen die Fahrzeurückhaltesysteme von dieser Vorgabe abweichen. Dies soll aber die Ausnahme sein.

Für den Einsatz auf bestehenden Brücken gilt, dass Fahrzeurückhaltesysteme, die bei sonst gleichem Leistungsvermögen und gleicher Eignung den geringsten Aufwand an baulichen Veränderungen verursachen, bevorzugt werden.

4.2 Beanspruchbarkeit der tragenden Konstruktion

Die Beanspruchbarkeit der tragenden Konstruktion darf nicht überschritten werden. Bei vorhandenem Kragarm ergibt sich nach der BAST-Studie über Schutzeinrichtungen als Absturzsicherung auf Brücken mit einem Aufhaltevermögen der Stufe H4 nach DIN EN 1317-2 von 1998 näherungsweise für eine Kraglänge von 2,0 m in Höhe der Schutzplanke eine zulässige Horizontalkraft von 103 kN je Pfosten bei einem Pfostenabstand von 1,33 m.

Da Brücken jedoch konstruktiv unterschiedlich ausgebildet sein können, ist vor dem Einsatz des Fahrzeurückhaltesystems auf einer bestehenden Brücke durch eine statische Berechnung jeweils die Machbarkeit nachzuweisen. Hierbei sind die Kräfte infolge Fahrzeuganprall, Gewicht des Fahrzeurückhaltesystems und Fahrzeuggewicht zu berücksichtigen.

4.3 Einsatz ohne bauliche Veränderungen

4.3.1 Beanspruchbarkeit der Kappe

Beim Einsatz von Fahrzeurückhaltesystemen auf Brücken, die keiner baulichen Veränderung bedürfen, ist die Tragsicherheit der Kappe bzw. des Kappenanschlusses an das Bauwerk zu beachten. Sie darf nicht überschritten werden. Die Werte der Tragsicherheit ergeben sich entsprechend dem Schreiben vom 21.09.2000 wie folgt:

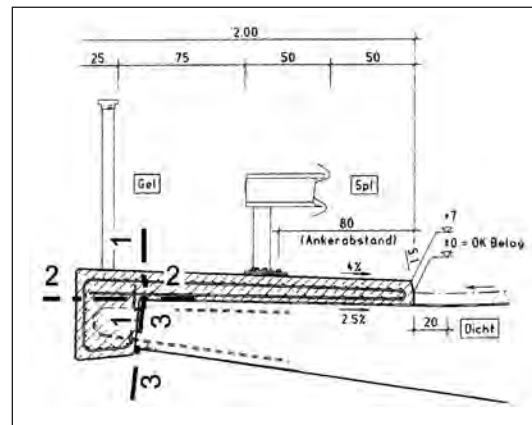


Bild: Beanspruchbarkeit der Kappe nach Richtzeichnung Kap 1

Für die oben dargestellten Schnitte werden die maximalen Beanspruchbarkeiten einer Brückenkappe im Bruchzustand (charakteristische Werte) je Meter Brücklänge als Ergebnis einer statischen Berechnung aufgezählt. Dynamische Einflüsse sind dabei nicht berücksichtigt.

Schnitt 1-1: aus Biegung	$M_{Rk} = 34 \text{ kNm}$
aus Schub	$V_{Rk1} = 69 \text{ kN}$
Schnitt 2-2: aus Schub	$V_{Rk1} = 134 \text{ kN}$
Schnitt 3-3: aus Biegung	$M_{Rk} = 37 \text{ kNm}$
aus Schub	$V_{Rk1} = 81 \text{ kN}$

Bei den weiteren Untersuchungen wird zunächst davon ausgegangen, dass die neu entwickelten Rückhaltesysteme auf die vorhandenen Befestigungspunkte, i. d. R. einbetonierte Fußplatten z. B. entsprechend Spl 1, appliziert werden. Zur Vereinfachung und damit man eine besser handhabbare Rechengröße hat, werden deshalb aus den o. g. Beanspruchbarkeiten der Brückenkappe Schnittgrößen für den Fußpunkt des Pfostens bei einem Pfostenabstand von 1,33 m angegeben (Seite 20). Diese Auflistung soll zeigen, welche Horizontalkräfte in Verbindung mit Momenten am Pfostenfuß wirken dürfen, bevor ein Versagen der Kappenkonstruktion eintritt. Treten zusätzlich abhebende Vertikalkräfte auf, so sind Moment und Horizontalkraft entsprechend zu reduzieren.

Die o. g. Beanspruchbarkeiten in den Schnitten sind maßgebend.

4.3.2 Befestigung auf der Kappe

Die Verankerung des Systems muss innerhalb der Kappe erfolgen. Die Länge neu gesetzter Anker ist auf 13 cm beschränkt, damit ausreichend Überdeckung vorhanden ist und die Dichtung unterhalb der Kappe nicht beschädigt wird.

Die Anker müssen entsprechend der Richtzeichnung Prüf 1 geprüft sein oder eine bauaufsichtliche Zulassung des DIBt besitzen.

4.4 Einsatz mit baulichen Veränderungen

Sind systembedingt bauliche Änderungen an der Kappe bzw. an der Brückenkonstruktion unumgänglich, so müssen diese den Konstruktionsgrundsätzen der ZTV-K bzw. denen der Richtzeichnungen entsprechen. Dabei sollten möglichst der Konstruktionsbeton und die Dichtungsschicht nicht verletzt werden. Der Verzicht auf eine Kappenkonstruktion ist nicht zulässig.“

Aufnehmbare Schnittgrößenkombinationen am Pfostenfuß

Moment M [kNm]	Querkraft V [kN]	maßgebender Schnitt	Versagensart
0	178	Schnitt 2-2	Schub
5	178	Schnitt 2-2	Schub
10	178	Schnitt 2-2	Schub
15	178	Schnitt 2-2	Schub
20	166	Schnitt 3-3	Biegung
25	138	Schnitt 3-3	Biegung
30	110	Schnitt 3-3	Biegung
35	83	Schnitt 3-3	Biegung
40	55	Schnitt 3-3	Biegung
45	7	Schnitt 3-3	Biegung

4 Ermittlung der Beanspruchbarkeiten von Brücken

Zur Ermittlung der Beanspruchbarkeiten von Brücken hat die BAST die RWTH Aachen [7] beauftragt, mittels statischer Berechnungen die Tragfähigkeiten abzuschätzen. Dabei wurden die in Kapitel 3.1.2 diskutierten Schnitte untersucht. Fünf der sechs untersuchten Schnitte betreffen die Brückenkappen bei einer Ausführung gemäß der Richtzeichnung Kap 1. In einem weiteren Schnitt werden die Kragarme untersucht. Die Berechnungen für alle Schnitte erfolgen nach DIN V ENV 1992-1-1 [12] für den Bruchzustand. D. h., es werden charakteristische Werte ohne Berücksichtigung von Teilsicherheitsbeiwerten angegeben. Die Widerstandsgrößen werden für ein 1,0 m breites Brückensegment berechnet. Im Folgenden werden die wesentlichen Ergebnisse dieser Untersuchung wiedergegeben.

Grundsätzlich ist für die Beanspruchbarkeiten der Kragarme (Kapitel 4.3) zu beachten, dass die angegebenen Beanspruchbarkeiten nur exemplarisch für die gewählten Abmessungen und Konstruktionen gelten. Sie sollen der Veranschaulichung von Einwirkung und Bauteilwiderstand dienen. Zur Be-

urteilung der Verträglichkeit einer bestimmten Schutzeinrichtung auf einer Brücke ist immer eine Einzelfallbetrachtung notwendig, da es sich bei Brückenbauwerken um Unikate handelt, deren technische Ausführung in vielerlei Hinsicht differiert. Bei den Brückenkappen handelt es sich jedoch um Regelbauteile, sodass die ermittelten Werte direkt verwendbar sind, um eine Verträglichkeit nachzuweisen.

4.1 Beanspruchbarkeit der Kappen

4.1.1 Schnitt 1-1

Mit den Vorgaben für Beton und Bewehrung nach der Richtzeichnung Kap 1 ergibt sich für eine reine Biegebeanspruchung (Rotation um die Brückenlängsachse) ein Moment $m_{RK} = 34,2 \text{ kNm/m}$. Mit zunehmender Normalkrafteinwirkung (Druck im betrachteten Schnitt) steigt die Beanspruchbarkeit geringfügig an. Bei einer Normalkraft von $n = 100 \text{ kN/m}$ ergibt sich ein Moment $m_{RK} = 35,0 \text{ kNm/m}$.

4.1.2 Schnitt 2-2

Für eine Schubeinwirkung in horizontaler Richtung ergibt sich eine Beanspruchbarkeit von $v_{RK1} = 191 \text{ kN/m}$ und für das Druckstrebenversagen $v_{RK2} = 1.728 \text{ kN/m}$.

4.1.3 Schnitt 3-3

Beim Anprall erfährt die Brückenkonstruktion im Schnitt 3-3 entweder eine Horizontalkraftbeanspruchung, eine Biegebeanspruchung oder eine kombinierte M/N-Beanspruchung. Im Fall der Normalkraftbeanspruchung darf diese nur so groß sein wie die Zugkrafttragfähigkeit der Kappenanschlussbewehrung von $2 \text{ } \varnothing 12/40 \text{ cm}$. Sie beträgt $n_{RK} = 283 \text{ kN/m}$.

Im Fall einer Biegebeanspruchung bzw. einer kombinierten Moment-Normalkraft-Beanspruchung nimmt die Kappenanschlussbewehrung die Zugkräfte unter gleichzeitiger Ausbildung einer Betondruckzone im unteren Bereich des Gesimbsbalkens auf. Die Beanspruchbarkeit ist dabei von der Größe der Normalkraftbeanspruchung und der Kragarmhöhe im Schnitt 3-3 abhängig. Mit zunehmendem Normalkraftanteil steigt die Beanspruchbarkeit in dem Maße an, wie sich die Nulllinie verschiebt. Bei steigender Kragarmhöhe nimmt die Beanspruchbarkeit m_{RK} wegen der größeren statischen Nutz-

höhe überproportional zu. Gemäß ZTV-ING [8] muss die Kragarmhöhe mindestens 25 cm betragen. Bei älteren Brücken kann das Maß aber auch geringer sein.

4.1.4 Schnitt 4-4

Wie in Kapitel 3.1.2 erläutert, hängt die Beanspruchbarkeit der Kappen im Befestigungsbereich der Schutzeinrichtung maßgeblich von der gewählten Verankerungsart ab. Eine allgemeingültige Aussage zur Beanspruchbarkeit ist deshalb nicht möglich.

4.2 Beanspruchbarkeit der Brückenkragarme im Schnitt 5-5

4.2.1 Schlaff bewehrte Brückenkragarme

Der Abschätzung der Beanspruchbarkeit bestehender Brückenkragarme liegen die Untersuchungen in [13] zugrunde. Sie hängt von verschiedenen Parametern ab. Diese sind:

- die obere Bewehrungsmenge und der Bewehrungsdurchmesser,
- die untere Bewehrungsmenge und der Bewehrungsdurchmesser,
- die Betondruckfestigkeit,

- das Verhältnis Dicke Kragarmspitze (d_1) im Schnitt 3-3 zu Dicke Kragarmschnitt (d_3) im Schnitt 5-5,

Grundsätzlich ist die Biegebeanspruchbarkeit M_{RK} um die Brückenlängsachse maßgebend dafür, welche Einwirkungen aufnehmbar sind. Der Normalkrafteinfluss N ist nach [7] nur von untergeordneter Bedeutung.

In Bild 23 ist die Momentenbeanspruchbarkeit in Abhängigkeit der Bewehrungsdichte für verschiedene Dicken des Kragarmschnitts dargestellt.

In Bild 24 ist die konkrete Beanspruchbarkeit für die Randbedingungen

- Dickenverhältniss $d_1/d_3 = 25/50$ cm,
- Eigengewichte der Brückenkappe, des Kragarms und des Fahrbelages und
- angenommene Anpralllasten von $m = 100$ kNm/m und $h = 70$ kN/m

dargestellt. Es stellt die erforderliche Mindestbewehrung für eine Kragarmlänge von 3,50 m für einen Beton C 30/37 dar. Würde die Bewehrung über das Mindestmaß hinaus erhöht, so wären auch größere Beanspruchungen aufnehmbar. Die erforderliche Querkraftbeanspruchbarkeit kann für übliche Brückenkonstruktionen als gegeben vorausgesetzt werden.

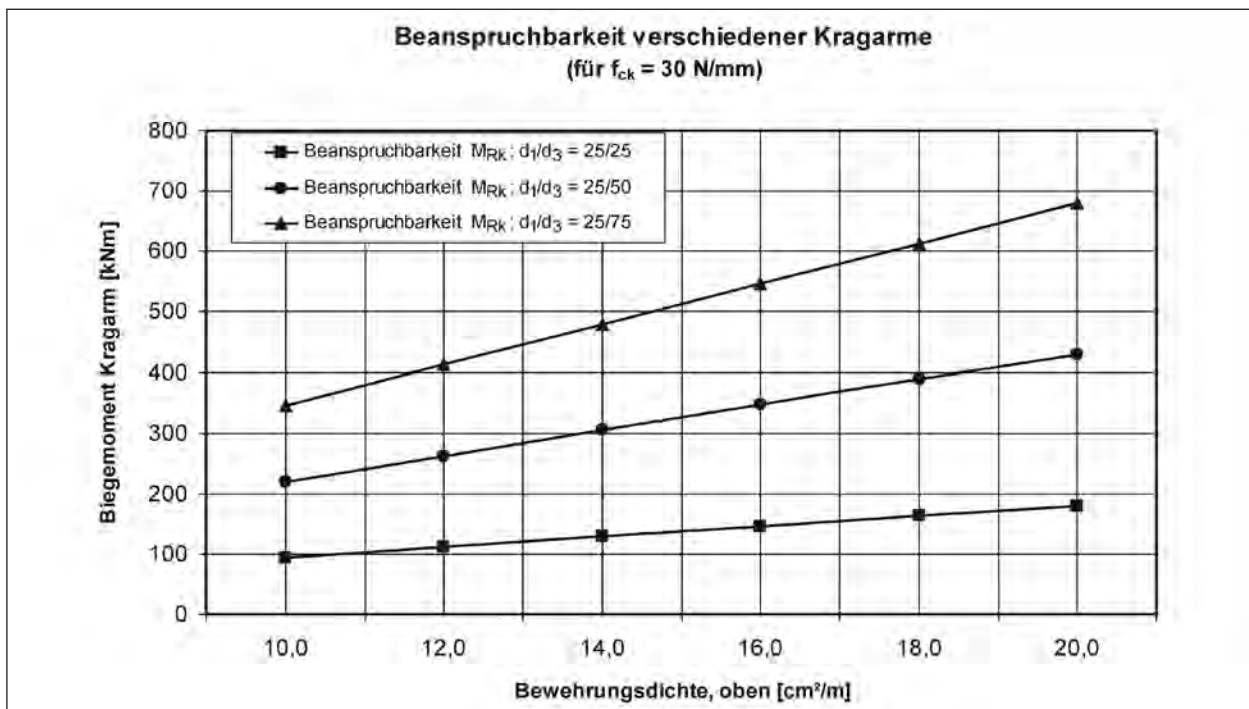


Bild 23: Beanspruchbarkeit M_{RK} Brückenkragarm bei unterschiedlichen Kragarmkonstruktionsformen und Bewehrungsdichten

4.2.2 Vorgespannte Brückenkrägarne

Bei der Betrachtung quer vorgespannter Brücken sind, neben den in Kapitel 4.2.1 genannten Parametern, zusätzlich der Einfluss der Vorspannkraft und die Lage der Vorspannglieder zu beachten. Vergleicht man die Bilder 24 bis 26, so ist der ab-

senkende Einfluss der Vorspannung auf die Beanspruchung M_{Sk} ersichtlich. In den Bildern 25 und 26 wird exemplarisch für eine Krägerlänge von 3,50 m der Zusammenhang zwischen zunehmender Vorspannung und erforderlicher Mindestbewehrung dargestellt. Während die Beanspruchbarkeit bei geringer Vorspannkraft von 500 kN noch etwa

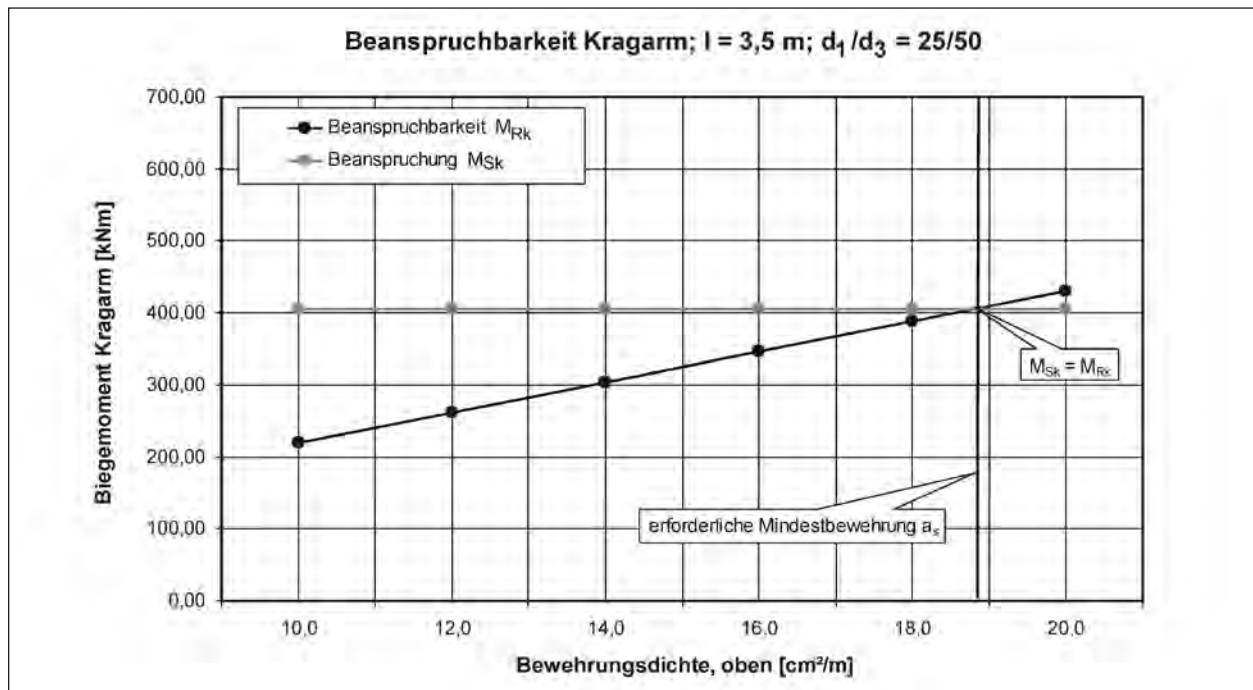


Bild 24: Erforderliche Mindestbewehrung für Brückenkrägarne unterschiedlicher Länge und Dicke – Grenzkriterium für exemplarische Lastfallkombination

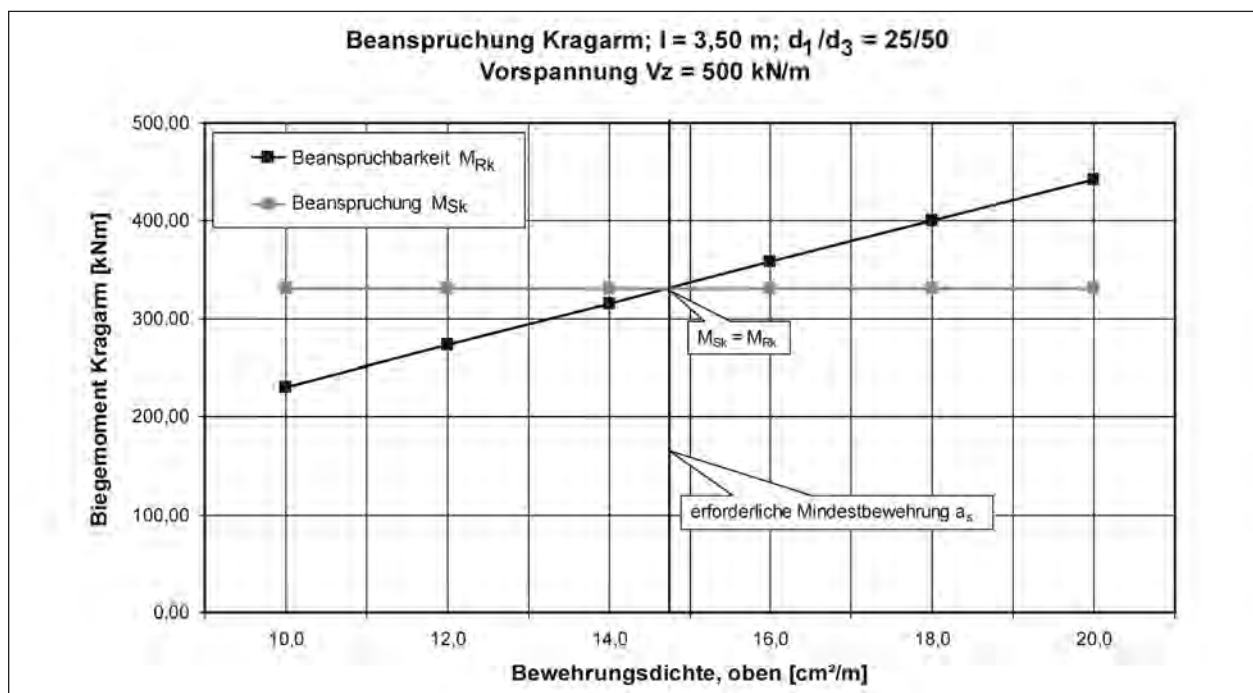


Bild 25: Erforderliche Mindestbewehrung für unterschiedlich vorgespannte Brückenkrägarne, Bsp. Krägerlänge 3,50 m – Grenzkriterium für exemplarische Lastfallkombination

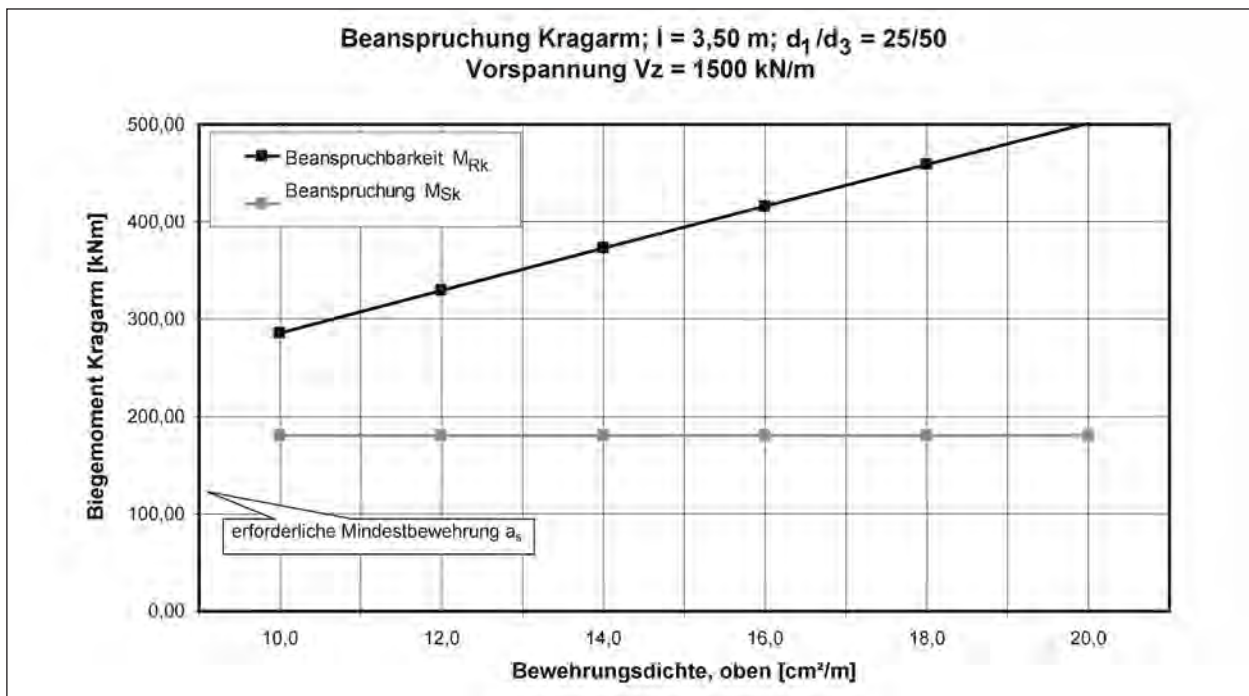


Bild 26: Erforderliche Mindestbewehrung für unterschiedlich vorgespannte Brückenkrägarne, Bsp. Krägerlänge 3,50 m – Grenzkriterium für exemplarische Lastfallkombination

die gleiche ist wie bei einer schlaff bewehrten Brücke, steigt sie mit zunehmender Vorspannkraft an. Bei gleichen geometrischen Abmessungen lassen sich im betrachteten Fall Traglaststeigerungen von ca. 20 % erzielen.

5 Durchgeführte Anprallversuche

5.1 Versuchsablauf

Die Versuche werden von der BAST in Kooperation mit der TÜV Automotive GmbH, die für die technische Durchführung der Versuche verantwortlich ist, auf dem Testgelände (Bild 27) in München-Allach durchgeführt. Der Hersteller baut die zu prüfende Schutzzeineinrichtung auf der Brückenkappen-Konstruktion entsprechend seinen eingereichten Systemzeichnungen unter Aufsicht der BAST auf. Die Schutzzeineinrichtung wird zu Dokumentationszwecken von der BAST vermessen und farblich markiert. Nach Abschluss der Prüfungsvorbereitungen wird der Anprallversuch mit dem leichten Pkw (TB 11) durchgeführt. Für die kontrollierte Bewegung des Testfahrzeugs auf der vorgegebenen Anfahrbahn und die Einhaltung der festgelegten Anprallgeschwindigkeit wird das ECV-System (Electronically Controlled Vehicle) der TÜV Automotive GmbH,



Bild 27: Übersicht Testgelände der TÜV Automotive GmbH, München, mit Lkw am Anprallpunkt

München, verwendet. Das Testfahrzeug wird mit eigener Motorkraft auf die vorgegebene Anprallgeschwindigkeit beschleunigt und während der Beschleunigungsphase durch ein in der Fahrbahn verlegtes stromführendes Kabel kontrolliert geführt und auf der gewählten Anfahrs pur gehalten.

Kurz vor dem Anprallpunkt wird die Verbindung zwischen dem Testfahrzeug und dem ECV-System (Lenkung, Kupplung) gelöst, sodass das Fahrzeug

frei, d. h. ohne Einwirkung einer äußeren Kraft, gegen das System fährt und während des gesamten Anprallvorgangs lediglich durch das zu prüfende System beeinflusst wird. Am Ende der Prüfung (nach dem Abprall) wird das Testfahrzeug ferngesteuert abgebremst.

5.1.1 Anprallversuch TB 11

Bei der Anprallprüfung TB 11 fährt der Pkw (900 kg) unter einem Winkel von 20° und mit einer Geschwindigkeit von 100 km/h gegen die Schutzeinrichtung. Er prallt dann zunächst mit Stoßfänger und linker vorderer Karosserieecke gegen die Schutzeinrichtung, die dem anprallenden Pkw je nach Steifigkeit und Konstruktion mehr oder weniger stark nachgibt. Anschließend wird das Fahrzeug an der Schutzeinrichtung entlang geführt und dabei umgelenkt, wobei die Räder zum Teil den Fahrbahnkontakt verlieren, bis es schließlich zum Abprall kommt. Ein Anprallvorgang vom Typ TB 11 ist exemplarisch als Fotosequenz in Bild 28 dargestellt.

Nach der Anprallprüfung TB 11 werden die Beschädigungen und Verschiebungen an der Schutzeinrichtung und am Fahrzeug von der BASt dokumentiert. Anschließend werden die Beschädigungen am System beseitigt und das System neu ausgerichtet. Danach erfolgt in der Regel die Prüfung mit dem schwereren Fahrzeug.

5.1.2 Anprallversuch TB 81

Bei der Anprallprüfung TB 81 fährt der Sattelzug unter einem Winkel von 20° und mit einer Geschwindigkeit von 65 km/h gegen die Schutzeinrichtung. Er prallt dann zunächst mit Stoßfänger und dem linken Vorderrad gegen die Schutzeinrichtung, die dem anprallenden Lkw (Masse 38 t) je nach Steifigkeit und Konstruktion mehr oder weniger stark nachgibt. In der anschließenden Phase wird das Fahrzeug an der Schutzeinrichtung entlang geführt und dabei umgelenkt. In Abhängigkeit von der Konstruktion der Schutzeinrichtung lehnt sich der Auflieger gegen die Schutzeinrichtung oder schwenkt darüber hinweg und stützt sich auf der Schutzeinrichtung ab. Danach kommt es zum Anprall des Fahrzeughecks an der Schutzeinrichtung. Während des gesamten Vorgangs wird das Fahrzeug umgelenkt und an der Schutzeinrichtung entlang geführt, bis es zum Stillstand oder zum Abprall des Lkw kommt. Ein Anprallvorgang vom Typ TB 81 ist exemplarisch als Fotosequenz in Bild 29 dargestellt.

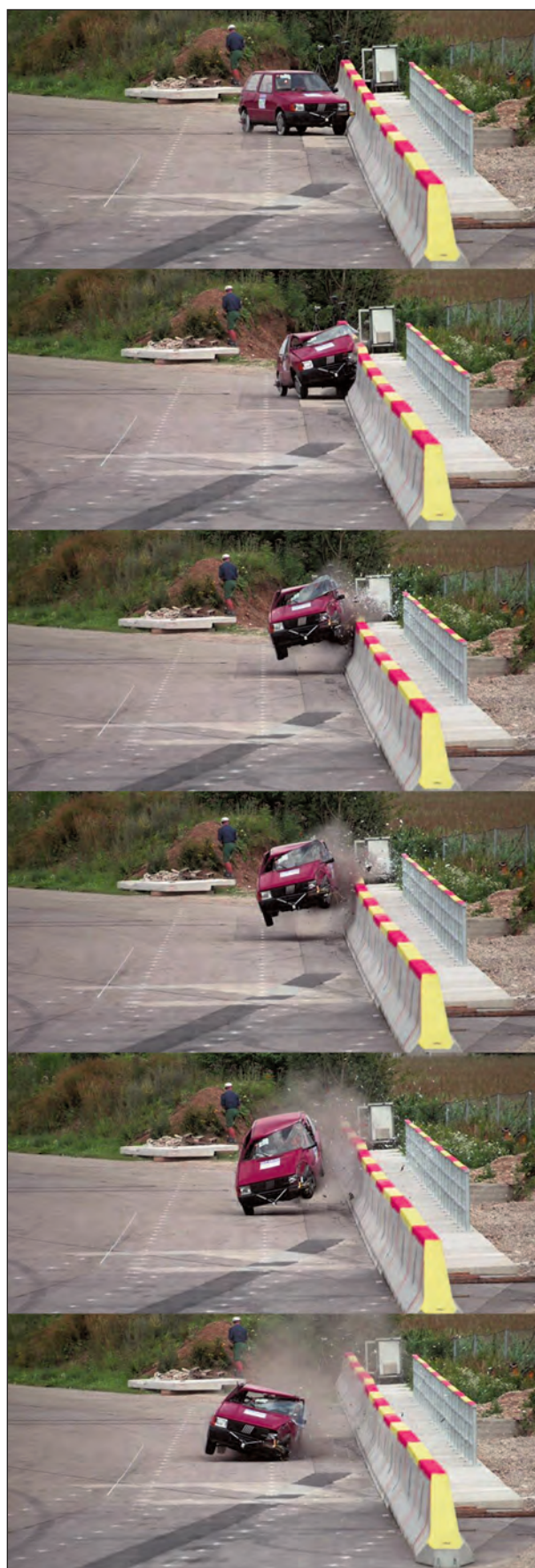


Bild 28: Fahrzeuganprall TB 11



Bild 29: Fahrzeuganprall TB 81

Nach der Anprallprüfung TB 81 werden die Beschädigungen und Verschiebungen an der Schutzeinrichtung und am Fahrzeug dokumentiert.

5.2 Kraftmessungen

5.2.1 Allgemeines

Entsprechend der Beschreibung in Kapitel 5.1 fand eine Anprallprüfung an einer Betonschutzwand zur Erlangung der Aufhaltestufe H4b statt. Diese Prüfung wird bezüglich der auftretenden Kräfte im Folgenden exemplarisch diskutiert. Eine vergleichende und abschließende Bewertung kann erst zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen, wenn die Ergebnisse weiterer Prüfungen vorliegen.

Während des Anprallvorgangs des Lkw (Typ TB 81) erfolgte eine Messung der auftretenden Kräfte. Wie in Kapitel 3.3.2 beschrieben, wurden die Kräfte in der Kappenanschlussbewehrung und in den Augenstäben der Konsolaufhängung erfasst. Die in den Grafiken (Bilder 33 bis 36) dargestellten Messwerte können mittels der Bilder 30 bis 32 den jeweiligen Messstellen zugeordnet werden.

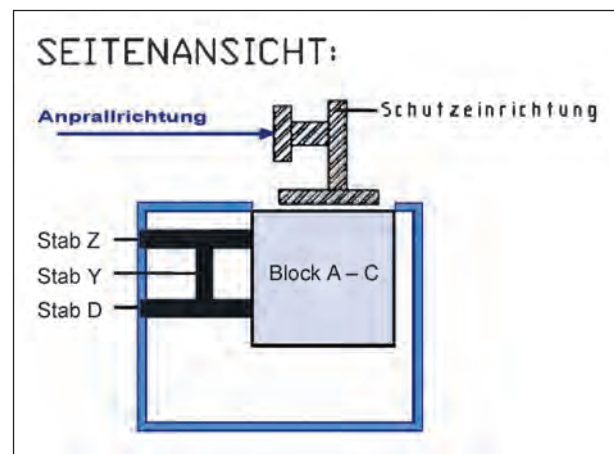


Bild 30: Übersicht der Messpunkte je Konsolaufhängung

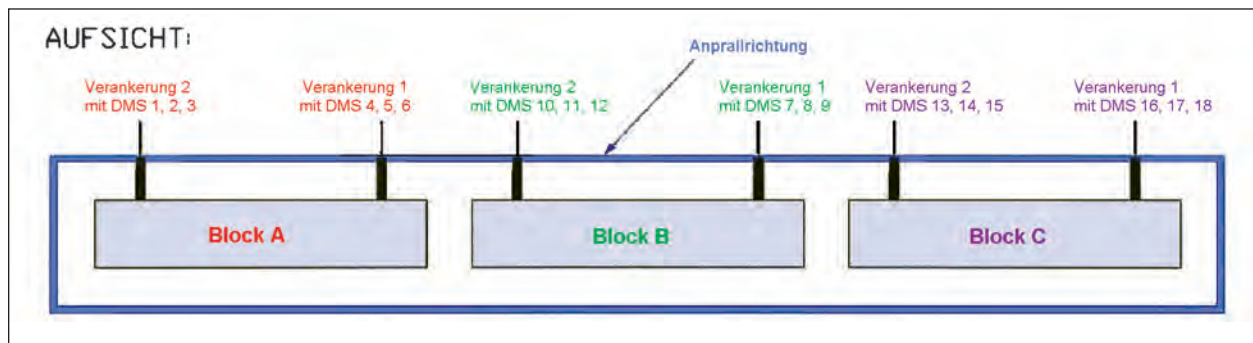


Bild 31: Übersicht der Messpunkte an den Augenstäben der Konsolaufhängungen

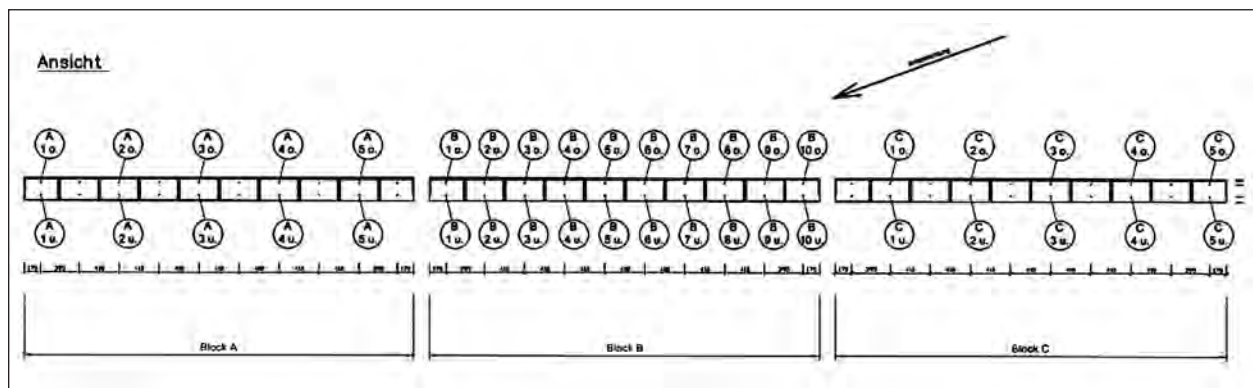


Bild 32: Übersicht der Messpunkte an der Kappenanschlussbewehrung (Rückansicht)

5.2.2 Messung an der Kappenanschlussbewehrung

Die Bilder 33 bis 36 zeigen die Kraftverläufe in der Kappenanschlussbewehrung während des Anprallvorgangs. Zum besseren Verständnis der Ergebnisse sind in den oberen Bereichen der Grafiken die Streckgrenze ($F_{yk} = 56,5 \text{ kN}$) und die Zugfestigkeit ($F_{uk} = 62,2 \text{ kN}$) eines Bewehrungsstabs der Kappenanschlussbewehrung ($\varnothing 12 \text{ mm}$) eingetragen. Bei dieser Schutzeinrichtung liegen die auftretenden Kräfte weit unter der Beanspruchbarkeitsgrenze. Die Erkenntnisse aus der Durchführung von Anprallprüfung anderer Schutzeinrichtungen zeigen aber, dass diese Werte von dem jeweiligen System und dessen Wirkungsweise abhängig sind. Sie können auch deutlich höher liegen und die Zugfestigkeit des Betonstahls übersteigen.

In Bild 36 sind exemplarisch die Summenlinien der im Block B über eine Länge von 4 m auftretenden Horizontalkräfte in der Kappenanschlussbewehrung dargestellt. Die Summenlinie resultiert aus zehn oberen (blaue Linie) und zehn unteren Bewehrungsstäben (violette Linie). Es gibt Bereiche,

in denen die Linien relativ deckungsgleich verlaufen, und es gibt Bereiche, in denen die Linien einen großen Abstand aufweisen. In dem ersten Fall bedeutet das, dass die Anschlussbewehrung etwa gleich beansprucht wird und somit nur Horizontalkräfte auf die Kappe einwirken. In dem anderen Fall werden die Kräfte überwiegend durch die oberen bzw. unteren Bewehrungsstäbe aufgenommen, was eine Biegebeanspruchung voraussetzt. Eine Biegebeanspruchung tritt dann auf, wenn sich der Lasteinleitungsbereich im oberen Teil der Schutzeinrichtung befindet. Bei Anprallprüfungen mit Sattelzügen geschieht das i. d. R. beim Anprall des hinteren Teils des Sattelauflegers an die Schutzeinrichtung. Durch das Aufgleiten des Auflegers stützt sich dieser im oberen Bereich der Betonschutzwand ab und erzeugt durch den größeren werdenden Hebelarm eine Rotationsbeanspruchung um die Brückenlängsachse. Dieses grundsätzliche Verhalten des Auflegers tritt i. d. R. bei allen TB-81-Prüfungen auf und ist unabhängig vom Material der Schutzeinrichtung.

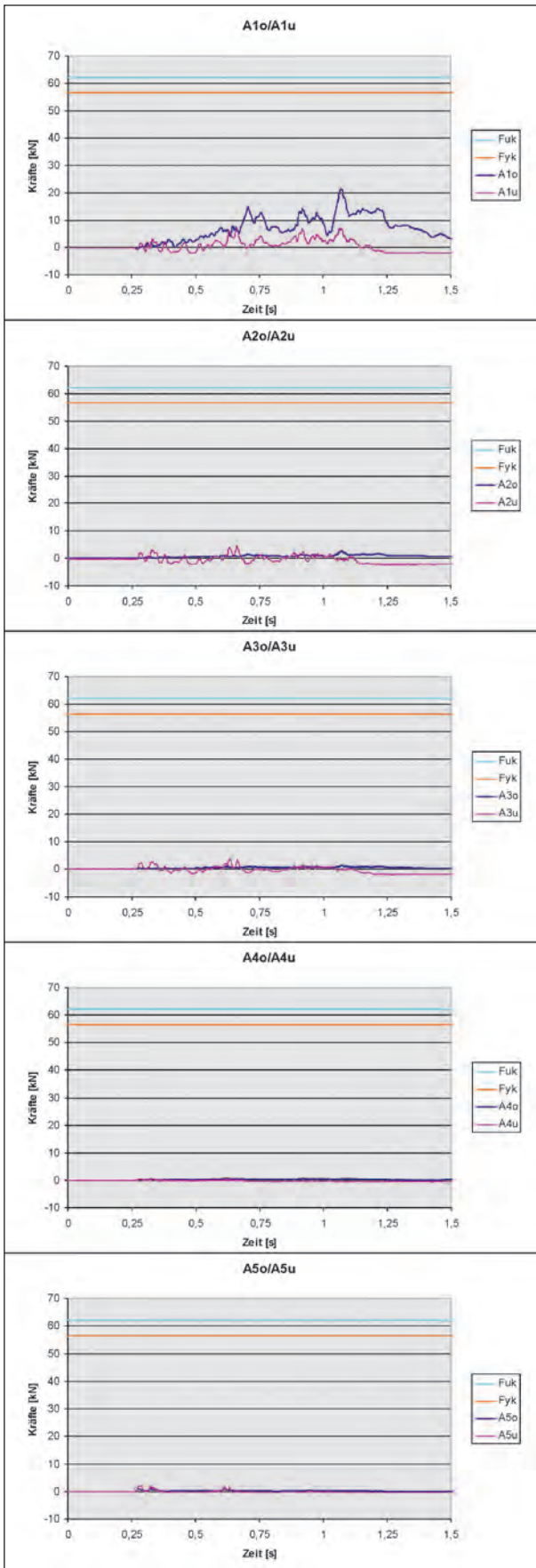


Bild 33: Kraftmesswerte der Kappenanschlussbewehrung im Block A

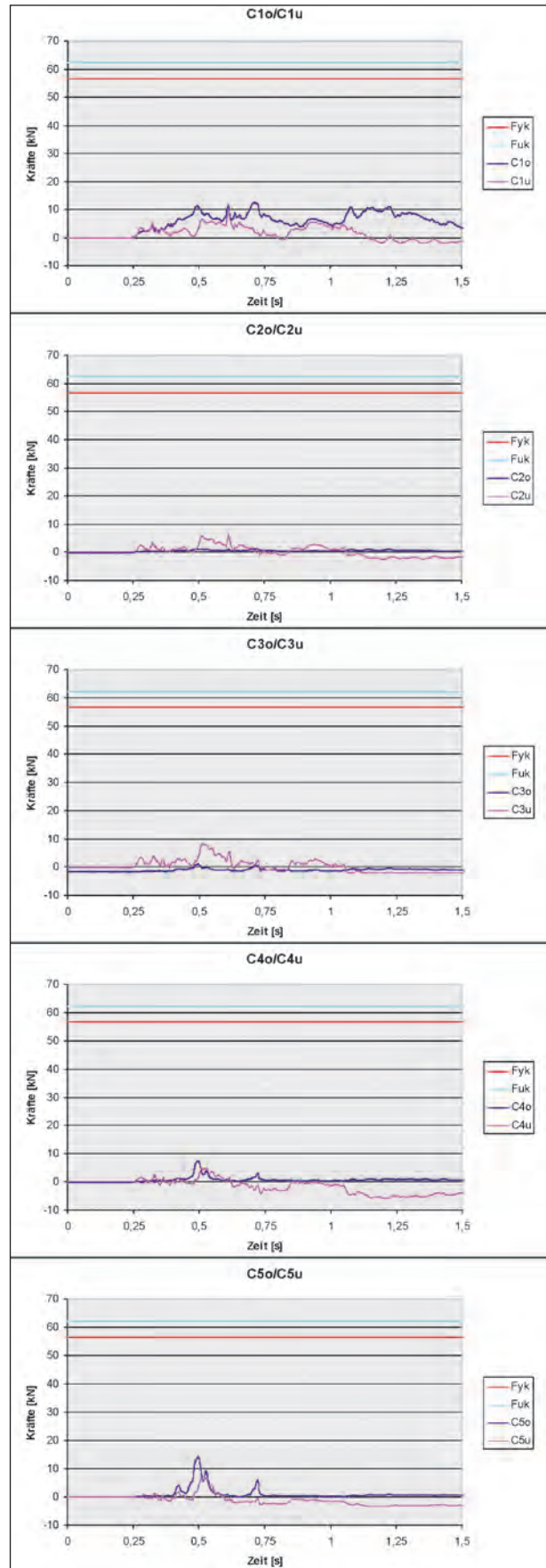


Bild 34: Kraftmesswerte der Kappenanschlussbewehrung im Block C

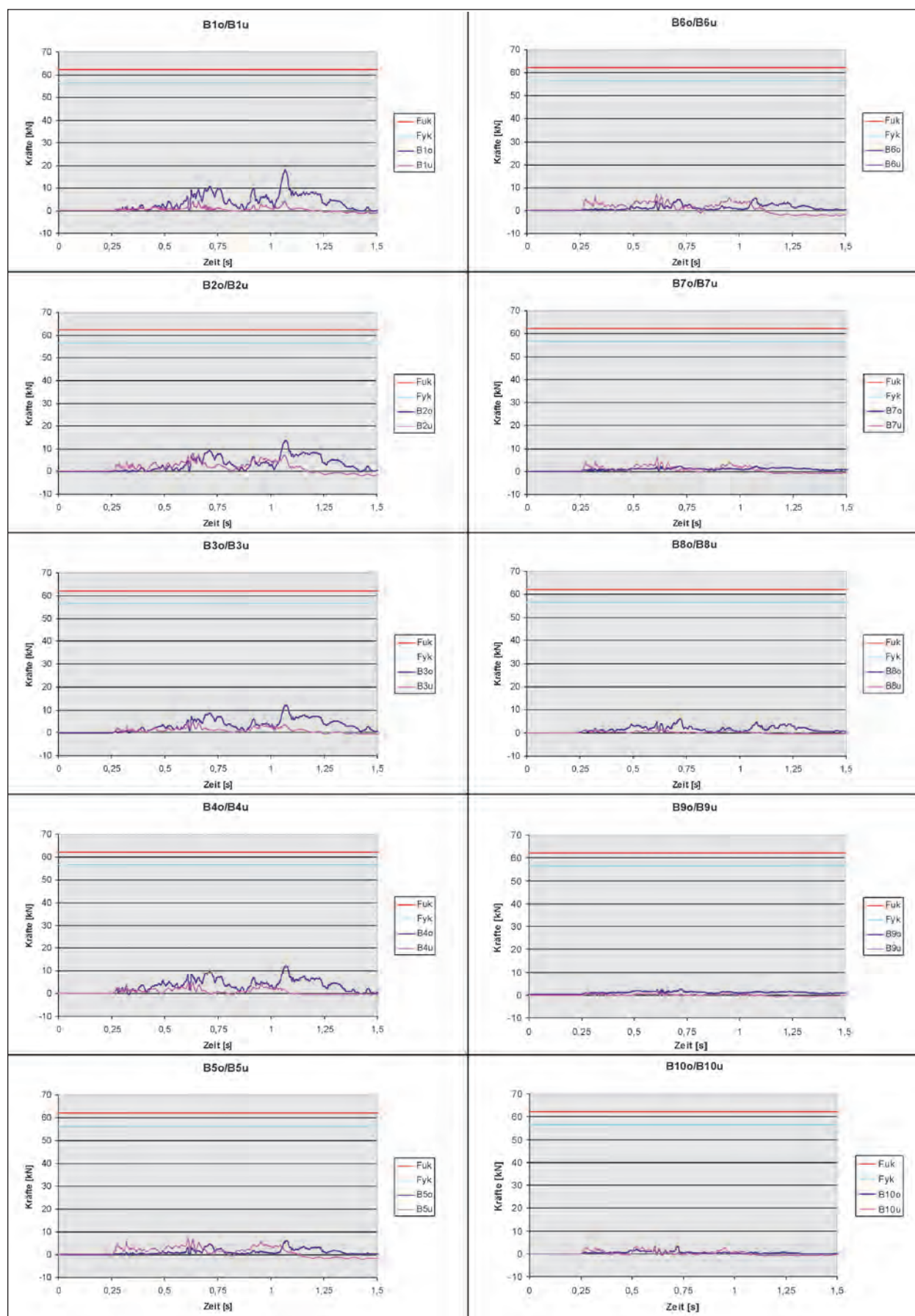


Bild 35: Kraftmesswerte der Kappenanschlussbewehrung im Block B

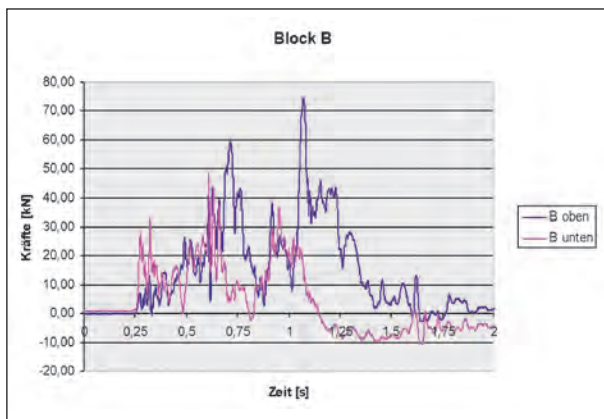


Bild 36: Summenlinie der Kraftmesswerte der Kappenanschlussbewehrung im Block B

5.2.3 Messung an der Konsolaufhängung

Die Messung der Kräfte an der Konsolaufhängung erfolgt wie in Kapitel 3.3.2 beschrieben mittels Dehnungsmessstreifen an den insgesamt 18 Augenstäben. Beginnend aus der in Fahrtrichtung gesehen ersten Konsole (Block C, Verankerung 1) nehmen die Kräfte bis hin zur vorderen Aufhängung der letzten Konsole (Block A, Verankerung 2) zu. Bei diesem Beispiel erreichen sie dort ihren Höchstwert und beginnen danach wieder leicht abzufallen (siehe Bild 37 sowie Bilder 38 bis 40). Zur besseren Übersicht sind in Bild 37 für den Zeitpunkt der maximalen Beanspruchung, $t = 1,067$ Sekunden, die Biegemomente an den jeweiligen Konsolaufhängungen dargestellt. Es zeigt, dass der Spitzenwert erfasst wurde und in der vorletzten Konsolaufhängung auftritt.

Bei Anprallprüfungen mit einem Sattelzug tritt die höchste Kraftspitze an der Konsolaufhängung, ebenso wie bei der Kappenanschlussbewehrung, dann auf, wenn der Sattelaufleger mit seinem hinteren Bereich in die Schutzeinrichtung prallt.

Dies ist darin begründet, dass eine Schutzeinrichtung durch den Erstanprall des Führerhauses und ggf. auch der vorderen Kante des Sattelauflegers bereits eine Verschiebung erfahren hat. Da das Heck des Sattelauflegers im Regelfall in dem vorverformten Bereich anprallt, kann die Energie nicht mehr in dem Maße wie zuvor durch Verschiebung und Deformation abgebaut werden. Es kommt daher zu einem heftigen Schlag, der dazu führt, dass der Aufleger an der Schutzeinrichtung aufsteigt. Dies führt zu einer vertikalen Reaktionskraft, die auf die Brücke einwirkt. Zum anderen steigt dabei durch den aufsteigenden Lastan-

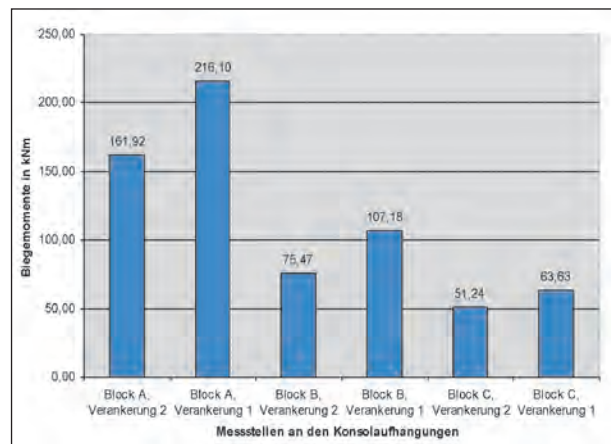


Bild 37: Biegebeanspruchung in den jeweiligen Konsolaufhängungen zum Zeitpunkt $t = 1,067$ s (Bezugspunkt 1)

griffpunkt zusätzlich das Biegemoment in hohem Maße an.

Aus den Messungen lässt sich auch ableiten, wie die Horizontalkraft abgetragen wird. In Bild 36 ist die Summenlinie der an der Kappenanschlussbewehrung gemessenen Horizontalkräfte dargestellt. Der Maximalwert in den oberen Stäben von 74,7 kN tritt zum Zeitpunkt $t = 1,0726$ Sekunden auf. Der zugehörige Wert in den unteren Stäben beträgt 15,1 kN, sodass in der Summe eine Horizontalkraft in der Kappenanschlussbewehrung im Block B von 89,8 kN auftritt. Der zeitgleich gemessene Wert der Horizontalkräfte in den tieferliegenden Augenstäben der Konsolaufhängung beträgt aber 118,5 kN (Bild 43). Es ergibt sich eine Differenz von 28,7 kN, was bedeutet, dass durch die Kappenanschlussbewehrung nur ca. 70 % der insgesamt auftretenden Horizontalkräfte übertragen werden müssen. Die restlichen ca. 30 % werden über Reibung zwischen der Brückenkappe und dem Brückenüberbau übertragen, obwohl beide wie im realen Brückenbau durch eine aufgeklebte Bitumenschweißbahn getrennt sind. Bei der Prüfung der hier exemplarisch diskutierten Schutzeinrichtung herrschten sommerliche Temperaturen, sodass die vorhandene Bitumenschweißbahn wegen ihres viskoelastischen Materialverhaltens keine hohe Scherfestigkeit aufweisen kann. Eine Übertragung der Horizontalkräfte über Reibung ist daher nur dann möglich, wenn gleichzeitig eine entsprechend hohe Auflast wirkt. Die hohe Auflast wiederum kann nur aus den Reifen des Lkw resultieren, da dieser sich beim Anprallvorgang zur Schutzeinrichtung neigt. Die fahrbahnzugewandten Reifen verlieren beim Anprallvorgang den Bodenkontakt. Die anderen Reifen tragen zu diesem

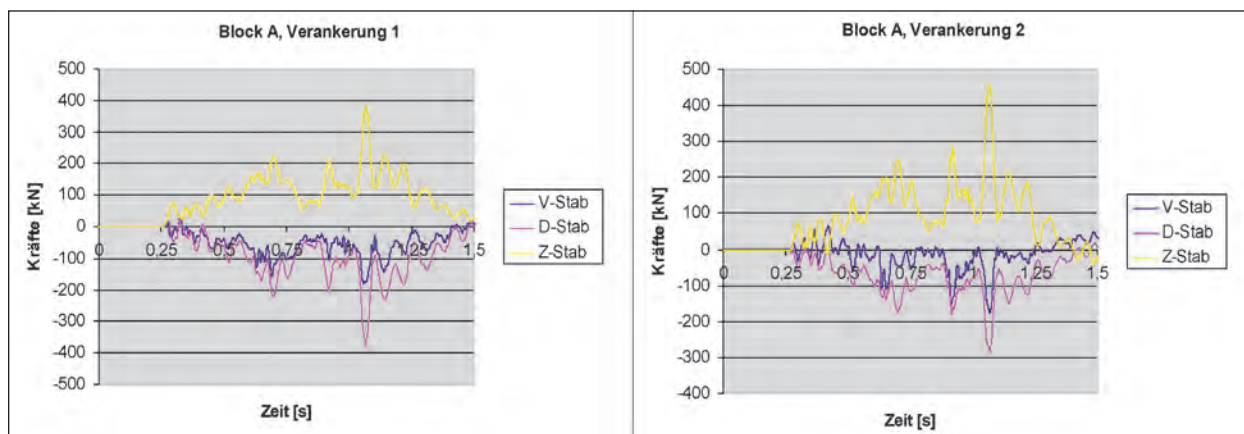


Bild 38: Kraftmesswerte der Konsolaufhängung im Block A

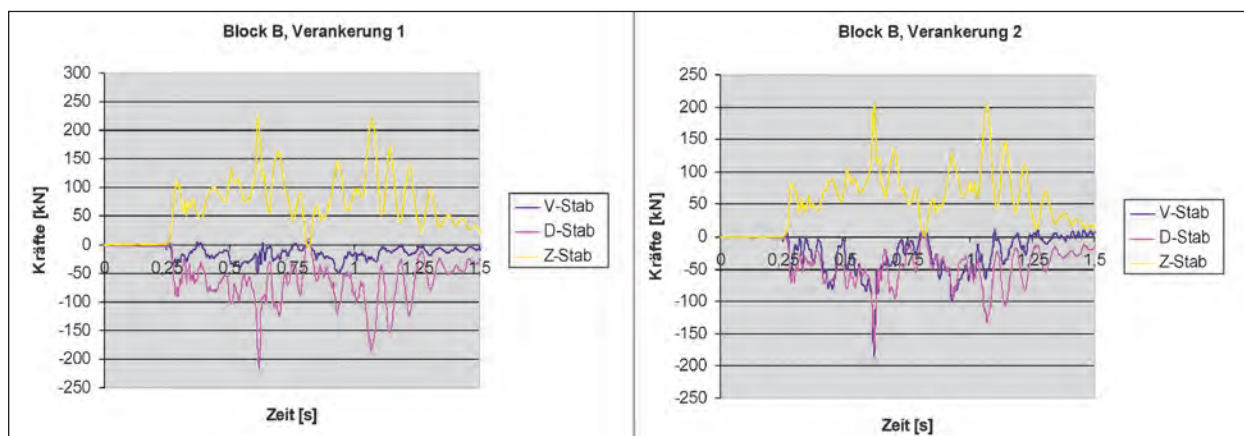


Bild 39: Kraftmesswerte der Konsolaufhängung im Block B

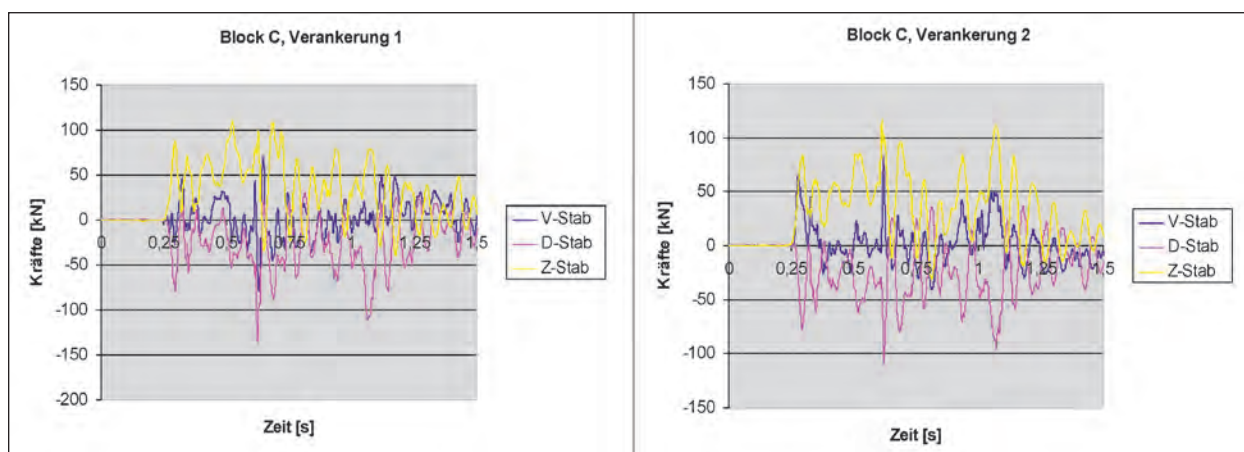


Bild 40: Kraftmesswerte der Konsolaufhängung im Block C

Zeitpunkt die Gesamtlast des Lkw und erzeugen dabei eine sehr große Auflast auf die Brückenkappe. Bedingt durch den Umlenkvorgang reiben die Reifen zeitgleich auf der Betonkappe und übertragen dabei Horizontalkräfte in das Brückenbauwerk. Diese so über Reibung eingetragenen Kräfte entsprechen dem zuvor genannten Differenzbe-

trag von ca. 30 % der Horizontalkräfte. Dieser Energieanteil braucht somit nicht von der Schutzeinrichtung aufgenommen zu werden.

5.3 Festlegung der charakteristischen Einwirkungsgrößen

Nach DIN-Fachbericht 101 „Einwirkungen“ [15] sind Anpralllasten an Rückhaltesysteme den außergewöhnlichen Einwirkungen zuzuordnen. Der Teilsicherheitsbeiwert für außergewöhnliche Einwirkungen beträgt nach DIN-Fachbericht $\gamma_A = 1,0$. Nach Eurocode 1 [18] wird für eine außergewöhnliche Einwirkung eine charakteristische Last als Nennwert festgelegt. Die Festlegung soll so erfolgen, dass bei einem Anprallereignis möglichst keine Schäden an dem Bauwerk entstehen. Andererseits soll der Wert aber auch wirtschaftlich vertretbar sein, um die Kosten sowohl beim Brückenneubau wie auch bei Instandsetzungsmaßnahmen in einem

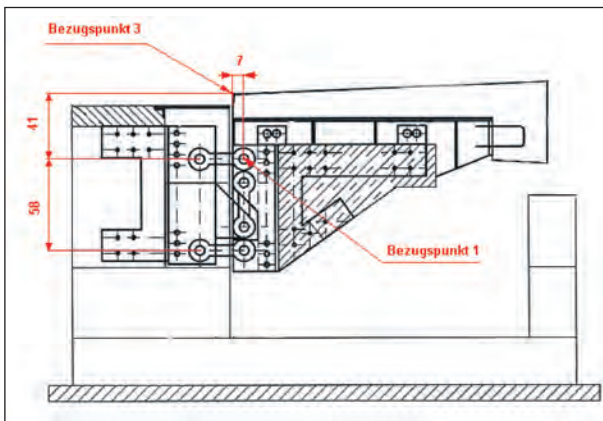


Bild 41: Lage der Bezugspunkte bei der Berechnung der Biegemomente

vertretbaren Rahmen zu belassen. Für die Festlegung von Werten für ein Fahrzeurückhaltesystem stehen aber nur die Messungen eines Einzelereignisses, der Anprallprüfung, zur Verfügung. Die Anwendung statistischer Verfahren ist somit nicht möglich. Um dennoch eine sinnvolle Festlegung treffen zu können, werden die Messwerte gemeinsam mit den Widerstandswerten der Festigkeiten des Fahrzeurückhaltesystems und der Verankerung betrachtet. Eine große Aussagekraft weisen Elemente auf, die planmäßig versagen, weil dann i. d. R. keine Laststeigerung mehr möglich ist.

Aus den gemessenen Stabkräften lassen sich durch Berechnung die Schnittgrößen ermitteln. Bildet man die Summe der Kräfte, die in den beiden horizontalen Stäben einer Aufhängung gemessen werden, so erhält man die beim Anprallvorgang einwirkende Horizontalkraft. Die einwirkende Vertikalkraft ist gleich der im vertikalen Augenstab gemessenen Kraft. Für die Berechnung des auf die Konsole einwirkenden Biegemoments wird als Bezugspunkt der Schnittpunkt der beiden Wirkungslinien des vertikalen Augenstabs mit der des oberen horizontalen Augenstabs gewählt (Bezugspunkt 1). Das Biegemoment ergibt sich aus dem Produkt, gebildet aus der im unteren Augenstab gemessenen Kraft multipliziert mit dem Abstand des unteren Augenstabs vom gewählten Bezugspunkt 1 (s. Bild 41).

Die aus einer Anprallprüfung ermittelten Einwirkungen gelten immer nur für den Fall, dass die Schutz-

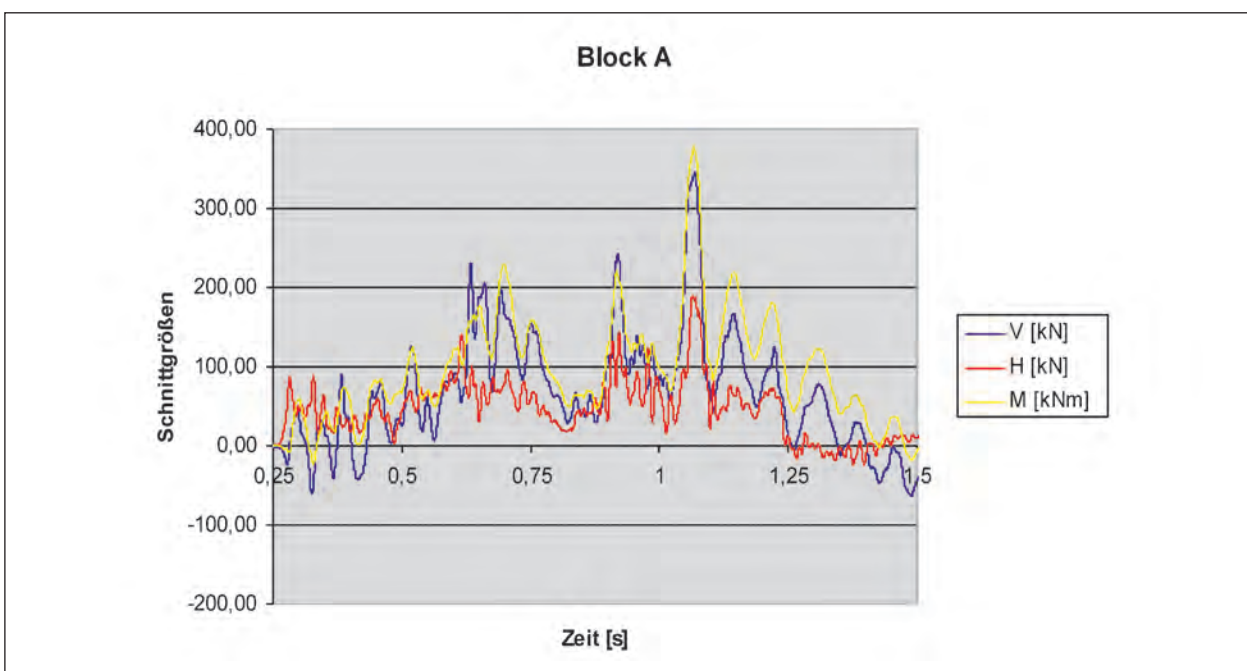


Bild 42: Schnittgrößen der gesamten Kragplatte Block A (Bezugspunkt 1)

einrichtung im Praxiseinsatz in gleicher Weise und Anordnung aufgebaut wird wie bei der Anprallprüfung. Anderenfalls muss für die Beurteilung der Kraftwerte eine erneute Betrachtung durchgeführt werden. Die hier behandelte Betonschutzwand wird so aufgebaut, dass die Vorderkante der Betonschutzwand bündig mit der Schrammbordkante abschließt. Stünde die Schutzeinrichtung 50 cm von der Schrammbordkante zurückversetzt, so würden sich bei dieser Schutzeinrichtung die im Folgenden angegebenen Werte der Biegebeanspruchung aufgrund der veränderten Hebelarme um ca. 25 % erhöhen.

Die größten Schnittgrößen treten in der in Fahrtrichtung gesehenen dritten Konsole (Block A, 4 m lang) zum Zeitpunkt 1,067 Sekunden auf (siehe Bilder 37 und 42). Bild 45 zeigt die Addition der in den letzten beiden Konsolen (Block A + B, 8 m lang) wirkenden Schnittgrößen.

Im Bild 46 wird die Addition der auf alle drei Konsolen (Block A + B + C, 12 m lang) einwirkenden Schnittgrößen in einem Schnittgrößen-Zeit-Diagramm dargestellt. Auch bei den Summenlinien tritt die größte Momentenbeanspruchung zum Zeitpunkt 1,067 Sekunden auf. Bei dieser Schutzein-

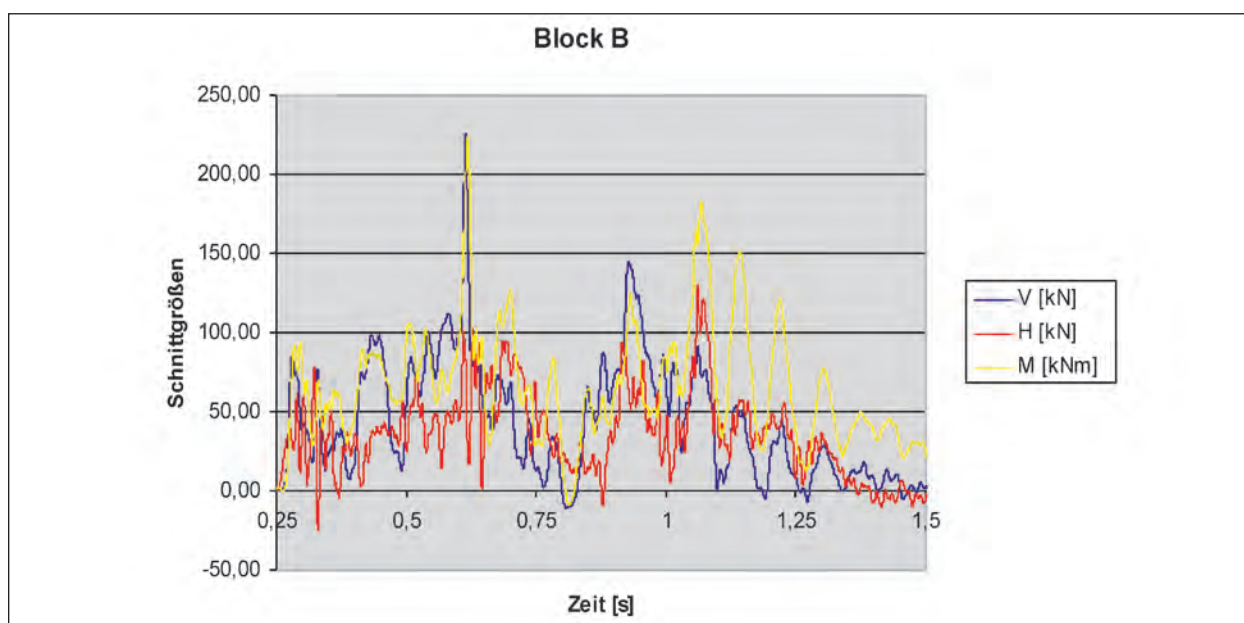


Bild 43: Schnittgrößen der gesamten Kragplatte Block B (Bezugspunkt1)

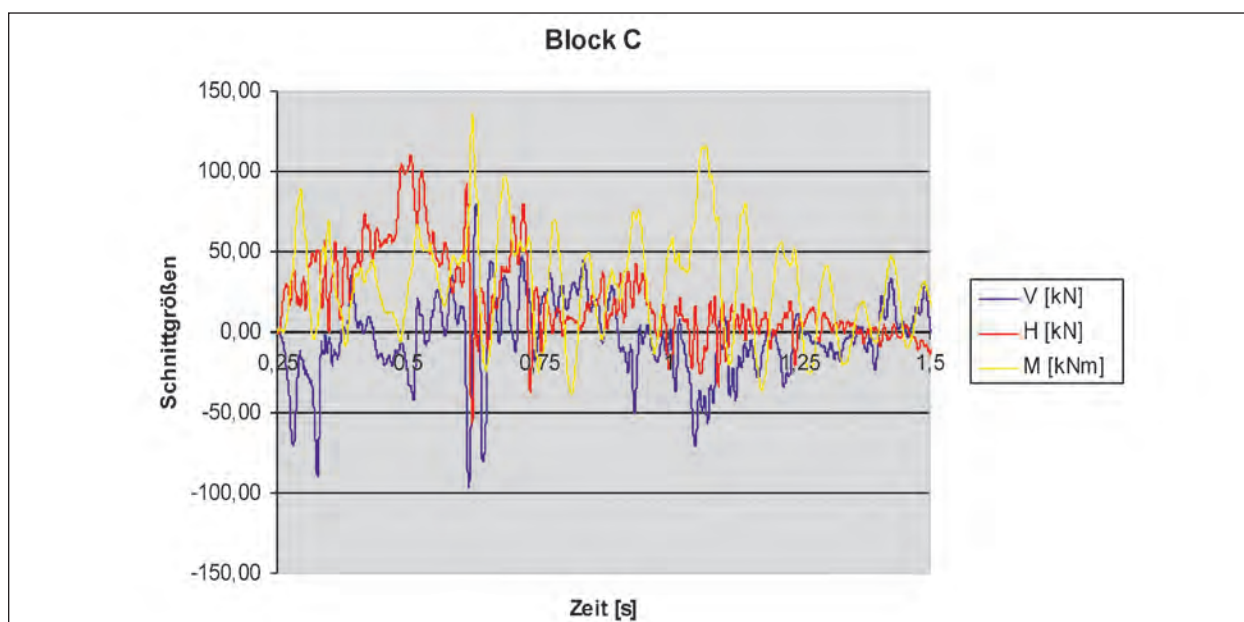


Bild 44: Schnittgrößen der gesamten Kragplatte Block C (Bezugspunkt 1)

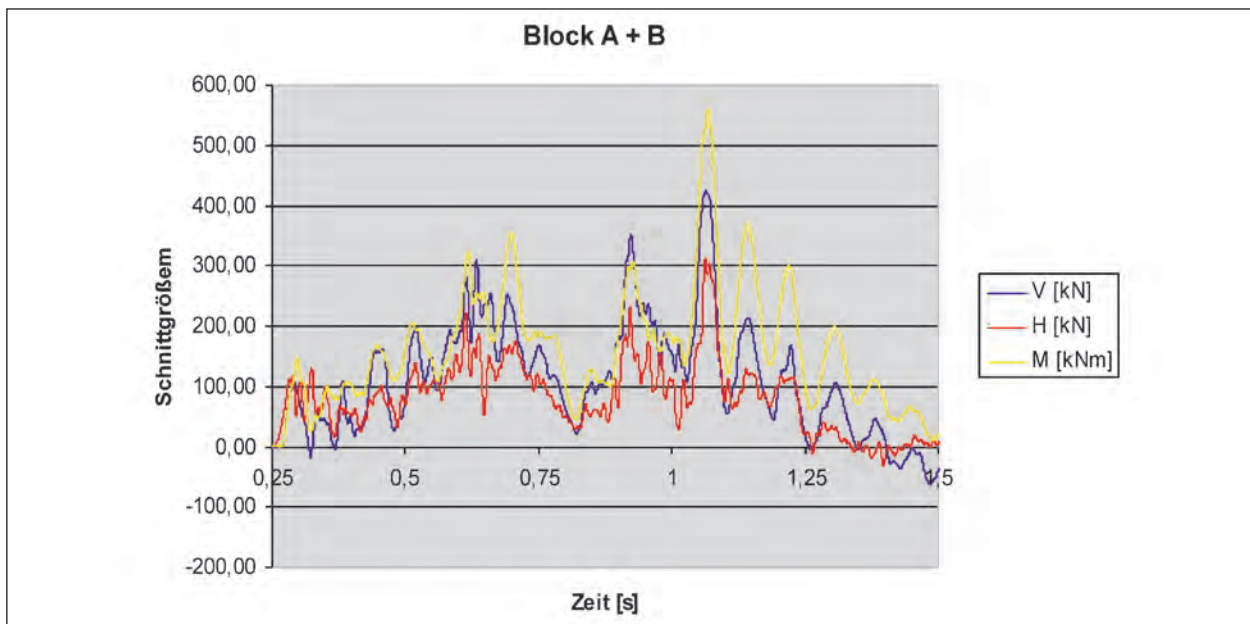


Bild 45: Summenlinien für die Schnittgrößen der beiden Kragplatten Block A und B (Bezugspunkt 1)

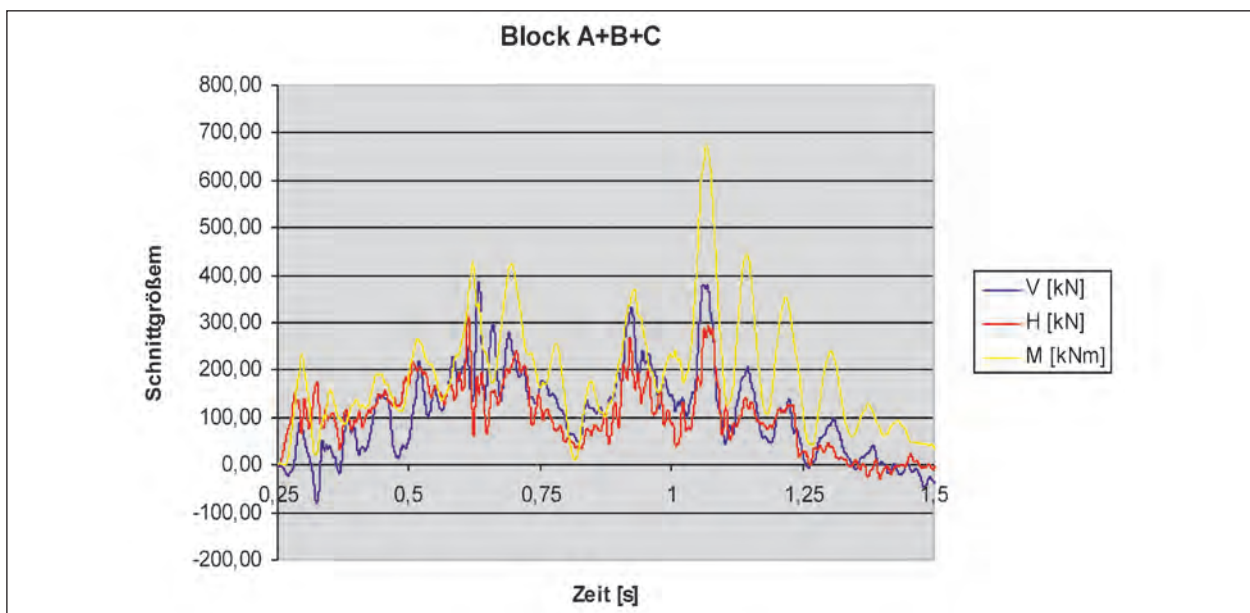


Bild 46: Summenlinien für die Schnittgrößen aller Kragplatten Block A, B und C (Bezugspunkt 1)

richtung treten die Maximalwerte der drei Schnittgrößen Biegemoment, Horizontalkraft und Vertikalkraft nahezu zeitgleich auf (Bilder 46 und 47 sowie Tabelle 5). Die Erkenntnisse aus anderen Versuchen zeigen, dass die Maximalwerte auch zeitlich versetzt auftreten können.

Maßgebend für die Tragfähigkeit einer Brücke ist die Momentenbeanspruchung. Die anderen beiden Schnittgrößen Vertikal- und Horizontalkraft sind dabei von nachrangiger Bedeutung. Zur besseren Praxisverwendbarkeit werden die auftretenden Momente auf den Bezugspunkt 3 umgerechnet (siehe

Bild 41). Sie betragen nach Tabelle 5 bei dieser Betonschutzwand für den Block A = 327 kNm, für Block A und B = 473 kNm und für Block A, B und C gemeinsam = 591 kNm.

Bei der Festlegung der charakteristischen Werte der Einwirkungen sind die Beanspruchungen im Block A maßgebend, da dort die höchsten Werte gemessen wurden. Diese Werte treten auf einer Länge von 4 m auf. Da es sich bei einer Anprallprüfung um ein singuläres Ereignis handelt, soll durch einen Sicherheitszuschlag eine mögliche Streuung der Messwerte berücksichtigt werden.

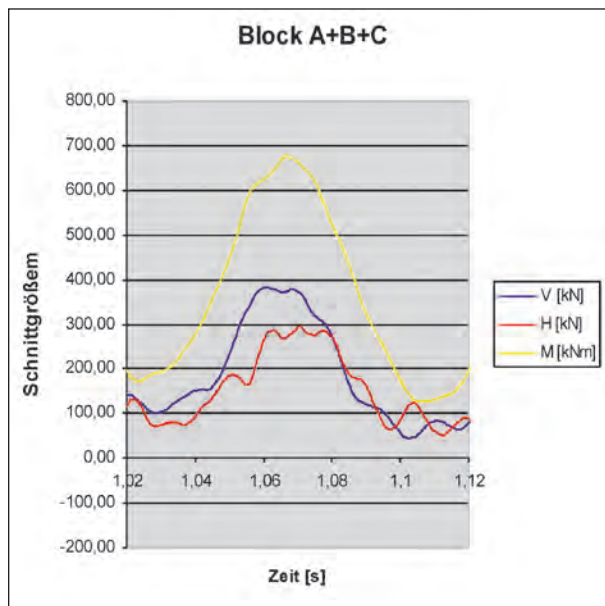


Bild 47: Fahrzeuganprall TB 81 (Bezugspunkt 1)

Umrechnung auf Bezugspunkt 3: $M_{\max M,V,H} = M - H \cdot 0,41 + V \cdot 0,07$					
Beanspruchung des Blocks A					
	Bezugspunkt 1				Bezugspunkt 3
	t [s]	V [kN]	H [kN]	M [kNm]	M_{\max} [kNm]
max M	1,0668	342,57	183,26	378,02	327
max H	1,0633	337,20	189,61	368,67	315
max V	1,068	346,97	182,28	377,17	327
Beanspruchung der Blöcke A + B					
	Bezugspunkt 1				Bezugspunkt 3
	t [s]	V [kN]	H [kN]	M [kNm]	M_{\max} [kNm]
max M	1,067	416,66	286,15	560,95	473
max H	1,0628	424,96	312,01	530,38	432
max V	1,0634	426,42	309,08	535,19	438
Beanspruchung der Blöcke A + B + C					
	Bezugspunkt 1				Bezugspunkt 3
	t [s]	V [kN]	H [kN]	M [kNm]	M_{\max} [kNm]
max M	1,0667	373,23	268,96	675,53	591
max H	0,6132	219,34	313,58	358,01	245
max V	0,6329	386,36	147,88	340,54	307

Tab. 5 : Ermittlung des maximalen Biegemoments für den Bezugspunkt 3

Dabei wird für das Biegemoment und die Vertikalkraft ein Sicherheitszuschlag von ca. 20 % berücksichtigt. Lediglich bei der Horizontalkraft wird der höchste gemessene Wert aus Block A und B gemeinsam berücksichtigt, der auf einer Länge von 8 m auftritt. Da auch Horizontalkraftanteile, wie in Kapitel 5.2 beschrieben, über Reibung übertragen werden, wird somit dem viskoelastischen

Materialverhalten der Bitumschweißbahn bei den höheren Temperaturen bei der Anprallprüfung Rechnung getragen. Die in der zuvor genannten Weise erhöhten Messwerte werden anschließend auf praxistaugliche Werte gerundet.

Resultierend aus diesen Überlegungen wird vorgeschlagen, als charakteristische Last der Einwirkung für die betrachtete Schutzeinrichtung ein Biegemoment von 400 kNm auf eine Länge von 4,0 m anzusetzen. Die Last ist damit stärker konzentriert, als sie bei der Anprallprüfung gemessen wurde. Damit ist auch die über 12 m Länge gemessene Biegebeanspruchung von 591 kNm erfasst. Diese Last deckt die Beanspruchung durch einen 38-t-Sattelzug ab. Größere Lasten können jedoch nicht ausgeschlossen werden. Der Ansatz höherer Lasten ist aus wirtschaftlichen Gründen aber wenig sinnvoll, da Unfälle mit sehr schweren Lkw auf Brücken selten sind. Ein Anprall unter noch ungünstigeren Bedingungen als im Versuch ist demzufolge als äußerst unwahrscheinlich einzuschätzen.

Für diese betrachtete Schutzeinrichtung wird als Folge der durchgeführten Messungen und aus den zuvor genannten Überlegungen vorgeschlagen, folgende Werte als charakteristische Einwirkungsgröße festzulegen:

- $M = 400$ kNm verteilt auf 4,0 m: $m = 100$ kNm/m,
- $V = 400$ kN verteilt auf 4,0 m : $v = 100$ kN/m,
- $H = 280$ kN verteilt auf 4,0 m: $h = 70$ kN/m.

Die Lasten sollen entsprechend Bild 48 an der Schrammbordkante angesetzt werden. Dieser Bezugspunkt wurde zur besseren Vergleichbarkeit der Werte verschiedener Schutzeinrichtungen mit unterschiedlichen Aufbaupositionen gewählt. Auch bei zurückversetzten Schutzeinrichtungen werden zukünftig die Einwirkungen auf den Bezugspunkt 3 projiziert. Damit ist gewährleistet, dass die Werte eindeutig miteinander verglichen werden können.

Da die Lasten nur zur Berechnung des Kragarms dienen, sollen diese Lasten nicht auf die Brückenkappe mit Lastfluss durch diese und Lastausbreitung berechnet werden. Sie sollen vielmehr mit dem angegebenen Lastangriffspunkt direkt auf den Kragarm einwirken. Dieser Ansatz ergibt sich, weil bei der Messung der Einfluss der Kappe bei der Lastabtragung bereits erfasst wird. Die Ausbreitung der Lasten durch die Scheibenwirkung der Brückenkappe sowie die Massenträgheitseffekte sind

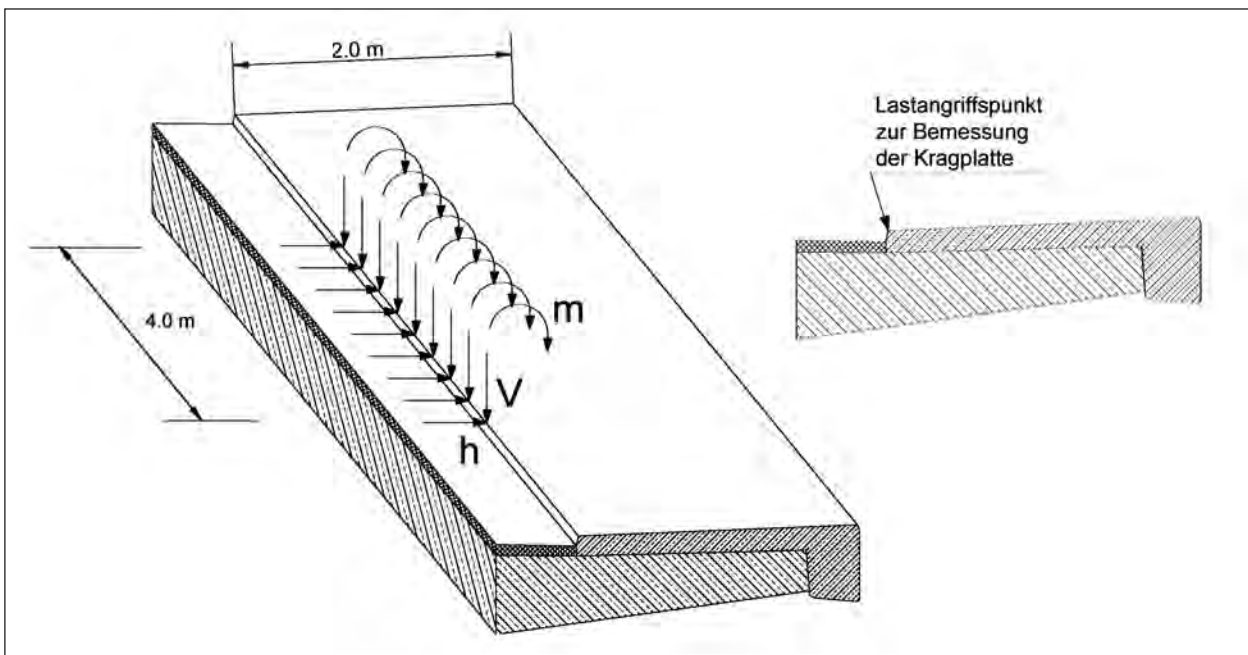


Bild 48: Vorschlag für die Anordnung der statischen Ersatzlasten aus Fahrzeuganprall als Streckenlasten

in den Messwerten bereits enthalten. Eine Miteinbeziehung der Kappe bei der Lastabtragung würde daher zu ungerechtfertigt günstigen Ergebnissen führen.

Die Beanspruchung der Brückenkappe wurde gesondert erfasst. Es konnte festgestellt werden, dass bei dieser Betonschutzwand nach dem Anprallvorgang keine Schäden an der Brückenkappe feststellbar waren. Werden zusätzlich die Diagramme in den Bildern 33 bis 35 herangezogen, so zeigt sich, dass auch die Kappenanschlussbewehrung nur geringfügig ausgenutzt wird bzw. hohe Tragreserven aufweist. Die Verträglichkeit mit einer Brückenkappe nach der Richtzeichnung Kap 1 ist bei diesem Beispiel gegeben, wobei noch hohe Tragreserven vorhanden sind.

Die hier vorgeschlagenen charakteristischen Einwirkungen wurden gemeinsam mit Mitgliedern der zuständigen österreichischen Arbeitsgremien abgestimmt. Sie sind beim österreichischen Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie gelistet und haben dort bereits eine normative Wertigkeit für die Bemessung von Brücken erhalten.

5.4 Vergleich mit DIN-Fachbericht 101

Für Einwirkungen aus Fahrzeugen sind für die Tragwerksbemessung nach DIN-Fachbericht 101 „Einwirkungen“ [15] Anpralllasten auf Schramm-

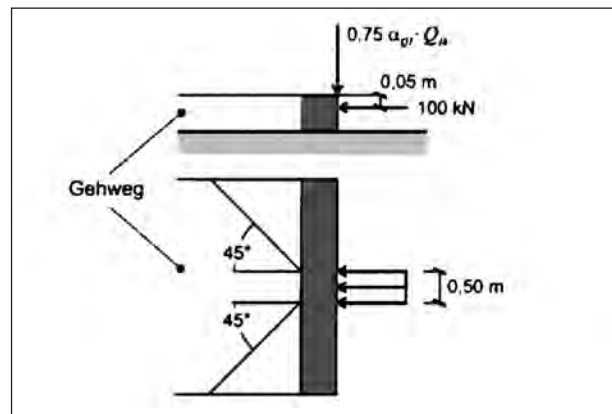


Bild 49: Fahrzeuganprall an Schrammborde nach DIN-Fachbericht „Einwirkungen“

borde und Schutzeinrichtungen zu berücksichtigen. Die Einwirkungen auf Schrammborde sind in Bild 49 dargestellt.

Die Einwirkungen auf Schutzeinrichtungen betragen 100 kN für eine Horizontallast, die 10 cm unter Oberkante Schutzeinrichtung bzw. 1,0 m über der Fahrbahn anzusetzen ist. Zusätzlich ist eine Vertikallast von $V = 0,5 \times \alpha_{Q1} \times Q_{1k}$ zu berücksichtigen. In Abhängigkeit der vertikalen Einwirkungen in den jeweiligen Fahrstreifen kann diese Last höchstens einen Wert von 120 kN erreichen. Projiziert man die Lasten des DIN-Fachberichts auf die fahrbahnseitige OK Schrammbord (Bezugspunkt 3), so ergeben sich daraus die in Bild 50 dargestellten Einwirkungen:

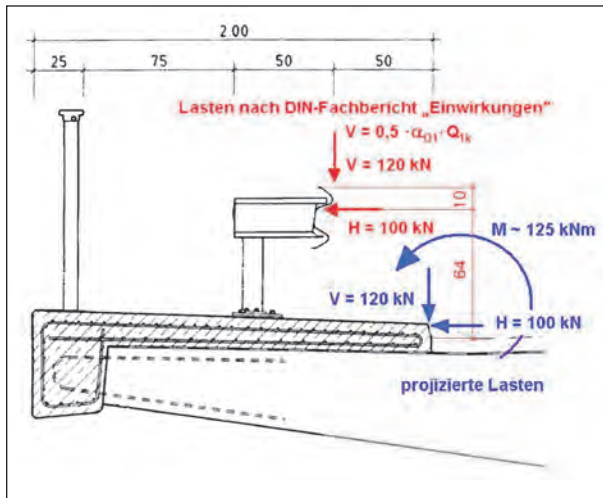


Bild 50: Fahrzeuganprall an Schutzvorrichtungen nach DIN-Fachbericht „Einwirkungen“

- $M = 125 \text{ kNm}$,
- $V = 120 \text{ kN}$,
- $H = 100 \text{ kN}$.

Diese Werte liegen um mehr als den Faktor 3 unter den in Kapitel 5.3 vorgeschlagenen Werten für die exemplarisch diskutierte Schutzvorrichtung. Stünde die geprüfte Betonschutzwand beispielsweise wie eine Schutzplanke ebenfalls 50 cm zurückversetzt, so lägen die Werte gar um den Faktor 4 auseinander.

6 Schlussfolgerungen

6.1 Brückenbauliche Belange

Bei Prüfungen von Schutzvorrichtungen der Aufhaltstufe H4b für den Einsatz auf Brücken kann festgestellt werden, dass bei einem Fahrzeuganprall sehr hohe Kräfte auftreten können, die durch die Bauwerke aufgenommen werden müssen. Die in Kapitel 5 exemplarisch dargestellte Anprallprüfung an einer Betonschutzwand zeigt die Größenordnung der auftretenden Kräfte eines H4b-Systems. Diese Größenordnung wurde inzwischen durch Prüfungen weiterer H4b-Systeme bestätigt. Auch bei durchgeführten Anprallprüfungen an Schutzvorrichtungen der Aufhaltstufe H2 für den Einsatz auf Brücken konnten z. T. Kräfte in ähnlicher Größenordnung gemessen werden. Das zeigt, dass diese Kraftwerte keine Ausnahme darstellen, sondern zukünftig vielmehr zum Regelfall werden können. Die angegebenen Lasten treten voraussichtlich nicht in

dieser Größe bei einem Fahrzeuganprall an eine einfache Distanzschutzplanke mit Geländer (Bild 2) auf. Es kann allerdings erwartet werden, dass zunehmend Brücken mit höherwertigen Schutzvorrichtungen ausgestattet werden. Diese leiten i. d. R. auch höhere Lasten in das Bauwerk ein.

Die gemessenen Kräfte erreichen ein Lastniveau, welches um das Drei- bis Vierfache über dem liegt, was nach derzeit gültigem Regelwerk (DIN-Fachbericht „Einwirkungen“) bei einer Tragwerksbemessung anzusetzen ist. Dieses gibt vor, dass Anpralllasten in der Größe von 100 kN horizontal und bis zu 120 kN vertikal anzusetzen sind. Diese Angaben sind im Wesentlichen unverändert aus der DIN 1072 [16] übernommen worden.

Die in Kapitel 3.4 (Pflichtenheft) aufgeführten Beanspruchbarkeiten wurden zu Beginn der Untersuchungen mittels einfacher statischer Berechnungen theoretisch abgeschätzt. Es zeigte sich jedoch durch die in Kapitel 4 gezeigten genaueren Betrachtungen, dass die angegebenen Beanspruchbarkeiten deutlich auf der sicheren Seite liegen. Dies wird durch die bei der Anprallprüfung gemessenen Kräfte nochmals bestätigt. Insbesondere die Kappenanschlussbewehrung war zu Beginn der Überlegungen als besonders kritisch betrachtet worden. Die Ergebnisse der Anprallprüfungen widerlegen diese Einschätzung aber. Es zeigt sich vielmehr, dass durch die aktivierte Scheibenwirkung der Kappe bei der Lastabtragung eine weitreichende Verteilung der Lasten auf die Nachbarbereiche erfolgt und die Kappenanschlussbewehrung eine weitaus geringere Beanspruchung erfährt als zunächst erwartet wurde (Bilder 33 bis 35). Es kann allerdings nicht ausgeschlossen werden, dass bei anderen Schutzvorrichtungen so hohe Lasten eingeleitet werden, dass die Lastverteilung nicht mehr ausreicht, um ein unbedenkliches Lastniveau bei der Kappenanschlussbewehrung zu erzielen. Eine andere Ursache für sehr hohe Werte an dieser Stelle kann die Aufbauposition der Schutzvorrichtung sein. Die Scheibenwirkung kann nur aktiviert werden, wenn die Schutzvorrichtungen relativ fahrbahnnah aufgebaut werden. Steht die Schutzvorrichtung nahe am äußeren Kappenrand, „wandern“ die Kräfte ohne weitere Lastausbreitung direkt in die Anschlussbewehrung. Da insbesondere bei den H4b-Systemen aber im Regelfall ein größerer Deformationsraum hinter der Schutzvorrichtung erforderlich ist, erfolgt der Aufbau der Systeme meist im fahrbahnnahen Bereich der Brückenkappe, sodass eine Lastausbreitung gegeben ist.

Der Einfluss der empfohlenen und gegenüber dem DIN-Fachbericht [15] erhöhten Einwirkungen aus Fahrzeuganprall an eine Schutzeinrichtung ist unterschiedlich zu bewerten. Bei Neubauten von Brücken ist der Mehraufwand geringer einzuschätzen als bei Instandsetzung, da durch entsprechend konstruktive Maßnahmen, wie beispielsweise Erhöhung der Bewehrungsmenge, den größeren Lasten Rechnung getragen werden kann. Anders stellt sich der Sachverhalt bei bereits bestehenden Bauwerken dar. Wie bereits in Kapitel 2.1 erläutert wurde, gehen Verstärkungsmaßnahmen im Regelfall mit hohem technischem und finanziellem Aufwand einher. Könnte allerdings durch eine Kraftmessung für eine Schutzeinrichtung die Verträglichkeit dieser mit der Brückenkonstruktion nachgewiesen werden, so besteht sowohl ein höheres Maß an Sicherheit als auch die Möglichkeit, finanzielle Ressourcen zu schonen. In diesem Fall kann durch die Installation einer verträglichen Schutzeinrichtung auf Verstärkungsmaßnahmen verzichtet werden, die ggf. bei Installation einer alternativen Schutzeinrichtung unverzichtbar wären. Wichtig ist in jedem Fall aber zu wissen, wie groß die tatsächlichen Einwirkungen sind, damit eine sichere und wirtschaftlich sinnvolle Entscheidung getroffen werden kann. Ohne diese Kenntnis ist eine technisch und wirtschaftlich sinnvolle Entscheidungsfindung sehr schwierig.

Aus Sicht der BAST sind daher weitere Einsatzkriterien erforderlich, die über die in [17] genannten hinausgehen. Wünschenswert wäre eine generelle Regelung, die es zur Bedingung macht, nur die Schutzeinrichtungen auf deutschen Brücken installieren zu können, für die ein Nachweis über die Größe der Kräfte, die bei einem Anprallvorgang mit einem schweren Fahrzeug in das Bauwerk eingeleitet werden, vorliegt. Dieser Nachweis sollte durch eine Messung der Kräfte in einer Anprallprüfung erfolgen. Nachweise, die allein durch Berechnungen oder Simulationen erbracht werden, reichen dabei zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht aus. Nach derzeitigem Kenntnisstand der BAST kann auf eine Anprallprüfung mit Kraftmessung nicht verzichtet werden.

Weitere Einsatzkriterien könnten die konstruktiven Regelungen des Pflichtenhefts (Kapitel 3.4) sein. So darf beispielsweise das Befestigungsmittel der Schutzeinrichtung nicht zu einer Beschädigung der Brückenabdichtung oder grundsätzlich nicht zu einer übermäßigen Reduzierung der Dauerhaftigkeit des Bauwerks führen.

6.2 Anordnung von Schutzeinrichtungen auf der Brückenkappe

Wie in Kapitel 3.2.2 erläutert, muss streng genommen die Anordnung der Schutzeinrichtung auf dem Testgelände und im realen Einsatzfall identisch sein, um die Gültigkeit der Prüfergebnisse sicherzustellen. Dieser strenge theoretische Ansatz lässt sich in der Praxis, aufgrund der vielfältigen Gestalt des Umfeldes, in dem Schutzeinrichtungen eingesetzt werden, in vielen Fällen nicht umsetzen. Die Anprallversuche sind zu aufwändig, um jeden denkbaren Einsatzfall zu prüfen. Darüber hinaus ginge die Vergleichbarkeit der Prüfergebnisse verschiedener Schutzeinrichtungen verloren, würde zu einzelfallspezifisch geprüft. Es ist daher eine Übertragung der Prüfergebnisse auf eine gegenüber der Prüfung abweichende Anordnung der Schutzeinrichtung erforderlich. Wie in Kapitel 3.2.2 bereits erläutert, sind solche Übertragungen einzelfallspezifisch und es lassen sich nur wenige generelle Regelungen ableiten.

Der Einsatzbereich Brücke stellt jedoch einen vergleichsweise gut definierten Einsatzort dar, der zumindest einige Aussagen zulässt.

Ein wichtiges Element im Umfeld von Schutzeinrichtungen auf Brücken in Deutschland ist ein Geländer oder eine Lärmschutzwand, die sich am äußeren Rand der Kappe befindet. Bei der Prüfung nach DIN EN 1317 wird deshalb auf dem Brückenkappennachbau ebenfalls ein Geländer oder eine Lärmschutzwand installiert. In der Regel kommt ein Geländer (Gel 3 nach [3]) zum Einsatz, sodass im Folgenden auf diesen Fall Bezug genommen wird.

Wird das Geländer in der Anprallprüfung in den Umlenkvorgang mit einbezogen, so stellt das Geländer ein am Umlenkvorgang beteiligtes Konstruktionselement und somit eine wesentliche Randbedingung des Umfelds dar, auf die im Einsatzfall nicht verzichtet werden kann. Die Rückhaltefähigkeit ist nur für die Kombination der Fahrzeugrückhaltekonstruktion und des Geländers erbracht. Im Sinne der DIN EN 1317 besteht die Schutzeinrichtung aus der Kombination von Fahrzeugrückhaltekonstruktion und Geländer.

Bei der in Kapitel 5 diskutierten Anprallprüfung fand jedoch kein Kontakt zwischen Betonschutzwand-Fertigteilkonstruktion und Geländer statt, sodass in diesem Fall das Geländer kein Bestandteil der

Schutzeinrichtung ist und im Einsatzfall ein beliebiges Geländer eingebaut werden könnte.

Am Beispiel der Standardkonstruktion auf Brücken „Einfache Distanzschutzplanke (EDSP) mit Geländer auf Bauwerk“ [14] lässt sich diese Betrachtung illustrieren. Die Schutzeinrichtung wurde auf die Aufhaltestufe H2 erfolgreich geprüft. Die EDSP war beim Prüftyp TB 51 (Tabelle 2) allein nicht in der Lage, das Testfahrzeug umzulenken. Vielmehr dringt insbesondere das Heck des Fahrzeugs tief in das Geländer ein und dieses hat einen maßgeblichen Anteil an der Umlenkung (siehe Bild 51) [5].

Die EDSP stellt in diesem Beispiel die Fahrzeugrückhaltekonstruktion dar, die jedoch erst in der Kombination mit dem Geländer Gel 3 in der Anordnung gemäß Kap 1 zur H2-tauglichen Schutzeinrichtung wird.

Ein gleichartiges Umfeld erfordert die Errichtung eines Gel-3-Geländers (dem im Handlauf eingelegten Stahlseil kommt eine hohe Bedeutung zu!) mit einer Gesamthöhe von 1 m und einem Pfostenabstand von 2 m im lichten Abstand von 0,75 m zur EDSP. Die Anker müssen den Anforderungen der RiZ Spl 1 [3] entsprechen.

Oben wurde erläutert, dass der Einfluss der Randbedingungen des Umfeldes einzelfallspezifisch ist. Zur Illustration wird im Folgenden in stark verkürzter Form eine solche Einzelfallbetrachtung am vorliegenden Beispiel der EDSP mit Geländer auf Bauwerk vorgenommen. Die EDSP mit Geländer auf Bauwerk wurde nicht im Rahmen dieses Projektes geprüft, die folgende Ableitung beruht jedoch weitgehend auf den im Rahmen dieses Projektes gesammelten Erfahrungswerten.

Wird der lichte Abstand zwischen EDSP und Geländer verringert, werden höhere Kräfte ins Geländer abgeleitet. Es ist zweifelhaft, ob das stark deformierte Geländer unter diesen Umständen die Umlenkung des Fahrzeugs noch bewirken könnte. Wird der Abstand zwischen EDSP und Geländer vergrößert, würde das Heck des Fahrzeugs tiefer in das System EDSP/Geländer eindringen. Als Folge davon wären ein stumpferer Abprallwinkel und ein destabilisiertes Fahrzeugverhalten zu erwarten. Sofern der lichte Abstand um mehr als 10 cm gegenüber Kap 1 verändert wird, lassen sich die Prüfergebnisse nicht mehr auf den Einsatzfall übertragen.

Die Aufhaltestufe H2 bleibt bei Verwendung eines anderen Geländers nach Einschätzung der BAST



Bild 51: Fahrzeuganprall TB 51 an EDSP 1,33 mit Geländer und Seil im Handlauf

dann erhalten, wenn das eingesetzte Geländer ein gleichwertiges Stahlseil im Handlauf, mindestens gleichwertige Profilquerschnitte, gleicher oder leicht verkürzter Pfostenabstand sowie gleiche oder geringfügig größere Höhe aufweist.

Eingangs wurde erwähnt, dass alternativ zu einem Geländer häufig eine Lärmschutzwand am Rand der Kappe installiert wird.

Eine Lärmschutzwand anstelle eines Geländers würde sich im Anprallfall gänzlich anders verhalten als ein Geländer, sowohl Aufhaltevermögen als auch ein kontrolliertes Fahrzeugverhalten im Sinne der DIN EN 1317 wären bei einer solchen Konstellation infrage gestellt.

Für das Beispiel der EDSP mit Geländer lässt sich damit zusammenfassend feststellen, dass die Kombination der EDSP mit dem Gel-3-Geländer und deren Anordnung nach Kap 1 wesentliche Randbedingungen des Umfeldes darstellen. Um die Aufhaltestufe H2 zu bewahren, kann im Einsatzfall lediglich ein in engen Grenzen modifiziertes Geländer oder eine geringfügig variierte Anordnung eingesetzt werden.

Das diskutierte Beispiel macht hinreichend deutlich, wie schwierig die unspezifische nicht auf den Einzelfall bezogene Beurteilung von Randbedingungen des Umfeldes ist. Aus einer Reihe von Anprallversuchen, die im Rahmen dieses Projektes durchgeführt wurden, können jedoch einige allgemeine Aussagen für die Anordnung von Schutzeinrichtungen

gen mit sehr hohem Aufhaltevermögen auf Brücken abgeleitet werden:

- Konstruktion am äußeren Kappenrand (Geländer, Lärmschutzwand):
Sofern die Konstruktion am äußeren Kappenrand beim Anprallversuch von Fahrzeug oder Rückhaltekonstruktion berührt wurde, ist die Konstruktion am äußeren Kappenrand Bestandteil der Schutzeinrichtung. Die Kombination der Fahrzeugrückhaltekonstruktion mit anderen Konstruktionen am äußeren Kappenrand ist durch die Prüfung nicht abgedeckt.
- Abstand der Schutzeinrichtung zum Schrammbord:
Eine Verringerung des Abstandes ist hinsichtlich der Funktion der Schutzeinrichtung unbedenklich, kann allerdings die möglichen Verkehrsführungen im Fall einer Arbeitsstelle einschränken (s. u.). Eine Erhöhung des Abstandes zum Schrammbord ist unbedenklich, solange die Anforderungen für den Abstand zur Konstruktion am äußeren Brückenrand eingehalten werden.
- Abstand der Schutzeinrichtung zur Konstruktion am äußeren Kappenrand:
Eine Veränderung des Abstands der Fahrzeugrückhaltekonstruktion zur Konstruktion am äußeren Fahrbahnrand ist durch die Prüfung nicht abgedeckt, wenn die Konstruktion am äußeren Kappenrand Bestandteil der Schutzeinrichtung ist. Andernfalls ist eine Erhöhung des Abstandes zwischen Schutzeinrichtung und Konstruktion am äußeren Kappenrand unbedenklich, solange die Anforderungen an den Abstand der Schutzeinrichtungen zum Schrammbord (s. o.) erfüllt werden.
- Schrammbordhöhe:
Eine Abweichung der Schrammbordhöhe um ± 3 cm ist unbedenklich.
- Neigung der Kappe:
Eine Abweichung der Kappenneigung relativ zur Fahrbahnoberfläche um ± 2 % ist unbedenklich.

Grundsätzlich gilt, dass sowohl auf der Strecke als auch auf Bauwerken Schutzeinrichtungen mindestens im Abstand von 50 cm vom Rand der für Verkehrszwecke befestigten Fläche aufgestellt werden sollten. Für Schutzeinrichtungen mit sehr hohem Aufhaltevermögen auf Bauwerken gibt es aber auch gute Gründe, von dieser Regelung abzuweichen und die Schutzeinrichtung fluchtend mit

dem Schrammbord zu errichten. Bei dieser Anordnung steht der Schutzeinrichtung mehr Raum zum Zurückweichen zur Verfügung, d. h., der nutzbare Wirkungsbereich wächst und die Schutzeinrichtung muss weniger steif ausgeführt werden. Sehr steife Schutzeinrichtungen neigen zudem dazu, auch sehr schwere Fahrzeuge auf Kosten einer kontrollierten Fahrzeugführung zum Aufsteigen zu zwingen (meist im Heckbereich). Durch das Zurückweichen wird die Krafteinleitung über einen größeren Zeitraum gestreckt, die Höhe der Kraftspitzen wird abgesenkt. Tendenziell führt eine solche Anordnung zu geringeren Belastungen für das Bauwerk.

Vor der Wahl einer solchen Anordnung sollte allerdings geprüft werden, ob im Bedarfsfall eine 4+0-Verkehrsführung im Bereich einer Arbeitsstelle möglich ist. Gegebenenfalls kann eine Schutzeinrichtung vom Schrammbord zum Brückenrand hin um maximal 50 cm verschoben werden. Wegen der begrenzten Zeitdauer einer Arbeitsstelle, des flachen Anprallwinkels bei einer 4+0-Verkehrsführung und des Vorhandenseins einer Geschwindigkeitsbegrenzung erscheint dies akzeptabel, auch wenn dann die Konstruktion am äußeren Kappenrand im Wirkungsbereich der Schutzeinrichtung steht. In diesem Fall sollte geprüft werden, ob zusätzliche Maßnahmen getroffen werden müssen, um Teile der Konstruktion am äußeren Kappenrand gegen Absturz zu sichern.

Darüber hinaus können Verschwenkungen zwischen den Schutzeinrichtungen auf der Brücke und der Strecke durch Beibehaltung des Abstandes von 50 cm vermieden werden.

Weitergehende Abweichungen von den Randbedingungen des Umfeldes sind möglich, sollten jedoch im Rahmen einer Einzelfallentscheidung erfolgen.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen des vorliegenden Projektes konnte erstmals gezeigt werden, dass Schutzeinrichtungen, die im Rahmen einer realen Anprallprüfung höchstes Aufhaltevermögen nach DIN EN 1317 für sehr schwere Lkw nachgewiesen haben, auf Brückenbauwerken in Deutschland installiert werden können, ohne inakzeptable Schäden an den Brückenkappe fürchten zu müssen. Darüber hinaus konnten erstmals die Kräfte gemessen werden, die beim Anprallvorgang auf das Bauwerk einwirken.

Diese Messungen beruhen auf einem Einzelereignis, zeigen aber dennoch die Größenordnung der beim Anprallvorgang entstehenden Einwirkungen. Aus den Messwerten wurde ein Vorschlag erarbeitet, für welche Einwirkungen Brücken bemessen werden sollen, auf denen die in Kapitel 5 diskutierte Schutzeinrichtung installiert werden soll. Die genauen Werte der ermittelten Einwirkungsgrößen gelten nur für die untersuchte Schutzeinrichtung. Die Größenordnung der Werte lässt sich jedoch auf andere Schutzeinrichtungen mit sehr hohem Aufhaltevermögen auf Brücken übertragen. Der Vorschlag sieht Einwirkungen vor, die etwa 3- bis 4-mal höher liegen, als der derzeitige Lastansatz des DIN-Fachberichts 101 „Einwirkungen“ [15]. Damit wurden wichtige Eckwerte für die zukünftige Bemessung neuer Brücken bzw. für das Nachrüsten bestehender Brücken gewonnen. Vor allem diese Erkenntnis sollte in die Regelwerke aufgenommen werden. Die Nachbildung der Brückenkappe wies nach dem in Kapitel 5 geschilderten Versuch keine Schäden auf.

Für Brückenneubauten ist es erforderlich, die Größe der zugehörigen Kräfte einer Schutzeinrichtung zu kennen, damit eine Bemessung wirtschaftlich sinnvoll, aber dennoch sicher erfolgen kann. Darüber hinaus ist diese Kenntnis insbesondere bei der Brückeninstandsetzung erforderlich, weil nur dann entschieden werden kann, welche Schutzeinrichtung für das Brückenbauwerk tragfähig ist und welche Verstärkungsmaßnahmen erforderlich sind.

Daher sollte bei der Regelwerksfortschreibung die Forderung mit aufgenommen werden, dass zukünftig für alle Schutzeinrichtungen ein Nachweis über die Größe der beim Anprallvorgang in das Bauwerk eingeleiteten Kräfte erforderlich ist. Dieser Nachweis sollte durch eine Messung der Kräfte in einer realen Anprallprüfung erbracht werden.

Vor Durchführung des Projektes bestand Unklarheit darüber, ob der durch den äußeren Rand der Brückenkappe beschränkte seitliche Deformationsraum ausreicht, um mit Schutzeinrichtungen auch sehr schwere von der Fahrbahn abkommende Lkw kontrolliert aufhalten zu können. Um den vorhandenen seitlichen Raum optimal zu nutzen, wurde zugelassen, die Schutzeinrichtung in größtmöglicher Entfernung vom Rand der Brückenkappe zu installieren und den Mindestabstand zur Fahrbahn von 50 cm auf der Brücke zu unterschreiten. Im Laufe des Projektes zeigte sich je-

doch, dass diese Unterschreitung des Mindestabstands zwar Vorteile mit sich bringt, aber im Bedarfsfall einer 4+0-Verkehrsführung Schwierigkeiten bereitet.

Die derzeit bestehenden Richtlinien (RiZ-ING, RPS) fordern einerseits einen Mindestabstand der Schutzeinrichtungen zur Fahrbahn von 50 cm und andererseits einen Mindestabstand zwischen Schutzeinrichtung und Geländer von 75 cm. Vor dem Hintergrund der Geometrie nach RiZ Kap 1 lassen sich beide Anforderungen nur dann erfüllen, wenn die Schutzeinrichtung selbst nicht breiter als 50 cm ist. Die bisherige Erfahrung aus dem vorliegenden Projekt zeigt aber, dass Schutzeinrichtungen der Aufhaltstufe H4b für den Einsatz auf Brücken im Regelfall eine größere Baubreite aufweisen. Während die Einhaltung des einen Maßes der Verkehrssicherheit dient, dient die Einhaltung des anderen Maßes der Arbeitssicherheit bei Brückenprüfungen. Auf Basis der in diesem Projekt gewonnenen Erfahrungen ist zu klären, welche von beiden Anforderungen eher eingeschränkt werden kann, um die Anordnung von Schutzeinrichtungen der Aufhaltstufe H4b festlegen zu können.

Die hier qualitativ diskutierte Betonschutzwand aus Fertigteilen ist nicht geeignet, das Problem sehr hoher Aufhaltefähigkeit auf Brücken allein zu lösen. Die Nachrüstung bestehender Brückenbauwerke mit geringeren Tragfähigkeiten erfordert den Einsatz leichterer Schutzeinrichtungen. Es ist daher erforderlich, das begonnene Versuchsprogramm fortzuführen, bis auch Stahlschutzeinrichtungen die Anforderungen erfüllen. Darüber hinaus ist es für eine wirtschaftliche und gleichzeitig sichere Bemessung von Brücken grundsätzlich notwendig, die auftretenden Kräfte zu kennen, sodass alle Schutzeinrichtungen auf Brücken hinsichtlich ihrer zugehörigen Einwirkungsgrößen im Rahmen einer Anprallprüfung untersucht werden sollten. Inzwischen wurden weitere Schutzeinrichtungen positiv geprüft. Es ist geplant, die Ergebnisse dieser Prüfungen und Beschreibungen der Systeme in einem späteren Bericht zu veröffentlichen.

8 Literatur

- [1] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Richtlinien für passive Schutzeinrichtungen an Straßen – Ausgabe 1989 (RPS 89), FGSV Verlag GmbH, Köln, 1989

- [2] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Ergänzungen zu den Richtlinien für passive Schutzeinrichtungen an Straßen – Ausgabe 1989 (RPS 89), Stand: Juni 1996, Verkehrsblatt 1996
- [3] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Richtzeichnungen für Ingenieurbauten, RiZ-ING, Verkehrsblatt-Verlag Borgmann GmbH & Co KG, Dortmund
- [4] DIN EN 1317: Rückhaltesysteme an Straßen, Beuth-Verlag GmbH, Berlin
- [5] ELLMERS: Eignung von Fahrzeug-Rückhaltesystemen gemäß den Anforderungen nach DIN EN 1317, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Verkehrstechnik, Heft V 106, 2003
- [6] Bundesanstalt für Straßenwesen: Studie über Schutzeinrichtungen als Absturzsicherung auf Brücken mit einem Aufhaltevermögen der Stufe H4 nach DIN EN 1317-2, 1989 (unveröffentlicht)
- [7] SEDLACEK; KAMMEL; GESSLER: Einsatz von Fahrzeuggückhaltesystemen mit hohem Aufhaltevermögen auf Brücken, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 920, Bonn, 2005
- [8] Bundesanstalt für Straßenwesen: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten – ZTV-ING, Verkehrsblatt-Verlag Borgmann GmbH & Co KG, Dortmund
- [9] DIN 1076: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen – Überwachung und Prüfung, Beuth-Verlag GmbH, Berlin
- [10] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076 – RI-EBW-PRÜF, Verkehrsblatt-Verlag Borgmann GmbH & Co KG, Dortmund
- [11] HELLMICH; STELLA; STANGL; PIRINGER; HEIMEL; PLOMER: Rückhaltesysteme auf Brücken im Anfahrversuch, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Straßenbauforschung, Heft 521, Wien, 2002
- [12] DIN V ENV 1992-1-1, Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau, Beuth-Verlag GmbH, Berlin
- [13] NEUMANN: Kragarme von Fahrbahnplatten für Beton- und Stahlverbundbrücken (schlaaffe Bewehrung oder Quervorspannung), Forschung, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Verkehrsblatt-Verlag Borgmann GmbH & Co KG, Dortmund
- [14] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Technische Lieferbedingungen für Stahlschutzplanken – Ausgabe 1999 (TL-SP 99), FGSV Verlag GmbH, Köln, 1999
- [15] DIN-Fachbericht 101, Einwirkungen auf Brücken – Ausgabe März 2003:, Beuth-Verlag GmbH, Berlin, 2003
- [16] DIN 1072: Straßen- und Wegbrücken; Lastannahmen, Beuth-Verlag GmbH, Berlin
- [17] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Richtlinien für passiven Schutz an Straßen durch Fahrzeug-Rückhaltesysteme – Entwurf Dezember 2003 (RPS) (unveröffentlicht)
- [18] DIN EN 1991-1-1, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke, Beuth-Verlag GmbH, Berlin

Teil 2

Prüfergebnisse und Bewertung von Schutzeinrichtungen der Aufhaltestufe H4b auf Brücken

von
Hilger Klostermeier
Ulrich Bergerhausen

Unter Mitarbeit von
Martina Balzer-Hebborn
Uwe Ellmers
Jürgen Fleisch
Ralf Klöckner
Janine Kübler

1 Einleitung

Für Schutzeinrichtungen auf Brücken gelten in Deutschland derzeit noch die „Richtlinien für passive Schutzeinrichtungen an Straßen (RPS)“ [1] mit den Ergänzungen aus 1996 [2] sowie die „Richtzeichnungen für Ingenieurbauten (RiZ-ING)“ [3]. In 2009 wurden die neuen „Richtlinien für passiven Schutz an Straßen durch Fahrzeugrückhaltesysteme“ bekannt gegeben [9]. Bei der Ausstattung eines Brückenbauwerkes kommt der Schutzeinrichtung dann eine besondere Bedeutung zu, wenn durch einen möglichen Lkw-Absturz eine Gefährdung entstehen kann, durch die unbeteiligte Dritte betroffen sind. Dies ist dann der Fall, wenn sich unterhalb der Brücke häufig Personen aufhalten oder sich andere gefährdete Bereiche befinden [9].

Bislang wird in Deutschland überwiegend die Einfache Distanzschutzplanke mit einem Pfostenabstand von 1,33 m (EDSP 1,33) mit Geländer und einem verzinkten Stahlseil im Handlauf als Absturz-sicherung eingesetzt (Bild 1). Hierbei wirken die Schutzplanke und das Geländer gemeinsam und erzielen somit das erforderliche Rückhaltevermögen. Das Gesamtsystem (EDSP und Geländer) hat in einer Anprallprüfung [5] nach den Anforderungen der europäischen Norm DIN EN 1317 „Rückhaltesysteme an Straßen“ [4] gezeigt, dass es in der Lage ist, schwere Fahrzeuge bis zu einem Gewicht von etwa 13 Tonnen vor dem Absturz von einer Brücke zu bewahren. Gleichzeitig ist dieses System so konstruiert, dass es auch Pkw sicher aufhalten und ohne erhebliche Gefährdung der Insassen umlenken kann.

Darüber hinaus werden auch Betonschutzwände eingesetzt (Bild 2). Die einseitige Betonschutzwand in Ortbetonbauweise nach der Richtzeichnung (RiZ) Kap 11 wurde allerdings bislang nicht nach DIN EN 1317 geprüft.

Bei Unfällen mit sehr schweren Lkw und ungünstigem Unfallverlauf stoßen die oben genannten Schutzeinrichtungen an die Grenze ihrer Leistungsfähigkeit. Deshalb hat die BAST gemeinsam mit dem BMVBS Untersuchungen initiiert, die das Ziel haben, Schutzeinrichtungen bereitzustellen, die in der Lage sind, auch sehr schwere Lkw vor dem Absturz von Brücken zu bewahren [6], [10] und [11]. Die Notwendigkeit dieser Untersuchung wurde durch Unfälle von schweren Lkw, bei denen es zum Teil auch zu Abstürzen gekommen ist, bekräftigt (Bild 3).

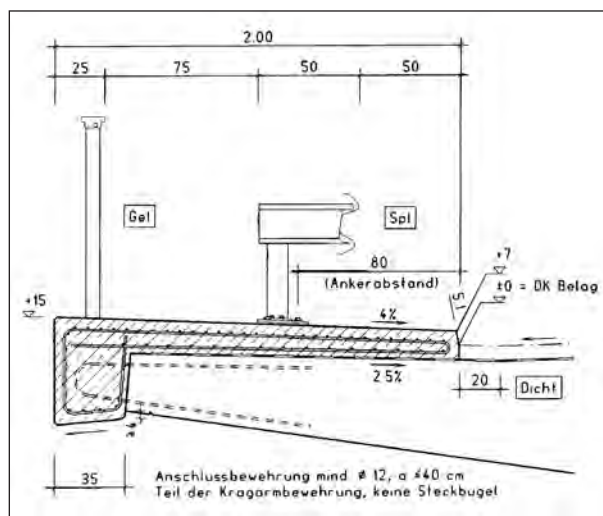


Bild 1: Richtzeichnung Kap 1: einfache Distanzschutzplanke mit Geländer und Stahlseil im Handlauf auf Brücken

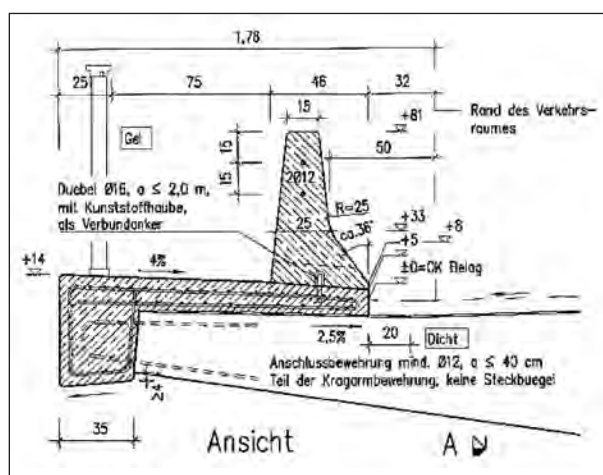


Bild 2: Richtzeichnung Kap 11: einseitige Betonschutzwand in Ortbetonbauweise auf Brücken

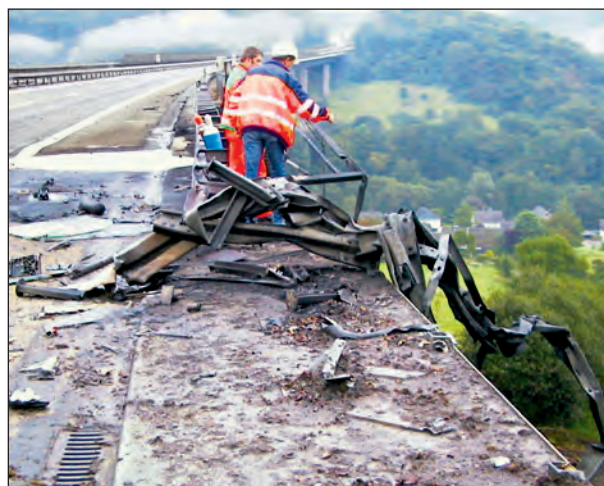


Bild 3: Absturz eines Tanklastzuges von der Wiehltalbrücke

2 Problemstellung und Zielsetzung

Grundvoraussetzung für den Einsatz neuer Schutzeinrichtungen in Deutschland ist eine positive Prüfung nach DIN EN 1317. Ein wichtiges Leistungsmerkmal ist dabei das Aufhaltevermögen eines Systems, das in Anprallversuchen mit realen Fahrzeugen der Fahrzeugarten Pkw, Bus oder Lkw bestimmt wird. In diesen Versuchen wird auch der Platzbedarf (Wirkungsbereich) der Schutzeinrichtung für deren Wirkungsweise und die Gefährdung für Pkw-Insassen bei einem Anprall an eine Schutzeinrichtung ermittelt. Für Brückenneubauten und bei Brückeninstandsetzungen ist es erforderlich, die Größe der auf die Kappe und die Tragkonstruktion einwirkenden Kräfte einer Schutzeinrichtung zu kennen, damit eine Bemessung wirtschaftlich sinnvoll, aber dennoch sicher erfolgen kann. Die Kenntnis über die auf das Bauwerk einwirkenden Kräfte ist für die Frage bedeutend, welche Schutzeinrichtung für das Brückenbauwerk verträglich ist und ob gegebenenfalls Verstärkungsmaßnahmen erforderlich sind.

In ersten theoretischen Voruntersuchungen der BASt [6] zu Schutzeinrichtungen zum Einsatz auf Brücken wird davon ausgegangen, dass beim Anprall schwerer Lkw (z. B. Sattelzug mit 38 t Gesamtgewicht) Kräfte auf die Brücke einwirken können, die die Beanspruchbarkeit der Bauwerke bei weitem übersteigen und erhebliche Schäden an der Brücke erwarten lassen. Daher wurde in einem Forschungsvorhaben [10] eine Prüfeinrichtung entwickelt, die es erlaubt, die beim Anprallvorgang entstehenden Kräfte zu messen. Durch Messung der bei einem Anprallversuch mit einem schweren Lkw auftretenden Kräfte ist es möglich, auch eine Aussage über die Einwirkung auf das Bauwerk zu treffen. In [10] zeigt sich, dass die einwirkenden Kräfte höher liegen als beim derzeitigen Lastansatz des DIN-Fachberichts 101 „Einwirkungen“ [7], jedoch mit akzeptablen Schäden an der Brückenkappe beim Anprall gerechnet werden kann. Gleichzeitig wurden Randbedingungen (Kapitel 3.4 in [10]) entwickelt, die den Herstellern als konstruktive Vorgabe für die Entwicklung der Schutzeinrichtungen dienen sollten. Die Grundlagen für die hier dargelegten Untersuchungen sind in [10] bereits beschrieben. Im Hinblick auf einen wirtschaftlichen Wettbewerb und vor dem Hintergrund der Verschiedenartigkeit der Brückenbauwerke ist es vorteilhaft, mehrere Schutzeinrichtungen mit sehr hoher Auf-

haltefähigkeit auf Brücken zur Verfügung zu haben. Die Nachrüstung bestehender Brückenbauwerke mit geringeren Tragfähigkeiten erfordert beispielsweise den Einsatz leichter Schutzeinrichtungen. Darüber hinaus ist es für eine wirtschaftliche und gleichzeitig sichere Bemessung von Brücken grundsätzlich notwendig, die auftretenden Kräfte zu kennen, sodass auch zukünftig alle Schutzeinrichtungen auf Brücken hinsichtlich ihrer zugehörigen Einwirkungsgrößen im Rahmen einer Anprallprüfung untersucht werden sollten. Es folgte eine gemeinsame Initiative des BMVBS und der BASt, die die Hersteller von Schutzeinrichtungen animieren sollte, auf Basis der durch die BASt vorgegebenen Randbedingungen Schutzeinrichtungen zu entwickeln, die anschließend in einer Anprallprüfung bei der BASt ihre Eignung unter Beweis stellen sollten.

Ziel des vorliegenden Forschungsprojektes ist es, den in [10] begonnenen Prozess fortzuführen, Schutzeinrichtungen auf Brücken mit einem sehr hohen Aufhaltevermögen nach [4] zu testen und dabei die auftretenden Kräfte zu messen. Gleichzeitig sollen Erkenntnisse über das Verhalten der Schutzeinrichtungen mit sehr hohem Aufhaltevermögen bei begrenzten Platzverhältnissen gewonnen werden.

3 Grundlagen der Prüfungen

3.1 Pflichtenheft

In einem von der BASt erstellten „Pflichtenheft für die Konstruktion von Fahrzeugrückhaltesystemen der Aufhaltstufe H4b auf Brücken“ wurde formuliert, welchen Anforderungen Fahrzeugrückhaltesysteme mit sehr hoher Durchbruchssicherheit für den Einsatz auf Brücken genügen müssen. Diese Anforderungen richten sich in erster Linie an Schutzeinrichtungen, die auf vorhandenen Brücken eingesetzt werden sollen. Schutzeinrichtungen, die diese Anforderungen erfüllen, können dann gleichermaßen bei Neubauten eingesetzt werden. Es besteht allerdings die Möglichkeit, dass Schutzeinrichtungen, die für vorhandene Brücken aufgrund der eingeleiteten Kräfte nicht geeignet sind, auf neuen Brücken verwendet werden können, sofern die Randbedingungen in die Planung mit einfließen. Die in dem Pflichtenheft enthaltenen Anforderungen sind so ausgelegt, dass möglichst keine Veränderungen der Brücken- beziehungsweise der Brückenkappenkonstruktion notwendig sind, um

Schutzeinrichtungen mit sehr hoher Rückhaltefähigkeit auf Brücken installieren zu können. Im Pflichtenheft wird der Grundsatz verfolgt, dass Schutzeinrichtungen so konstruiert sein müssen, dass deren Einsatz ohne zusätzliche Ertüchtigungsmaßnahmen bestehender Brücken möglich ist. Das Pflichtenheft ist für die Hersteller im Hinblick auf die Prüfung von Schutzeinrichtungen für Brückenbauwerke gedacht und in [10] dokumentiert. Wesentliche Randbedingungen werden in Kapitel 3.3.2 aufgeführt.

3.2 Versuchsanlage und Messeinrichtungen

Die Prüfeinrichtung umfasst eine 12 m lange Stahlbetonkonstruktion, die es ermöglicht, auf dieser Länge die während eines Fahrzeuganpralls auf ein Bauwerk einwirkenden Kräfte zu messen. Sie besteht aus einer Stahlbetonkonsole (Messbrücke, Messelement), die in einer massiven Wand an Augenstäben aufgehängt ist (Bild 4). Auf der Konsole ist eine Brückenkappe angeordnet, die in Geometrie, Beton und Bewehrung der Richtzeichnung Kap 1 entspricht (Bild 5).

In den Bereichen neben der Messgrube wird ein Streifenfundament weitergeführt, damit die zu prüfende Schutzeinrichtung auf einer ausreichenden Länge aufgebaut werden kann (Bild 6). Auf dem Streifenfundament liegen Betonfertigteile, die oberseitig die gleiche Geometrie haben wie die Kappe im Bereich der Messbrücke.

Zur Erfassung der auf den Kragarm einwirkenden Kräfte ist die Konsolaufhängung mit Dehnungsmessstreifen ausgestattet. Die Schnittgrößen Moment, Horizontalkraft und Vertikalkraft lassen sich damit errechnen beziehungsweise lassen sich direkt ablesen. Neben den Messungen an den Au-

genstäben werden auch die Zugkräfte in der Kappenanschlussbewehrung gemessen. Die Messung der Kräfte in der Kappenanschlussbewehrung liefert eine direkte Aussage über die Beanspruchung an einer deutschen Standard-Brückenkappe. Nä-

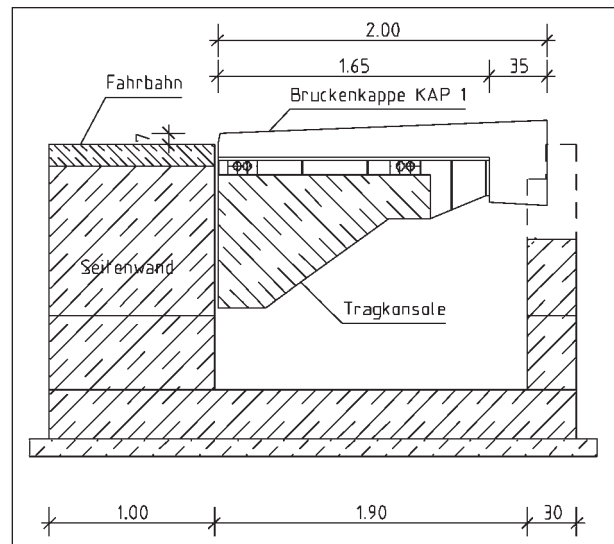


Bild 4: Prüfeinrichtung mit Brückenkappe nach Kap 1



Bild 5: Einheben der 12-m-Kappe

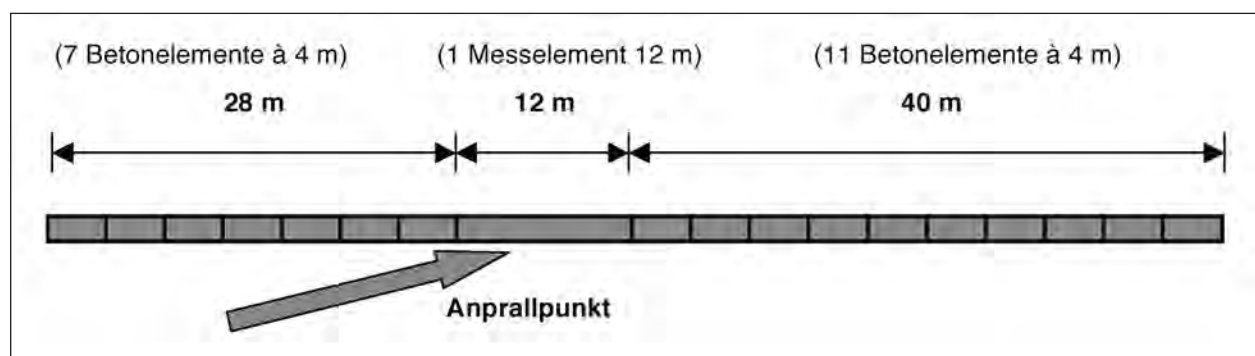


Bild 6: Schematische Übersicht der Prüfanlage

Prüftyp	Anprallgeschwindigkeit	Anprallwinkel	Gesamtmasse des Fahrzeugs	Anprallenergie
TB 11	100 km/h	20°	900 kg	41 kNm
TB 81	65 km/h	20°	38.000 kg	724 kNm

Tab. 1: Parameter für Prüftypen nach DIN EN 1317

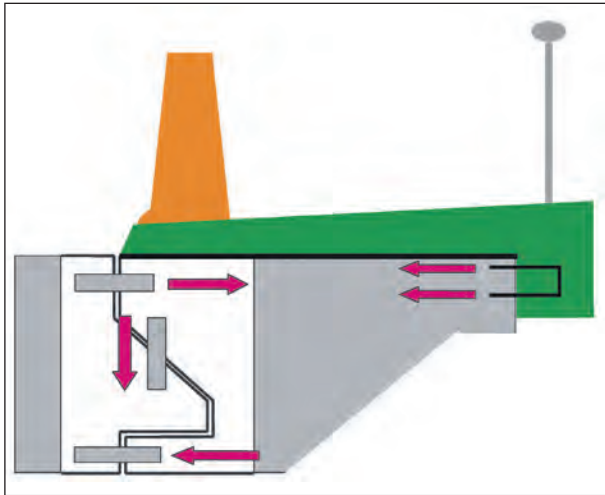


Bild 7: Schemadarstellung der Versuchsanlage mit Darstellung der Messstellen

here Informationen zu der Prüfeinrichtung sind in [10] dargestellt.

3.3 Anforderungen an die zu prüfenden Schutzeinrichtungen

3.3.1 Allgemeine Anforderungen nach DIN EN 1317 [4]

Fahrzeug-Rückhaltesysteme an Straßen werden auf Basis der DIN EN 1317 [4] auf ihre Eignung hin geprüft und entsprechend ihrem Leistungsvermögen beurteilt und klassifiziert.

Die in [4] festgelegten Prüfbedingungen gewährleisten einheitliche Bedingungen bei der Prüfung und ermöglichen dadurch für den Anwender Vergleiche der Wirkungsweise verschiedener Fahrzeug-Rückhaltesysteme. Dabei werden die Systeme anhand der Prüfergebnisse verschiedenen Leistungsklassen zugeordnet. Für Fahrzeug-Rückhaltesysteme (Schutzeinrichtungen), die längs einer Straße oder im Mittelstreifen errichtet werden, gibt es nach Teil 2 der DIN EN 1317 folgende Leistungsklassen:

- Aufhaltestufe,
- Wirkungsbereichsklasse,

Wirkungsbereichsklasse	Stufe des Wirkungsbereiches
W 1	$W \leq 0,6 \text{ m}$
W 2	$W \leq 0,8 \text{ m}$
W 3	$W \leq 1,0 \text{ m}$
W 4	$W \leq 1,3 \text{ m}$
W 5	$W \leq 1,7 \text{ m}$
W 6	$W \leq 2,1 \text{ m}$
W 7	$W \leq 2,5 \text{ m}$
W 8	$W \leq 3,5 \text{ m}$

Tab. 2: Klassen des Wirkungsbereiches

- Anprallheftigkeitsstufe.

Zum Nachweis der Aufhaltestufe H4b müssen die Versuche TB 11 (Pkw, 900 kg) und TB 81 (Lkw mit Sattelaufleger, 38 t) durchgeführt werden. Ein TB-81-Versuch mit hoher Anprallenergie soll das Aufhaltevermögen und die seitliche Auslenkung der Schutzvorrichtung bestimmen, während der TB-11-Versuch den Nachweis erbringen soll, dass die Schutzvorrichtung die Fähigkeit zum Aufhalten und Umlenken besitzt, ohne die Insassen von kleinen Pkw einer übermäßigen Beanspruchung auszusetzen (Anprallheftigkeit). Die Anprallparameter der diesem Forschungsbericht zugrunde liegenden Versuche sind in der Tabelle 1 dargestellt.

Der Wirkungsbereich einer Schutzvorrichtung ist der Abstand zwischen der ursprünglichen Systemvorderkante und der maximalen seitlichen Position des Systems während des Anprallvorgangs. Die maximale seitliche Position des Systems wird gemäß [4] an jedem wesentlichen Teil des System bestimmt. Der Wirkungsbereich stellt somit den Platzbedarf einer Schutzvorrichtung dar, bestehend aus der eigenen Baubreite und dem Raum, der beim Anprallvorgang benötigt wird. Diese Abstände sind nach DIN EN 1317 für Schutzvorrichtungen in verschiedene Stufen eingeteilt, die in Tabelle 2 dargestellt sind. Der Wert des Wirkungsbereiches ist an die jeweilige Aufhaltestufe gekoppelt und wird hier im Versuch TB 81 ermittelt.

Anprallheftigkeit	Kennwerte		
	A	ASI \leq 1,0	und
B	ASI \leq 1,4		
C	ASI \leq 1,9		

Tab. 3: Anprallheftigkeitsstufen nach DIN EN 1317-2 (08-2006)

Im Rahmen der Prüfung werden weitere Werte ermittelt, die eine Schutzeinrichtung charakterisieren. Dazu gehört die Durchbiegung, die auf der dem Verkehr zugewandten Seite (Vorderseite) des Systems ermittelt wird und sich aus der Differenz zwischen der ursprünglichen und der verformten Vorderkante ergibt. Dabei ist zwischen einem statischen und einem dynamischen Wert zu unterscheiden. Der dynamische Wert wird an dem während des Anprallvorganges auftretenden Maximum gemessen und zeigt somit die maximale Verformung an. Der statische Wert wird nach dem Versuch ermittelt und gibt die bleibende Verformung wider.

Neben direkt an der Schutzeinrichtung bestimmten Werten wird auch die maximale seitliche Position des Fahrzeugs gemessen, die ein Maß dafür ist, inwieweit das Fahrzeug in das System eindringt beziehungsweise darüber hinaus ragt. Dieser Wert wird ebenfalls während des Anprallvorganges ermittelt und auf die ursprüngliche Vorderkante des Systems bezogen.

Während des Pkw-Anpralls werden im Fahrzeug Beschleunigungen gemessen, aus denen die drei Anprallheftigkeitsindizes ASI (Acceleration Severity Index), THIV (Theoretical Head Impact Velocity) und PHD (Post Impact Head Deceleration) berechnet werden, die zur Einstufung der Anprallheftigkeit entsprechend [4] führen. Die in dem Bericht dargestellten Anprallprüfungen wurden auf Basis der DIN EN 1317-2 [4] (Fassung Juli 1998) durchgeführt. Zwischenzeitlich wurde die DIN EN 1317-2 um die Anprallheftigkeitsstufe C erweitert.

Neben den Kriterien Aufhaltstufe, Anprallheftigkeitsstufe und Wirkungsbereichsklasse, die zu einer Einstufung der Schutzeinrichtung führen, gibt es noch weitere Kriterien, die für einen positiven Anprallversuch erfüllt sein müssen. Hierzu gehörten sowohl das Verhalten der Schutzeinrichtung als auch das Fahrzeugverhalten während und nach dem Anprall. Die Schutzeinrichtung muss vor allem das Aufhalten und das Umlenken des anprallenden Fahrzeugs gewährleisten. Es dürfen sich keine wesentlichen Teile der Schutzeinrichtung lösen und

die Hauptelemente dürfen nicht brechen oder reißen. Wesentlich ist ebenfalls, dass das Fahrzeug nach dem Anprall nicht umkippen oder sich überschlagen darf. Das Abprallverhalten des Fahrzeugs nach dem Anprall an das System ist durch das so genannte Box-Kriterium begrenzt. Dies stellt eine seitliche Grenze parallel zur Schutzeinrichtung dar, die in einem definierten Bereich nach dem Abprall von keinem Reifen des Fahrzeugs überquert werden darf [4].

3.3.2 Allgemeine Anforderungen nach RPS 2009 [9]

Die seit 1989 geltenden Richtlinien für Schutzeinrichtungen an Straßen (RPS 89) sehen im Regelfall am äußeren Fahrbahnrand auf Bauwerken den Einsatz der Einfachen Distanzschutzplanke (EDSP 1,33) vor. Bei beengten Verhältnissen können nach RPS 89 auch Betonschutzwände eingesetzt werden. In Anprallversuchen hat sich gezeigt, dass diese Systeme ein hohes Aufhaltevermögen besitzen, jedoch nicht in der Lage sind, den Absturz sehr schwerer Lkw zu verhindern. Bei der Überarbeitung der Richtlinien wurde festgelegt, dass zukünftig auf Brücken auch Schutzeinrichtungen mit sehr hohem Aufhaltevermögen eingesetzt werden sollen, insbesondere dann, wenn sich unterhalb der Brücke ein Bereich mit besonderer Gefährdung Dritter befindet.

Die neuen Richtlinien für passiven Schutz an Straßen durch Fahrzeug-Rückhaltesysteme benennen keine konkreten Schutzeinrichtungen, sondern legen vielmehr die erforderlichen Leistungsklassen in Abhängigkeit von der Gefährdung unterhalb der Brücke und der zulässigen Geschwindigkeit auf der Brücke sowie den DTV-Werten fest. In Tabelle 4 sind die erforderlichen Aufhaltestufen nach RPS 2009 dargestellt.

Das Leistungsvermögen muss durch positive Anprallprüfungen nach DIN EN 1317 nachgewiesen werden, bei denen die Schutzeinrichtung auf einer nachgebauten Brückenkappe installiert war und Kraftmessungen durchgeführt wurden. Schutzeinrichtungen der höchsten Aufhaltstufe H4b kommen am äußeren Fahrbahnrand auf Autobahnen und autobahnähnlichen Straßen zum Einsatz, wenn sich unterhalb des Bauwerks ein Bereich mit besonderer Gefährdung Dritter befindet. Im Mittelstreifen kommen H4b-Schutzeinrichtungen dann auf Bauwerken zum Einsatz, wenn es sich um eine Brücke mit zwei Überbauten handelt, die einen Hö-

Gefahrenbereich unterhalb der Brücke beziehungsweise Stützwand	Straßen mit			
	$V_{zul} > 100 \text{ km/h}$ und Autobahnen und autobahnähnliche Straßen mit $V_{zul} \leq 100 \text{ km/h}$	$V_{zul} \leq 100 \text{ km/h}$ und $DTV(SV) > 500 \text{ Kfz/24 h}$	$V_{zul} \leq 100 \text{ km/h}$ und $DTV(SV) \leq 500 \text{ Kfz/24 h}$	$V_{zul} \leq 50 \text{ km/h}$
besondere Gefährdung Dritter (z. B. explosionsgefährdete Chemieanlagen, intensiv genutzte Aufenthaltsbereiche, Schnellbahnstrecken mit zugelassenen Geschwindigkeiten $> 160 \text{ km/h}$, zweibahnige Straßen), vgl. Gefährdungsstufe 1 in Kapitel 3.3 [9]	H4b	H2	H2	H1
andere Fälle, vgl. Gefährdungsstufe 2 bis 4 in Kapitel 3.3 [9]	H2	H2	H1	Schrammborde mit einer Höhe von 0,15 m bis 0,20 m und Geländer mit Seil gemäß RiZ-ING

Tab. 4: Erforderliche Aufhaltestufen auf Brücken und Stützwänden (aus RPS 2009 [9])

herversatz und/oder einen lichten Abstand von mehr als 1,50 m haben und den Kriterien nach Tabelle 4 entsprechen. Bei Überbauten mit geringem Abstand und bei Brücken mit gemeinsamem Überbau werden Schutzeinrichtungen der Aufhaltestufe H4b gefordert, wenn auf dem Bauwerk eine zulässige Geschwindigkeit $> 50 \text{ km/h}$, eine erhöhte Abkommenswahrscheinlichkeit (Lkw) und ein $DTV(SV) > 3.000 \text{ Kfz/24 h}$ vorhanden sind.

Gemäß den RPS 2009 soll der Abstand der Vorderkante der Schutzeinrichtung zum Verkehrsraum 0,5 m betragen, wobei dieses Maß sowohl für Stahlschutzeinrichtungen als auch für Betonschutzwände gilt. Der Wirkungsbereich der auf dem Bauwerk installierten Schutzeinrichtung, d. h. der Raum, den die Schutzeinrichtungen benötigt, um ein Fahrzeug aufzuhalten, darf nach RPS 2009 bis an den Rand der Brücke reichen. Befinden sich am Rand der Brücke beispielsweise Lärmschutzwände, darf der Wirkungsbereich nur bis zur Vorderkante der Lärmschutzwand reichen, da eine Lärmschutzwand nach den RPS ein Hindernis darstellt, das sich nicht im Wirkungsbereich der Brücke befinden darf. Systeme, die ihr Aufhaltevermögen in Kombination mit einem Geländer o. Ä. nachgewiesen haben, können nach den RPS 2009 eingesetzt werden, wenn das angestrebte Schutzziel dadurch nicht beeinträchtigt wird.

Eine weitere Neuerung gegenüber den RPS 89 ist die Forderung, dass die auf der Brücke installierte Schutzeinrichtung über die Brückenenden hinaus fortgeführt werden muss, damit sie einerseits auf

dem Bauwerk ihre volle Wirkungsweise besitzt und andererseits ein Abkommen vor der Brücke verhindert wird. Hieraus ergibt sich, dass die Schutzeinrichtungen entweder in einer Aufhaltestufe sowohl gerammt als auch auf einem Bauwerk verschraubt geprüft sein sollten oder dass die auf der Brücke installierte Schutzeinrichtung auf Streifenfundamenten über die Brückenenden hinaus weitergeführt werden muss oder dass eine geprüfte Übergangskonstruktion zum Anschluss an ein geprüftes H4b-System für die Strecke zur Verfügung steht.

Diese Anforderungen der neuen RPS 2009 bedeuten, dass auf Brücken deutlich mehr Parameter als bislang eine Rolle spielen, die die Auswahl der geeigneten Schutzeinrichtung beeinflussen. Neben der Aufhaltestufe sind auch die Abstände, Längen, die geometrische Form der Brückenkappe (Neigung, Schrammbordhöhe und Breite der Kappe) und zur Verfügung stehende Übergangskonstruktionen bei der Auswahl einer Schutzeinrichtung zu berücksichtigen.

Die RPS 2009 fordern darüber hinaus die Messung der in der Anprallprüfung in das Bauwerk eingeleiteten Kräfte beim Einsatz von Schutzeinrichtungen der Aufhaltestufen H2 bis H4b. Die RPS 2009 verweisen hinsichtlich der Nachweisführung zu den Kräften auf die ZTV-ING. Dilatationsstöße sind nach RPS 2009 so anzuordnen, dass die Funktionstüchtigkeit der Schutzeinrichtungen durch sie nicht wesentlich beeinträchtigt wird. Diese Regelung bedeutet, dass die Konstruktion auch im Bereich der beweglichen Fahrbahnübergänge in der

Lage sein muss, die im Anprallfall in die Schutzeinrichtung eingeleiteten Längskräfte zu übertragen.

3.3.3 Randbedingungen für Schutzeinrichtungen auf Bauwerken

Die Prüfung der Schutzeinrichtungen auf einer simulierten Brückenkappe gemäß RiZ Kap 1 [3] basiert auf dem Grundsatz, dass die Prüfsituation die Realität so weit abbilden sollte, dass die Funktionsweise aller beteiligten Konstruktionselemente dem Systemverhalten bei tatsächlichen Unfällen mit vergleichbarer Anpralllast entspricht. Nur wenn dies gewährleistet ist, lassen die Prüfergebnisse den Schluss zu, dass die geprüften Schutzeinrichtungen die Anforderungen auch im realen Unfallgeschehen erfüllen werden.

Unter „allen beteiligten Konstruktionselementen“ sind dabei alle Teile der Schutzeinrichtung zu verstehen, die während des Anprallversuchs Kräfte aufgenommen oder weitergeleitet haben.

Da eine Kraftaufnahme nicht in allen Fällen zu einer Deformation des Teiles führt und die Kräfte innerhalb der Schutzeinrichtung bei dem Anprallversuch nach DIN EN 1317 nicht gemessen werden, sind die am Umlenkungsvorgang beteiligten Konstruktionselemente nicht ohne weiteres identifizierbar. Daraus ergibt sich zunächst, dass Schutzeinrichtungen nur in der Umgebung (z. B. gleichartiger Untergrund) und in der konstruktiven Ausführung eingesetzt werden sollten, wie sie geprüft wurden.

Für die konstruktive Änderung geprüfter Schutzeinrichtungen ist gemäß DIN EN 1317-5 ein entsprechendes Verfahren vorgesehen, das basierend auf einem CE-gekennzeichneten Ursprungssystem seitens der Zertifizierungsstelle durchgeführt wird. Je nach Art der Modifikation müssen gegebenenfalls zusätzliche Nachweise erbracht beziehungsweise Tests durchgeführt werden.

Die Erfahrung aus zahlreichen Anprallprüfungen lehrt, dass sich die konkreten Randbedingungen einer Prüfsituation je nach Ablauf des Anprallvorgangs und damit je nach Konstruktion der Schutzeinrichtung unterschiedlich auswirken. Die Bedeutung der einzelnen Randbedingungen des Umfeldes ist daher einzelfallspezifisch sowohl hinsichtlich des Umfeldes als auch hinsichtlich der konstruktiven Ausführung der Schutzeinrichtung und zunächst nicht allgemein zu beantworten.

Generell gilt, dass Schutzeinrichtungen in der Aufbauweise geprüft werden sollten, in der sie später auch eingesetzt werden sollen. Schutzeinrichtungen für den Einsatz auf Brücken in Deutschland sollen daher auch auf einem Betonfundament mit einer Schrammbordhöhe von 7 cm und einer Querneigung von 4 % entsprechend der Geometrie der deutschen Brückenkappen (Kap 1) geprüft werden. Daher wird in diesem Forschungsprojekt die Prüfung auf einer simulierten Brückenkappe gemäß RiZ Kap 1 [3] durchgeführt.

Für die Anprallprüfungen werden die Schutzeinrichtungen daher in der Form aufgestellt, wie sie auch später auf Brücken installiert werden sollen. Die Schutzeinrichtungen sollen im Abstand von 50 cm vom Schrammbord entsprechend RiZ Kap 1 errichtet werden und möglichst den Notgehweg von 75 cm einhalten. Es besteht aber auch die Möglichkeit, die Schutzeinrichtung direkt beziehungsweise näher an der Schrammbordkante zu installieren.

Eine Besonderheit auf Brücken stellt die Konstruktion des Dilatationsstoßes dar (Bild 8), der aus Sicht der Verkehrssicherheit einen Schwachpunkt der Schutzeinrichtung auf Bauwerken vor allem beim Anprall sehr schwerer Fahrzeuge darstellen könnte. In der DIN EN 1317 heißt es, dass der Anprall im Allgemeinen an einem Punkt ungefähr in einem Drittel der Länge der installierten Schutzeinrichtung erfolgen soll. Darüber hinaus soll der Anprallpunkt so gewählt werden, dass er die schlechtesten Prüfbedingungen für die Schutzeinrichtung darstellt. Ebenfalls soll die Wahl des Anprallpunktes so erfolgen, dass etwaige Schwachpunkte der Konstruktion berücksichtigt werden.



Bild 8: Ausführung eines Dilatationsstoßes bei einer Einfachen Distanzschutzplanke

Da sich die Konstruktion des Dilatationsstoßes im Allgemeinen in ihrer Gestaltung und Funktionsweise von der sonstigen Schutzeinrichtung unterscheidet, wäre ein direkter Anprall in diesem Bereich der Schutzeinrichtung nicht zielführend. Eine gesonderte Prüfung der Dilatationsstoß-Konstruktion ist mit einem sehr hohen finanziellen Aufwand für die Hersteller verbunden und scheint im Verhältnis zu den, verglichen mit der Brückenlänge, wenigen Stellen, an denen Dilatationsstoß-Konstruktionen eingebaut werden, und wegen der geringen Wahrscheinlichkeit, dass der Anprall direkt am Dilatationsstoß stattfindet, unverhältnismäßig. Um jedoch die Hersteller der Schutzeinrichtungen dazu zu bewegen, bei der Entwicklung der Schutzeinrichtung auch Lösungen für die Konstruktion des Dilatationsstoßes zu entwickeln, und aus der Anprallprüfung Informationen über die Kraftübertragung am Dilatationsstoß zu erhalten, wurden die Hersteller aufgefordert, in der Anprallprüfung eine entsprechende Konstruktion mit einzubauen.

Liegt ein Dilatationsstoß im Einflussbereich eines Anpralls, so verhält sich die Schutzeinrichtung tendenziell nachgiebiger. Für den Pkw-Anprallversuch führt dies im Allgemeinen zu einer Verringerung der Anprallheftigkeit, für den Anprallversuch mit einem Lkw eher zu einer Schwächung der Rückhaltefähigkeit bei Vergrößerung des Wirkungsbereichs. Der Pkw-Anprallversuch wird durch die Anordnung des Dilatationsstoßes eher günstig, der Lkw-Versuch eher ungünstig beeinflusst. Um möglichst kritische Prüfbedingungen zu gewährleisten, wird von den Herstellern gefordert, die Schraubverbindungen der Dilatationsstoß-Konstruktion bei der Pkw-Prüfung zu fixieren, um ein steiferes und damit ungünstiges Systemverhalten für den Pkw-Anprall zu erzwingen.

Für die Übertragung der Prüfergebnisse in die Praxis bedeutet das, dass auf diese Weise ein Anprall simuliert werden kann, der weit entfernt von der Dilatation stattfindet (steiferes System als dicht am Dilatationsstoß). Für den Anprall mit dem schweren Fahrzeug werden die Fixierungen der Dilatation entsprechend dem tatsächlichen Einsatz gelockert, um den Einfluss der Dilatation auf das System zu erfassen. Hierdurch kann festgestellt werden, ob die Schutzeinrichtung mit Dilatation in der Lage ist, einen 38-t-Lkw aufzuhalten, ohne dass die Dilatationsstoß-Konstruktion versagt.

Eine weitere Besonderheit bei der Prüfung von Schutzeinrichtungen auf Brücken nach Kap 1 stellt das Geländer am Gesimsrand dar. Den Herstellern wird empfohlen, ein Regelgeländer nach den Zeichnungen Gel 3 und Gel 14 bei der Anprallprüfung zu installieren, um gegebenenfalls dessen Einfluss auf das System- und Fahrzeugverhalten beurteilen zu können. Diese Forderung wird erhoben, da nicht ausgeschlossen werden kann, dass ein Geländer – neben seiner Funktion als Fußgänger-Rückhaltesystem – auch als Bestandteil der Schutzeinrichtung fungiert (Wirkungsbereich der Schutzeinrichtung reicht bis ins Geländer).

Bei einer Aufstellung der Schutzeinrichtung auf der Brücke muss die Verankerung des Systems innerhalb der Kappe erfolgen. Die Länge gesetzter Anker ist auf 13 cm beschränkt, damit ausreichend Überdeckung vorhanden ist und die Dichtung unterhalb der Kappe nicht beschädigt wird. Für die bisherige Standard-Schutzeinrichtung auf Brücken, EDSP 1,33 mit Geländer und Seil im Geländerhandlauf, ist die Fähigkeit zur Aufnahme der Verankerungskräfte durch eine Ausziehprüfung der Anker entsprechend der Zeichnung Prüf 1 nachzuweisen. Bei modernen Schutzeinrichtungen kann die Funktionsweise jedoch abweichend sein, zum Beispiel durch planmäßiges Abscheren der Anker. Im Rahmen der Anprallprüfung wird daher die Gesamtwirkungsweise der Schutzeinrichtung einschließlich der Anker nachgewiesen. Auf einen gesonderten Nachweis der Ankerausziehkräfte kann verzichtet werden. Wenn auch der Nachweis nach Prüf 1 nicht mehr erforderlich ist, so bedarf es aber zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit der Einhaltung anderer Kriterien. Die wichtigsten sind die unterseitige Betonüberdeckung des Ankers von 1,5 cm sowie die Korrosionsschutzanforderungen an den Anker hinsichtlich einer Ausführung in Edelstahl beziehungsweise durch eine Feuerverzinkung. Die Anforderungen werden zukünftig in den ZTV-ING festgelegt werden.

4 Prüfung der Schutzeinrichtungen

4.1 Allgemeines

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurden insgesamt 27 Anprallprüfungen an 14 Systemen durchgeführt. Nicht alle Systeme haben die Anprallprüfungen gemäß DIN EN 1317 [4] erfolgreich bestanden. Grund waren die Überschreitung der erlaubten Werte für die Anprallheftigkeit, das Lösen wesentlicher Teile mit Gefährdung Dritter und der Bruch von Hauptlängselementen. Die Anprallprüfungen wurden durch die BAST als PÜZ-Stelle durchgeführt und unterliegen der Vertraulichkeit. Daher werden in diesem Bericht nur sechs im Rahmen des Forschungsprojektes mit positivem Ergebnis geprüfte Schutzeinrichtungen in Aufbau und Konstruktion beschrieben, das jeweilige Verhalten während der Prüfung, getrennt nach Versuchstyp, aufgezeigt und die Schäden – insbesondere nach den TB-81-Versuchen – beschrieben. Die charakteristischen Prüfergebnisse werden im Kapitel 4.2 vergleichend aufgeführt. In den Bildern 9 bis 14 sind die Systeme herstellerneutral mit System A bis F dargestellt.

In Tabelle 5 sind relevante geometrische Angaben zum Aufbau der geprüften Schutzeinrichtungen

auf der Brückenkappenkonstruktion aufgeführt. Die Abstände zum Schrammbord beziehungsweise zum Geländer wurden jeweils am äußersten Teil der Schutzeinrichtung, Holm (Systeme B, C und E) oder Sockelkante (System A, D, und F) auf der Vorderseite und auf der Rückseite an Fuß- oder Schiebepplatten (Systeme B bis F) beziehungsweise Sockelkante (System A) bestimmt. Die senkrechte Höhe der Systeme über der Fahrbahnoberkante wurde jeweils an dem von der Fahrbahn am weitesten entfernt gelegenen Teil des Systems ermittelt, sie bezieht sich auf die Position des Systems auf der Brückenkappe in der Prüfung.

Die Systeme werden mittels Anker mit der Brückenkappe kraftschlüssig verbunden. Die Angaben zur Verankerung sind der Tabelle 6 zu entnehmen. Dabei entspricht der Achsabstand der Fußplattenkonstruktionen, außer beim System D, auch dem Rastermaß der Verankerung auf der Brückenkappe. Beim System D wechselt der Abstand der Fußplatten zwischen 2,66 m innerhalb eines Elementes und 1,33 m zwischen zwei Elementen. Für die Verbindung wurden Verbundklebeanker oder Betonschrauben verwendet.

Weiterführende Angaben, insbesondere zum Hersteller der Verankerungen, sind in den Prüfber-

System	Höhe der Schutzeinrichtung über Oberkante		Breite	Abstand zwischen Vorderkante	
	Brückenkappe	Fahrbahn		Schrammbord und Vorderkante System	Geländer und Hinterkante System
A	1,00	1,07	0,58	0,00	1,17
B	1,15	1,24	0,60	0,40	0,75
C	1,50	1,59	0,56	0,50	0,69
D	1,28	1,36	0,95	0,22	0,58
E	1,47	1,56	0,67	0,40	0,68
F	1,68	1,76	0,61	0,31	0,83

Anmerkung: Beim System D beträgt die Breite des Systems einschließlich der Schiebepplatten 0,95 m, die Breite des Korpus misst 0,71 m.

Tab. 5: Übersicht der Systemabmessungen in [m]



Bild 9: System A



Bild 12: System D



Bild 10: System B



Bild 13: System E



Bild 11: System C



Bild 14: System F

System	Elementlänge [m]	Achsabstand der Fußplatten [m]	Anzahl der Anker je		Art der Verankerung und Durchmesser der Ankerstange	Gewicht der Schutzeinrichtung [kg/m]
			Fußplatte	Element		
A	6,0	6,00	1	1	Verbundklebeanker, M16	783
B	4,0	1,33	4	12	Verbundklebeanker, M16	88
C	6,0	1,50	3	12	Verbundklebeanker, 2 x M16 , 1 x M10	202
D	4,0	2,66	6	12	Betonschrauben, B16	168
E	4,0	1,33	3	9	Betonschrauben, B16	76
F	6,0	3,00	4	16	Verbundklebeanker, M16	104

Tab. 6: Verankerung und Gewicht der Schutzeinrichtung

richten zu den Anprallprüfungen dokumentiert. Die verwendeten Elementlängen betragen 4 beziehungsweise 6 m, wobei der Stoßversatz zwischen Elementbestandteilen wie z. B. Holmprofil und Kastenprofil beim System B unberücksichtigt bleibt. Alle Systeme besaßen am Systemanfang und am Systemende eine Verankerung, die eine kontinuierliche kraftschlüssige Weiterführung des Systems ersetzen sollte. Ein Teil der in eine Schutzeinrichtung eingeleiteten Kräfte wird in Längsrichtung des Systems abgetragen. Endet eine Schutzeinrichtung, ist an deren Ende eine Verankerung oder Absenkung zu installieren, die in der Lage ist, diese Längskräfte aufzunehmen und abzuleiten.



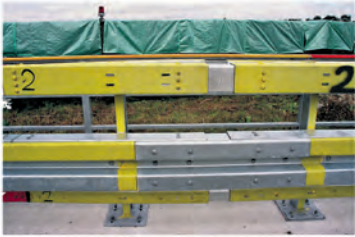


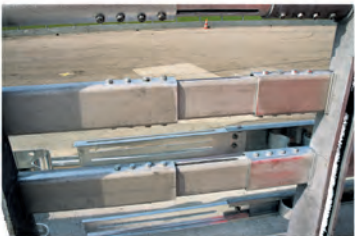






Alle Systeme verfügen bei der Prüfung über jeweils eine Dilatationskonstruktion, die in Tabelle 7 dargestellt sind. Bis auf das System C sind alle Dilatationskonstruktionen vor dem Anprallpunkt eingebaut. Die Dilatationskonstruktionen sind überwiegend in der Weise konstruiert, dass eine Bewegung mittels Langlöchern ermöglicht wird. Dabei werden längsorientierte Bauteile, z. B. Schutzplankenholme, überlappend angeordnet und in jeweils einem der beiden Bauteile sind Langlöcher, in die die im überlappenden Bauteil fixierten Schrauben greifen. Anders sieht die Kon-

struktion beim System A aus. Dort wurde stattdessen ein hydraulischer Dämpfer eingebaut, der eine Bewegung längs der Systemachse ermöglicht, und ein Führungsrohr soll zusätzlich eine Kraftübertragung in Querrichtung gewährleisten.

Beim System E wird die Dilatation bei beiden Gewindestangen in der Form ausgeführt, dass diese in einen rückseitig offenen Kasten geführt werden und dort am Ende mit je zwei Muttern fixiert sind (siehe Tabelle 7). Die Dilatation beim System F hat im Bereich des gekanteten Trapezbleches eingearbeitete Kunststoffelemente, die die Gleitbewegungen in Abhängigkeit der Bewegungsgeschwindigkeit beeinflussen.

Die für den jeweiligen Einsatzzweck erforderliche Art und der Umfang der Dilatation sollten jedoch dem Grundprinzip der in der Prüfung verwendeten Dilatation entsprechen. Weitergehende Angaben zu den hier dargestellten und zu den für die jeweilige Brücke erforderlichen Dilatationskonstruktionen sind beim entsprechenden Hersteller nachzufragen.

Bei allen Prüfungen wurde auf der Brückenkappenkonstruktion ein Geländer Gel 3 gemäß Zeichnungen für Ingenieurbauten (RiZ-ING) [3] aufgebaut.

System	Vorderseite	Rückseite	Einbauort	Länge des Dilatationsweges [mm]
A			ca. 15,6 m vor dem Anprallpunkt	± 125
B			ca. 14,2 m vor dem Anprallpunkt	± 160
C			ca. 37,4 m nach dem Anprallpunkt	± 350
D			ca. 16,5 m vor dem Anprallpunkt	± 160
E			ca. 17,2 m vor dem Anprallpunkt	± 100
F			ca. 25,2 m vor dem Anprallpunkt	± 350

Tab. 7: Darstellung der Dilatationskonstruktionen

4.2 Versuchsablauf

Die Versuche wurden von der BAST als PÜZ-Stelle in Kooperation mit der TÜV Süd Automotive GmbH, die für die technische Durchführung der Versuche verantwortlich ist, auf dem Testgelände (Bild 15) in München-Allach durchgeführt. Das Verfahren zur Durchführung der Anprallversuche ist ausführlich in [10] beschrieben. Von den beiden für die Erreichung einer Aufhaltestufe nötigen Anprallversuche wurde mit der Anprallprüfung TB 11 (Pkw, 900 kg) begonnen. Anschließend wurden die Beschädigungen am System beseitigt und das System neu ausgerichtet, um danach mit dem schwereren Fahrzeug (TB 81) die Schutteinrichtung auf ihre Aufhaltetätigkeit zu prüfen.

Exemplarisch werden die Anprallvorgänge für beide Versuchsarten (TB 11 und TB 81) an zwei Systemen mit unterschiedlicher Wirkungsweise gezeigt (Bilder 16 und 17).



Bild 15: Übersicht Testgelände der TÜV Süd Automotive GmbH, München



Bild 16: Anprallsequenz TB-11-Versuch



Bild 17: Anprallsequenz TB-81-Versuch

4.3 System A

Das System A ist eine Betonschutzwand, die aus 6 m langen bewehrten Betonfertigteilen hergestellt ist. Das einzelne Betonfertigteile weist eine Höhe von 100 cm und eine Breite von 21 cm am Kopf sowie 58 cm am Fuß auf. Die Unterkante der Schutzeinrichtung schließt bündig mit dem Schrammbord ab, die Höhe über Fahrbahnoberkante beträgt 1,07 m. Das Wandprofil ist asymmetrisch und weist straßenzugewandt ein „New-Jersey-Profil“ und rückseitig ein nahezu senkrechttes Profil auf. Die Verbindung der einzelnen Fertigteile untereinander erfolgt über ein Stahlverbindungselement aus einem Doppel-T-Wulststahl, das in die in die Elemente einbetonierten Halteklauen eingelassen wird. Zusätzlich sind die Elemente über eine gemeinsame Fußplatte aus Stahl miteinander verbunden. An jedem Ende des Elements sind mittels Kopfbolzendübeln zwei Flacheisen angebracht, die in eine rahmenartige Konstruktion der Fußplatte hineingreifen. Die Fußplatte wird mit einem Verbundanker M16 x 165 auf der Brückenkappe fixiert, wobei ein Langloch eine ca. 60 mm lange Gleitführung der Fußplatte ermöglichen soll.

Insgesamt wurden für die Prüfung 15 Elemente des Systems aufgebaut. Am Anfang und am Ende

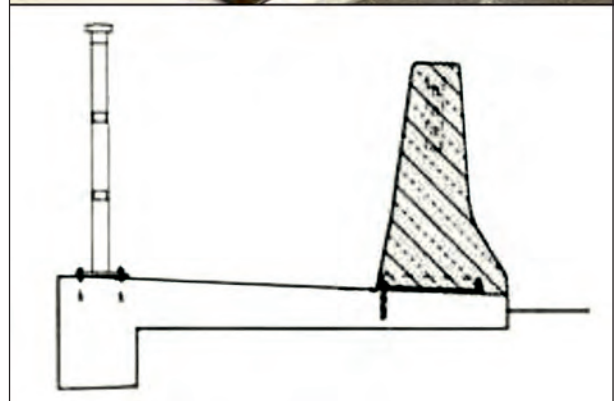


Bild 18: System A

waren jeweils ein verankertes Rampenelement (Länge 4,25 m) installiert. Ein Teil des Systems und die Absenkung am Ende ragten über die Brückenkappenkonstruktion hinaus und waren auf der angrenzenden befestigten Prüffläche aufgestellt (ca. 18,5 m).

TB 11

Das Fahrzeug prallt mit der linken vorderen Ecke gegen das System. Die Wucht des Anpralls und der Systemwiderstand deformieren die Karosserie auf der linken Seite, bevor das linke Vorderrad die Stufe der Brückenkappen-Konstruktion berührt. Das System führt das Fahrzeug kontinuierlich und rasch zur Umlenkung, bleibt dabei aber visuell so lange starr, bis die Fahrzeugverformung beendet ist. Erst danach verschieben sich die beiden angefahrenen Elemente am Stoß innerhalb der Gleitführung der Stoßversteifung um das maximal mögliche Maß quer zur Aufstellrichtung (Bild 19).



Bild 19: Anprall TB 11 an das System A



Bild 20: System A: Kontaktstrecke nach Prüfung TB 11 mit Systemschäden

In der darauffolgenden Abprallphase verlieren nacheinander die Vorder- und die Hinterräder den Kontakt zur Fahrbahn. Etwa zeitgleich zersplittert die linke Seitenscheibe und die Frontscheibe löst sich aus der Fassung. Das Fahrzeug setzt zuerst mit den Vorderrädern tief einfedernd und anschließend mit den Hinterrädern wieder auf. Die Fahrlage stabilisiert sich trotz der frontal linksseitigen Schäden am Fahrwerk rasch. Das Fahrzeug entfernt sich in dieser Situation nahezu linear vom System.

Die Schäden erstrecken sich über eine Länge von 4,5 m und bestehen aus minimalen Abplatzungen im Sockelbereich sowie Kratz- und Reifenspuren (Bild 20). Die aufgetretene Querverschiebung erfolgte innerhalb der Gleitführung eines Stoßes und kann durch Zurückschieben der angrenzenden Elemente behoben werden.

TB 81

Der Sattelzug trifft mit der Zugmaschine auf das System, wobei annähernd zeitgleich die linke Stoßfängerecke und das linke Vorderrad mit der Wand beziehungsweise dem Sockel des Systems kollidieren. Nach anfänglichen Fahrzeugverformungen drängt die Zugmaschine gegen das System und verschiebt die angefahrenen Elemente relativ kontinuierlich quer zur Aufstellrichtung, während das System den anprallenden Sattelzug hält und zur Umlenkung führt (Bild 21). Die partiellen Querverschiebungen dauern bis zum Heckanprall des Aufliegers an und dehnen sich über den eigentlichen Kontaktbereich (ca. 18 m) zwischen Fahrzeug und



Bild 21: Anprall TB 81 an das System A



Bild 22: System A: Kontaktstrecke nach Prüfung TB 81 mit Systemschäden

System nach beiden Seiten weiter (jeweils ca. 18 m) aus. Diese Auslenkungen sind geringfügiger und finden innerhalb der Gleitführung der betreffenden Stoßversteifungen statt. Beim Anprall des Sattelauflegers schwenkt zuerst die linke vordere Ecke über das System und im weiteren Verlauf stützt sich die linke Kante der Ladefläche anhaltend auf dem System ab. Während dieser instabilen Seitenlage schwenkt die linke obere Ecke der Heckbordwand in die äußerste seitliche Fahrzeugposition. Der Sattelzug gewinnt nachfolgend wieder eine stabile Fahrlage und entfernt sich danach in einer fast linear verlaufenden Fahrt weiter vom System.

Durch den Anprall mit dem Lkw werden am System substantielle Schäden hervorgerufen. Die Schäden reichen über insgesamt acht Elemente, davon sind zwei unbeschädigt und nur in der Gleitführung verschoben. Neben den Kontaktschäden entstehen Betonabplatzungen und -abbrüche an den Elementen sowie Verwölbungen an einzelnen Fußplatten und Beschädigungen an den Ankern (Bild 22).

Weder die Brückendecke noch das Gelände wurde in bei dem Anprallversuch beschädigt.

4.4 System B

Das System B ist eine Stahlschutteinrichtung mit einer Elementlänge von 4 m. Jeweils fünf in Längsrichtung angeordnete Holme und drei verankerte Pfosten bilden ein Element. Die fünf Holme sind der straßenzugewandte Schutzplankenholm, zwei Kastenprofilholme und zwei Zwischenholme. Die Pfosten sind über eine Fußplatte mit jeweils vier Verbundklebankern M16 auf der Brückendecke befestigt. Laschen-Klemmverbindungen fixieren die Holme an den im Achsabstand von 1,33 m ver-

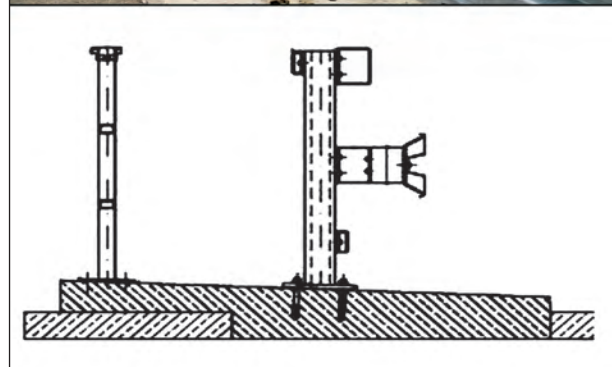


Bild 23: System B

kerten Pfosten. Die stumpf gestoßenen Kasten- und Zwischenholme sind stoßübergreifend mit innen angebrachten Stoßverbindern beziehungsweise Laschen versteift. Die Schutzplankenholme überlappen in Verkehrsrichtung und sind über Deformationsrohre an den Kastenprofilholmen angebracht. Die Stoßverbindungen der Holme sind durch mehrfache Schraubverbindungen kraftschlüssig ausgeführt.

Zur Prüfung wurden insgesamt 15 Elemente aufgebaut. Eine jeweils 12 m lange Absenkung am Anfang und am Ende war ebenfalls installiert. Die Absenkungen waren am jeweiligen äußeren Punkt mittels eines 2,0 m langen gerammten HEB-Pfostens verankert.

TB 11

Das Fahrzeug überfährt sichtlich ohne Fahrtrichtungsänderung mit dem linken Vorderrad das Schrammbord und trifft zuerst gegen den auskragenden Schutzplankenholm der Schutteinrichtung. Die Stahlkonstruktion fängt den Anprall des Fahrzeugs mit einer elastischen Reaktion des Holmes ab. Schutzplankenholmstrang (B-Profil), Deformationsrohre und der untere Zwischenholm (Unterfahrerschutz) absorbieren die eingeleiteten Kräfte, hauptsächlich durch Verformung. Synchron dazu



Bild 24: Anprall TB 11 an das System B



Bild 25: System B: Kontaktstrecke nach Prüfung TB 11 mit Systemschäden

vollzieht sich die rasche Fahrzeugumlenkung bei entsprechend kurzer Kontaktstrecke. Etwa am Wendepunkt der Umlenkung zersplittert der Kopf des Dummies die Seitenscheibe, jedoch ohne das System zu berühren. Während des Anprallvorganges verliert keines der Räder den Bodenkontakt und die Fahrlage des Fahrzeugs bleibt stabil.

Die Systemverformungen durch den Anprall des Pkw erfordern geringe Erneuerungsmaßnahmen im Bereich von drei Elementen. Im Kontaktbereich von 4,2 m entstehen Kratz-, Schleif- und Reifenspuren sowie partielle Verformungen an Holmen und Deformationsrohren.

TB 81

Die Zugmaschine des Sattelzuges überfährt visuell unbeeinflusst das Schrammbord der Brückenkappe und prallt mit der linken vorderen Stoßfängerecke gegen den auskragenden Schutzplanken-



Bild 26: Anprall TB 81 an das System B



Bild 27: System B: Kontaktstrecke nach Prüfung TB 81 mit Systemschäden

holm und im Anschluss die Zugmaschine gegen den oberen Kastenprofilholm. Das System reagiert zunächst mit den gestaffelten Holmsträngen und nachfolgend mit einer Verformung der Pfosten im Anprallbereich. Gleichlaufend mit den elastisch-plastischen Verformungen beginnt die überwiegend kontinuierlich verlaufende Umlenkung der Zugmaschine. Kurz nachdem die Aufliegerecke in das System eindringt, verliert das rechte Vorderrad der Zugmaschine den Fahrbahnkontakt. Infolge der Pfostenumbiegung und des Aufpralls des Aufliegers werden auch die Holme nach unten gedrückt und lösen sich dabei teilweise von den Pfosten, während dieser über das System schwenkt und unter Mitwirkung des Holmgeländers geführt wird. Hierbei kommt es bei einer Schräglage des Aufliegers zur maximalen seitlichen Auslenkung des Fahrzeugs (linke hintere Aufliegerecke), bei der sich der Auflieger vor allem auf dem Holmgeländer abstützt und nur unterhalb

der Bordwand von den Holmsträngen des Systems geführt wird. Im weiteren Anprallvorgang stabilisiert sich die Fahrlage der Sattelzugmaschine und die Holmstränge des Systems übernehmen wieder die Führung und Stützung des Aufliegers. Das Fahrzeug kommt vor Beginn der Absenkung am System zum Stillstand.

Die infolge des Lkw-Anpralls an System und Holmgeländer entstandenen Schäden sind substanzieller Art und erfordern Erneuerungsmaßnahmen über einen Bereich von 18 Elementen. Im Kontaktbereich werden umgeknickte Pfosten, von den Pfosten gelöste und stark verformte Holmstränge, Kratz-, Schleif- und Reifenspuren sowie Verformungen am Geländer verursacht. Der untere Zwischenholm wurde auf einer Länge von ca. 40 m durchgehend vom System gelöst und weist Verformungen und Reifenspuren auf. Beim Geländer wird zum Teil der Handlauf verformt und die Pfosten stehen quer zur Aufstellflucht schief, was auch teilweise aufgewölbte Fußplatten zur Folge hat. An der Brückenkappenkonstruktion entstehen keine substanziellen Schäden.

4.5 System C

Das System C besteht aus Stahlbauteilen mit einem Pfostenabstand von 1,50 m. Die Länge der Elemente beträgt 6,0 m. Die Pfosten sind über eine Fußplatte und drei Verbundklebeanker (2 x M16 straßenzugewandt und 1 x M10 rückseitig) mit der Brückenkappe verbunden. Pfosten, oberer Holm und die beiden Zwischenholme sind zu einem tragwerkartigen Rahmen zusammengefügt und steif miteinander verbunden. Der Schutzplankenholm beziehungsweise das Unterfahrerschutzprofil bestehen jeweils aus C-Profilen und sind mittels Distanzstücken an dem Zwischenholm beziehungsweise direkt am Pfosten befestigt. Für die Verbindung aller Holme sorgen innen angeordnete Stoßverbinder und mehrfache Schraubverbindungen. In den Pfostenfußplatten eingebrachte Langlöcher ermöglichen eine gleitende Lageänderung der Pfosten quer zur Systemflucht.

Aufgebaut wurden insgesamt 13 Elemente sowie jeweils eine Absenkung am Anfang und am Ende. Zusätzlich war an die Absenkung am Systemende eine einfache Schutzplanke montiert.

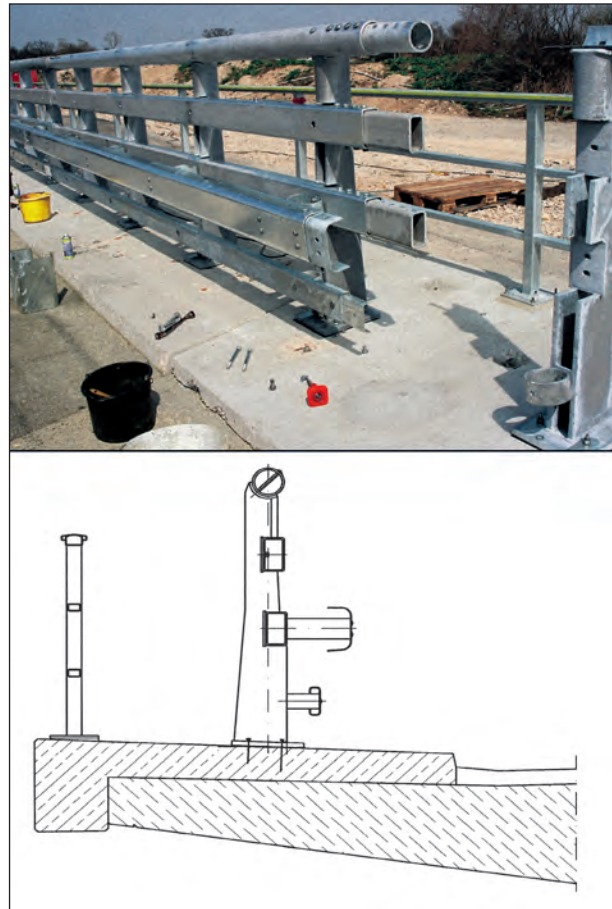


Bild 28: System C

TB 11

Das Fahrzeug überfährt – in der Fahrtrichtung anscheinend unbeeinflusst – mit dem linken Vorderrad das Schrammbord und prallt vorn links mit Karosserie- und Stoßfängerecke gegen die Schutzplanke und dann gegen den Unterfahrerschutz des Systems. Das System fängt den Anprall des leichten Fahrzeugs mit den ausragenden Systemteilen ab und leitet die Fahrzeugumlenkung ein. Schutzplanke und Unterfahrerschutz absorbieren die eingeleiteten Kräfte und übertragen sie auch auf die Rahmenkonstruktion aus Pfosten und Holmen. Im Anprallbereich tragen drei Pfosten durch Querverschiebung in den Langlöchern der Fußplatte zum Abbau der Anprallenergie bei. Das Fahrzeug presst sich dabei anhaltend gegen das System und schrammt hauptsächlich links daran entlang. Der Dummy zerschlägt die linke vordere Seitenscheibe, berührt jedoch nicht das System.

Die Fahrlage bleibt stabil und nach kurzer Kontaktstrecke entfernt sich das Fahrzeug ohne deutlichen Abprall nahezu linear vom System.



Bild 29: Anprall TB 11 an das System C



Bild 31: Anprall TB 81 an das System C



Bild 30: System C: Kontaktstrecke nach Prüfung TB 11 mit Systemschäden



Bild 32: System C: Kontaktstrecke nach Prüfung TB 81 mit Systemschäden

Im Kontaktbereich entstehen durch den Pkw-Anprall Verformungen, zudem Kratz-, Schleif- und Reifenspuren. Beschädigt werden Distanzstücke, der mittlere und untere Holm in einem Bereich von einem Element. Die Verschiebung von drei Pfosten erfolgte innerhalb der Langlochung der Fußplatten.

TB 81

Die Zugmaschine des Sattelzuges überquert mit dem linken Vorderrad anscheinend ohne Richtungsänderung das Schrammbord der Brückenkappe und prallt dabei mit der linken Stoßfängerecke gegen den auskragenden Schutzplankenholm. Die verankerte Stahlkonstruktion reagiert auf den Anprall des schweren Sattelzuges mit der gegliederten Systembauweise entsprechend nachgiebig, aber geschlossen. Nach der raschen Verformung

von Schutzplankenholm- und Unterfahrerschutzstrang hält der kompakte rahmenartige hintere Teil aus Pfosten und den drei Holmsträngen das Fahrzeug zurück und lenkt das Fahrzeug um.

Die belasteten Pfosten gleiten mit den Fußplatten in deren Langlöchern. Ist das Maß der Langlöcher erschöpft, werden die Verbundanker bis zum Abscheren belastet. Infolge dieser beiden Systemreaktionen wird das System nahezu aufrecht und geschlossen quer zur Bauflucht ausgelenkt. Im Bereich der maximalen Auslenkung wird dabei das Holmgeländer belastet und in die Fahrzeugrückhaltung integriert. Durch den beständigen Lenkeinschlag drängt die Zugmaschine fortwährend vorn links gegen das System. Am Wendepunkt der Umlenkung prallt die linke vordere Ecke des Aufliegers gegen das System und die hintere Ecke der Ladebordwand erreicht

beim Schwenk über dem System vorübergehend die äußerste seitliche Fahrzeugposition. Das System hält und führt das Fahrzeug kontinuierlich zur Umlenkung. Währenddessen bleibt das Fahrzeug nahezu aufrecht und in stabiler Fahrlage. Der Sattelzug löst sich nicht vom System und kommt an dessen Ende zum Stillstand.

Der Lkw-Anprall verursacht deutliche Verformungen an einigen Holmen und Distanzstücken. Die Fußverankerungen sind an den Stellen, wo die Querverschiebung der Pfosten über das Maß der Langlochung hinausgeht, abgesichert. Der Beton der Brückenkappe ist an diesen Stellen zum Teil oberflächlich abgeplatzt beziehungsweise die Oberfläche durch die verschobenen Fußplatten der Pfosten abgeschürft. Das Gelände ist in den belasteten Bereichen schief gestellt, einige Fußplatten aufgewölbt und die Pfostenverankerungen zum Teil gelöst. Die Beschädigungen erstrecken sich auf insgesamt 11 Elemente.

4.6 System D

Vorgefertigte Hauptelementen aus Stahl kennzeichnen das System D. Ein Hauptelement besteht aus zwei Blechen, die oben stumpf gestoßen und durchgehend miteinander verschweißt sind. Die beiden Hauptbleche sind durch mehrere eingeschweißte Stützbleche stabilisiert. Der anfahrseitige Fuß ist 3° und die Sockelwand 80° geneigt. Im Sockel sind drei C125-Pfosten eingelassen, die am oberen Ende einen angeschraubten Holmstrang aus einem offenen Kastenprofil tragen. Im oberen Sockelbereich sind die Pfosten über eine angeschweißte Ronde mit dem Sockel verschraubt. Die Verbindung zwischen den 4 m langen Hauptelementen erfolgt durch Verschraubung mit innen liegenden Laschen im Sockel und im Holmstrang. Die Hauptelemente sind über eingeschweißte U-Profil-ähnliche Träger mit je zwei Schiebepplatten verschraubt. Die Schiebepplatten bestehen aus drei plattenartigen Teilen, von denen die beiden äußeren durch sechs Betonschrauben (B16 x 180) mit der Brückenkappe verbunden sind. Die mittlere schwertförmige Platte ist durch drei Schrauben mit dem Sockel verbunden und kann sich mit dem Sockel quer zum System in Richtung Brückenrand verschieben.

Bei der Prüfung waren 12 Elemente installiert. Am jeweiligen Ende war das System fest mit der Brückenkappe verankert. Daran schlossen sich die Ab-

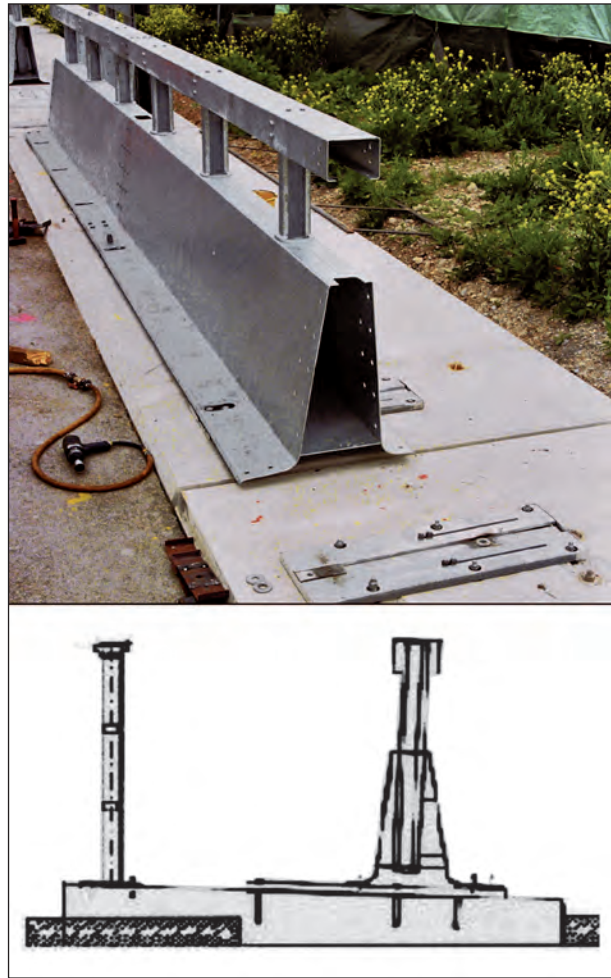


Bild 33: System D

senkungen aus baugleichen Hauptelementen wie das System selbst an, die jedoch nicht auf Schiebepplatten angebracht sind. Das jeweils äußere war als Rampelement ausgebildet. Am Ende schloss sich daran noch die gerammte Schutzeinrichtung „Super-Rail“ an.

TB 11

Ohne in der Fahrtrichtung sichtbar beeinflusst zu werden, überfährt der Pkw das Schrammbord und prallt gegen die Schutzeinrichtung. Das System gibt dem Anprall im Wesentlichen durch Querverschiebung der Sockelteile auf den verschiebbaren Teilen der Schiebepplatten nach und im Kontaktbereich nimmt das System zusätzlich Anprallenergie durch sehr geringe Verwölbungen im Fußbereich auf. Das Fahrzeug steigt mit dem linken Frontbereich auf und dreht sich bis etwa parallel zum Sockelblech der Schutzeinrichtung. In dieser Phase stößt der Dummy mit dem Kopf gegen das Fahrtürfenster und zerstört das Glas, berührt aber



Bild 34: Anprall TB 11 an das System D



Bild 35: System D: Kontaktstrecke nach Prüfung TB 11 mit Systemschäden

nicht das System. Etwa parallel zum System verliert das Fahrzeug dann vollständig den Fahrkontakt und entfernt sich währenddessen nahezu in Parallelstellung vom System. Das Fahrzeug erlangt den Bodenkontakt zuerst mit den Vorderrädern und bewegt sich danach vom System weg.

Am System entstehen durch den Pkw-Anprall leichte Verwölbungen im Fußbereich des Sockels sowie Kratz- und Reifenspuren bei insgesamt zwei Elementen. Die aufgetretene Querverschiebung erfolgt innerhalb der Gleitführung der Schiebepatten bei insgesamt neun Elementen und kann durch Zurückschieben der betroffenen Elemente behoben werden.

TB 81

Die Zugmaschine des Lkw prallt unmittelbar nach dem Überfahren des Schrammbordes mit der lin-



Bild 36: Anprall TB 81 an das System D



Bild 37: System D: Kontaktstrecke nach Prüfung TB 81 mit Systemschäden

ken vorderen Ecke des Stoßfängers an das System an und wird direkt danach etwa parallel zum System umgelenkt. Auf den Anprall reagiert das System zunächst mit einer Verschiebung auf den Schiebepatten. Die Querverschiebung des Systems verläuft zunächst nahezu ungebremst, um nach einem Weg von ca. 0,4 m innerhalb der Schiebepatten abgebremst zu werden. Etwa im Bereich des Anprallpunktes ist die Querverschiebung am größten und nimmt von dort etwa in Form eines gleichmäßigen Bogens ab. Während des Aufstiegs wird das Fahrzeug vom System mit Sockel und Kastenprofil gehalten und umgelenkt. Der Anprall des Sattelauflegers wird vom System mit elastischen Verformungen aufgenommen. Dabei erreicht dieser mit seiner linken vorderen Ladeflächecke die maximale seitliche Position des Fahrzeuges. In dieser Phase ist das Fahrzeug für kurze Zeit vollständig ohne Kontakt zur Fahrbahn. Während des Anprallvorganges bleibt die Fahrlage des

Fahrzeugs stabil und nahezu aufrecht. Nach dem Aufkommen bewegt sich das Fahrzeug vor dem System weiter und kommt auf dem Testgelände in etwa der Verlängerung der Systemachse zum Stehen.

Durch den Lkw-Anprall entstehen im Kontaktbereich neben Kratz-, Schleif- und Reifenspuren Verformungen an Verbindungsblechen der Elemente, am Kastenprofil, Pfosten und Sockelblech. Einige Pfosten werden auch aus dem Sockel gezogen. Insgesamt sind an fünf Elementen Schäden aufgetreten.

4.7 System E

Beim System E sind in Längsrichtung fahrbahnseitig Schutzplankenholme formschlüssig überlappend angeordnet und kraftschlüssig miteinander verbunden. Sie definieren die übrigen Bestandteile und das Format eines 4-m-Elementes. Der Holm ist an Haltebügeln befestigt, die von je zwei energieabsorbierend ausgebildeten Halbschalen (Distanzstücke) in einer straßenzugewandt auskragenden Position gehalten werden. Die Verbindung Haltebügel/Halbschalen ist gleit- und ausklinkfähig ausgebildet. Am oberen Ende des Pfostens sind zwei Zugstangen aus Bewehrungsstahl übereinander im

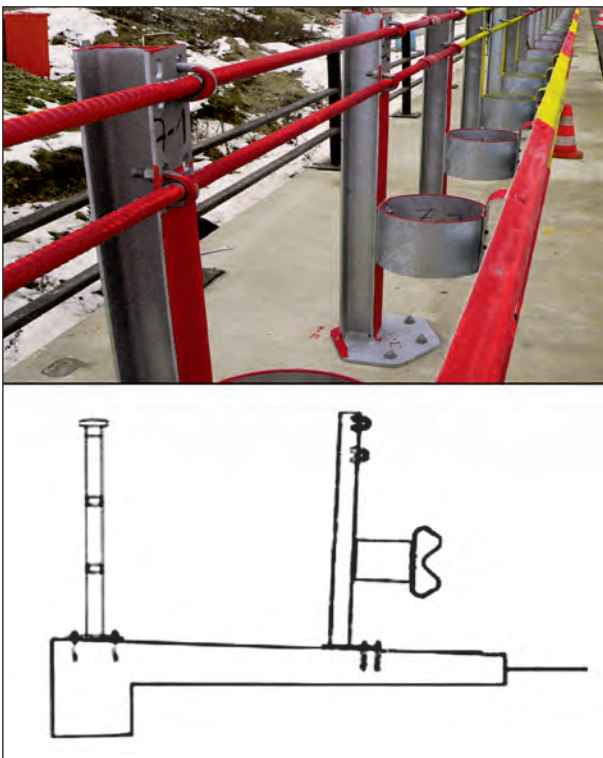


Bild 38: System E

Abstand von 200 mm angeordnet. Die Zugstangen sind am Pfosten durch je einen u-förmig gebogenen Bolzen befestigt. Die Zugstangen sind mittels Rundmuffen und Muttern miteinander kraftschlüssig gekoppelt. Der Pfostenabstand und damit auch der Abstand der Holm- und Zugstangenbefestigung betragen 1,33 m. Die Pfostenverankerung erfolgt über die angeschweißten Fußplatten mit drei Betonschrauben (B16 x 190) quer zur Bauflucht, wobei die mittlere zur Fahrbahn hin versetzt angeordnet ist.

18 Elemente wurden für die Prüfung auf der Brückenkappenkonstruktion montiert. Am Anfang und am Ende war jeweils eine Absenkung aufgebaut, an deren äußerem Ende die Zugstangen an einem gerammten Pfosten verspannt sind.

TB 11

Das Fahrzeug überfährt – in der Fahrtrichtung anscheinend unbeeinflusst – mit dem linken Vorderrad das Schrammbord und prallt unmittelbar danach vorne links mit der Stoßfängerecke und der Karosserie gegen den Holm. Das System nimmt den Anprall insbesondere mit den auskragenden Systemteilen nachgiebig auf. Durch die plastischen Verformungen der Distanzstücke und des Holms wird die Anprallenergie größtenteils absorbiert. Die Pfosten unterstützen dieses Verhalten mit einer elastischen Nachgiebigkeit. Die kollisionsbedingten frontalen seitlichen Fahrzeugverformungen und die Systemreaktion leiten sofort die rasch und kontinuierlich verlaufende Fahrzeugumlenkung ein. Dabei wird das Fahrzeug anhaltend an den Holm gepresst und von diesem gehalten. In einer annähernd parallelen Stellung zum System zerschlägt der Kopf des Dummies die vordere linke Seitenscheibe, ohne



Bild 39: Anprall TB 11 an das System E



Bild 40: System E: Kontaktstrecke nach Prüfung TB 11 mit Systemschäden

jedoch das System zu berühren. Das Fahrzeug befindet sich trotz der rasch verlaufenden Umlenkung in einer nahezu neigungsfreien aufrechten Fahrlage, der Abprall führt das Fahrzeug nach Verlassen der Brückenkappe in einer leicht bogenförmigen Fahrlinie vom System fort.

Der Anprall des Pkw führt zu Verformungen des Holms und der Distanzstücke im Kontaktbereich (zwei Elemente) sowie zu Kratz-, Schleif- und Reifenspuren.

TB 81

Auch der Sattelzug überfährt das Schrammbord visuell unbeeinflusst und trifft mit der linken vorderen Stoßfängerecke der Zugmaschine gegen den auskragenden Schutzplankenholm des Systems. Die Stahlkonstruktion nimmt den Anprall des schweren Fahrzeugs der Bauweise entsprechend energieabsorbierend mit elastischen und plastischen Verformungen auf. Durch die eingeleitete Anprallwucht werden zunächst die Distanzstücke und der Holm deformiert. Das Fahrzeug dringt dabei in das nachgiebige System ein und verursacht die Verformung der Pfosten zur Kappenhinterkante. Gleichlaufend mit den Verformungen beginnt die überwiegend kontinuierlich verlaufende Umlenkung der Zugmaschine. Infolge der Pfostenumbiegung wird der Holm mit nach unten gedrückt und löst sich dabei zusammen mit den Haltebügeln von den Distanzstücken und damit von den Pfosten. Durch die oben an den Pfosten angeordneten Zugstangen wird die Verformung der Pfosten begrenzt. Die Pfosten sind durch die Zugmaschine so umgebogen worden, dass die vordere linke Ecke des Aufliegers über das System gezogen wird und es dabei zur maximalen Auslenkung des Fahrzeugs (vordere linke Ecke) kommt. Das Fahrzeug bewegt sich



Bild 41: Anprall TB 81 an das System E



Bild 42: System E: Kontaktstrecke nach Prüfung TB 81 mit Systemschäden

nach dem abgeschlossenen Umlenkvorgang noch ein Stück weiter, bis es am Systemende parallel zum System zum Stillstand kommt.

Der Lkw-Anprall verursacht im Kontaktbereich starke Deformationen am Holm und den Distanzstücken. Im zentralen Anprallbereich haben sich Holm und Haltebügel von den Distanzstücken gelöst. Die Pfosten werden durch den Anprallvorgang größtenteils in Fahrtrichtung, aber auch zur Kappenhinterkante hin verbogen. Einige Fußplatten sind verwölbt und zum Teil sind die Schweißverbindungen zu den Pfosten eingerissen. Ebenso sind zahlreiche Pfosten verdreht. Mehrere Betonschrauben sind gerissen oder der Kopf der Betonschraube ist durch die Fußplatte durchgezogen worden. Außerdem entstehen Kratz-, Schleif- und Reifenspuren im gesamten Anprallbereich. Insgesamt entstehen an 13 Elementen Schäden.

Durch Betonausbrüche im Bereich von zwei Pfosten entstehen leichte Schäden an der Brückenkappe.

4.8 System F

Bei System F sind alle Elemente über jeweils zwei Fußplatten mit je vier Verbundklebeankern (M16 x 190) auf der Brückenkappen-Konstruktion befestigt. Hauptteil eines Elements ist ein gekantetes Stahlblech (Frontblech), das schräg nach hinten geneigt ist. Das Frontblech enthält zwei Sicken, ist im Sockelbereich weniger steil geneigt und am oberen Ende parallel zum Boden gekantet. Gekantete Stützbleche sind zur Versteifung und zu Verbindungszwecken an fünf Stellen auf der Rückseite der Frontbleche aufgeschweißt. Die Hauptlängselemente sind an den Stützblechen, die unterhalb der Kurzpfeiler angeordnet sind, durch aufgesetzte U-Profile und Schrauben mit den Fußplatten verbunden. Auf der Oberkante des Frontblechs sind je zwei Kurzpfeiler aufgeschraubt, die eine in Längsrichtung durchgehende Rohrkonstruktion tragen. Diese besteht aus ca. 6 m langen Einzelrohren, die durch Schraubverbindungen an den Kurzpfeilern

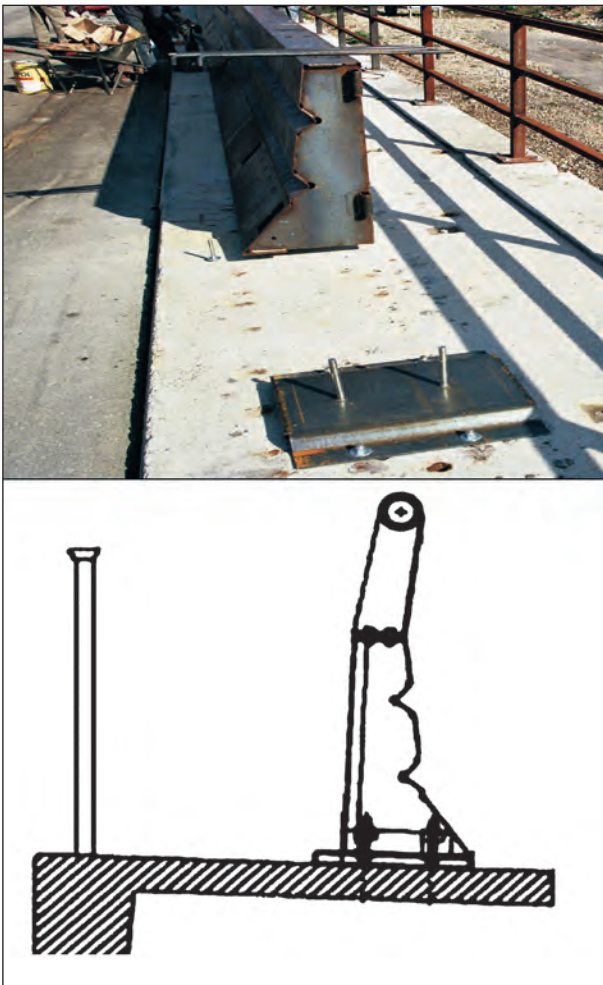


Bild 43: System F

kraftschlüssig angeschlossen und an jedem zweiten Kurzpfeiler gestoßen sind.

Die einzelnen Elemente sind im vorderen Fußbereich miteinander verschraubt und am Elementkopf durch eine Stahlplatte mit sechs Schrauben verbunden. An den Rückseiten der Elementenden sind jeweils Blechschlaufen in unterschiedlichen Höhen angeschweißt. Durch die Schlaufen wird ein Stabstahl über die nahezu gesamte Elementhöhe gesteckt, wodurch die Elemente rückseitig zusammengehalten werden.

Aufgebaut auf der Brückenkappenkonstruktion wurden für die Prüfung 11 Elemente und an deren Enden je ein Anfangs- und ein Endelement, die sich von den übrigen Elementen dadurch unterscheiden, dass die Rohrenden auf dem Element enden.

TB 11

Ohne visuell in der Fahrtrichtung beeinflusst zu werden, überfährt der Pkw mit dem linken Vorderrad das Schrammbord und prallt gegen die Schutzeinrichtung, die auf den Anprall mit elastisch-plastischen Verformungen im Anprallbereich reagiert. Das angeprallte Element weicht innerhalb der Schraubverbindung zwischen Element und Fußplatte dem Fahrzeug aus. Das Fahrzeug dreht sich dabei parallel zur Schutzeinrichtung und steigt daran empor. In dieser Phase zerschlägt der Dummy mit dem Kopf die Seitenscheibe, ohne jedoch die Schutzeinrichtung zu berühren.

Das Fahrzeug hebt kurzzeitig mit allen Rädern ab. Nachdem das Fahrzeug den Bodenkontakt wieder erlangt hat, entfernt es sich von der Schutzeinrichtung und fährt dann in einem weiten Bogen in Richtung Systemflucht.



Bild 44: Anprall TB 11 an das System F



Bild 45: System F: Kontaktstrecke nach Prüfung TB 11 mit Systemschäden

Im Kontaktbereich entstehen durch den Pkw-Anprall Kratz-, Schleif- und Reifenspuren und Deformationen an einem Element (Frontblech sowie Aussteifung unterhalb eines Kurzpfostens und Schraubverbindung zur Fußplatte).

TB 81

Die Zugmaschine überfährt mit dem linken Vorderad das Schrammbord und prallt unmittelbar danach mit der linken Stoßfängerseite gegen das System. Das System gibt dem Fahrzeuganprall im Wesentlichen durch eine dynamische Durchbiegung nach und verschiebt sich dabei zunächst auf den Fußplatten, bevor es sich dann nach hinten neigt. Am sich deformierenden System steigt das Fahrzeug hoch und gleitet mit dem linken Vorderrad auf der Rohrkonstruktion entlang. Dabei legt sich die Zugmaschine auf die rechte Seite und die Räder der Zugmaschine verlieren den Kontakt zur Fahrbahn. Das verformte System leistet auch dem anprallenden Auflieger erheblichen Widerstand und lenkt diesen kontinuierlich um, während der Auflieger in nahezu aufrechter Lage bleibt. Nach Abschluss des Umlenkvorganges entfernt sich der Sattelzug von der Schutteinrichtung und die Zugmaschine richtet sich wieder auf.

Der Anprall des Schwerfahrzeugs führt zu Deformationen und Verformungen an vier Elementen (Front- und Verbindungsbleche, Längsrohre, Kurzpfosten und Fußplatten). Des Weiteren sind einige Ankerschrauben abgeschert und Verbindungsschweißnähte an mehreren Kurzpfosten bereichsweise eingerissen.



Bild 46: Anprall TB 81 an das System F



Bild 47: System F: Kontaktstrecke nach Prüfung TB 81 mit Systemschäden

Die gekanteten Stützbleche zwischen den Kurzpfosten verursachen kleinere Abplatzungen der Oberfläche der Brückenkappenkonstruktion.

5 Auswertung der Prüfungen und charakteristische Prüfergebnisse

5.1 TB 11 – Versuche

Bei den Anprallversuchen mit dem leichten Fahrzeug (TB 11) wurden unter anderem die Anprallheftigkeit und die Kontaktstrecke ermittelt, die in Tabelle 8 aufgeführt sind. Bis auf das System E liegen alle geprüften Systeme in der Anprallheftigkeitsstufe B, was auf eine relativ steife Konstruktion hindeutet, die in dem Ziel einer sehr hohen Aufhaltewirkung bei geringem Wirkungsbereich begründet ist. Erreicht wurden die Anprallheftigkeiten durch Einsatz von energieaufnehmenden Einbauten vor einem steiferen Kern bei den Systemen B, C und E. Bei den Systemen A, D und F gelang dies bauartbedingt durch die teilweise Umlenkung der Anprallenergie in eine vertikale Bewegung des Fahrzeugs. Bei den Systemen A und D kommt hinzu, dass sich die Systeme zusätzlich auch noch horizontal ver-

System	ASI [-]	THIV [km/h]	PHD [g]	Anprall-heftigkeitsstufe	Kontaktstrecke [m]	Durchbiegung [m]	Querverschiebung [m]
A	1,4	25,8	12,0	B	4,5	0,06	0,06
B	1,4	28,4	10,0	B	4,2	0,22	0,00
C	1,4	28,8	11,2	B	4,4	0,28	0,05
D	1,2	18,8	13,3	B	5,0	0,17	0,17
E	0,9	22,7	5,20	A	4,8	0,24	0,00
F	1,4	30,4	10,9	B	5,4	0,12	0,00

Tab. 8: Charakteristische Prüfergebnisse TB 11

System	Anzahl der betroffenen Elemente	Schäden
A	2	minimale Abplatzungen im Sockelbereich, Querverschiebung innerhalb der Gleitführung bei einem Elementstoß
B	3	Verformungen an Schutzplankenholmen, einem Zwischenholm (Unterfahrerschutz) und Deformationsrohren
C	1	Verformungen an Distanzstücken, mittlerem und unterem Holm, Verschiebung von drei Pfosten innerhalb der Langlochung der Fußplatten
D	2	geringe Verwölbungen im Fußbereich der Elemente
E	2	Verformungen des Holmes und der Distanzstücke
F	1	Deformationen am Frontblech sowie Aussteifung unterhalb eines Kurzpfostens und Schraubverbindung zur Fußplatte

Tab. 9: Schäden an den Systemen nach Anprall TB 11

schoben haben, wodurch die Anprallenergie in eine rein laterale Bewegung des Systems umgelenkt wurde. Dies kennzeichnet sich auch in dem gleich großen Wert für die Durchbiegung und Querverschiebung.

Beim System C wird die Anprallenergie mit der straßenseitig angeordneten Deformationszone und zusätzlich durch eine horizontale Verschiebung aufgenommen. Bei den vorangegangenen Betrachtungen wird die durch die Fahrzeugverformung aufgenommene Energie nicht eingehender betrachtet.

In Zusammenhang mit den relativ kurzen Kontaktstrecken von 4,2 bis 5,4 m und den geringen beziehungsweise nicht vorhandenen Querverschiebungen lässt sich jedoch insgesamt von recht steifen Systemen sprechen.

Dies wird auch an den insgesamt verhältnismäßig geringen Schäden deutlich, die durch den Pkw-Anprall (TB 11) entstehen. An allen Systemen entstehen sichtbare Kontaktpuren durch Reifen und Kratzer. Diese Spuren sind nur oberflächlich und für die weitere Funktionsfähigkeit irrelevant. Lediglich Be-

schädigungen der Oberfläche (Kratzer) können sich auf die Dauerhaftigkeit des Systems auswirken. Reparaturbedürftig sind jedoch die Schäden, die zu Verformungen beziehungsweise zu Verschiebungen geführt haben (Tabelle 9). Dort ist die Anzahl der betroffenen Elemente aufgeführt und weitere Angaben zu den einzelnen Schadensbildern sowie zu einer möglichen Reparatur angegeben.

Die in der Praxis üblichen Anfahrten von Pkw an Schutzeinrichtungen führen immer wieder zu deren Beschädigung, ohne dass dabei die Funktionsfähigkeit (Aufhaltefähigkeit und Insassenschutz) bedingt durch den Unfallschaden zwar eingeschränkt, aber nicht vollständig aufgehoben wird. Wie bereits in Kapitel 3.3.2 ausgeführt, sollen die hier diskutierten Systeme in Bereichen mit hohem Stellenwert (Gefährdung Dritter) installiert werden. Daher ist es wichtig, dass auch nach einem Pkw-Anprall die beschädigten Systeme zeitnah wieder repariert werden können.

Die Tabelle 9 soll zur qualitativen Beurteilung im Hinblick auf mögliche Reparaturkosten während der Nutzungszeit dienen und einen Anhaltswert zur

Beurteilung der Reparaturfreundlichkeit der Systeme liefern. Die tatsächlichen Kosten hängen jedoch von weiteren Faktoren wie Ersatzteilverfügbarkeit, Materialkosten, Montageaufwand und Regionalität und von weiteren, hier nicht spezifizierbaren Komponenten ab. Die Reparaturkosten können daher nur im Einzelfall im Rahmen der Planung einer Baumaßnahme ermittelt werden.

5.2 TB 81 – Versuche

Die Ergebnisse der Anprallversuche mit dem schweren Fahrzeug (TB 81) zeigen, dass alle Systeme in der Lage sind, schwere Fahrzeuge aufzuhalten und umzulenken. Bei den Systemen B und C wirkt das Geländer bei dem Fahrzeuganprall mit. Dabei ist anzumerken, dass zwar der Wirkungsbereich (W6 beziehungsweise W7) über den Brückenrand hinausreicht, aber das Fahrzeug jeweils sicher umgelenkt wird.

In diesem Punkt gibt es einen wesentlichen Unterschied zu den Systemen A, D, E und F, da diese das Geländer bei der Anprallprüfung nicht berührten. Für die Einordnung in die Wirkungsbereichsklasse ist beim System D anzumerken, dass das Geländer in der Anprallprüfung zwar nicht berührt wird, sich aber innerhalb der Wirkungsbereichsklasse, in die das System eingeordnet wurde, befindet. Außerhalb der Wirkungsbereichsklasse befindet sich das Geländer bei den Systemen A, E und F.

Die maximale seitliche Position des Fahrzeugs ragt bei den Systemen A und B ca. 1 m über die maximale seitliche Position des Systems hinaus, während bei den Systemen C und E dieses Maß zwi-

schen 0,1 und 0,3 m liegt. Lediglich bei den Systemen D und F bleibt das Fahrzeug innerhalb des Raumes des ausgelenkten Systems.

Das Fahrzeug bleibt bei den Systemen B, C und E jeweils am System und kommt an dessen Ende zum Stillstand, was zu Längen bei der Kontaktstrecke von 28 m bis 49 m führt. Bei den übrigen Systemen löst sich das Fahrzeug jeweils nach einer Kontaktstrecke von weniger als 20 m vom System.

Die Beschädigungen an den Systemen waren in allen Fällen substanziell und erfordern eine Erneuerung. In Tabelle 11 sind die Schäden exemplarisch aufgeführt und die Anzahl der betroffenen Elemente benannt. Auf eine differenzierte Betrachtung der Schäden innerhalb eines Elementes mit dem Ziel eines bereichsweisen Austausches von beschädigten Teilen wird hier nicht eingegangen, da nach einem solchen Anprallereignis die Beschädigungen in Schwere und Ausmaß deutlich größer sind und dies einer sehr umfassenden Untersuchung und Bewertung bedarf. Zudem ist bei derartigen Schäden ein Vergleich aufgrund der Vielfältigkeit der Systeme im Hinblick auf einen Preisvergleich der Reparaturkosten nicht zielführend, da der Anprall von Lkw (TB 81) im Verhältnis zu dem von Pkw (TB 11) eher als Einzelfall anzusehen ist.

Substanzielle Beschädigungen an der Brückenkappe wurden nicht festgestellt. Bei einigen Systemen waren Abplatzungen an der Betonoberfläche zu erkennen, die durch Eindrücken von einzelnen Teilen der Schutzeinrichtung auf den Beton oder durch Herausziehen einzelner Anker verursacht wurden. Exemplarisch ist eine solche Abplatzung durch einen herausgezogener Anker in Bild 48 dargestellt.

System	Maximale seitliche Position des		Kontaktstrecke [m]	Wirkungsbereichsklasse	Mitwirkung des Geländers	Öffnung der Dilatation [cm]
	Systems [m]	Fahrzeugs [m]				
A	1,6 m	2,6 m	19	W 5	nein	5
B	2,2 m	3,2 m	40	W 7	ja	9-14 ¹⁾
C	2,0 m	2,3 m	49	W 6	ja	33
D	1,4 m	1,4 m	17	W 5	nein	1
E	1,3 m	1,4 m	28	W 4	nein	8
F	1,3 m	1,1 m	19	W 4	nein	-

¹⁾ unterschiedliche Werte für die verschiedenen Holme

Tab. 10: Charakteristische Prüfergebnisse TB 81

System	Betroffene Elemente	Schäden
A	8	Zwei Elemente nur in der Gleitführung verschoben, Betonabplatzungen und -abbrüche, verwölbte Fußplatten und beschädigte Anker
B	18	umgeknickte Pfosten, gelöste und verformte Holmstränge; Verformungen am Geländer und aufgewölbte Fußplatten
C	11	Verformungen an Holmen und Distanzstücken, abgescherte Fußverankerungen, oberflächliche Abplatzungen beziehungsweise Abschürfungen der Brückenkappe, Geländer in den belasteten Bereichen schiefgestellt, einige Fußplatten aufgewölbt und zum Teil gelöste Pfostenverankerungen
D	5	Verformungen an Verbindungsblechen der Elemente, am Kastenprofil, Pfosten und Sockelblech
E	13	Deformationen an Pfosten, Fußplatten, Holmen, Distanzstücken und Haltebügeln, teilweise voneinander gelöst, eingerissene Schweißverbindungen, gerissene oder durchgezogene Betonschrauben, leichte Schäden an der Brückenkappe durch Betonausbrüche bei zwei Pfosten
F	1	Deformationen am Frontblech sowie Aussteifung unterhalb eines Kurzpfeilers und Schraubverbindung zur Fußplatte

Tab. 11: Schäden an den Systemen nach Anprall TB 81



Bild 48: Oberflächliche Abplatzung durch Herausziehen des Ankers

Konstruktive Schäden an der Brückenkappe konnten jedoch nicht festgestellt werden.

In allen Anprallprüfungen konnte nachgewiesen werden, dass die eingebauten Dilatationskonstruktionen in der Lage waren, die auftretenden Längskräfte innerhalb der Schutzeinrichtung beim Anprall des Schwerfahrzeugs aufzunehmen. Die Dilatationen haben sich bei allen Systemen mit Ausnahme von F durch den Anprall unterschiedlich weit geöffnet. Das Maximum liegt beim System C bei 33 cm und das Minimum beim System D bei 1 cm. In keinem Fall wurde die maximal mögliche Länge des Dilatationsweges (siehe Tabelle 7) beim Anprall mit dem TB 81 ausgenutzt.

Die recht geringen Werte für die Systeme D (1 cm) und F (0 cm) sind durch die kompakte Bauweise der Elemente und die Verankerung der Elemente mit der Brückenkappenkonstruktion bedingt, die nur eine „geführte“ Verschiebung in Querrichtung zulassen. Das System A weist ebenfalls sehr kompakte Elemente auf, hat jedoch die Möglichkeit einer größeren lateralen Verschiebung beim TB-81-Anprall, die auch zu einer Verschiebung der Elemente in Längsrichtung führt. Die größeren Öffnungsweiten der Dilatation bei den Systemen B und E wird darauf zurückgeführt, dass ein Teil der Anpralllasten über einen ausgedehnteren Bereich abgeleitet wird, der zudem größere Längsverschiebungen zulässt. Beim System C ist der Wert von 33 cm dadurch beeinflusst, dass die Dilatation nach dem Anprallpunkt eingebaut war und dadurch das Fahrzeug im unmittelbaren Kontakt gegen die Dilatation gedrückt hat.

6 Kraftmessungen

6.1 Allgemeines

Entsprechend der Beschreibung in Kapitel 4.1 fanden Anprallprüfungen an den Schutzeinrichtungen zur Erlangung der Aufhaltestufe H4b statt.

Diese Prüfungen werden bezüglich der auftretenden Kräfte im Folgenden diskutiert.

Während des Anprallvorgangs des Lkw (Typ TB 81) erfolgte die Messung der auftretenden Kräfte. Wie

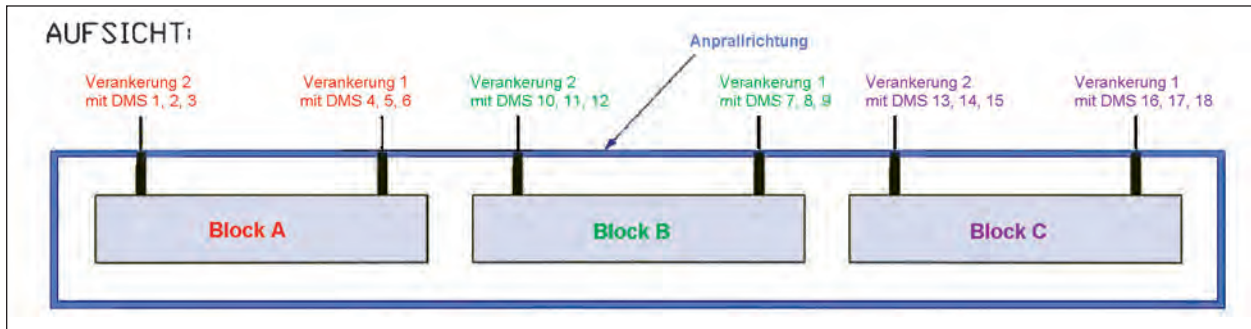


Bild 49: Übersicht der Messpunkte an den Augenstäben der Konsolaufhängungen

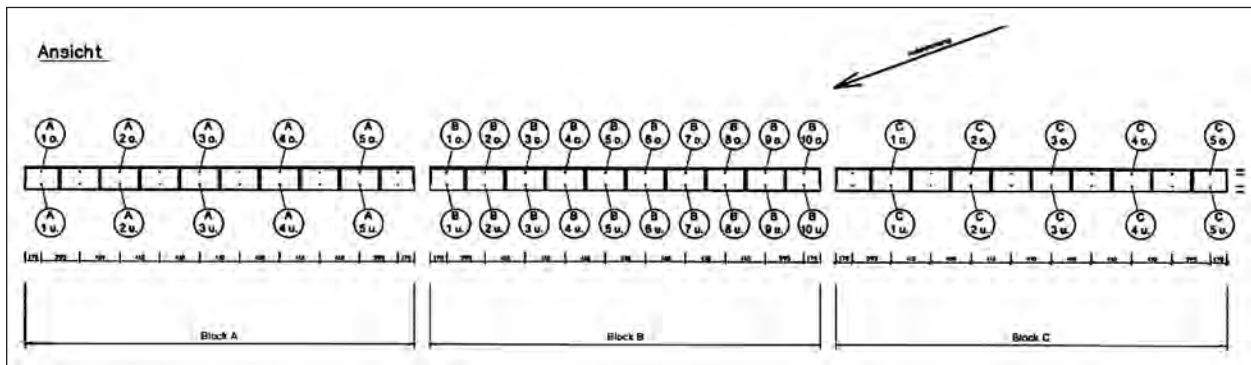


Bild 50: Übersicht der Messpunkte an der Kappenanschlussbewehrung (Rückansicht)

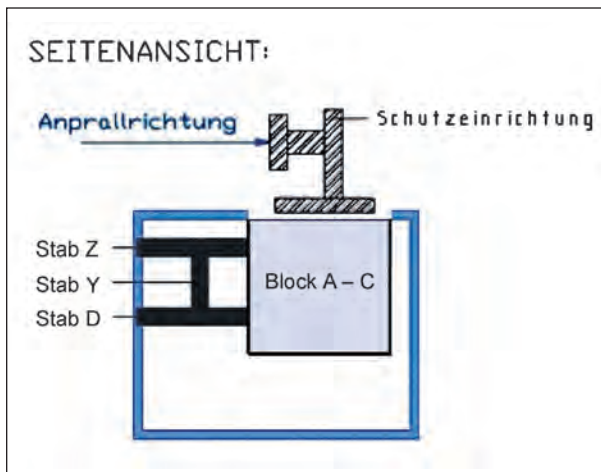


Bild 51: Übersicht der Messpunkte je Konsolaufhängung

bereits in [10] und [11] beschrieben, wurden die Kräfte in der Kappenanschlussbewehrung und in den Augenstäben der Konsolaufhängung erfasst. Die dargestellten Messwerte können mittels der Darstellungen den jeweiligen Messstellen zugeordnet werden. Die Bilder 49 und 51 zeigen die Messstellen an der Konsolaufhängung. Die Messstellen der Kappenanschlussbewehrung sind dem Bild 50 zu entnehmen.

6.2 Messung System A

6.2.1 Messung an der Kappenanschlussbewehrung

Die Kraftmessungen an der Kappenanschlussbewehrung zum System A werden in [10] beschrieben. Für die Kappenanschlussbewehrung zeigt sich bei der Betonschutzwand eine sehr geringe Auslastung. Das System trägt die Horizontallasten ausschließlich über Reibung in die Kappe ein, sodass anders als bei konzentrierten Lasten über definierte Verankerungspunkte eine breitere Verteilung der Lasten möglich ist.

6.2.2 Messung an der Konsolaufhängung

Die Kraftmessungen an der Konsolaufhängung zum System A werden ebenfalls in [10] beschrieben. Danach treten die größten Schnittgrößen in der in Fahrtrichtung gesehenen dritten Konsole (Block A, 4 m lang) auf. Bei dieser Schutzvorrichtung treten die Maximalwerte der drei Schnittgrößen Biegemoment, Horizontalkraft und Vertikalkraft nahezu zeitgleich auf (Tabelle 12). Die Erkenntnisse aus anderen Versuchen zeigen, dass die Maximalwerte auch zeitlich versetzt auftreten können.

Beanspruchung der Blöcke A + B + C					
	Bezugspunkt 1				Bezugspunkt 3
	t [s]	V [kN]	H [kN]	M [kNm]	M _{max} [kNm]
max M	1,0667	373,23	288,96	675,53	591
max H	0,6132	219,34	313,58	358,01	245
max V	0,6329	386,36	147,88	340,54	307

Beanspruchung der Blöcke A + B					
	Bezugspunkt 1				Bezugspunkt 3
	t [s]	V [kN]	H [kN]	M [kNm]	M _{max} [kNm]
max M	1,067	416,66	286,15	560,95	473
max H	1,0628	424,96	312,01	530,38	432
max V	1,0634	426,42	309,08	535,19	438

Tab. 12: Ermittlung des maximalen Biegemoments für den Bezugspunkt 3 (System A)

Maßgebend für die Tragfähigkeit einer Brücke ist die Momentenbeanspruchung. Die anderen beiden Schnittgrößen Vertikal- und Horizontalkraft sind dabei von nachrangiger Bedeutung. Zur besseren Praxisverwendbarkeit werden die auftretenden Momente auf den Bezugspunkt 3 umgerechnet (siehe Bild 56). Sie betragen nach Tabelle 12 bei dieser Betonschutzwand für Block A und B 473 kNm und für Block A, B und C gemeinsam 591 kNm.

6.3 Messung System B

6.3.1 Messung an der Kappenanschlussbewehrung

Die Bilder 52 bis 54 zeigen die Kraftverläufe in der Kappenanschlussbewehrung während des Anprallvorgangs. Zum besseren Verständnis der Ergebnisse sind in den oberen Bereichen der Grafiken die Streckgrenze ($F_{yk} = 56,5 \text{ kN}$) und die Zugfestigkeit ($F_{uk} = 62,2 \text{ kN}$) eines Bewehrungsstabs der Kappenanschlussbewehrung ($\varnothing 12 \text{ mm}$) eingetragen. Bei dieser Schutzeinrichtung liegen die auftretenden Kräfte in der Regel unterhalb der Beanspruchbarkeitsgrenze. An einer Messstelle im Block C (C5o) wird die Beanspruchbarkeitsgrenze erreicht, jedoch nicht überschritten. Dies hätte bei einem Anprall auf einer realen Brücke zur Folge, dass eventuell einige wenige Bewehrungsstäbe eine Beanspruchung bis hin zur Fließgrenze des Bewehrungsstabes erfahren würden. Dies würde sich aber auf einen eng begrenzten Raum beschränken. Da sich die Messstelle, an der diese Beanspruchung auftrat, am Kappenende befindet, ist diese hohe Auslastung auch nur im Bereich des Brückenendes zu erwarten und somit noch akzeptabel.

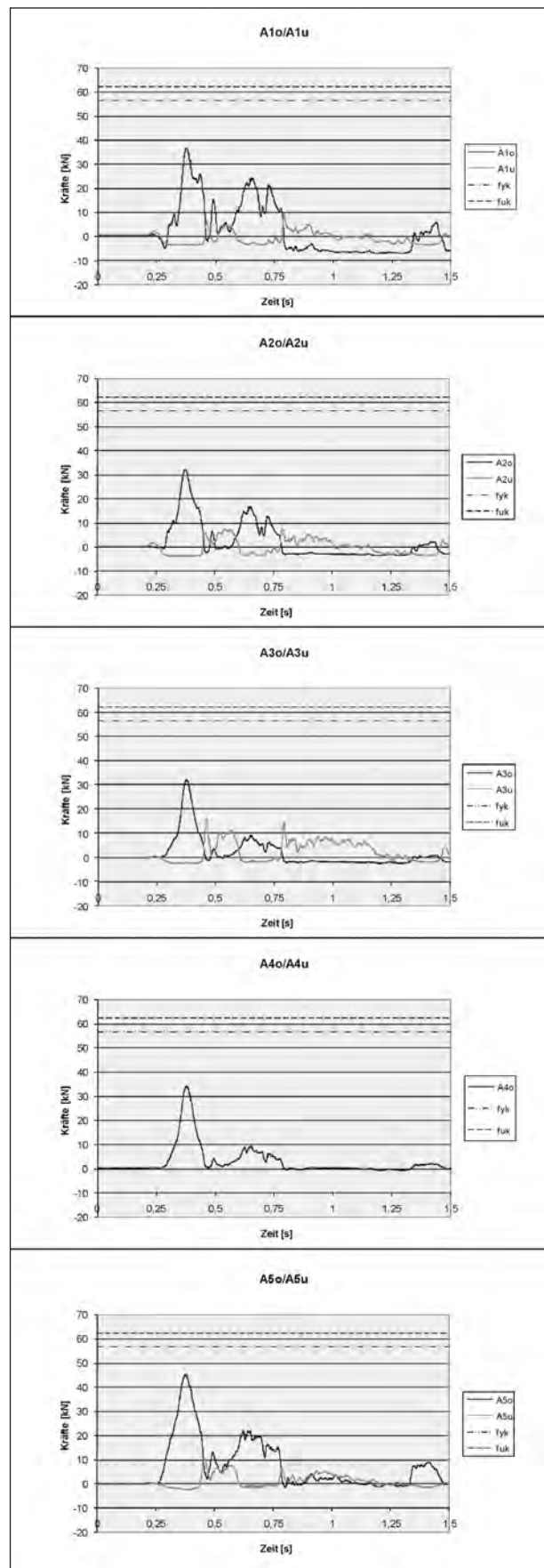


Bild 52: Kraftmesswerte der Kappenanschlussbewehrung im Block A (System B)

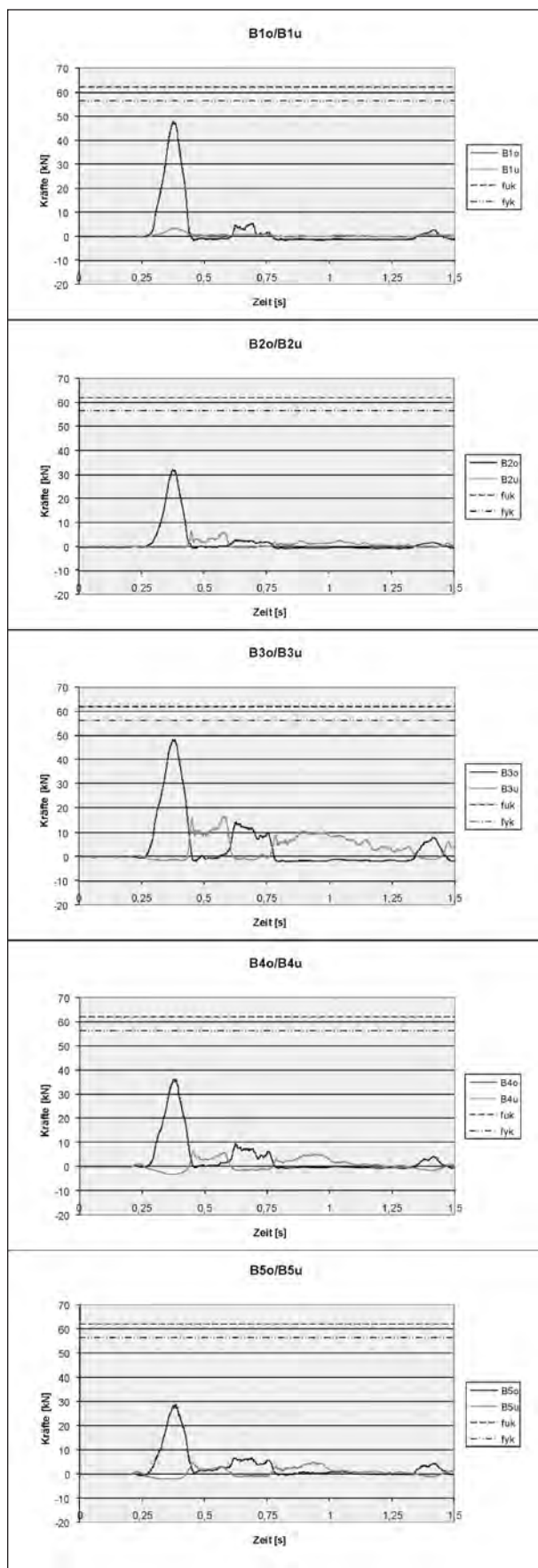


Bild 53a: Kraftmesswerte der Kappenanschlussbewehrung im Block B (System B)

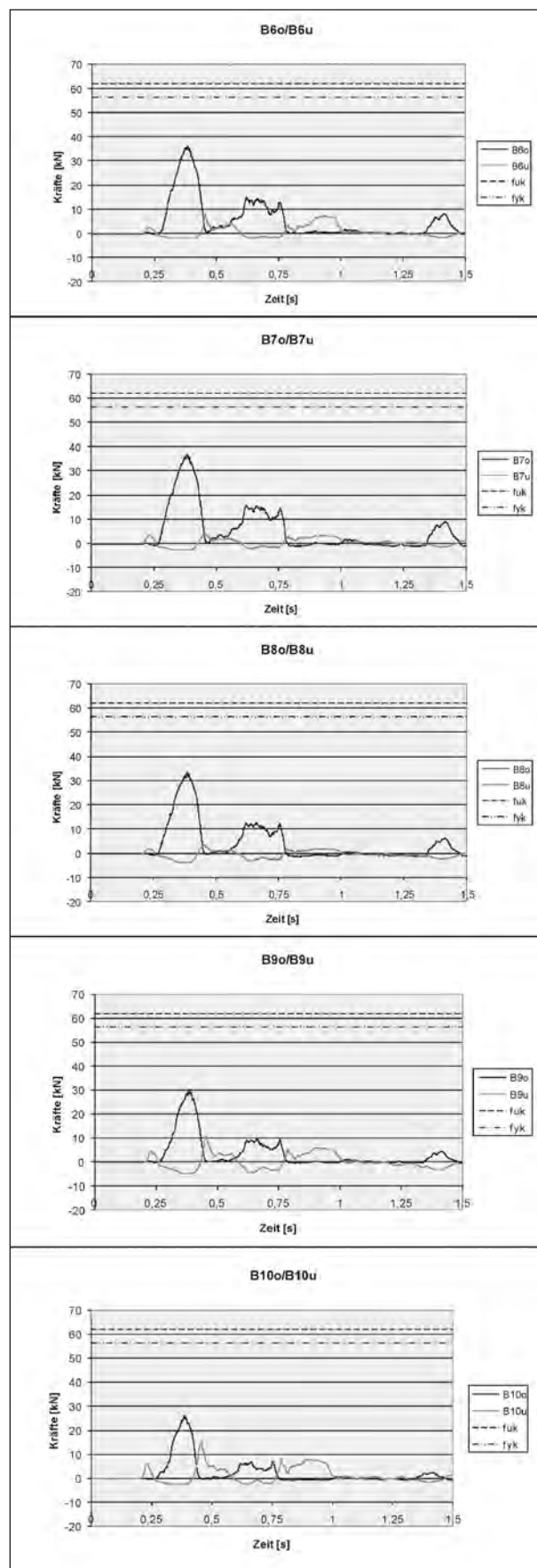


Bild 53b: Kraftmesswerte der Kappenanschlussbewehrung im Block B (System B)

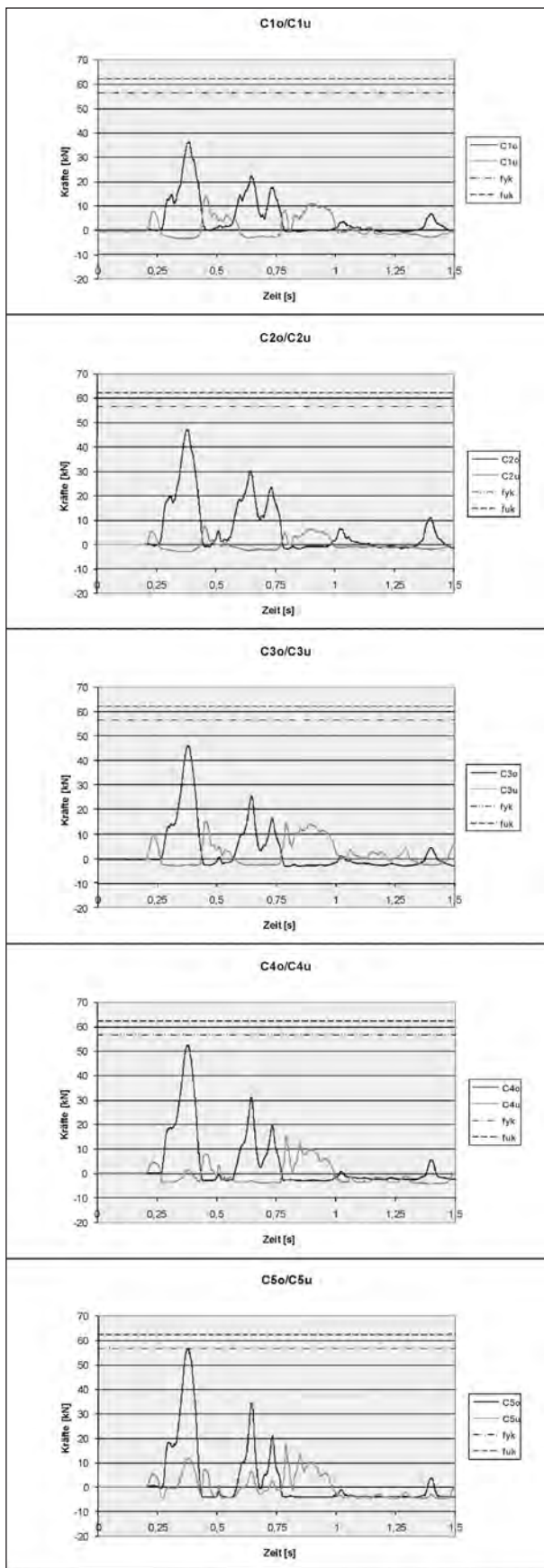


Bild 54: Kraftmesswerte der Kappenanschlussbewehrung im Block C (System B)

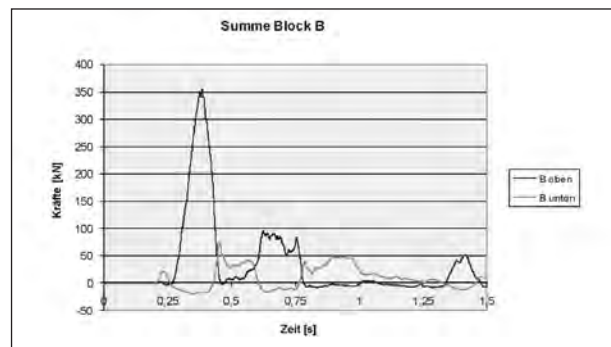


Bild 55: Summenlinie der Kraftmesswerte der Kappenanschlussbewehrung im Block B (System B)

Die Verläufe der Messkurven zeigen, dass die höchsten Beanspruchungen beim Anprall des vorderen Fahrzeugbereichs entstehen.

In Bild 55 sind exemplarisch die Summenlinien der im Block B über eine Länge von 4 m auftretenden Horizontalkräfte in der Kappenanschlussbewehrung dargestellt. Die Summenlinie resultiert aus zehn oberen (dunkle Linie) und zehn unteren Bewehrungsstäben (helle Linie). An den Stellen, an denen in den oberen Stäben die größten Werte erreicht werden, sind die unteren Stäbe spannungslos. Dieses weist auf eine große Biegespannung im Gesims hin. An diesen Stellen liegen im unteren Gesimsbereich Druckspannungen vor, die die Messtechnik nicht erfassen kann und deshalb keine Kräfte im unteren Stab anzeigt. Ein weiteres deutliches Anzeichen für die Biegebeanspruchung sind die unterschiedlichen gemessenen Horizontalkräfte der Kappenanschlussbewehrung und der Konsolaufhängung des Blocks B. Während an der Kappenanschlussbewehrung ein Maximalwert von 355 kN gemessen wurde, weist die Konsolaufhängung nur einen Wert von 157 kN auf. Der Unterschied von 198 kN ist in den nicht erfassten Druckkräften begründet, die im Gesimsanschnitt infolge der Biegebeanspruchung entstehen.

6.3.2 Messung an der Konsolaufhängung

Die größten Schnittgrößen treten in der in Fahrtrichtung gesehen zweiten Konsole (Block B, Länge = 4,0 m) auf (siehe Bilder 56 bis 60). Bild 61 zeigt die Addition der in den letzten beiden Konsolen (Block A + B, Länge = 8,0 m) wirkenden Schnittgrößen. Im Bild 62 wird die Addition der auf alle drei Konsolen (Block A + B + C, Länge = 12 m) einwirkenden Schnittgrößen in einem Schnittgrößen-Zeit-Diagramm dargestellt.

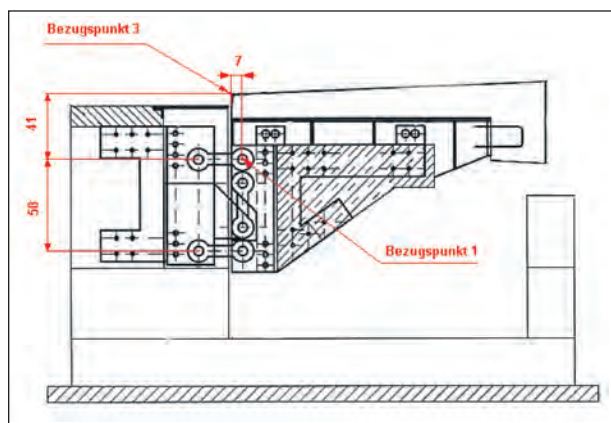


Bild 56: Lage der Bezugspunkte bei der Berechnung der Biegemomente

Aus den gemessenen Stabkräften lassen sich die Schnittgrößen ermitteln. Bildet man die Summe der Kräfte, die in den beiden horizontalen Stäben einer Aufhängung gemessen werden, so erhält man die beim Anprallvorgang einwirkende Horizontalkraft. Die einwirkende Vertikalkraft ist gleich der im vertikalen Augenstab gemessenen Kraft. Für die Berechnung des auf die Konsol einwirkenden Biegemoments wird als Bezugspunkt der Schnittpunkt der beiden Wirkungslinien des vertikalen Augenstabs mit der Wirkungslinie des oberen horizontalen Augenstabs gewählt (Bezugspunkt 1). Das Biegemoment ergibt sich aus dem Produkt, gebildet aus der im unteren Augenstab gemessenen Kraft multipliziert mit dem Abstand von 58 cm des unteren Augenstabs vom gewählten Bezugspunkt 1 (Bild 56).

Bei den Summenlinien tritt die größte Momentenbeanspruchung zum Zeitpunkt 0,5927 Sekunden auf. Bei dieser Schutzvorrichtung treten die Maximalwerte der drei Schnittgrößen Biegemoment, Horizontalkraft und Vertikalkraft zeitlich versetzt auf (Bilder 62 und 63 sowie Tabelle 13).

Maßgebend für die Tragfähigkeit einer Brücke ist die Momentenbeanspruchung. Die anderen beiden Schnittgrößen Vertikal- und Horizontalkraft sind dabei von nachrangiger Bedeutung. Zur besseren Praxisverwendbarkeit werden die auftretenden Momente auf den Bezugspunkt 3 umgerechnet (Bild 56). Die Umrechnung erfolgt entsprechend der Hebelarme nach der Formel:

$$\text{Umrechnung auf Bezugspunkt 3}$$

$$M_{\max} = M - H \cdot 0,41 + V \cdot 0,07$$

Sie betragen nach Tabelle 13 für Block A und B 465 kNm sowie 490 kNm für die gesamte Brücke, Block A, B und C.

Beanspruchung der Blöcke A und B					
	Bezugspunkt 1				Bezugspunkt 3
	t [s]	V [kN]	H [kN]	M [kNm]	M _{max} [kNm]
max M	0,5910	328,77	204,78	525,67	465
max H	0,3887	84,88	252,00	299,90	203
max V	0,4600	461,45	85,11	342,33	340

Beanspruchung der gesamten Brücke (Blöcke A, B und C)					
	Bezugspunkt 1				Bezugspunkt 3
	t [s]	V [kN]	H [kN]	M [kNm]	M _{max} [kNm]
max M	0,5927	345,60	267,22	575,32	490
max H	0,5870	354,38	285,27	563,44	471
max V	0,4586	551,47	138,27	383,78	366

Tab. 13: Ermittlung des maximalen Biegemoments für den Bezugspunkt 3 (System B)

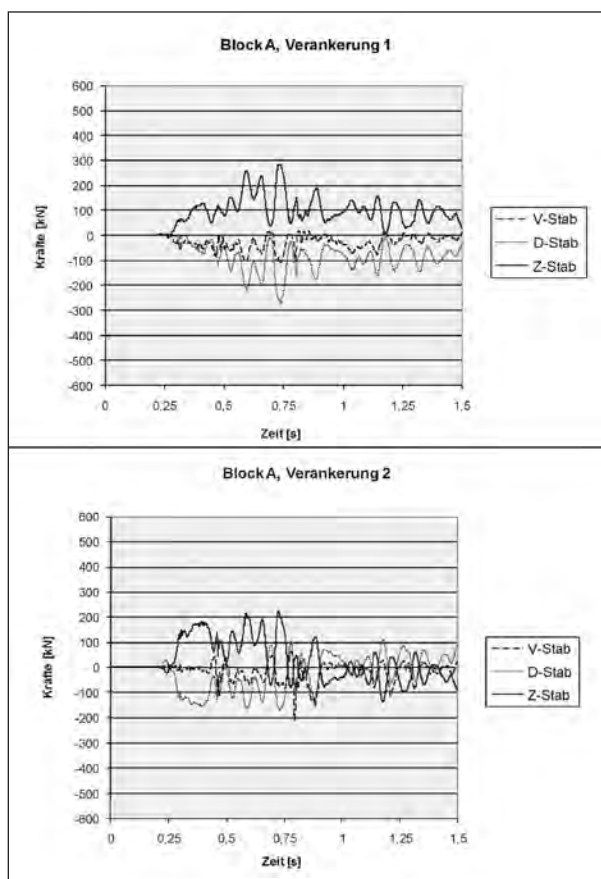


Bild 57: Kraftmesswerte der Konsolaufhängung im Block A (System B)

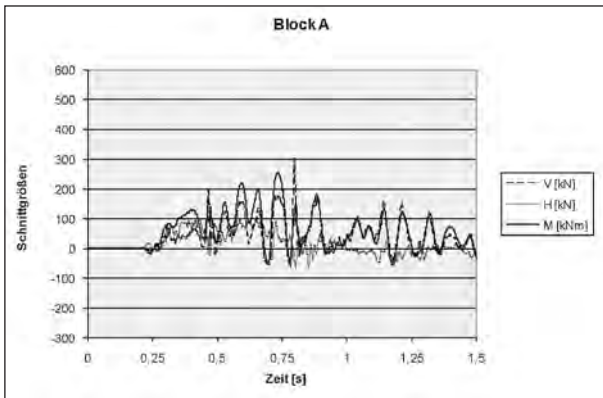


Bild 58: Schnittgrößen der Kragplatte Block A (Bezugspunkt 1, System B)

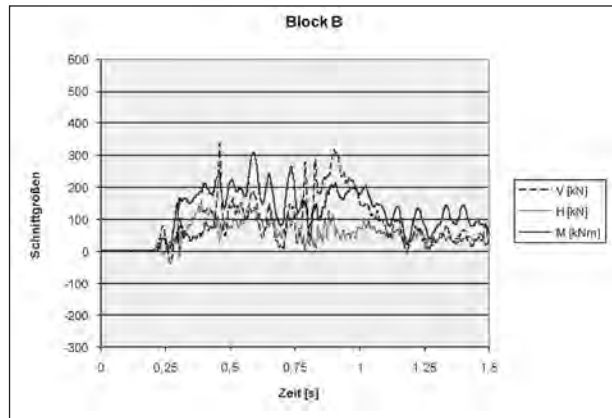


Bild 60: Schnittgrößen der Kragplatte Block B (Bezugspunkt 1, System B)

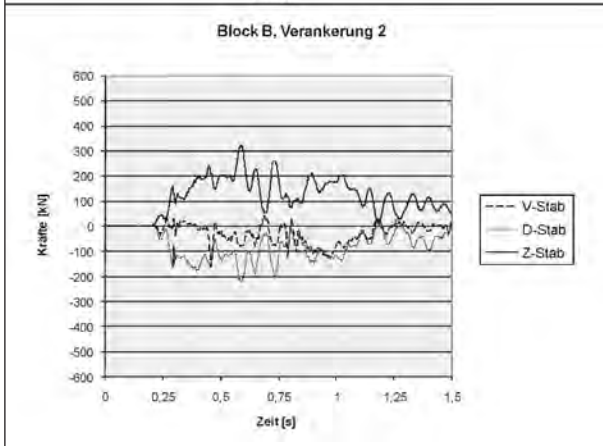
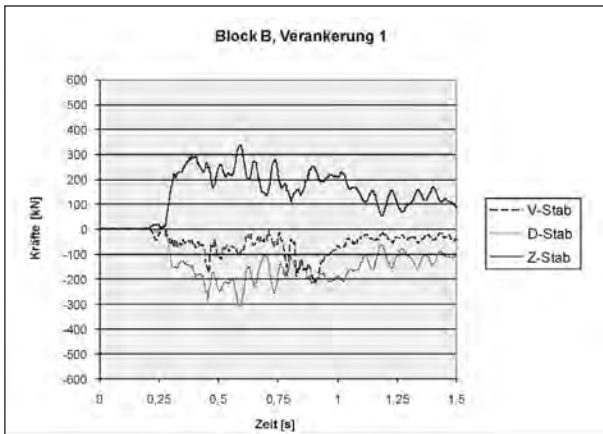


Bild 59: Kraftmesswerte der Konsolaufhängung im Block B (System B)

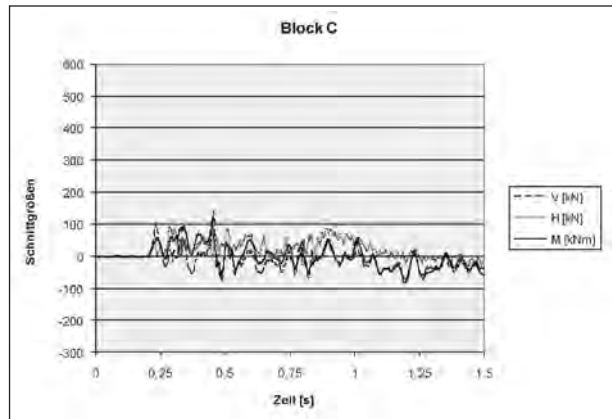


Bild 61: Schnittgrößen der Kragplatte Block C (Bezugspunkt 1, System B)

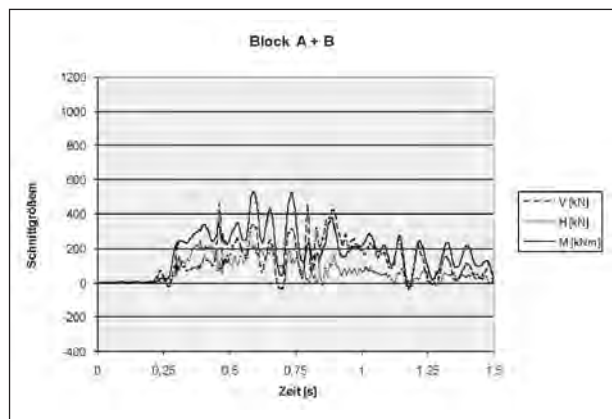


Bild 62: Schnittgrößen der Kragplatten der Blöcke A und B (Bezugspunkt 1, System B)

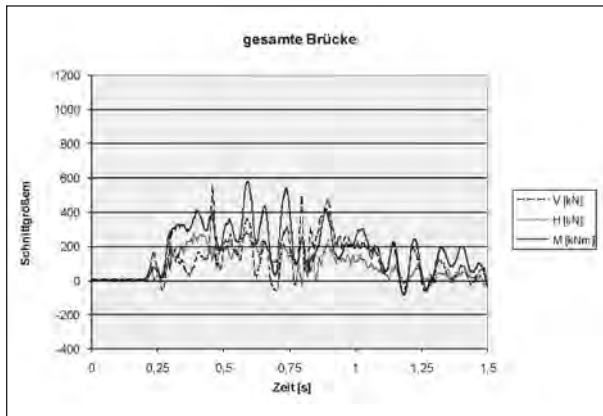


Bild 63: Summenlinie für die Schnittgrößen aller Kragplatten Blöcke A, B und C (Bezugspunkt 1, System B)

6.4 Messung System C

6.4.1 Messung an der Kappenanschlussbewehrung

Die Bilder 64 bis 66 zeigen die Kraftverläufe in der Kappenanschlussbewehrung während des Anprallvorgangs. In einem Diagramm sind jeweils die Kraftverläufe eines Bewehrungspaares dargestellt wie bereits in Kapitel 6.3.1 beschrieben.

Die Diagramme zeigen, dass bei dieser Schutz Einrichtung die auftretenden Kräfte in der Regel unterhalb der Beanspruchbarkeitsgrenze liegen. An einer Messstelle im Block A (A2o) wird die Beanspruchbarkeitsgrenze erreicht, jedoch nicht überschritten. Dies hätte wie beim System B bei einem Anprall auf einer realen Brücke die Folge, dass eventuell einige wenige Bewehrungsstäbe eine Beanspruchung bis hin zur Fließgrenze des Bewehrungsstabes erfahren würden. Dies würde sich aber auch hier auf einen eng begrenzten Raum beschränken, sodass diese Werte noch akzeptabel sind.

Die Verläufe der Messkurven zeigen, dass die auftretenden Beanspruchungen beim Anprall des vorderen Fahrzeugbereichs zwar höher sind als beim Heck des Fahrzeugs. Anders als beim zuvor diskutierten System B entstehen beim System C aber beim Heckanprall ebenfalls deutlich messbare Beanspruchungen.

Ferner zeigten sich nach der Anprallprüfung keine Schäden an der Brückenkappe durch die lokale Lasteinleitung der Verankerung. Die Schutz einrichtung kann somit ohne weitere Zusatzmaßnahmen auf einer Kappe entsprechend der Richtzeichnung Kap 1 eingesetzt werden.

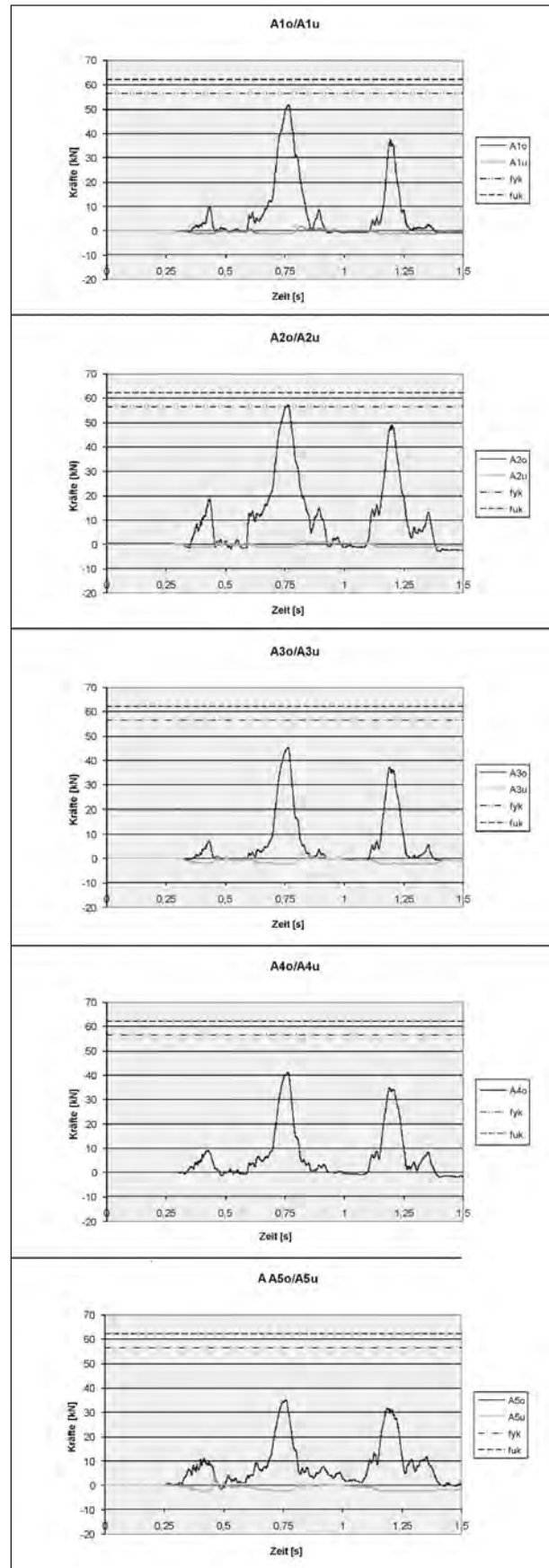


Bild 64: Kraftmesswerte der Kappenanschlussbewehrung im Block A (System C)

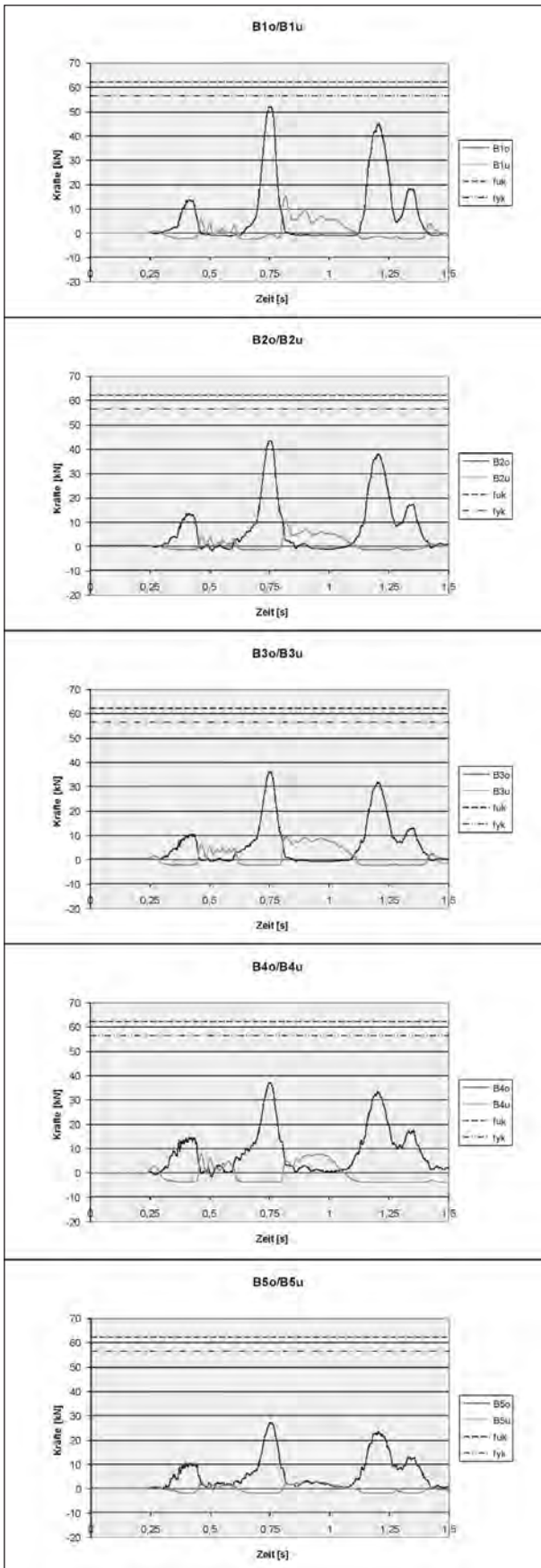


Bild 65a: Kraftmesswerte der Kappenanschlussbewehrung im Block B (System C)

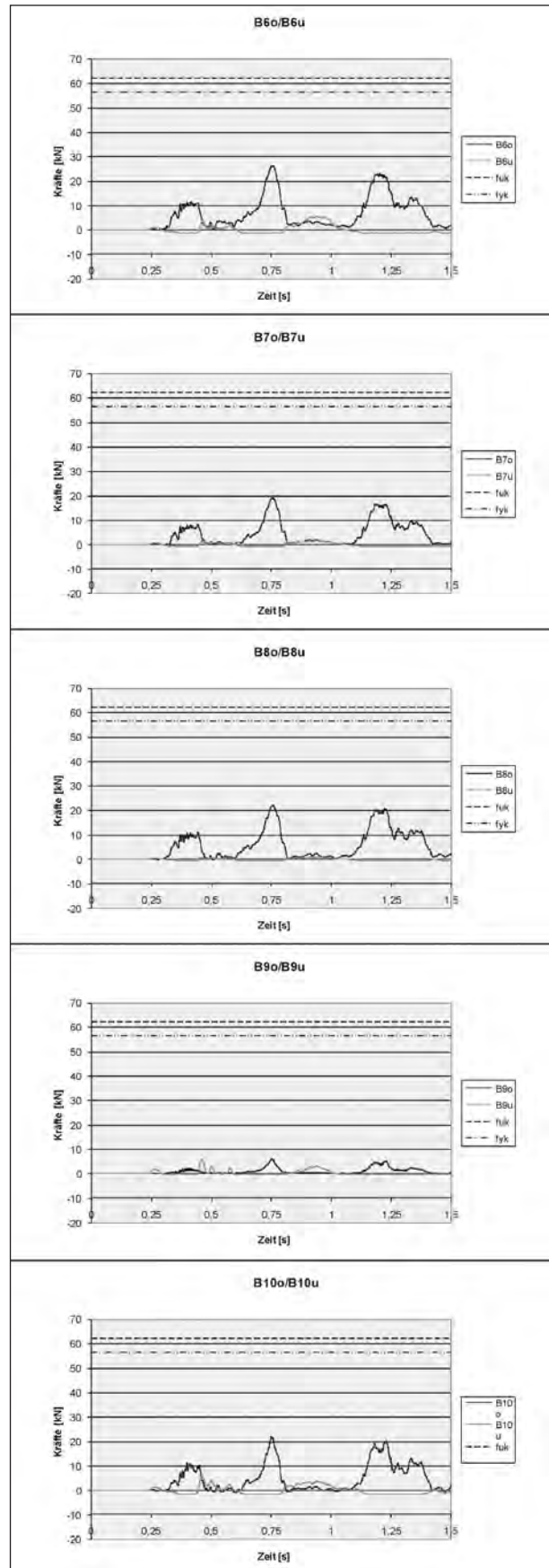


Bild 65b: Kraftmesswerte der Kappenanschlussbewehrung im Block B (System C)

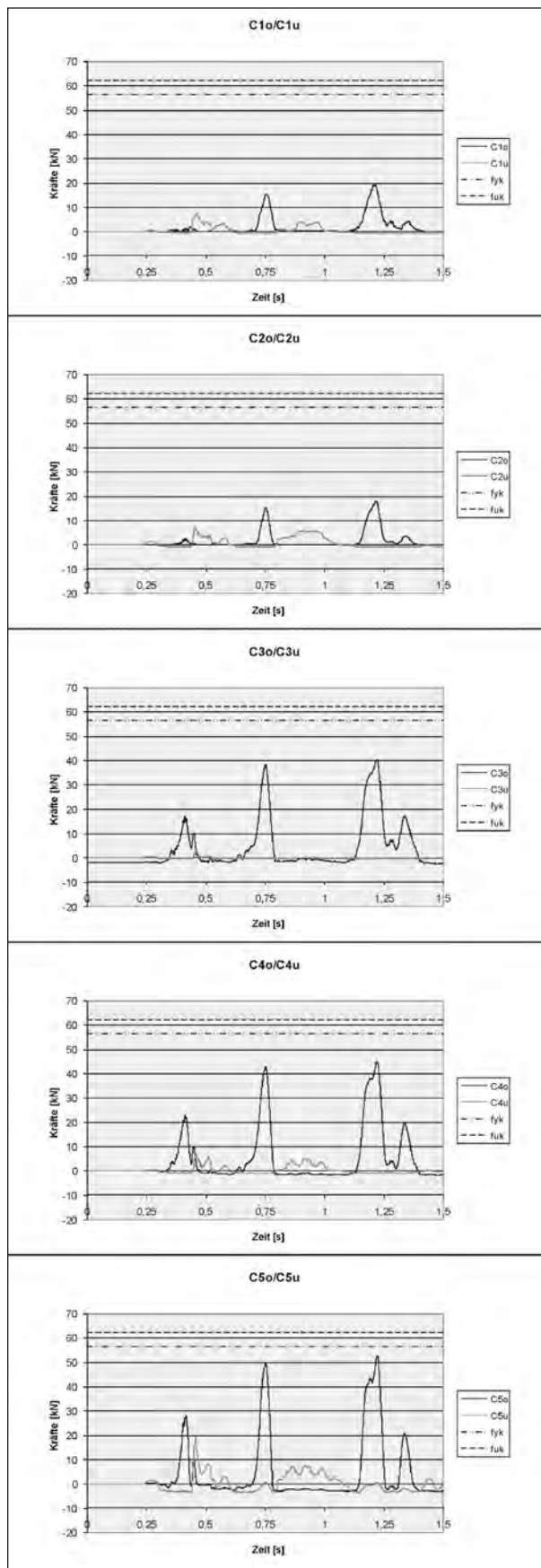


Bild 66: Kraftmesswerte der Kappenanschlussbewehrung im Block C (System C)

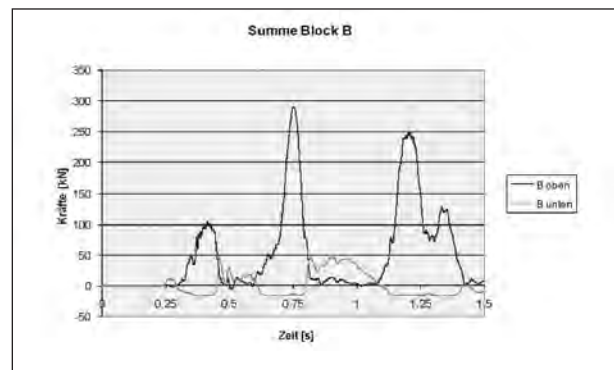


Bild 67: Summenlinie der Kraftmesswerte der Kappenanschlussbewehrung im Block B (System C)

6.4.2 Messung an der Konsolaufhängung

Die größten Schnittgrößen treten in der in Fahrtrichtung gesehen dritten Konsole (Block A, Länge = 4,0 m) auf (siehe Bilder 68 bis 72). Bild 73 zeigt die Addition der in den letzten beiden Konsolen (Block A + B, Länge = 8,0 m) wirkenden Schnittgrößen. In Bild 74 wird die Addition der auf alle drei Konsolen (Block A + B + C, Länge = 12 m) einwirkenden Schnittgrößen in einem Schnittgrößen-Zeit-Diagramm dargestellt.

Bei den Summenlinien tritt die größte Momentenbeanspruchung zum Zeitpunkt 1,210 Sekunden auf. Bei dieser Schutzeinrichtung treten die Maximalwerte der drei Schnittgrößen Biegemoment, Horizontalkraft und Vertikalkraft nahezu zeitgleich auf (Bilder 73 und 74 sowie Tabelle 14). Die Erkenntnisse aus anderen Versuchen zeigen, dass die Maximalwerte auch zeitlich versetzt auftreten können.

Umrechnung auf Bezugspunkt 3

$$M_{\max} = M - H \cdot 0,41 + V \cdot 0,07$$

Die Momente betragen nach Tabelle 14 für Block A und B 489 kNm sowie 544 kNm für die gesamte Brücke, Block A, B und C.

Die Messung im Block C zeigt eine hohe Vertikalkraft zum Zeitpunkt 0,4573 Sekunden. Sie entsteht beim Erstanprall des Führerhauses an der Schutzvorrichtung. Da die Dübel der Verankerung unmittelbar nach dem Anprall abscheren, fällt dieser Spitzenwert auch sehr schnell wieder ab. Für die Festlegung der charakteristischen Einwirkungsgrößen ist dieser Peak jedoch von nachrangiger Bedeutung, weil die größte Gesamtbeanspruchung deutlich später zum Zeitpunkt 1,210 Sekunden auftritt.

Beanspruchung der Blöcke A und B					
	Bezugspunkt 1				Bezugspunkt 3
	t [s]	V [kN]	H [kN]	M [kNm]	M _{max} [kNm]
max M	1,2073	503,17	324,67	586,77	489
max H	0,8043	274,75	337,00	320,72	202
max V	1,2080	504,14	327,17	585,35	487

Beanspruchung der gesamten Brücke (Blöcke A, B und C)					
	Bezugspunkt 1				Bezugspunkt 3
	t [s]	V [kN]	H [kN]	M [kNm]	M _{max} [kNm]
max M	1,2100	477,04	392,00	671,60	544
max H	0,4571	217,37	444,08	329,27	162
max V	1,2080	493,15	390,03	668,91	544

Tab. 14: Ermittlung des maximalen Biegemoments für den Bezugspunkt 3 (System C)

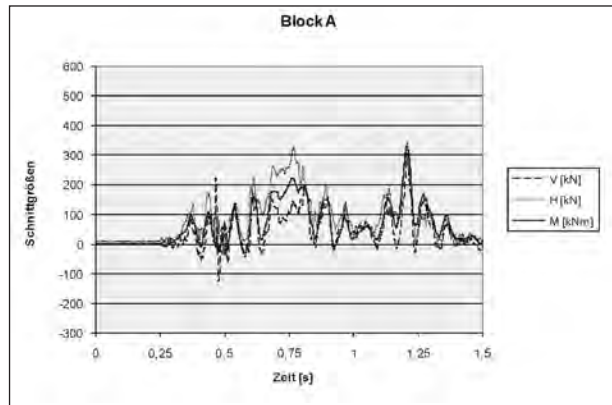


Bild 69: Schnittgrößen der Kragplatte Block A (Bezugspunkt 1, System C)

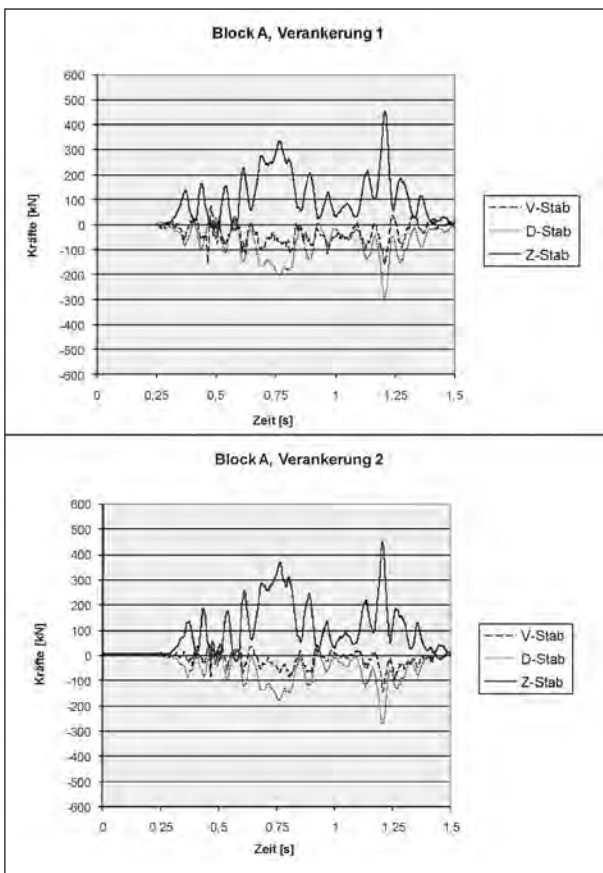


Bild 68: Kraftmesswerte der Konsolaufhängung im Block A (System C)

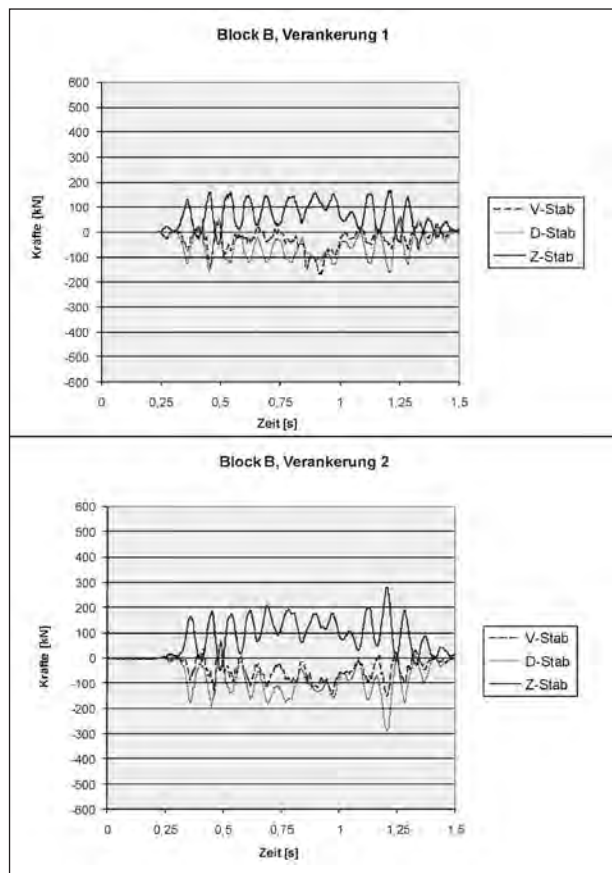


Bild 70: Kraftmesswerte der Konsolaufhängung im Block B (System C)

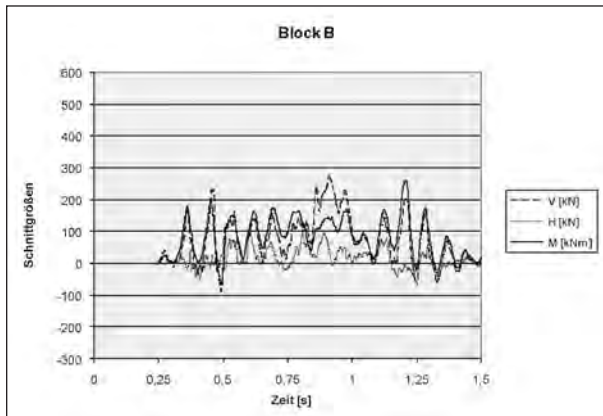


Bild 71: Schnittgrößen der Kragplatte Block B (Bezugspunkt 1, System C)

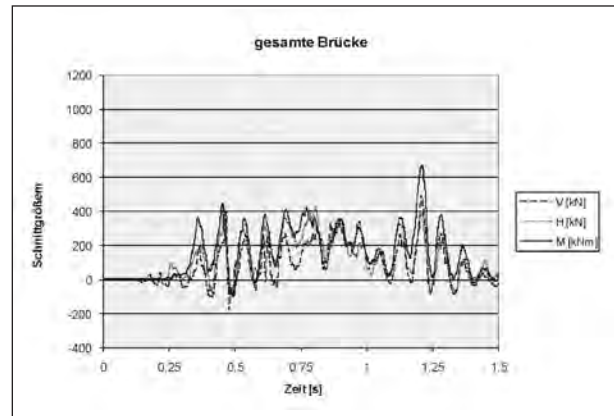


Bild 74: Summenlinie für die Schnittgrößen aller Kragplatten Blöcke A, B und C (Bezugspunkt 1, System C)

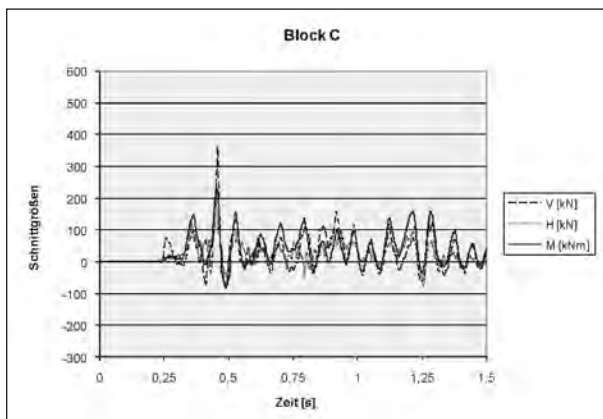


Bild 72: Schnittgrößen der Kragplatte Block C (Bezugspunkt 1, System C)

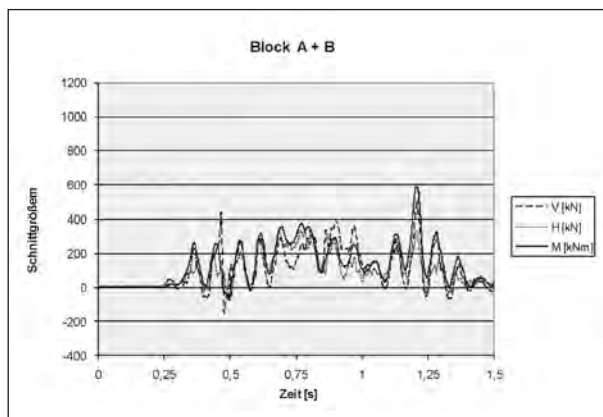


Bild 73: Schnittgrößen der Kragplatten der Blöcke A und B (Bezugspunkt 1, System C)

6.5 Messung System D

6.5.1 Messung an der Kappenanschlussbewehrung

Die Bilder 75 bis 77 zeigen die Kraftverläufe in der Kappenanschlussbewehrung während des Anprallvorgangs. In einem Diagramm sind jeweils die Kraftverläufe eines Bewehrungspaares dargestellt wie bereits in Kapitel 6.3.1 beschrieben.

Die Diagramme zeigen, dass bei dieser Schutteinrichtung die Beanspruchungen in der Regel um mehr als die Hälfte unterhalb der Streckgrenze liegen. Die Kräfte sind somit von der Kappenanschlussbewehrung ohne weiteres aufnehmbar.

Die Verläufe der Messkurven zeigen, dass, wie beim zuvor diskutierten System B, die auftretenden Beanspruchungen beim Anprall des vorderen Fahrzeugbereichs höher sind als beim Heck des Fahrzeugs.

Ferner zeigten sich nach der Anprallprüfung keine Schäden an der Brückenkappe durch die lokale Lasteinleitung der Verankerung. Die Schutteinrichtung kann somit ohne weitere Zusatzmaßnahmen auf einer Kappe entsprechend der Richtzeichnung Kap 1 eingesetzt werden.

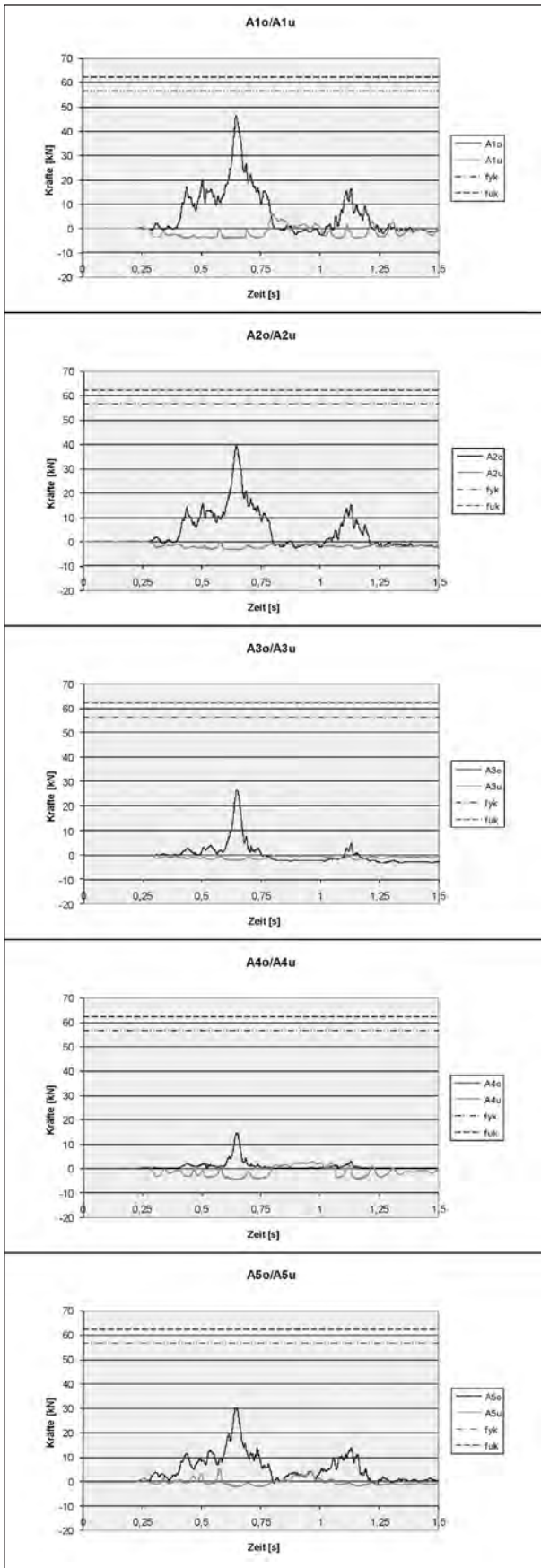


Bild 75: Kraftmesswerte der Kappenanschlussbewehrung im Block A (System D)

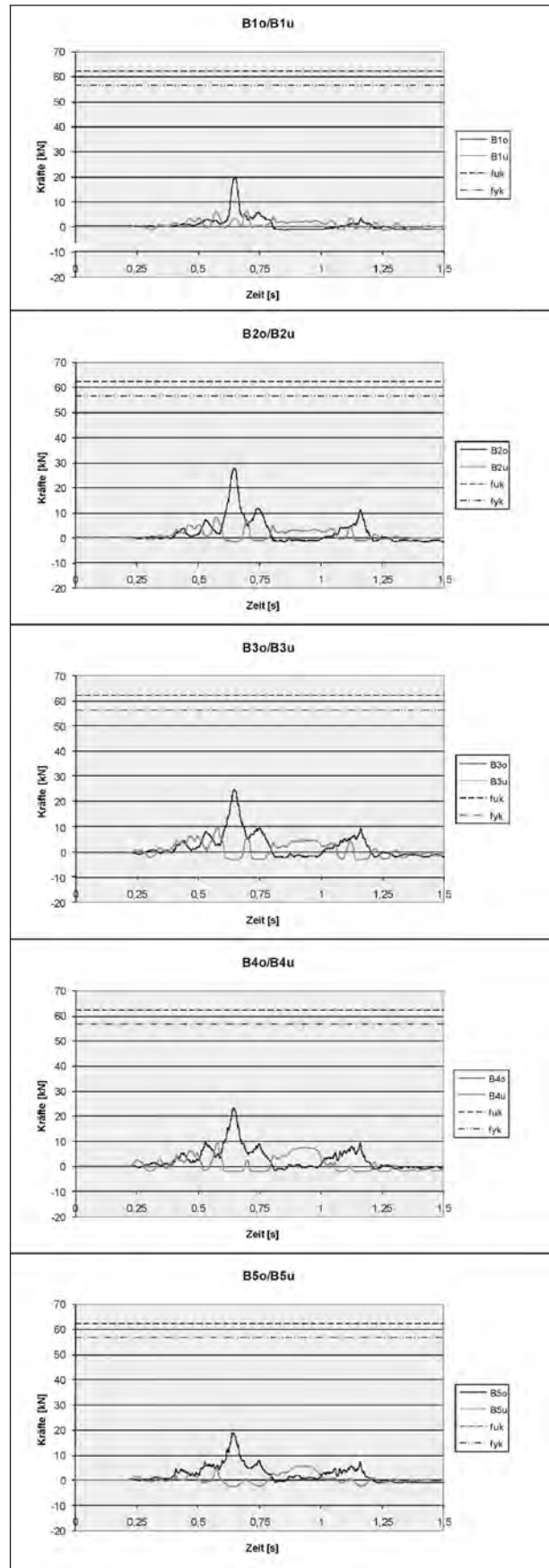


Bild 76a: Kraftmesswerte der Kappenanschlussbewehrung im Block B (System D)

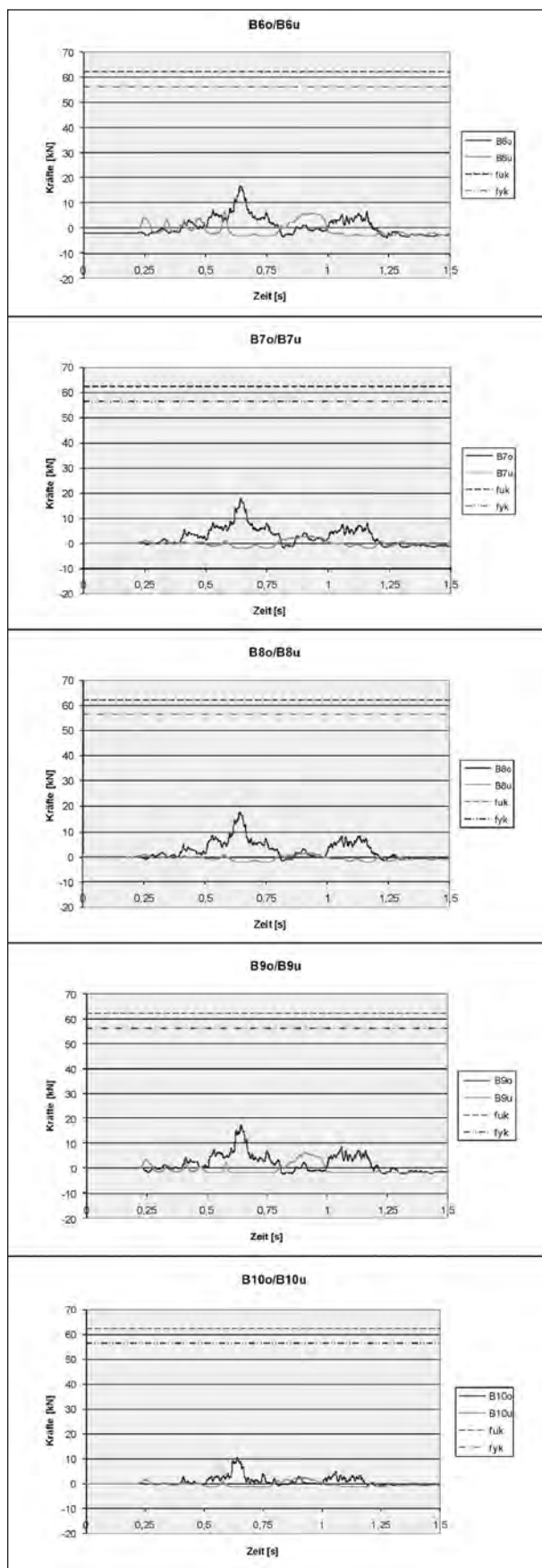


Bild 76b: Kraftmesswerte der Kappenanschlussbewehrung im Block B (System D)

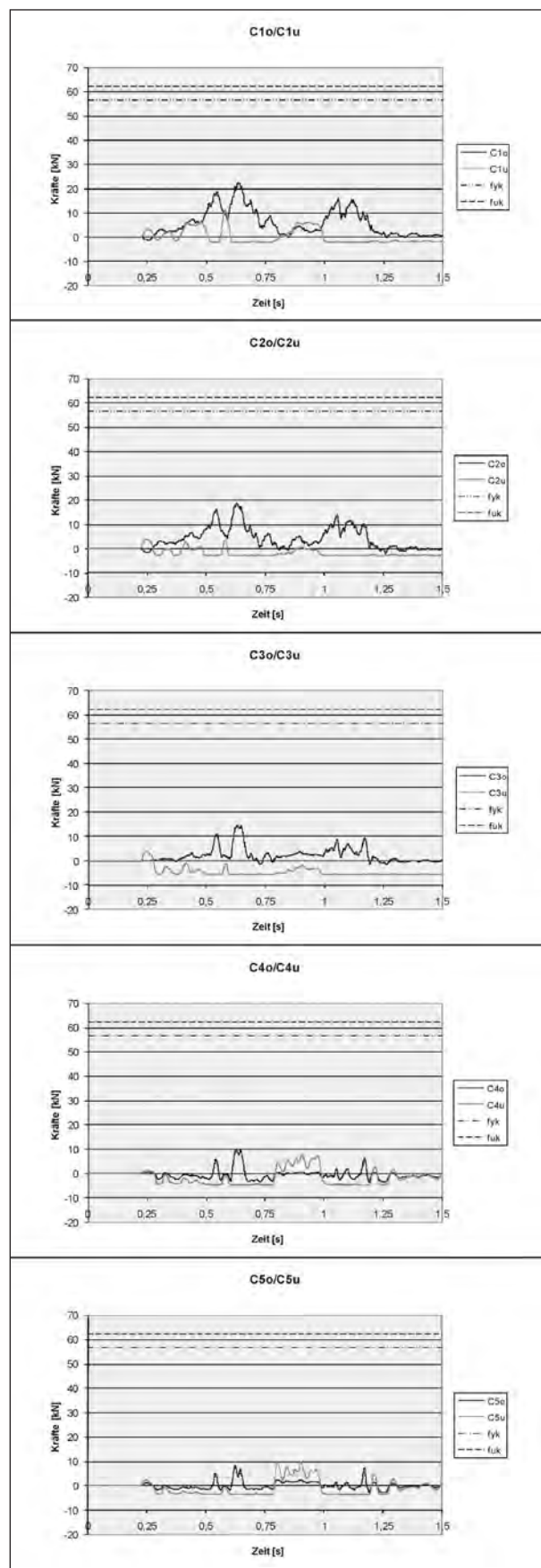


Bild 77: Kraftmesswerte der Kappenanschlussbewehrung im Block C (System D)

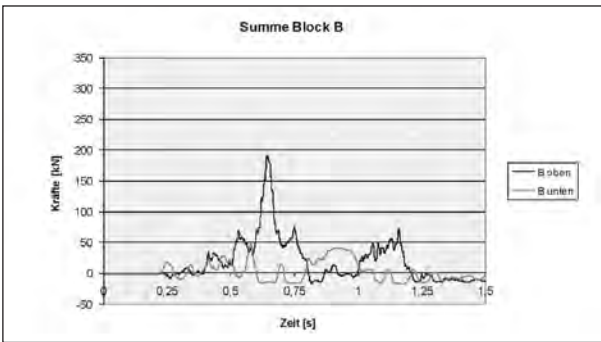


Bild 78: Summenlinie der Kraftmesswerte der Kappenanschlussbewehrung im Block B (System D)

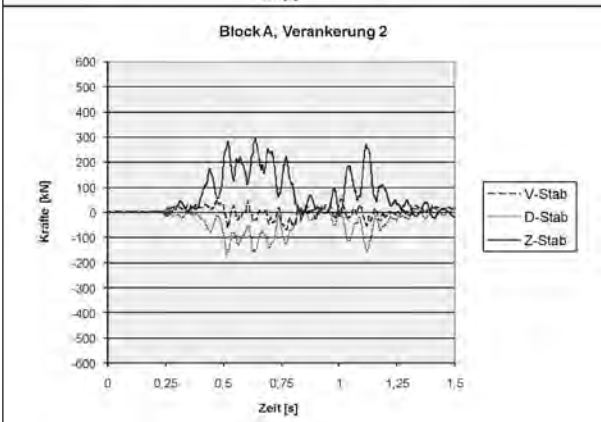
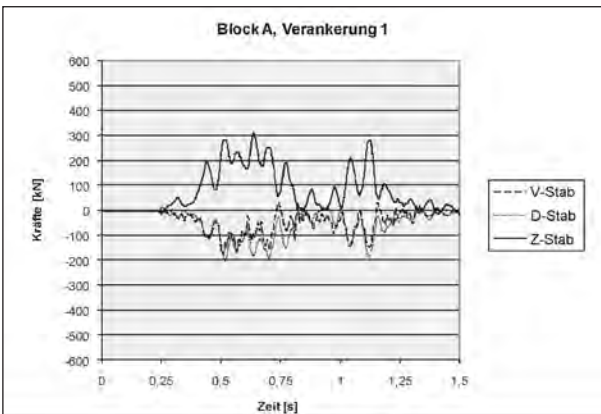


Bild 79: Kraftmesswerte der Konsolaufhängung im Block A (System D)

Beanspruchung der Blöcke A und B					
	Bezugspunkt 1				Bezugspunkt 3
	t [s]	V [kN]	H [kN]	M [kNm]	M _{max} [kNm]
max M	0,5156	338,75	301,74	428,06	328
max H	0,6409	220,65	421,86	375,65	218
max V	0,5031	418,80	306,79	400,22	304

Beanspruchung der gesamten Brücke (Blöcke A, B und C)					
	Bezugspunkt 1				Bezugspunkt 3
	t [s]	V [kN]	H [kN]	M [kNm]	M _{max} [kNm]
max M	0,5153	306,82	370,12	510,32	380
max H	0,6335	257,09	467,76	438,69	265
max V	0,5050	380,02	408,82	486,46	345

Tab. 15: Ermittlung des maximalen Biegemoments für den Bezugspunkt 3 (System D)

6.5.2 Messung an der Konsolaufhängung

Die größten Schnittgrößen treten in der in Fahrtrichtung gesehenen zweiten Konsole (Block B, Länge = 4,0 m) auf (siehe Bilder 79 bis 83). Bild 84 zeigt die Addition der in den letzten beiden Konsolen (Block A + B, Länge = 8,0 m) wirkenden Schnittgrößen. In Bild 85 wird die Addition der auf alle drei Konsolen (Block A + B + C, Länge = 12 m) einwirkenden Schnittgrößen in einem Schnittgrößen-Zeit-Diagramm dargestellt.

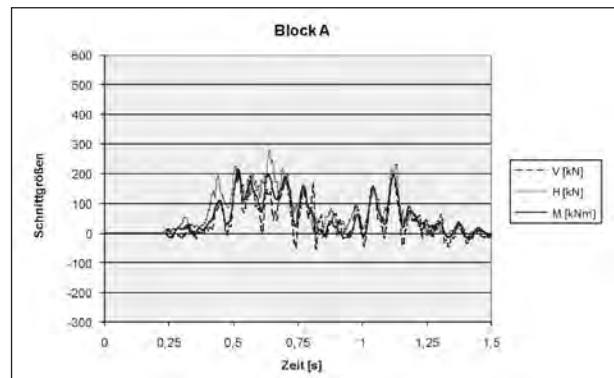


Bild 80: Schnittgrößen der Kragplatte Block A (Bezugspunkt 1, System D)

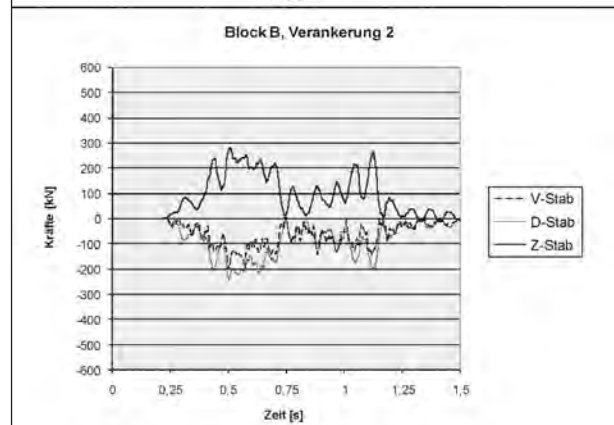
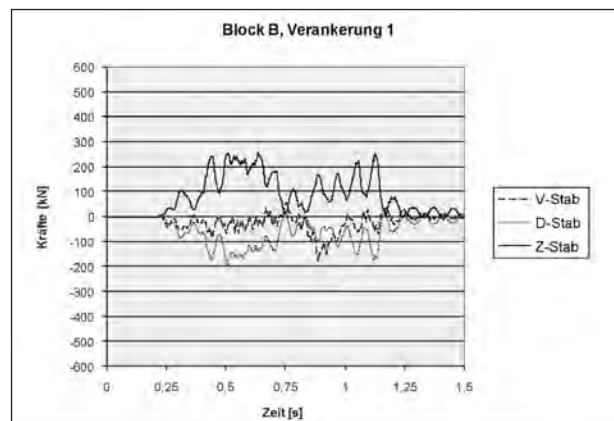


Bild 81: Kraftmesswerte der Konsolaufhängung im Block B (System D)

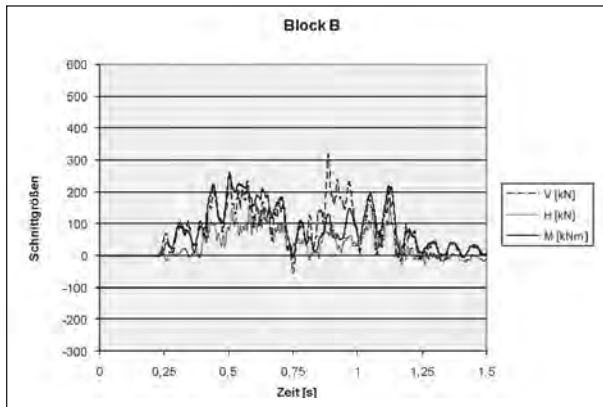


Bild 82: Schnittgrößen der Kragplatte Block B (Bezugspunkt 1, System D)

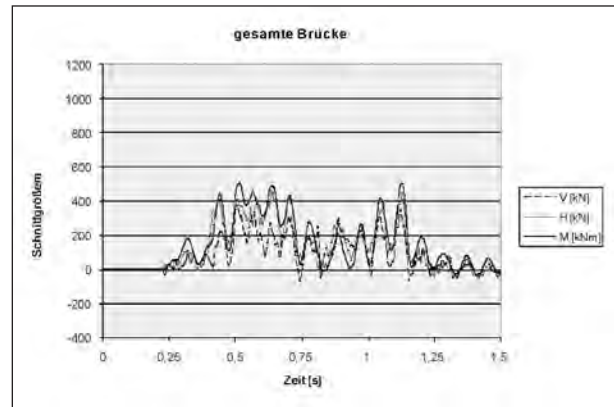


Bild 85 Summenlinie für die Schnittgrößen aller Kragplatten Blöcke A, B und C (Bezugspunkt 1, System D)

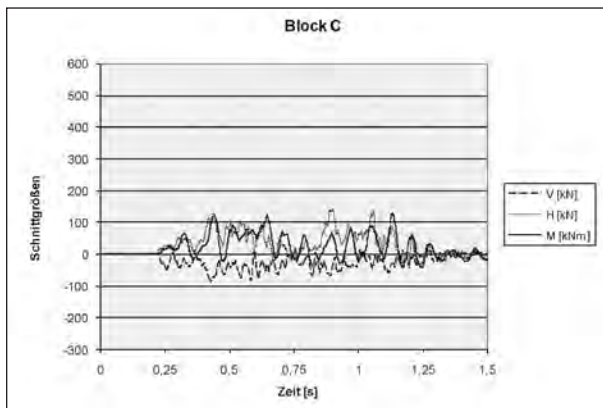


Bild 83: Schnittgrößen der Kragplatte Block C (Bezugspunkt 1, System D)

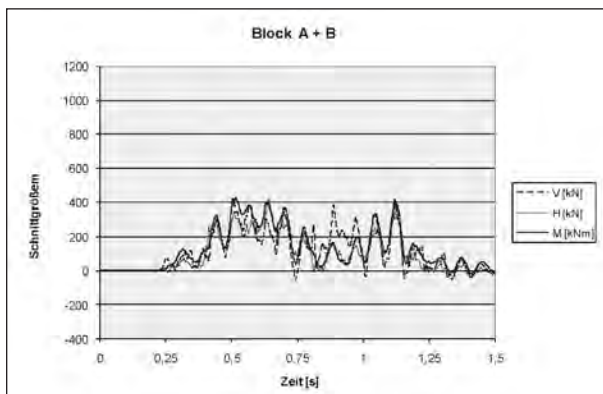


Bild 84 Schnittgrößen der Kragplatten der Blöcke A und B (Bezugspunkt 1, System D)

Bei den Summenlinien tritt die größte Momentenbeanspruchung zum Zeitpunkt 0,5153 Sekunden auf. Bei dieser Schutzeinrichtung treten die Maximalwerte der drei Schnittgrößen Biegemoment, Horizontalkraft und Vertikalkraft zeitlich versetzt auf (Bilder 84 und 85 sowie Tabelle 15).

Die Momente betragen nach Tabelle 15 für Block A und B 328 kNm sowie 380 kNm für die gesamte Brücke, Block A, B und C.

6.6 Messung System E

6.6.1 Messung an der Kappenanschlussbewehrung

Die Bilder 86 bis 88 zeigen die Kraftverläufe in der Kappenanschlussbewehrung während des Anprallvorgangs. In einem Diagramm sind jeweils die Kraftverläufe eines Bewehrungspaares dargestellt wie bereits in Kapitel 6.3.1 beschrieben.

Bei dieser Schutzeinrichtung liegen die auftretenden Kräfte an mehreren Messstellen im Block A und z. T. auch im Block B im Bereich der Beanspruchbarkeitsgrenze. An einigen Messstellen wird sogar die Zugfestigkeit erreicht beziehungsweise überschritten. Dies hätte bei einem Anprall auf einer realen Brücke die Folge, dass mehrere Bewehrungsstäbe eine Überbeanspruchung bis hin zum Bruch erfahren würden.

Die Verläufe der Messkurven zeigen, dass die höchsten Beanspruchungen beim Anprall des vorderen Fahrzeugbereichs entstehen.

Für diese Schutzeinrichtung wird aufgrund der hohen gemessenen Werte ($H_{\max} = 68,7$ kN beim Block A (A30), Bild 86) empfohlen, die Kappenanschlussbewehrung zu verstärken, um eine Überbeanspruchung zu vermeiden. Bei Neubauten könnte die Bewehrung erhöht werden, indem der Bewehrungsabstand entsprechend der Ausnutzung vereinfachend von 40 cm auf $56,5/68,7 = -0,82 \cdot 40 = 32$ cm verringert wird. Bei Instandsetzungsmaßnahmen könnte eine eingemörtelte obere Bewehrung ergänzt werden. Eine weitere Verstärkung der Brückenkappe ist nicht notwendig, da die Schutzeinrichtung durch den Fahrzeuganprall keine weiteren Beschädigungen verursacht hat.

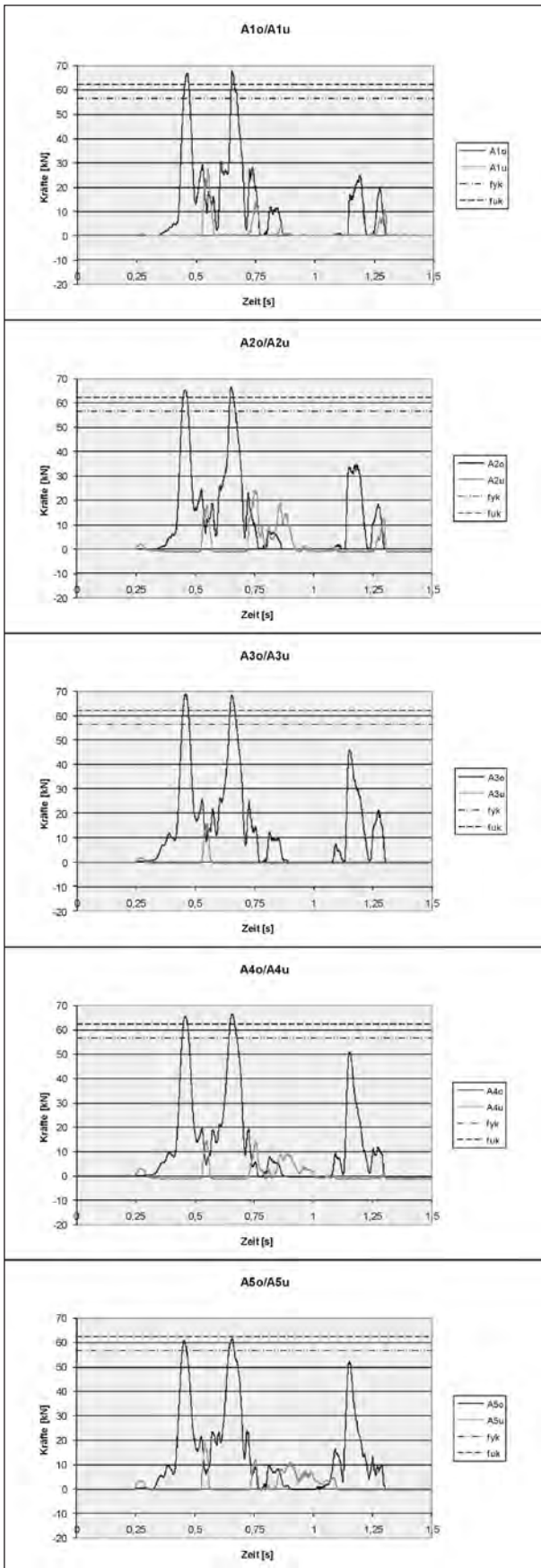


Bild 86: Kraftmesswerte der Kappenanschlussbewehrung im Block A (System E)

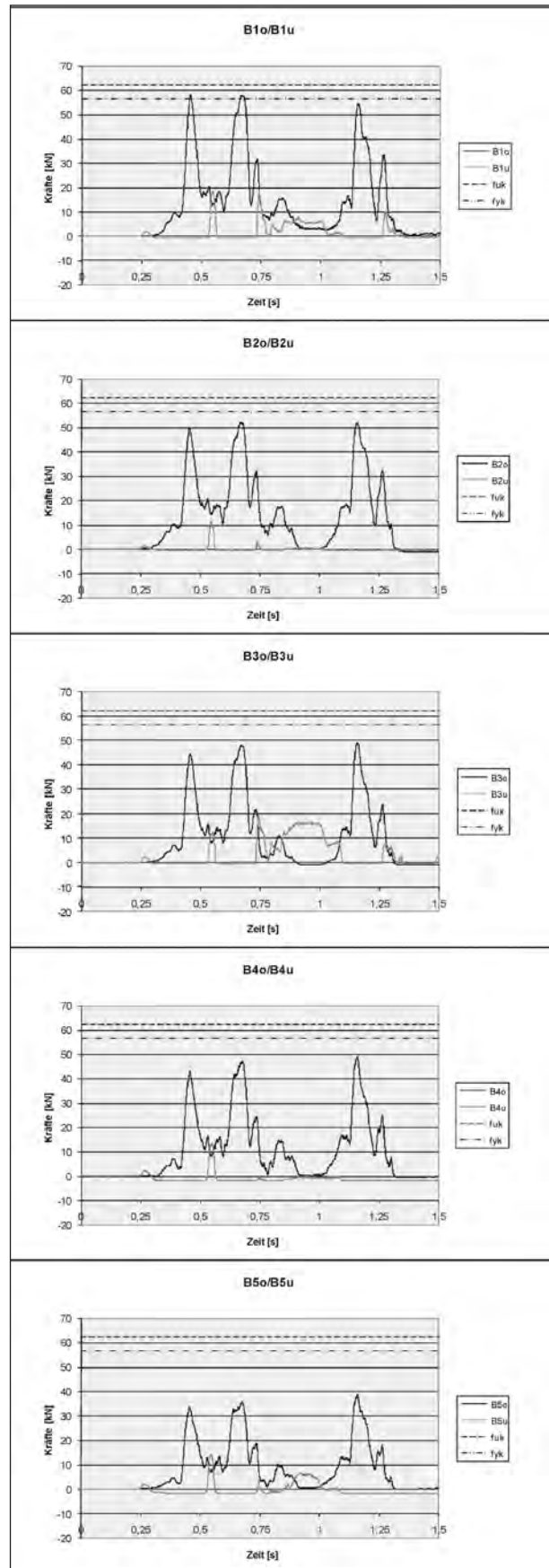


Bild 87a: Kraftmesswerte der Kappenanschlussbewehrung im Block B (System E)

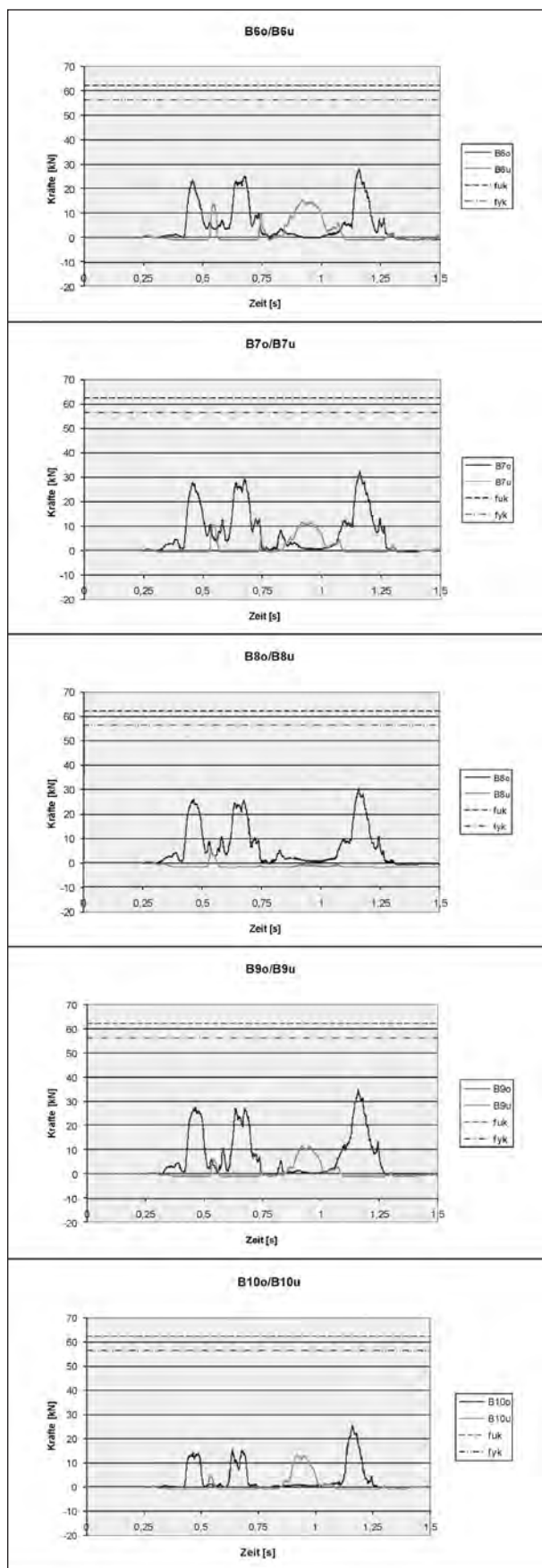


Bild 87b: Kraftmesswerte der Kappenanschlussbewehrung im Block B (System E)

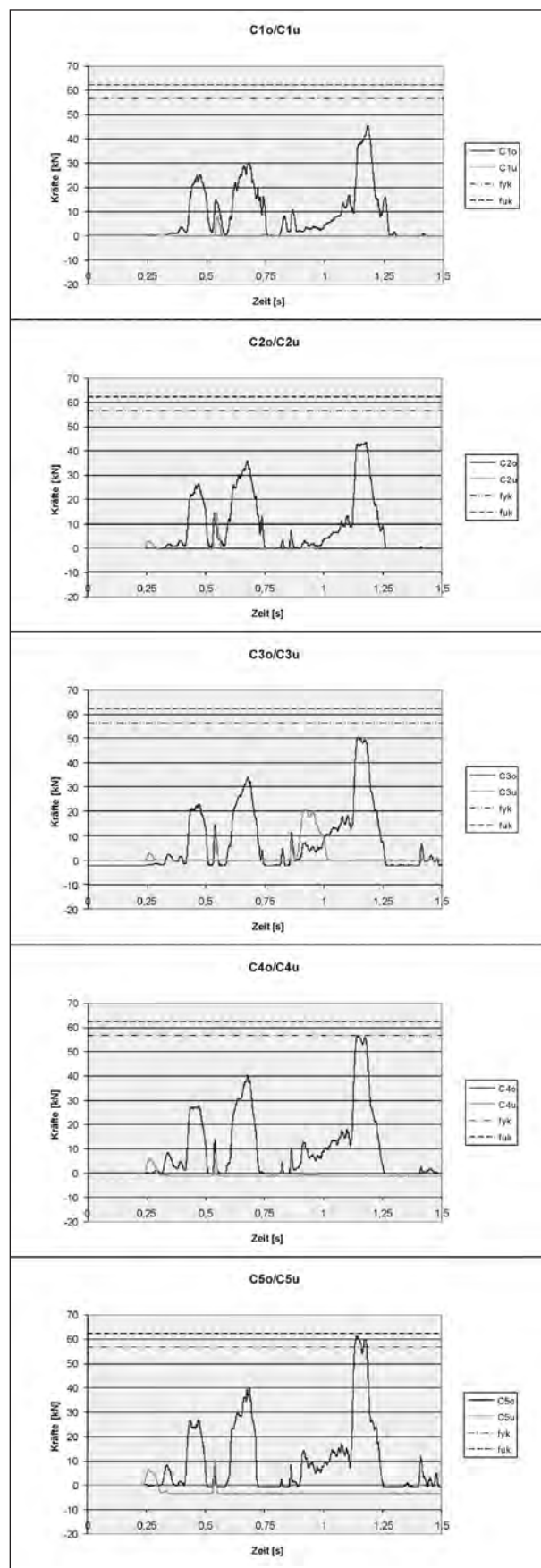


Bild 88: Kraftmesswerte der Kappenanschlussbewehrung im Block C (System E)

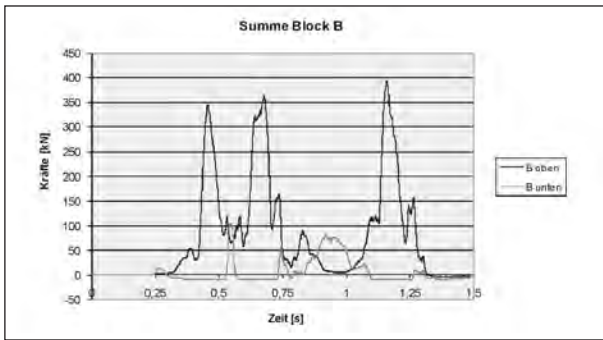


Bild 89: Summenlinie der Kraftmesswerte der Kappenanschlussbewehrung im Block B (System E)

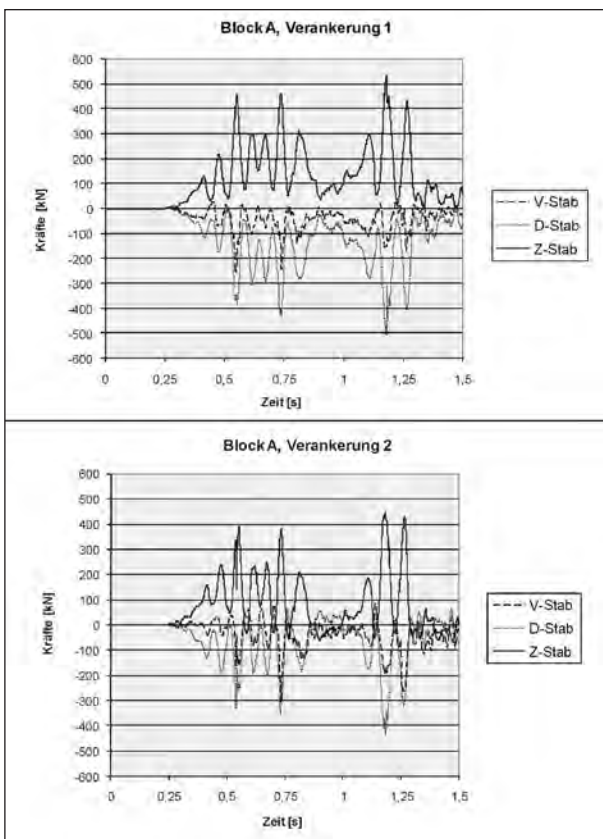


Bild 90: Kraftmesswerte der Konsolaufhängung im Block A (System E)

Beanspruchung der Blöcke A und B					
	Bezugspunkt 1				Bezugspunkt 3
	t [s]	V [kN]	H [kN]	M [kNm]	M _{max} [kNm]
max M	1,1794	512,18	278,22	848,48	770
max H	1,1804	506,33	448,45	738,70	590
max V	0,5449	719,50	265,37	629,50	571
Beanspruchung der gesamten Brücke (Blöcke A, B und C)					
	Bezugspunkt 1				Bezugspunkt 3
	t [s]	V [kN]	H [kN]	M [kNm]	M _{max} [kNm]
max M	1,1778	659,76	393,83	1087,69	972
max H	1,1804	629,02	557,71	960,37	776
max V	0,5486	825,61	379,08	743,66	646

Tab. 16: Ermittlung des maximalen Biegemoments für den Bezugspunkt 3 (System E)

6.6.2 Messung an der Konsolaufhängung

Die größten Schnittgrößen treten in der in Fahrtrichtung gesehenen dritten Konsole (Block A, Länge = 4,0 m) auf (siehe Bilder 90 bis 94). Bild 95 zeigt die Addition der in den letzten beiden Konsolen (Block A + B, Länge = 8,0 m) wirkenden Schnittgrößen. Im Bild 95 wird die Addition der auf alle drei Konsolen (Block A + B + C, Länge = 12 m) einwirkenden Schnittgrößen in einem Schnittgrößen-Zeit-Diagramm dargestellt.

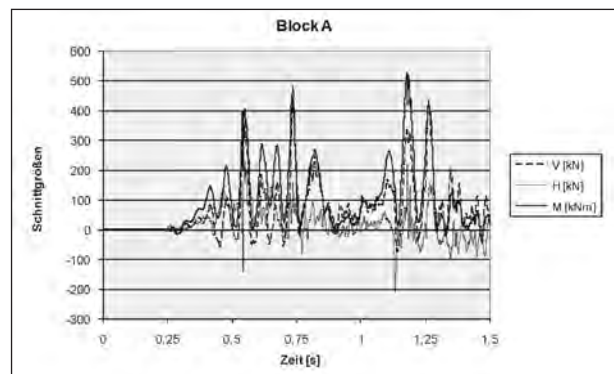


Bild 91: Schnittgrößen der Kragplatte Block A (Bezugspunkt 1, System E)

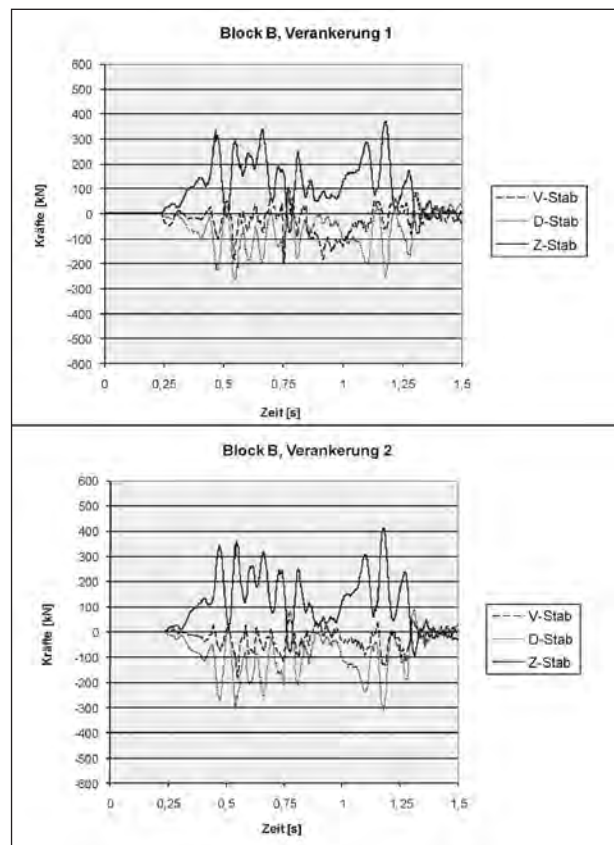


Bild 92: Kraftmesswerte der Konsolaufhängung im Block B (System E)

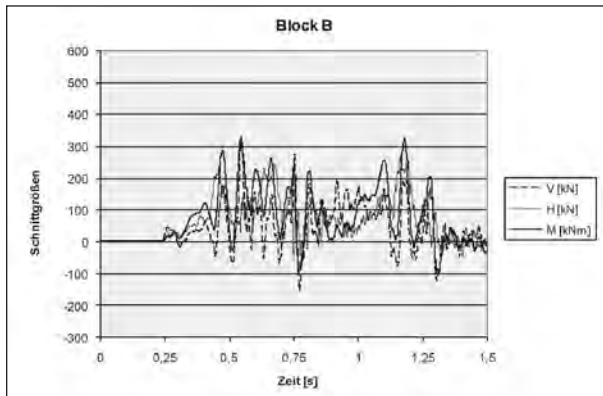


Bild 93: Schnittgrößen der Kragplatte Block B (Bezugspunkt 1, System E)

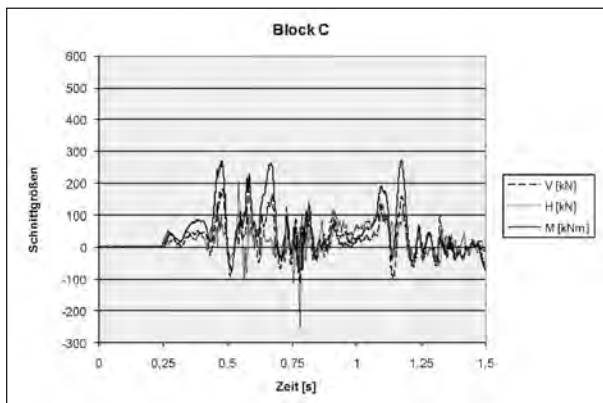


Bild 94: Schnittgrößen der Kragplatte Block C (Bezugspunkt 1, System E)

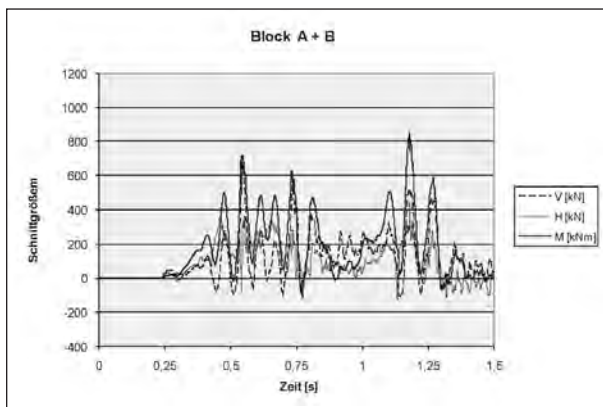


Bild 95: Schnittgrößen der Kragplatten der Blöcke A und B (Bezugspunkt 1, System E)

Bei den Summenlinien tritt die größte Momentenbeanspruchung zum Zeitpunkt 1,1778 Sekunden auf. Bei dieser Schutzeinrichtung treten die Maximalwerte der drei Schnittgrößen Biegemoment, Horizontalkraft und Vertikalkraft zu unterschiedlichen Zeitpunkten auf (Bilder 95 und 96 sowie Tabelle 16).

Die Momente betragen nach Tabelle 16 für Block A und B 770 kNm sowie 972 kNm für die gesamte Brücke, Block A, B und C.

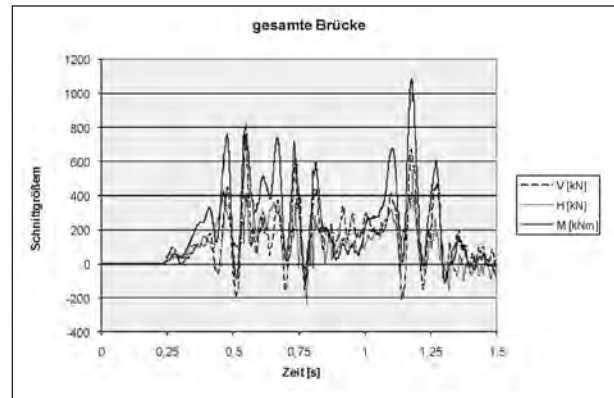


Bild 96: Summenlinie für die Schnittgrößen aller Kragplatten Blöcke A, B und C (Bezugspunkt 1, System E)

6.7 Messung System F

6.7.1 Messung an der Kappenanschlussbewehrung

Die Bilder 97 bis 99 zeigen die Kraftverläufe in der Kappenanschlussbewehrung während des Anprallvorgangs. In einem Diagramm sind jeweils die Kraftverläufe eines Bewehrungspaares dargestellt wie bereits in Kapitel 6.3.1 beschrieben.

Die Diagramme zeigen, dass bei dieser Schutzeinrichtung die Beanspruchungen in der Regel deutlich unterhalb der Streckgrenze liegen. Die Kräfte sind somit von der Kappenanschlussbewehrung ohne weiteres aufnehmbar.

Die Verläufe der Messkurven zeigen, dass wie beim zuvor diskutierten System B die auftretenden Beanspruchungen beim Anprall des vorderen Fahrzeugbereichs höher sind als beim Heck des Fahrzeugs.

Ferner zeigten sich nach der Anprallprüfung keine Schäden an der Brückenkappe durch die lokale Lasteinleitung der Verankerung. Die Schutzeinrichtung kann somit ohne weitere Zusatzmaßnahmen auf einer Kappe entsprechend der Richtzeichnung Kap 1 eingesetzt werden.

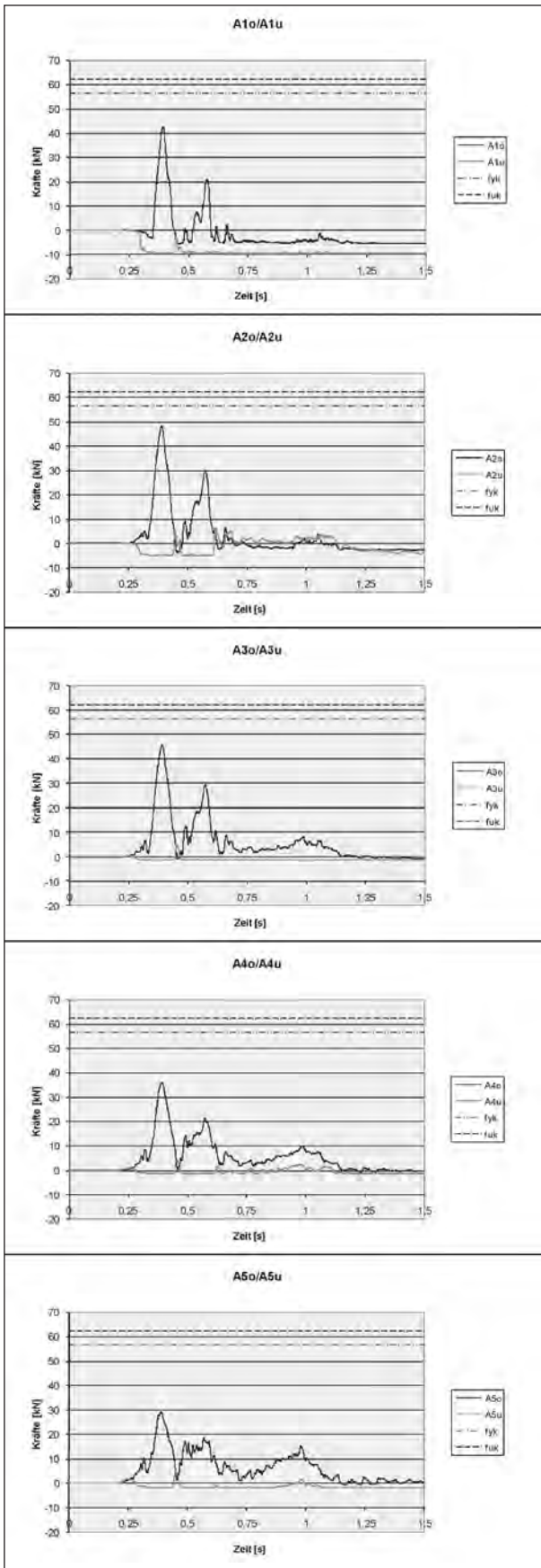


Bild 97: Kraftmesswerte der Kappenanschlussbewehrung im Block A (System F)

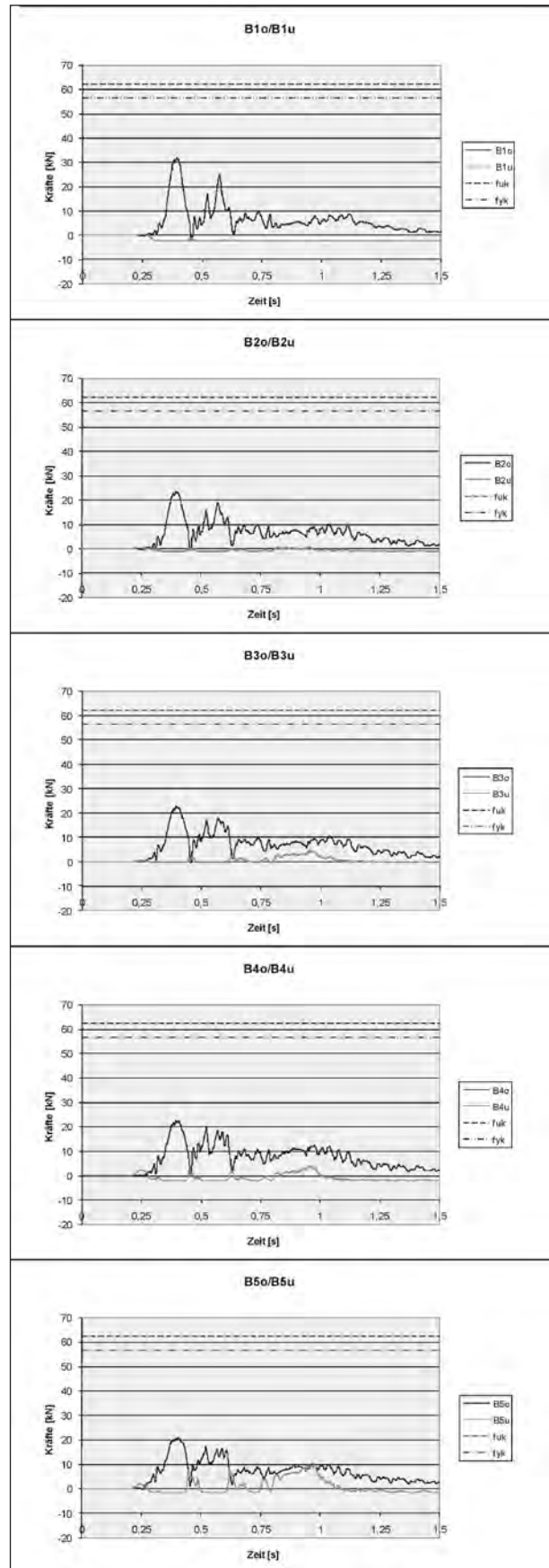


Bild 98a: Kraftmesswerte der Kappenanschlussbewehrung im Block B (System F)

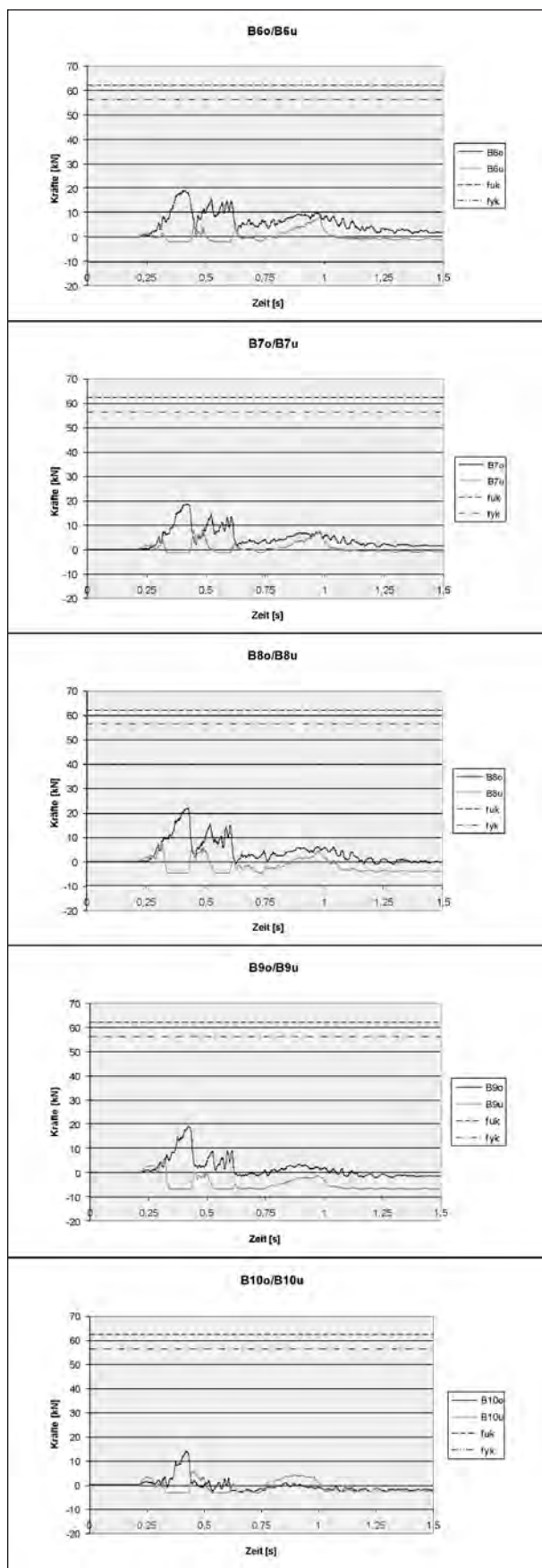


Bild 98b: Kraftmesswerte der Kappenanschlussbewehrung im Block B (System F)

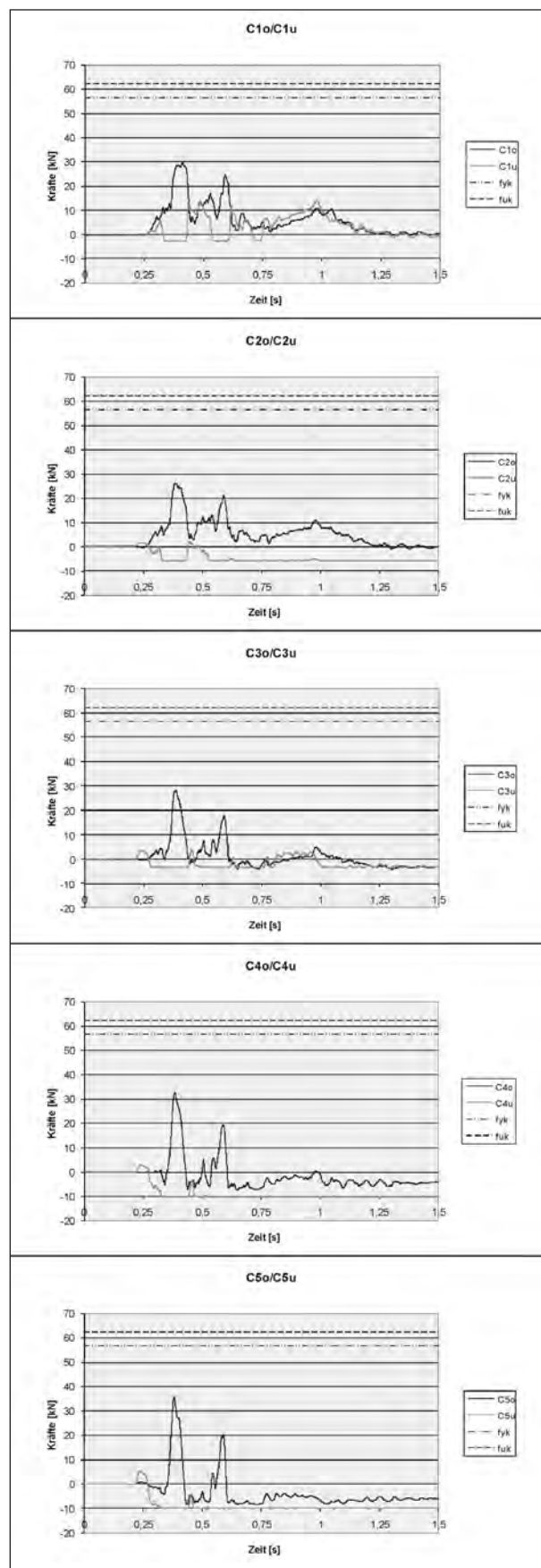


Bild 99: Kraftmesswerte der Kappenanschlussbewehrung im Block C (System F)

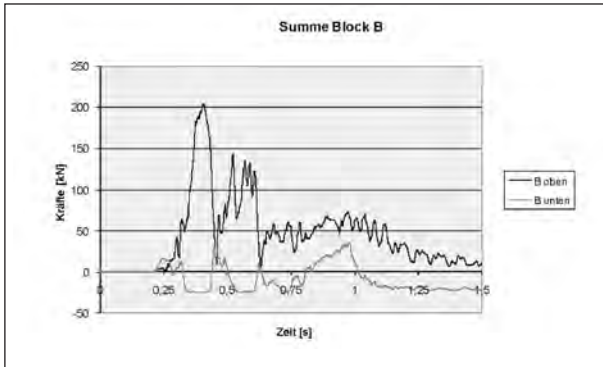


Bild 100: Summenlinie der Kraftmesswerte der Kappenanschlussbewehrung im Block B (System F)

6.7.2 Messung an der Konsolaufhängung

Die größten Schnittgrößen treten in der in Fahrtrichtung gesehen zweiten Konsole (Block B, Länge = 4,0 m) auf (Bilder 101 bis 103). Bild 107 zeigt die Addition der in den letzten beiden Konsolen (Block A + B, Länge = 8,0 m) wirkenden Schnittgrößen. Im Bild 106 wird die Addition der auf alle drei Konsolen (Block A + B + C, Länge = 12 m) einwirkenden Schnittgrößen in einem Schnittgrößen-Zeit-Diagramm dargestellt.

Bei den Summenlinien tritt die größte Momentenbeanspruchung zum Zeitpunkt 0,5193 Sekunden auf. Bei dieser Schutz Einrichtung treten die Maximalwerte der drei Schnittgrößen Biegemoment, Horizontalkraft und Vertikalkraft zeitlich versetzt auf (Bilder 106 und 107 sowie Tabelle 17).

Die Momente betragen nach Tabelle 17 für Block A und B 502 kNm sowie 643 kNm für die gesamte Brücke, Block A, B und C.

Beanspruchung der Blöcke A und B					
	Bezugspunkt 1				Bezugspunkt 3
	t [s]	V [kN]	H [kN]	M [kNm]	M _{max} [kNm]
max M	0,9821	446,33	214,08	558,48	502
max H	0,5210	336,58	287,29	537,83	444
max V	0,9846	452,67	220,42	550,00	491
Beanspruchung der gesamten Brücke (Blöcke A, B und C)					
	Bezugspunkt 1				Bezugspunkt 3
	t [s]	V [kN]	H [kN]	M [kNm]	M _{max} [kNm]
max M	0,5193	486,60	366,30	759,50	643
max H	0,4892	131,94	410,49	317,01	158
max V	0,9852	578,78	364,80	737,71	629

Tab. 17: Ermittlung des maximalen Biegemoments für den Bezugspunkt 3 (System F)

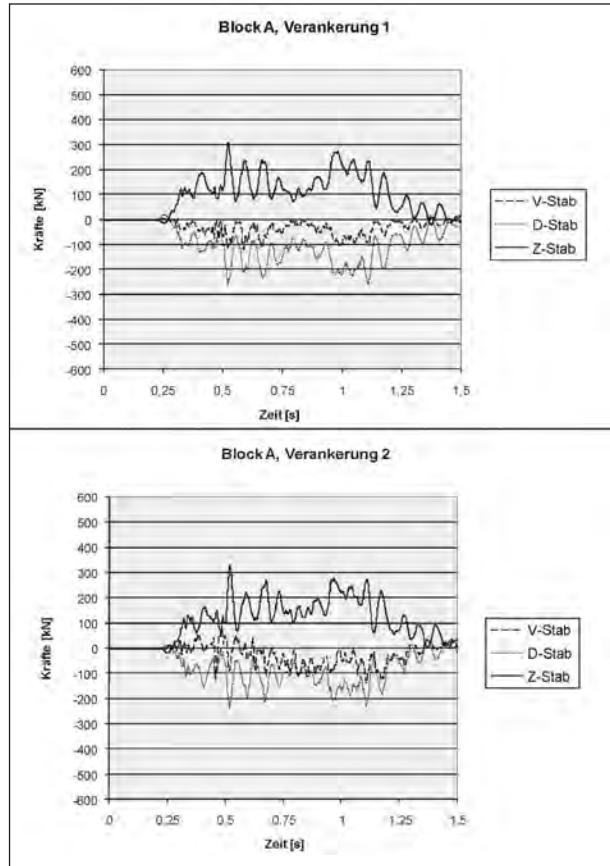


Bild 101: Kraftmesswerte der Konsolaufhängung im Block A (System F)

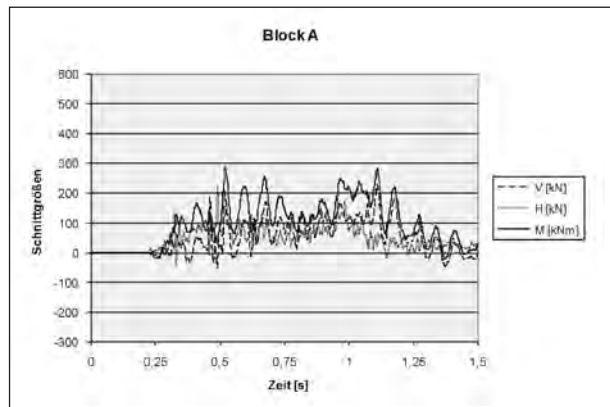


Bild 102: Schnittgrößen der Kragplatte Block A (Bezugspunkt 1, System F)

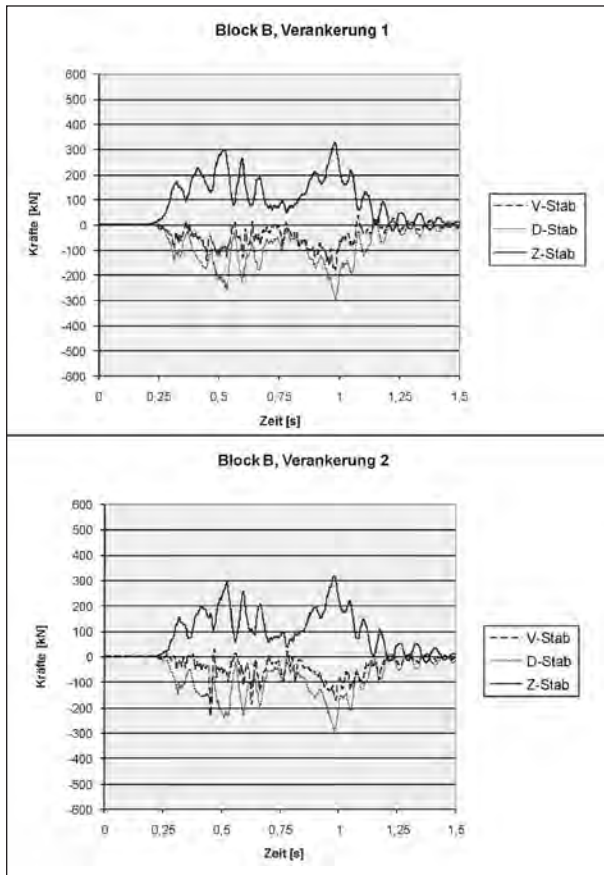


Bild 103: Kraftmesswerte der Konsolaufhängung im Block B (System F)

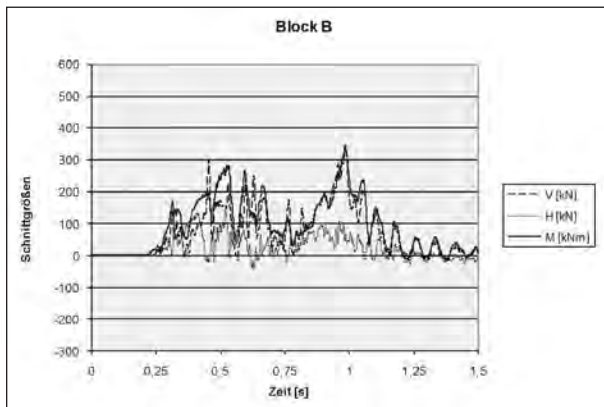


Bild 104: Schnittgrößen der Kragplatte Block B (Bezugspunkt 1, System F)

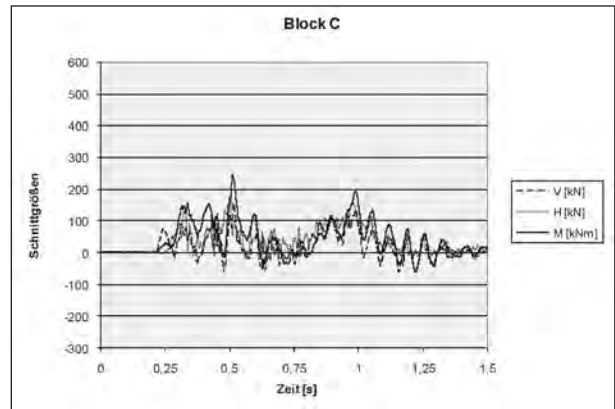


Bild 105: Schnittgrößen der Kragplatte Block C (Bezugspunkt 1, System F)

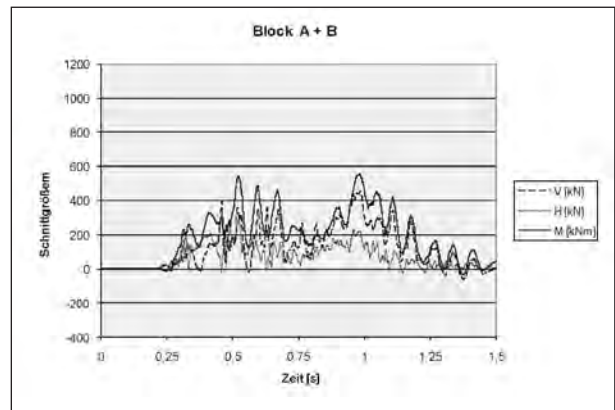


Bild 106: Schnittgrößen der Kragplatten der Blöcke A und B (Bezugspunkt 1, System F)

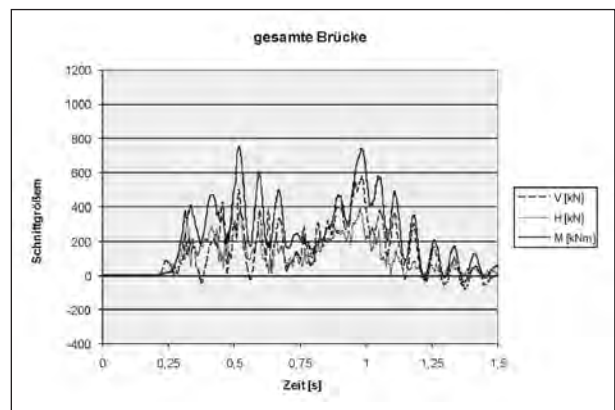


Bild 107: Summenlinie für die Schnittgrößen aller Kragplatten Blöcke A, B und C (Bezugspunkt 1, System F)

7 Festlegung der charakteristischen Einwirkungsgrößen

7.1 Allgemeines

Nach DIN-Fachbericht 101 „Einwirkungen“ [7] sind Anpralllasten an Rückhaltesysteme den außergewöhnlichen Einwirkungen zuzuordnen. Der Teilsicherheitsbeiwert für außergewöhnliche Einwirkungen beträgt nach DIN-Fachbericht $\gamma_A = 1,0$. Nach Eurocode 1 [12] wird für eine außergewöhnliche Einwirkung eine charakteristische Last als Nennwert festgelegt. Die Festlegung soll so erfolgen, dass bei einem Anprallereignis möglichst keine Schäden an dem Bauwerk entstehen. Andererseits soll der Wert aber auch wirtschaftlich vertretbar sein, um die Kosten sowohl beim Brückenneubau als auch bei Instandsetzungsmaßnahmen in einem vertretbaren Rahmen zu belassen.

Für die Festlegung von Werten für ein Fahrzeugrückhaltesystem stehen nur die Messungen eines Einzelereignisses, der Anprallprüfung, zur Verfügung. Die Anwendung statistischer Verfahren ist somit nicht möglich. Um dennoch eine sinnvolle Festlegung treffen zu können, werden die Messwerte gemeinsam mit den Widerstandswerten des Fahrzeugrückhaltesystems und der Verankerung betrachtet. Eine große Aussagekraft weisen Elemente auf, die planmäßig versagen, weil dann in der Regel keine Laststeigerung mehr möglich ist.

Die aus Anprallprüfungen ermittelten Einwirkungen gelten immer nur für den Fall, dass eine Schutzeinrichtung im Praxiseinsatz in gleicher Weise und Anordnung aufgebaut wird wie bei der Anprallprüfung. Anderenfalls muss für die Beurteilung der Kraftwerte eine erneute Betrachtung durchgeführt werden.

Wie zuvor beschrieben wurde, handelt es sich bei dem Prüffahrzeug um einen Sattelzug mit einem Gewicht von 38 t. Die hier geprüften Schutzeinrichtungen haben gezeigt, dass sie in der Lage sind, das Prüffahrzeug aufzuhalten und umzulenken. Einige Schutzeinrichtungen waren nach der Anprallprüfung nicht vollkommen geschädigt. Es kann angenommen werden, dass diese Schutzeinrichtungen in der Lage sind, in einem begrenzten Umfang noch schwerere Fahrzeuge aufhalten und umlenken zu können. In diesem Fall würden begleitend auch höhere Lasten in das Bauwerk eingeleitet werden. Diese Tatsache wird, anders als in [11], bei den H4b-Systemen nicht weiter ver-

folgt. Es wird davon ausgegangen, dass die Anprallprüfung einen Fall abbildet, der nur sehr selten vorkommt. Anzunehmen, dass ein realer Unfall unter noch ungünstigeren Bedingungen verläuft und somit noch höhere Lasten entstehen würden, kann als derart seltenes Ereignis betrachtet werden, dass eine weitere Erhöhung der Einwirkungen zu sehr unwirtschaftlichen Ergebnissen führen würde.

Bei der Festlegung der charakteristischen Werte der Einwirkungen wird jedoch durch das Runden auf praxismgerechte Werte eine mögliche Streuung der Messwerte berücksichtigt. Diese ergibt sich auf Grund der Tatsache, dass es sich bei einer Anprallprüfung um ein Einzelergebnis handelt.

7.2 System A

Die Auswertung des Systems A erfolgt in [10]. Darin wird vorgeschlagen, folgende Werte als charakteristische Einwirkungsgrößen festzulegen:

- $M = 400 \text{ kNm}$ verteilt auf $4,0 \text{ m}$: $m = 100 \text{ kNm/m}$,
- $V = 400 \text{ kN}$ verteilt auf $4,0 \text{ m}$: $v = 100 \text{ kN/m}$,
- $H = 280 \text{ kN}$ verteilt auf $4,0 \text{ m}$: $h = 70 \text{ kN/m}$.

7.3 System B

Bei der Festlegung der charakteristischen Werte der Einwirkungen sind die Beanspruchungen im Block A und B maßgebend, da dort die höchsten Werte gemessen wurden. Diese Werte treten auf einer Länge von $8,0 \text{ m}$ auf. Zur Erfassung der Streuung der Messwerte wird das Biegemoment von 465 kNm gerundet. Für die Horizontal- und Vertikalkraft werden die gemessenen Werte aus Block A und B ebenfalls auf praxistaugliche Werte gerundet.

Resultierend aus diesen Überlegungen wird vorgeschlagen, als charakteristische Last der Einwirkung für die betrachtete Schutzeinrichtung ein Biegemoment von 480 kNm auf eine Länge von $4,0 \text{ m}$ anzusetzen. Die Last ist damit stärker konzentriert, als sie bei der Anprallprüfung gemessen wurde. Diese Last deckt die Beanspruchung durch einen 38-t-Sattelzug ab. Es wird nicht erwartet, dass größere Lasten auftreten, da diese kaum mehr aufgenommen werden können. In solch einem Fall ist zu erwarten, dass sich die Schutzeinrichtung so stark

nach hinten neigt und somit die Längselemente wie Kastenprofil und Planke nach unten gezogen werden, dass die Fahrzeuge darüber hinweg fahren beziehungsweise gleiten werden

Für die Schutzeinrichtung B wird als Folge der durchgeführten Messungen und aus den zuvor genannten Überlegungen vorgeschlagen, folgende Werte als charakteristische Einwirkungsgröße festzulegen:

- $M = 480 \text{ kNm}$ verteilt auf $4,0 \text{ m}$: $m = 120 \text{ kNm/m}$,
- $V = 340 \text{ kN}$ verteilt auf $4,0 \text{ m}$: $v = 85 \text{ kN/m}$,
- $H = 240 \text{ kN}$ verteilt auf $4,0 \text{ m}$: $h = 60 \text{ kN/m}$.

7.4 System C

Wie bei den Systemen A und B sind zur Festlegung der charakteristischen Werte der Einwirkungen die Beanspruchungen im Block A und B maßgebend. Bei dieser Schutzeinrichtung wird der Wert für das Biegemoment von 489 kNm geringfügig abgerundet.

Daraus ergibt sich eine charakteristische Last der Einwirkung für das Biegemoment von 480 kNm , welches auf einer Länge von $4,0 \text{ m}$ anzusetzen ist. Die Last ist damit stärker konzentriert, als sie bei der Anprallprüfung gemessen wurde.

Es wird nicht erwartet, dass größere Lasten auftreten. Die Schutzeinrichtung selbst ist verhältnismäßig gering beschädigt, da die Anker der Schutzeinrichtung als Sollbruchstelle fungieren. Sie scheren im Anprallbereich ab, sodass in diesem Bereich durch die Schutzeinrichtung keine Kräfte mehr eingeleitet werden können. Würde ein schwereres Fahrzeug in diese Schutzeinrichtung fahren, so wird erwartet, dass noch mehr Anker abscheren und die Schutzeinrichtung weiter nach hinten ausweicht. Sofern ausreichend Platz vorhanden wäre, kann angenommen werden, dass auch noch schwere Fahrzeuge aufgehalten würden.

Es ergeben sich folgende Werte als charakteristische Einwirkungsgrößen:

- $M = 480 \text{ kNm}$ verteilt auf $4,0 \text{ m}$: $m = 120 \text{ kNm/m}$,
- $V = 480 \text{ kN}$ verteilt auf $4,0 \text{ m}$: $v = 120 \text{ kN/m}$,
- $H = 360 \text{ kN}$ verteilt auf $4,0 \text{ m}$: $h = 90 \text{ kN/m}$.

7.5 System D

Das System D weist von allen sechs Systemen das geringste Biegemoment und damit die geringste Beanspruchung des Haupttragwerkes auf. Auch bei diesem System sind zur Festlegung der charakteristischen Werte der Einwirkungen die Beanspruchungen im Block A und B maßgebend. Die Werte treten auf einer Länge von $8,0 \text{ m}$ auf. Zur Erfassung der Streuung der Messwerte wird das Biegemoment von 328 kNm aufgerundet. Für die Horizontal- und Vertikalkraft werden die gemessenen Werte aus Block A und B ebenfalls auf praxistaugliche Werte gerundet. Daraus resultiert als charakteristische Last der Einwirkung für die betrachtete Stahlschutzwand ein Biegemoment von 340 kNm .

Größere Lasten können von der Schutzeinrichtung wahrscheinlich noch aufgenommen werden. Das System weist nämlich ein relativ hohes Maß an Resttragfähigkeit auf, da der Schädigungsgrad nach der Anprallprüfung verhältnismäßig gering zu bewerten ist. Wie aber in Kapitel 7.1 erläutert wurde, wird aus Gründen der geringen Wahrscheinlichkeit, dass ein noch schwereres Fahrzeug in die Schutzeinrichtung prallt und aus Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen auf eine weitere Erhöhung der Werte verzichtet.

Es ergeben sich folgende Werte als charakteristische Einwirkungsgrößen:

- $M = 340 \text{ kNm}$ verteilt auf $4,0 \text{ m}$: $m = 85 \text{ kNm/m}$,
- $V = 240 \text{ kN}$ verteilt auf $4,0 \text{ m}$: $v = 60 \text{ kN/m}$,
- $H = 280 \text{ kN}$ verteilt auf $4,0 \text{ m}$: $h = 70 \text{ kN/m}$.

7.6 System E

Im Gegensatz zum System D weist das System E von allen sechs Systemen das höchste Biegemoment und damit die höchste Beanspruchung des Haupttragwerkes auf. Auch bei diesem System sind zur Festlegung der charakteristischen Werte der Einwirkungen die Beanspruchungen im Block A und B maßgebend. Die Werte treten auf einer Länge von $8,0 \text{ m}$ auf. Zur Erfassung der Streuung der Messwerte wird das Biegemoment von 770 kNm aufgerundet. Für die Horizontal- und Vertikalkraft werden die gemessenen Werte aus Block A und B ebenfalls auf praxistaugliche Werte gerundet. Daraus resultiert als charakteristische Last der Einwirkung für die betrachtete Stahlschutzwand ein Biegemoment von 780 kNm .

Größere Lasten können von der Schutzeinrichtung in begrenztem Umfang noch aufgenommen werden. Wie aber in Kapitel 7.1 erläutert wurde, wird aus Gründen der geringen Wahrscheinlichkeit, dass ein noch schwereres Fahrzeug in die Schutzeinrichtung prallt, und aus Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen auf eine weitere Erhöhung der Werte verzichtet.

Es ergeben sich folgende Werte als charakteristische Einwirkungsgrößen:

- $M = 780 \text{ kNm}$ verteilt auf $4,0 \text{ m}$: $m = 195 \text{ kNm/m}$,
- $V = 520 \text{ kN}$ verteilt auf $4,0 \text{ m}$: $v = 130 \text{ kN/m}$,
- $H = 320 \text{ kN}$ verteilt auf $4,0 \text{ m}$: $h = 80 \text{ kN/m}$.

7.7 System F

Wie bei den vorangegangenen Systemen sind zur Festlegung der charakteristischen Werte der Einwirkungen die Beanspruchungen im Block A und B maßgebend. Bei dieser Schutzeinrichtung wird der Wert für das Biegemoment von 502 kNm geringfügig aufgerundet.

Daraus ergibt sich eine charakteristische Last der Einwirkung für das Biegemoment von 520 kNm , welches auf eine Länge von $4,0 \text{ m}$ anzusetzen ist. Die Last ist damit stärker konzentriert, als sie bei der Anprallprüfung gemessen wurde.

Es kann erwartet werden, dass größere Lasten auftreten können, weil die Schutzeinrichtung im oberen Bereich mit einem robusten Stahlrohr ausgestattet ist. Dieses Rohr wäre wahrscheinlich in der Lage, auch schwerere Fahrzeuge aufzuhalten. Doch wie bereits in Kapitel 7.5 praktiziert wird auch bei dieser Stahlschutzwand auf eine Erhöhung der Werte verzichtet.

Es ergeben sich folgende Werte als charakteristische Einwirkungsgrößen:

- $M = 520 \text{ kNm}$ verteilt auf $4,0 \text{ m}$: $m = 130 \text{ kNm/m}$,
- $V = 480 \text{ kN}$ verteilt auf $4,0 \text{ m}$: $v = 120 \text{ kN/m}$,
- $H = 240 \text{ kN}$ verteilt auf $4,0 \text{ m}$: $h = 60 \text{ kN/m}$.

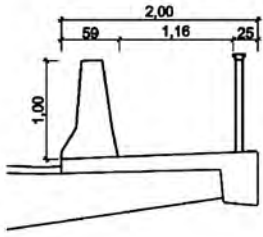
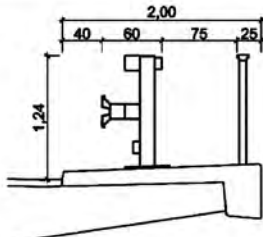
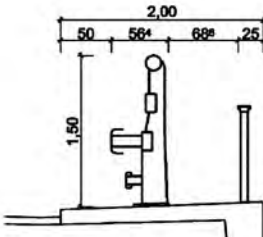
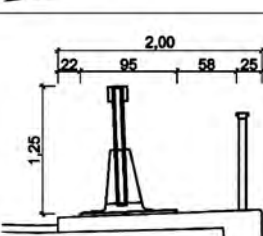
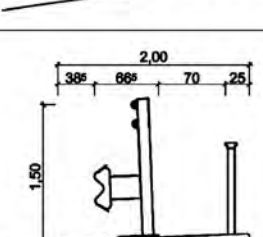
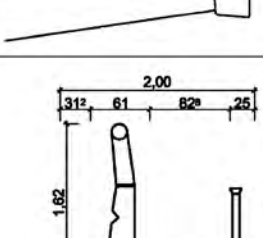
7.8 Zusammenstellung der charakteristischen Einwirkungsgrößen

In Tabelle 18 erfolgt eine Zusammenstellung der vorgeschlagenen charakteristischen Einwirkungen der sechs geprüften Schutzeinrichtungen. Wie zuvor bereits erwähnt ist der maßgebende Wert für die Brückenbemessung das Biegemoment. Die hier aufgelisteten Einwirkungen resultieren aus gemessenen Kräften. Die ermittelten Werte unterliegen vielen verschiedenen Faktoren. Neben der Tatsache, dass es sich um eine einzelne Prüfung ohne statistische Aussagekraft handelt, ist die Aufbauposition der Schutzeinrichtung auf der Brückenkappe ausschlaggebend. Das System A, eine Betonschutzwand, weist beispielsweise ein eher geringeres Biegemoment auf. Diese Tatsache ist in erster Linie in der fahrbahnnahen Aufbauposition begründet. Da das System eine hohe Steifigkeit aufweist, wären bei einer Standardinstallation mit 50 cm Abstand zum Schrammbord Werte zu erwarten, die in der Größenordnung des Systems F liegen.

Die Systeme B, C und E sind vom grundsätzlichen Bauprinzip ähnlich, dennoch sind die Wirkungsweisen sehr unterschiedlich. Während beim System C die Dübel abscheren und die Längselemente ihre Höhenlage beibehalten können, biegen sich beim System B und C die Pfosten nach hinten und ziehen die Längselemente tendenziell nach unten. Trotz der unterschiedlichen Wirkungsweisen erzielen die Systeme B und C fast die gleichen Einwirkungsgrößen. Das System E, welches mit Abstand die höchsten Werte erzielt, überträgt offensichtlich einen Großteil der Lasten über die im oberen Bereich angebrachten Stahllängsstäbe. Diese bewirken, dass ein Großteil der Lasten im oberen Systembereich eingetragen wird und somit mit großem Hebelarm auf die Brücke einwirkt.

Die Systeme D und F sind in ihrer Bauweise als Stahlschutzwand ebenfalls ähnlich. Dennoch liegen die Einwirkungsgrößen relativ weit auseinander. Dies liegt in der größeren Bauhöhe des Systems F begründet, wodurch ein größerer Hebelarm entsteht, insbesondere da beim System F ganz oben ein massives Stahlrohr angeordnet ist. Dieses führt zu einem systematisch ähnlichen Lastabtrag wie beim System E. Auch hier wird ein Großteil der Lasten im oberen Systembereich eingetragen, welches eine große Biegebeanspruchung im Brückenkragarm erzeugt.

Da die Lasten nur zur Berechnung des Kragarms dienen, sollen diese Lasten auf die Brückenkappe

	<p style="text-align: center;">System A</p> <p>$m = 100 \text{ kNm/m}$</p> <p>$v = 100 \text{ kN/m}$</p> <p>$h = 70 \text{ kN/m}$</p>
	<p style="text-align: center;">System B</p> <p>$m = 120 \text{ kNm/m}$</p> <p>$v = 85 \text{ kN/m}$</p> <p>$h = 60 \text{ kN/m}$</p>
	<p style="text-align: center;">System C</p> <p>$m = 120 \text{ kNm/m}$</p> <p>$v = 120 \text{ kN/m}$</p> <p>$h = 90 \text{ kN/m}$</p>
	<p style="text-align: center;">System D</p> <p>$m = 85 \text{ kNm/m}$</p> <p>$v = 80 \text{ kN/m}$</p> <p>$h = 60 \text{ kN/m}$</p>
	<p style="text-align: center;">System E</p> <p>$m = 195 \text{ kNm/m}$</p> <p>$v = 130 \text{ kN/m}$</p> <p>$h = 80 \text{ kN/m}$</p>
	<p style="text-align: center;">System F</p> <p>$m = 130 \text{ kNm/m}$</p> <p>$v = 120 \text{ kN/m}$</p> <p>$h = 60 \text{ kN/m}$</p>

Tab. 18: Übersicht der geprüften H4b-Schutzeinrichtungen mit den charakteristischen Einwirkungsgrößen

nicht mit Lastverteilung berechnet werden. Sie sollen vielmehr mit dem angegebenen Lastangriffspunkt direkt auf den Kragarm einwirken. Dieser Ansatz ergibt sich, weil in der Messung der Einfluss der Kappe bei der Lastabtragung bereits erfasst wurde. Eine Miteinbeziehung der Kappe bei der Lastabtragung würde daher zu ungerechtfertigt günstigen Ergebnissen führen.

Die Lasten sollen entsprechend Bild 108 an der Schrammbordkante angesetzt werden. Dieser Bezugspunkt wurde zur besseren Vergleichbarkeit der Werte verschiedener Schutzeinrichtungen mit unterschiedlichen Aufbaupositionen gewählt. Damit ist gewährleistet, dass die Werte eindeutig miteinander verglichen werden können.

Wie zuvor beschrieben sind die hier angegebenen Einwirkungen nur für die Bemessung des Brückenkragarms zu verwenden. Die Beanspruchung der Brückenkappe wurde gesondert erfasst. Es konnte festgestellt werden, dass bei allen Systemen nach dem Anprallvorgang keine größeren Schäden an der Brückenkappe feststellbar waren. Jedoch weisen die Messungen beim System E eine Überschreitung der Beanspruchbarkeit für die Kappenanschlussbewehrung aus. In diesem Fall wird eine Verstärkung der Kappenanschlussbewehrung, z. B. durch eine Reduzierung des Bewehrungsabstandes auf 32 cm, empfohlen. Bei den anderen Schutzeinrichtungen zeigt sich, dass die Kappenanschlussbewehrung ausreichend ist beziehungs-

weise z. T. sogar hohe Tragreserven aufweist. Die Verträglichkeit mit einer Brückenkappe nach der Richtzeichnung Kap 1 ist bei diesen Beispielen gegeben.

Die hier vorgeschlagenen charakteristischen Einwirkungen wurden teilweise auf Wunsch der Hersteller gemeinsam mit Mitgliedern der zuständigen österreichischen Arbeitsgremien abgestimmt. Für die Systeme B und D verzichteten die Hersteller darauf, sodass die Auswertung ausschließlich von der BAST vorgenommen wurde. Die charakteristischen Einwirkungen sind beim österreichischen Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie gelistet und haben dort bereits eine normative Wertigkeit für die Bemessung von Brücken erhalten. Die Werte selbst sind in Österreich allerdings geringer als in diesem Bericht angegeben. Das ist darin begründet, dass für die Festlegung der Werte in Österreich von einer anderen Aufbauposition der Systeme ausgegangen wird. In Österreich werden die Systeme abweichend von der Anprallprüfung immer bündig mit dem Schrammbord aufgebaut.

Durch das Vorrücken der Systeme verringert sich der Hebelarm der Kräfte, womit sich auch die Werte für die charakteristischen Einwirkungen verringern. Würden die Systeme in Deutschland ebenfalls bündig mit dem Schrammbord aufgestellt, so könnten die Werte aus Österreich übernommen werden. Sie basieren auf der gleichen Grundlage und differieren

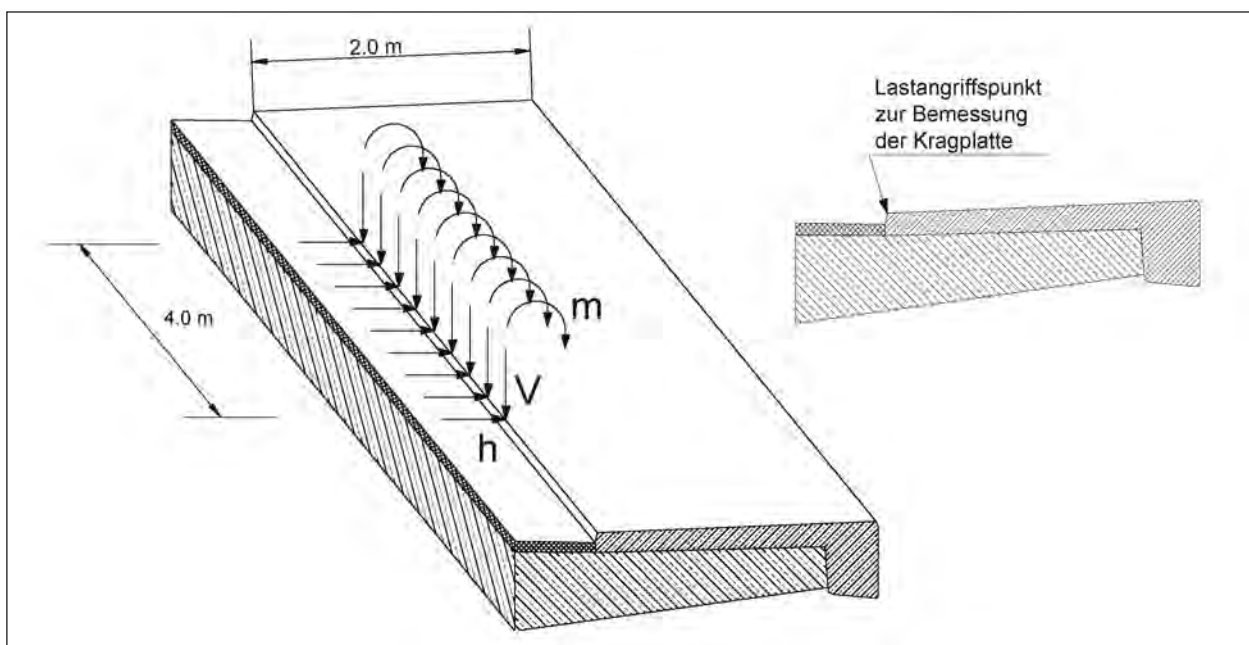


Bild 108: Vorschlag für die Anordnung der statischen Ersatzlasten aus Fahrzeuganprall als Streckenlasten

ausschließlich wegen der anderen Aufbauposition. Umgekehrt könnte man auch sagen, dass bei einem Aufbau der Systeme in Österreich entsprechend der Anprallprüfung die Werte dieses Berichtes anzusetzen wären.

7.9 Vergleich mit DIN-Fachbericht 101 (2003)

Für Einwirkungen aus Fahrzeugen sind für die Tragwerksbemessung nach DIN-Fachbericht 101 „Einwirkungen“ [7] Anpralllasten auf Schrammborde und Schutzeinrichtungen zu berücksichtigen. Die Einwirkungen auf Schrammborde sind in Bild 109 dargestellt.

Die Einwirkungen auf Schutzeinrichtungen betragen 100 kN für eine Horizontallast, die 10 cm unter Oberkante Schutzeinrichtung beziehungsweise 1,0 m über der Fahrbahn anzusetzen ist. Zusätzlich ist

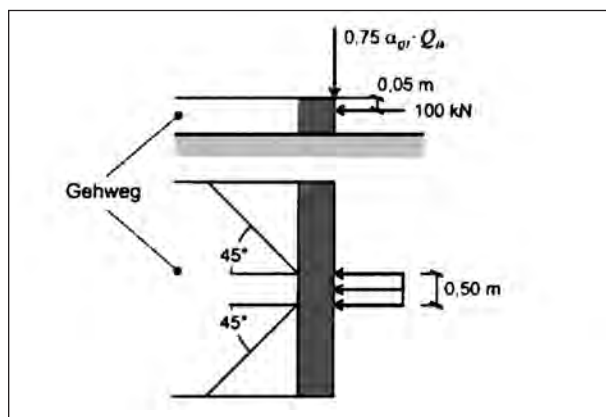


Bild 109: Fahrzeuganprall an Schrammborde nach DIN-Fachbericht „Einwirkungen“

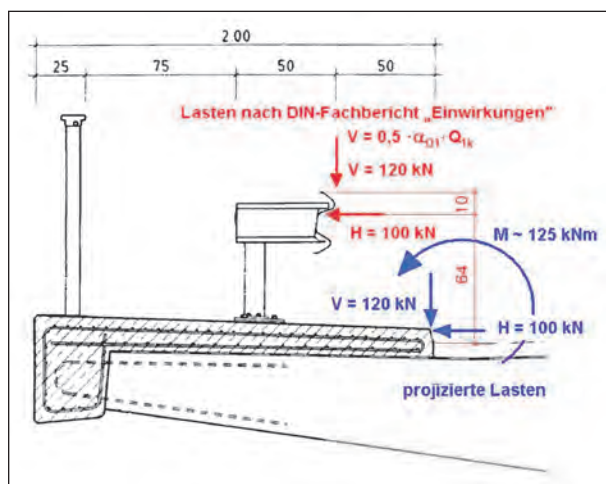


Bild 110: Fahrzeuganprall an Schutzeinrichtungen nach DIN-Fachbericht „Einwirkungen“

eine Vertikallast von $V = 0,5 \cdot \alpha \cdot Q_1 \cdot Q_{1k}$ zu berücksichtigen. In Abhängigkeit der vertikalen Einwirkungen in den jeweiligen Fahrstreifen kann diese Last höchstens einen Wert von 120 kN erreichen.

Projiziert man die Lasten des DIN-Fachberichts auf die fahrbahnseitige OK Schrammbord (Bezugspunkt 3), so ergeben sich daraus die in Bild 110 dargestellten Einwirkungen:

- $M = 125 \text{ kNm}$,
- $V = 120 \text{ kN}$,
- $H = 100 \text{ kN}$.

Diese Werte liegen um mehr als den Faktor 6 unter den in Kapitel 7.8 vorgeschlagenen Werten für das System E und immerhin noch um mehr als den Faktor 2,7 unter denen für das System D, welches die geringsten Einwirkungsgrößen aufweist.

7.10 Vergleich mit DIN-Fachbericht 101 (2009)

Der neue DIN-Fachbericht 101 [14] sieht eine Klassifizierung vor; eine Einstufung der erfolgreich geprüften Systeme ist unter www.bast.de – Qualitätsbewertung – Listen – Straßenausstattung zu finden.

8 Schlussfolgerungen

8.1 Wirkungsweise der Fahrzeugrückhaltesysteme

Alle Schutzeinrichtungen haben in den Anprallprüfungen nachgewiesen, dass sie in der geprüften Aufbauweise in der Lage sind, ein Schwerfahrzeug mit 38 t aufzuhalten und sicher umzulenken. Dabei benötigen die Schutzeinrichtungen B und C einen Wirkungsbereich, der deutlich über den Kappenrand hinausreicht, sodass hier das Gelände in der Anprallprüfung mitgewirkt hat. Auch sie können daher nach Kapitel 3.5.1.2 der RPS 2009 [9] am äußeren Fahrbahnrand auf Brücken mit 2 m breiten Standardkappen nach Kap 1 eingesetzt werden, obwohl ihr Wirkungsbereich über den Kappenrand hinaus reicht.

Bei den Anprallprüfungen mit dem leichten Pkw erreichten die Systeme für die Anprallheftigkeit mehrheitlich die Stufe B. Lediglich das System E konnte die Stufe A erreichen. Dies belegt deutlich, dass die

sehr hohe Aufhaltefähigkeit bei gleichzeitig geringem Platzangebot eine hohe Steifigkeit der Systeme erfordert, mit der Folge einer höheren Insassenbelastung bei leichten Fahrzeugen.

8.2 Einwirkung auf die Brückenkonstruktion infolge des Anpralls eines schweren Fahrzeugs

Bei Prüfungen von Schutzeinrichtungen der Aufhaltestufe H4b für den Einsatz auf Brücken kann festgestellt werden, dass bei einem Lkw-Anprall sehr hohe Kräfte auftreten können, die durch die Bauwerke aufgenommen werden müssen. Die hier dokumentierten Anprallprüfungen an sechs verschiedenen Schutzeinrichtungen zeigen die Größenordnung der auftretenden Kräfte von H4b-Systemen. Diese Werte bestätigen die Untersuchungen in [10] und [11]. Das zeigt, dass diese Kraftwerte keine Ausnahme darstellen, sondern zukünftig vielmehr den Regelfall abbilden.

Die gemessenen Kräfte erreichen ein Lastniveau, welches um bis zum Sechsfachen über dem liegt, was nach dem DIN Fachbericht „Einwirkungen“, Ausgabe 2003 [7], bei einer Tragwerksbemessung anzusetzen war; nach dem gültigen DIN-Fachbericht 101 von 2009 [14] ist eine Klasseneinteilung vorgesehen, in die die geprüften Systeme eingeordnet werden können, siehe auch www.bast.de – Qualitätsbewertung – Listen – Straßenausstattung.

Die Untersuchungen zeigen, dass die Beanspruchbarkeiten der Brückenkappe und der Kappenanschlussbewehrung in der Regel auf der sicheren Seite liegen. Insbesondere die Kappenanschlussbewehrung war zu Beginn der Überlegungen als besonders kritisch betrachtet worden. Die Ergebnisse der Anprallprüfungen zeigen, dass diese Einschätzung nur bei sehr wenigen Systemen zutrifft. In den meisten Fällen erfolgt durch die aktivierte Scheibenwirkung der Kappe bei der Lastabtragung eine ausreichende Verteilung der Lasten auf die Nachbarbereiche, wobei die Kappenanschlussbewehrung eine weitaus geringere Beanspruchung erfährt als zunächst erwartet worden war.

Grundsätzlich kann die Scheibenwirkung nur aktiviert werden, wenn die Schutzeinrichtung relativ fahrbahnnah aufgebaut wird. Steht die Schutzeinrichtung am äußeren Kappenrand, „wandern“ die Kräfte auf direktem Weg in die Anschlussbewehrung. In diesem Fall kann ein Lastniveau erreicht

werden, dass bereits bei H2-Systemen zu einer Überbeanspruchung der Kappenanschlussbewehrung führt [11]. Da aber im Regelfall der Aufbau der Systeme meist im fahrbahnnahen Bereich der Brückenkappe erfolgt, ist eine Lastausbreitung gegeben. Es ist jedoch in jedem Einzelfall zu beachten, welche Schutzeinrichtung eine Erhöhung der Kappenanschlussbewehrung erfordert.

Der Einfluss der empfohlenen und gegenüber dem DIN-Fachbericht von 2003 [7] erhöhten Einwirkungen aus Fahrzeuganprall an eine Schutzeinrichtung ist unterschiedlich zu bewerten. Bei Neubauten von Brücken ist der Mehraufwand geringer einzuschätzen als bei Instandsetzungen, da durch entsprechende konstruktive Maßnahmen, wie beispielsweise Erhöhung der Bewehrungsmenge, den größeren Lasten Rechnung getragen werden kann. Anders stellt sich der Sachverhalt bei bereits bestehenden Bauwerken dar. Wie in [10] bereits erläutert, gehen Verstärkungsmaßnahmen im Regelfall mit hohem technischem und finanziellem Aufwand einher. Wird allerdings durch eine Kraftmessung für eine Schutzeinrichtung die Verträglichkeit dieser mit der Brückenkonstruktion nachgewiesen, so bestehen sowohl ein höheres Maß an Sicherheit als auch die Möglichkeit, finanzielle Ressourcen zu schonen. In diesem Fall kann durch die Installation einer verträglichen Schutzeinrichtung auf Verstärkungsmaßnahmen verzichtet werden, die gegebenenfalls bei Installation einer alternativen Schutzeinrichtung unverzichtbar wären. Wichtig ist in jedem Fall aber zu wissen, wie groß die tatsächlichen Einwirkungen sind, damit eine sichere und wirtschaftlich sinnvolle Entscheidung getroffen werden kann. Ohne diese Kenntnis ist eine technisch und wirtschaftlich sinnvolle Entscheidungsfindung sehr schwierig.

9 Weitergehende Überlegungen

9.1 Allgemeines

Ziel dieses Forschungsprojektes ist es gewesen, Schutzeinrichtungen auf Brücken mit sehr hohem Aufhaltevermögen zu prüfen und den Nachweis zu erbringen, dass diese die Anforderungen der DIN EN 1317 [4] erfüllen und somit eingesetzt werden können. Dafür wurden im Vorfeld Rahmenbedingungen (siehe Kapitel 3.1 und 3.3) formuliert, die bei der Entwicklung der Schutzeinrichtungen berücksichtigt werden sollten.

Aus den Ergebnissen der Versuche ergaben sich weitergehende Fragestellungen und Überlegungen. Nachfolgend werden diese Überlegungen vorgestellt und erörtert.

9.2 Modifikation der Schutzeinrichtungen

Wie in Kapitel 3.3.3 erläutert, wird mit der Position der Schutzeinrichtung auf der Brückenkappe auf dem Testgelände die Basis für ihren späteren Einsatz in der Praxis geschaffen. Aufgrund der vielfältigen Gestalt des Umfeldes, in dem Schutzeinrichtungen eingesetzt werden, müssen in der Praxis immer wieder Anpassungen vorgenommen werden. Die Anprallversuche sind zu aufwändig, um jeden denkbaren Einsatzfall zu prüfen. Es ist daher eine Übertragung der Prüfergebnisse auf eine gegenüber der Prüfung abweichende Anordnung der Schutzeinrichtung erforderlich. Hierbei muss unterschieden werden zwischen konstruktiven Änderungen an der Schutzeinrichtung selber und Anpassungen aufgrund des Umfeldes im Einsatz. Dabei ist zu beachten, dass Veränderungen an der Schutzeinrichtung eine Modifikation nach DIN EN 1317-5 darstellen, die von der zuständigen Zertifizierungsstelle zu bewerten sind.

Solche Übertragungen sind einzelfallspezifisch und es lassen sich nur wenige generelle Regelungen ableiten. Der Einsatzbereich Brücke stellt jedoch einen vergleichsweise gut definierten Einsatzort dar, der zumindest einige Aussagen zulässt.

Hierbei ist jedoch zu beachten, dass die Kombination von mehreren Modifikationen (zum Beispiel mehrere der nachfolgenden Punkte) dazu führen kann, dass das betreffende Schutzsystem nicht mehr die Anforderungen an die Aufhaltestufe H4b erfüllt.

9.3 Position auf der Brückenkappe gemäß Kap 1

Um auf Brücken nach Richtzeichnung Kap 1 eingesetzt werden zu können und den Anforderungen der RPS 2009 in allen Punkten zu genügen, ist eine geprüfte Schutzeinrichtung mit einer Breite von $b = 0,50$ m erforderlich, die mit einem Abstand von $a = 0,50$ m zum Schrammbord und gleichzeitig einem Abstand zum Geländer von $0,75$ m geprüft wurde (Bild 111).

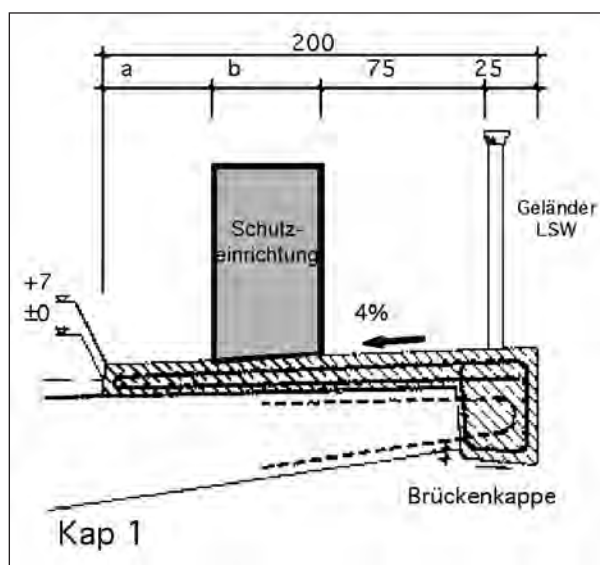


Bild 111: Querschnitt Kap 1

Bei den durchgeführten Anprallprüfungen weisen die aufgebauten Schutzeinrichtungen Baubreiten im Allgemeinen von $0,58$ bis $0,67$ m und als Maximalwert $0,95$ m auf. Dies führt dazu, dass sich eine Aufstellung nach Kap 1 (siehe Bild 40), streng genommen, nicht realisieren lässt, da entweder nur der Abstand zum Schrammbord oder nur zur Vorderkante des Geländers eingehalten werden kann. Bei den geprüften Systemen wurde versucht, die größere Baubreite durch eine nähere Anordnung zum Schrammbord zu kompensieren, da hierin der im Sinne der Sicherheit bessere Kompromiss gesehen wurde. Zugelassen wurde diese Anordnung, da zu Beginn des Projektes nicht klar war, ob der durch den äußeren Rand der Brückenkappe beschränkte seitliche Deformationsraum für die Systeme tatsächlich ausreicht, um die bei einem TB-81-Anprallversuch auftretenden Kräfte im Bauwerk aufnehmen zu können. Aus diesem Grund sollte der zur Verfügung stehende Raum optimal genutzt werden, damit das anprallende Fahrzeug sicher umgelenkt werden kann. Weiterhin sollte ein Mitwirken des Geländers beim Anprallvorgang vermieden werden, da ansonsten das Geländer unveränderlicher Bestandteil der Schutzeinrichtung wird. Eines der geprüften Systeme weist die Besonderheit auf, dass in der Prüfung das Geländer zwar innerhalb des Wirkungsbereiches montiert war, aber nicht berührt wurde. Hier kann in Analogie zu Kapitel 3.3.1.3 (5) in [9] das System auch mit einem Geländer innerhalb des Wirkungsbereiches verwendet werden, sofern der Abstand zwischen Schutzeinrichtung und Geländer mindestens dem Abstand in der Prüfung entspricht. Bezüglich des Abstands

vom Schrammbord lassen die RPS eine Unterschreitung des Regelabstands von 0,50 m in begründeten Fällen zu. Da das Aufhalten eines 38-Tonnens auf einer Brücke aufgrund der beengten Platzverhältnisse und der Vorgaben bezüglich der Krafteinleitung eine besondere Herausforderung an die Schutzeinrichtung darstellt, kann es in diesen Fällen als akzeptabel angesehen werden, dass der Abstand zum Schrammbord unterschritten wird, wodurch alle Systeme konform zur RPS 2009 [9] eingesetzt werden können.

Der für den Notgehweg erforderliche Platzbedarf von 0,75 m wurde bei einigen Prüfungen unterschritten. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass diese Unterschreitung mit 0,06 bis 0,17 m im oberflächennahen Bereich der Brückenkappe stattfindet (z. B. Fußplatten ragen in den Notgehweg). Vor diesem Hintergrund und aufgrund des besonderen Einsatzfalles einer H4b-Schutzeinrichtung auf einem Brückenbauwerk zum Schutz unbeteiligter Dritter unterhalb der Brücke wird empfohlen zu prüfen, ob der erforderliche Raum für den Notgehweg im Einzelfall reduziert werden kann. Die Einhaltung der Breite des Notgehweges dient in erster Linie der Arbeitssicherheit bei Brückenprüfungen bzw. dem Betriebsdienst. Die Einhaltung des Schrammbordabstandes kann z. B. wichtig werden, wenn in diesem Bereich eine Arbeitsstelle mit einer 4+0-Verkehrsführung eingerichtet wird.

Grundsätzlich bleibt ein strukturelles Problem bestehen, da nach Kap 1 eigentlich nur Schutzeinrichtungen mit einem Wirkungsbereich der Klasse W3 ($\leq 1,0$ m) eingesetzt werden können, da für die Klasse W4 der erforderliche Raum von 1,3 m nicht zur Verfügung steht, sofern nicht der Nachweis im Versuch erbracht wurde, dass das Fahrzeug auch bei einem größeren Wirkungsbereich sicher umgelenkt und aufgehalten wird. Das Forschungsprojekt hat gezeigt, dass lediglich zwei Systeme die Wirkungsbereichsklasse W4 erreicht haben. Damit besteht derzeit die Situation, unabhängig von der konkreten Aufstellanordnung auf der Brückenkappe, dass Schutzeinrichtungen für die Brücke mit der Aufhaltstufe H4b existieren, die als minimale Wirkungsbereichsklasse W4 aufweisen. Es wird auch auf Basis der Erkenntnisse aus diesem Projekt für unwahrscheinlich gehalten, dass sich Schutzeinrichtungen mit sehr hohem Aufhaltevermögen entwickeln lassen, die mit einer sehr geringen Baubreite ($\leq 0,5$ m) einen Wirkungsbereich von W3 ($\leq 1,0$ m) erreichen und gleichzeitig die Belastung für Pkw-Insassen in einem akzeptablen

Rahmen halten. Bereits jetzt haben die Hersteller der untersuchten Systeme versucht, eine minimal mögliche Breite zu konstruieren, was sich an Baubreiten zwischen 0,56 und 0,71 m zeigt.

Um auch zukünftigen Entwicklungen von weiteren Schutzeinrichtungen mit sehr hohem Aufhaltevermögen auf Bauwerken eine Perspektive zu bieten und auch eine eindeutige Situation für Planung und Ausschreibung geben zu können, wurde die Breite der Brückenkappe nach Kap 1 um 0,05 m auf 2,05 m vergrößert. Die Verbreiterung der Kappe hat den Vorteil, dass der Raum bis zur Geländervorderkante so breit ist, dass Systeme mit einem Abstand zum Schrammbord von 0,5 m und mit einem Wirkungsbereich W4 eingesetzt werden können. Lediglich bei einer Systembreite von mehr als 0,55 m müssen die Systeme noch hinsichtlich der einzuhaltenden Breite eines Notgehweges weitergehend betrachtet werden.

9.4 Geländer

Bei den Anprallprüfungen wurde das Geländer Gel 3 nach [3] verwendet. Da das Geländer bei zwei Systemen in der Anprallprüfung mitgewirkt hat, ist es Bestandteil der Schutzeinrichtung und in der Praxis mit aufzubauen wie in der Prüfung. Eine Veränderung des Abstandes zwischen Geländer und Schutzeinrichtung ist bei diesen Systemen nicht zu empfehlen.

Bei allen anderen Systemen können alternative Geländer verwendet werden, sofern die geometrischen Randbedingungen es zulassen und die Aufstellung außerhalb des Wirkungsbereiches erfolgt. Dies gilt grundsätzlich auch für das System, bei dem das Geländer ohne Mitwirkung im Wirkungsbereich installiert war, wobei zusätzlich zu beachten ist, dass bei Installation des Geländers innerhalb des Wirkungsbereiches der Abstand zur Schutzeinrichtung aus der Prüfung nicht unterschritten wird.

9.5 Änderung der Verankerung

Die Versuche haben gezeigt, dass die Verankerung einen maßgeblichen Einfluss auf das Verhalten der Schutzeinrichtung im Anprallfall hat. Die Verankerung der Systeme auf der Brückenkappe stellt somit einen wesentlichen Systembestandteil dar und Veränderungen daran sind sehr genau und einzelfallspezifisch zu prüfen. Dies gilt insbesondere hin-

sichtlich des Einsatzes auf anderen Unterkonstruktionen (z. B. Stahlbrücken). Zudem stellt diese Veränderung eine Modifikation gemäß DIN EN 1317-5 dar und ist durch die Zertifizierungsstelle zu beurteilen und im Zertifikat zu bestätigen. Aus den im Forschungsprojekt durchgeführten Anprallprüfungen lässt sich keine allgemeingültige Aussage ableiten, wie eine in der Prüfung verwendete Verankerungsart durch eine andere ersetzt werden kann. Das Verankerungssystem hat maßgeblichen Einfluss auf den Ablauf des Anprallvorganges. Es konnten in den Versuchen verschiedene Verhaltensmechanismen der Ankersysteme festgestellt werden, so zum Beispiel das Deformieren der Anker, das Lösen der Verbindung zur Fußkonstruktion, das Herausziehen aus der Betonkappe, das Abscheren der Ankerschraube und das Versagen (Herausbrechen) des umgebenden Betons. Diese Verhaltensmechanismen treten singulär oder auch kombiniert auf. Darüber hinaus haben die Versuche auch gezeigt, dass innerhalb eines Systems unterschiedliche Verhaltensweisen je nach Stadium des Anprallvorganges auftreten können. Soll ein anderes Verankerungssystem verwendet werden, muss daher einzelfallspezifisch geprüft werden, ob das alternative Verankerungssystem den gleichen Verhaltensmechanismus aufzeigt wie das bei der Prüfung eingesetzte. Dies gilt insbesondere dann, wenn in der Anprallprüfung ein kombiniertes Verhalten aufgetreten ist.

In der Praxis werden anstelle von gebohrten Verankerungen so genannte Ankerkörbe in die Bewehrung der Brückenkappe eingebaut, an denen die Schutzeinrichtung über Schrauben befestigt wird. Auch hier ist ein anderes Verhalten zu erwarten als bei einem gebohrten Anker. Die Kräfte werden im Anprallfall unmittelbar in die Kappe abgeleitet und können dadurch einen Einfluss auf das Verhalten der Schutzeinrichtung haben. Daher können auch die so genannten Ankerkörbe nicht ohne weiteres anstelle der in der Prüfung verwendeten Verankerung eingesetzt werden.

9.6 Lärmschutzwände und Übersteigschutz

Neben der in Deutschland üblichen Installation eines Geländers wird oft am Gesimsrand von Brücken anstelle eines Geländers oder auch in Verbindung mit diesem ein Übersteigschutz oder eine Lärmschutzwand angebracht. Lärmschutzwände

und Übersteigschutz weisen zumindest in den Punkten Höhen-Breiten-Verhältnis, Bemessung auf Eigengewicht und Windlasten sowie äußerliche Erscheinungsform konstruktive und geometrische Ähnlichkeiten auf, sodass die nachfolgenden Aussagen gleichermaßen für beide gelten.

Bei den durchgeführten Prüfungen war in keinem Fall eine Lärmschutzwand oder ein Übersteigschutz installiert.

In den Prüfungen sind die Auflieger der Fahrzeuge während des Anprallvorganges an der Schutzeinrichtung aufgestiegen und haben sich um ihre Längsachse zum Teil sehr deutlich verdreht. Die maximale seitliche Position des Fahrzeugs wurde dabei nach gegenwärtigem Stand der DIN EN 1317 an dem Fahrzeugteil ermittelt, das auf der anprallabgewandten Seite (Rückseite des Systems) die weiteste Entfernung zur ursprünglichen Vorderkante des Systems aufweist. Diese Position ist sowohl abhängig von den äußeren Abmessungen des jeweils verwendeten Fahrzeugs als auch von dessen Verhalten. In den Anprallprüfungen wurden Sattelaufleger verwendet, die keine höheren Aufbauten aufwiesen. Dadurch ergeben sich für die Praxis gewisse Grenzen, weil hier auch Fahrzeuge mit höheren Aufbauten, so zum Beispiel Fahrzeuge mit Kofferaufbau oder Containerfahrzeuge, vorkommen. Es kann daher nicht ausgeschlossen werden, dass beim Anprall eines Containerfahrzeugs die tatsächliche maximale seitliche Position des Fahrzeugs deutlich oberhalb der hier beschriebenen liegen kann. Ferner kann auch keine Aussage darüber getroffen werden, welche Energie ein derartiges Fahrzeug bei dem Kontakt mit einer Lärmschutzwand in diese einträgt. Die maximale seitliche Position des Fahrzeugs ragte bei vier der sechs Systeme zwischen 0,1 und 1,0 m über die ausgelenkte Hinterkante der verformten Schutzeinrichtung hinaus. Es kann nicht gesagt werden, welche Kräfte bei einem Anprall in eine Lärmschutzwand eingetragen worden wären und ob beziehungsweise wie eine Lärmschutzwand dann Einfluss auf den Anprallvorgang nimmt. Vor diesem Hintergrund und unter Beachtung des Schutzziels (Schutz unbeteiligter Dritter) ist der Einsatz vor Lärmschutzwänden einzelfallspezifisch zu bewerten. Nur bei zwei Systemen bleibt das Fahrzeug innerhalb des Bereichs, den die ausgelenkte Schutzeinrichtung einnimmt – und damit im Wirkungsbereich.

Generell ist zu empfehlen, eine Lärmschutzwand oder einen Übersteigschutz für einen Anprallfall

auszulegen, damit sich bei einer Beschädigung derselben nach Möglichkeit Teile nicht beziehungsweise nicht vollständig lösen können. Eine Möglichkeit wäre es, kombinierte Systeme aus Schutzeinrichtung und Lärmschutzwand beziehungsweise Übersteigschutz zu entwickeln und zu prüfen. Dies hat jedoch den Nachteil, dass es sich um singuläre Lösungen handelt, die die Vielfalt an Gestaltungselementen bei Lärmschutzwänden nicht abdecken können. Besser wäre es noch, Schutzeinrichtungen zu entwickeln, bei denen der Fahrzeugüberhang begrenzt wird.

9.7 Übersteigbarkeit der Schutzeinrichtung

Im Allgemeinen sollte es möglich sein, dass Schutzeinrichtungen für den Notfall übersteigbar sind. Eine allgemeingültige Regelung diesbezüglich gibt es bislang nicht. Bei den Anprallprüfungen wurde festgestellt, dass die montierten Schutzeinrichtungen Höhen von 1,07 bis 1,68 m aufweisen. Diese Höhen liegen deutlich über den Höhen der meisten bisherigen Systeme nach RPS 1989 [1]. Die Übersteigbarkeit der H4b-Schutzeinrichtungen wurde im Rahmen der Anprallprüfungen lediglich empirisch untersucht. Als Ergebnis ist festzustellen, dass bei allen Systemen ein gewisses Maß an körperlicher Beweglichkeit erforderlich ist. Bewegungseingeschränkte und kleinere Personen dürften generell Schwierigkeiten haben, die Systeme zu überwinden.

Das Übersteigen von hohen Schutzeinrichtungen zeigt noch einen weiteren Aspekt auf, der darin liegt, dass beim Überwinden der Systemhöhe (zwischen 1,07 und 1,68 m) der Blick auf der Systemrückseite talwärts gerichtet ist, was für die betreffende Person bei ungehinderter Sicht durch das persönliche Empfinden von einer unangenehmen bis hin zu einer gefährlichen Situation werden kann. Auch ein situationsbedingtes rasches Übersteigen kann dazu führen, dass der doch relativ schmale Raum eines Notweges verfehlt wird, es zu Verletzungen durch Hängenbleiben oder im schlimmsten Fall zu einem Absturz von der Brücke kommen kann. Denkbar sind hierfür Lösungen durch Erhöhen des Geländers oder das Anbringen eines Sichtschutzes, wobei die Ausführungen der vorhergehenden Abschnitte beachtet werden sollten. Besser ist es jedoch, alternative Lösungen in Betracht zu ziehen. Vor dem Hintergrund, dass der Aufenthalt von Personen im Bereich von Brückenbauwerken, wenn nicht planmäßig vorgesehen, nur in Notfällen

erfolgt, könnte auch darüber nachgedacht werden, ob nicht eine den Tunneln vergleichbare Situation vorliegt. Dort ist eine Kennzeichnung des Fluchtweges vorgesehen, bei der auch der kürzere Weg zu einer sicheren Stelle angezeigt wird. Denkbar wäre eine vergleichbare Kennzeichnung an der Schutzeinrichtung, die jedoch deren Funktionsweise nicht beeinträchtigen darf.

9.8 Abweichung von der Ausführung der Brückenkappe entsprechend Kap 1

Bei einer veränderten Ausführung der Brückenkappe ist im Einzelfall zu prüfen, ob die in diesem Forschungsprojekt geprüften Systeme verwendet werden können. Ausgehend von den vielfältigen Ausgestaltungen der Brückenkappen bei den bestehenden Brückenbauwerken kommen zahlreiche Varianten in Betracht, so zum Beispiel unterschiedliche Breiten und Neigungen der Brückenkappen, variierende Höhen der Schrammborde und die Verwendung von Stahl anstelle von Beton. Die Vielfältigkeit der Abweichungen lässt nur die Überprüfung des Einzelfalles zu. Diese Einzelfallprüfung sollte immer im Hinblick auf das zu erreichende Schutzziel erfolgen. Dies gilt insbesondere, wenn die zu verwendende Brückenkappe in mehreren Punkten von der bei der Prüfung verwendeten Brückenkappe nach Richtzeichnung Kap 1 abweicht.

Der Verankerung der Schutzeinrichtung kommt auch an dieser Stelle besondere Bedeutung zu, da die Verankerung der Schutzeinrichtung mittels eines Ankers im Verbund mit Beton anders wirkt als die Schraubverbindung oder eine Schweißverbindung bei einer Brückenkappe aus Stahl. So kann zum Beispiel der Beton unter der Lasteinwirkung abplatzen oder die Stahlunterlage sich verformen. Dies kann sich dann zum Beispiel bei einer Schutzeinrichtung auf die Schiefstellung der Pfosten und damit auf das Verhalten der Schutzeinrichtung im Anprallfall auswirken. Wenn also Modifikationen bewertet werden sollen, sind die Verhaltensmechanismen der betreffenden Schutzeinrichtung zwingend zu beachten.

Es sollte auf jeden Fall berücksichtigt werden, dass die Abweichung(en) zur Brückenkappe nach Kap 1 und die daran angepassten Veränderungen der Schutzeinrichtung nicht zu einer Minderung der Schutzwirkung führen dürfen.

9.9 Zweiradfahrerschutz

In diesem Forschungsprojekt wurden die Systeme auf ihre Aufhaltetfähigkeit bei dem Anprall von sehr schweren Fahrzeugen (Aufhaltstufe H4b) geprüft und untersucht. Dabei wurde auch der Insassenschutz durch Versuche mit dem Pkw (TB 11) berücksichtigt. Die durchgeführten Anprallprüfungen hatten nicht das Ziel, den Schutz von Zweiradfahrern zu untersuchen. Dennoch können Erkenntnisse aus anderen Untersuchungen [13] herangezogen werden, mit denen weiterführende Hinweise zur Beurteilung der dargestellten Schutzeinrichtungen auf das vorgenannte Schutzziel gegeben werden können.

Es sind sowohl die Vorder- als auch die Rückseite der Schutzeinrichtungen zu betrachten, da sich auf der straßenzugewandten Seite die motorisierten Zweiradfahrer und auf der straßenabgewandten Seite die Radfahrer befinden und somit gefährdet sein können.

Bedingt durch die verbindende Funktion von Brücken werden – zum Beispiel auf Bundesautobahnen – auch dort und trotz beengter Platzverhältnisse Rad- und Fußwege angelegt. Daher wird in diesem speziellen Fall auch auf die straßenabgewandte Seite eingegangen. Hier untersuchte Aspekte sind ein mögliches Verhaken des Radfahrers mit der Schutzeinrichtung und die Gefahr des Herüberfallens bei einer Anfahrt.

Vor dem nachfolgenden Hintergrund erfüllt keines der geprüften Systeme alle Kriterien ohne Gefährdungspotenzial. Bei einem System ist das geschlossene Profil als positiv hinsichtlich des Verhakens zu bewerten, aber die Höhe von 1,0 m erscheint zu gering, wenn die bereits in [1], Bild 79, vorgeschlagene Höhe von 1,15 m als Minimum zugrunde gelegt wird. Die übrigen Systeme weisen rückseitig zumindest teilweise offene Pfosten-Riegel-Strukturen auf, die ein Verhaken ermöglichen. Hier sind allerdings die Höhen von im Minimum 1,15 m als ausreichend anzusehen. Der rückseitige Überstand der Fußplatten über die Hinterkante der aufstehenden Konstruktionen wird lediglich bei einem System als kritische Stolperquelle angesehen.

Auf der Vorderseite sind in Analogie zu den in [13] untersuchten Anprallversuchen der aufrechte und der rutschende Anprall eines motorisierten Zweiradfahrers zu betrachten. Auch hier wird im We-

sentlichen die Gefahr von Verletzungen durch Verhaken in der Schutzeinrichtung betrachtet. Die angestellten Überlegungen resultieren aus den Ergebnissen der Versuche in [13] und nehmen Bezug auf die gewonnenen Erkenntnisse hinsichtlich der geometrischen Ausgestaltung von Schutzeinrichtungen.

Die Möglichkeit des Herüberfallens eines aufrecht anprallenden Zweiradfahrers bei einer Systemhöhe über Fahrbahnoberkante von 1,07 m erscheint unwahrscheinlich, kann aber nicht generell ausgeschlossen werden. Mit zunehmenden Höhen wird diese Gefahr geringer.

Das geschlossene Profil zweier Systeme lässt ein günstiges Verletzungsrisiko erwarten. Zwei Systeme weisen ein geschlossenes Sockelprofil auf, bieten jedoch durch die aufsteigende Pfosten-Riegel-Konstruktion ein höheres Verletzungspotenzial. Die Pfosten-Riegel-Konstruktionen zeigen aufgrund ihrer offenen Struktur ein deutlich höheres Verletzungsrisiko als die übrigen Systeme. Zwar besitzen einige Systeme einen Unterfahrerschutz, der ein Eindringen des Motorradfahrers zwischen die Pfosten unterhalb der Schutzplanke verhindern kann, aber die offene Struktur in diesem Bereich und im oberen Pfostenbereich lässt keine zufriedenstellende Minimierung des Verletzungsrisikos erwarten.

9.10 Anschluss an Streckensysteme

Nach RPS 2009 [9] muss die auf Brücken vorgesehene Aufhaltstufe auch über die Enden der Brücken hinaus weitergeführt werden. Hieraus folgt, dass die hier untersuchten Schutzeinrichtungen möglichst auch auf der Strecke einsetzbar und hierfür hinsichtlich der Aufhaltstufe H4b positiv geprüft sein sollten, um die nach RPS [9] erforderlichen Längen ohne Übergänge einhalten zu können. Alternativ wäre eine geprüfte Übergangskonstruktion auf eine andere H4b-Schutzeinrichtung für den Einsatz auf der Strecke möglich. Bezüglich der Weiterführung der sechs geprüften Schutzeinrichtungen über die Brückenenden hinaus gibt es verschiedene Möglichkeiten:

- a) Weiterführen der geprüften Schutzeinrichtung auf einem Streifenfundament.
- b) Anschluss an eine geprüfte gerammte oder frei aufgestellte Schutzeinrichtung der Aufhaltstufe H4b, die den gleichen Querschnitt und ein vergleichbares Systemverhalten mit vergleichbaren

Leistungsdaten hat wie die Schutzeinrichtung auf dem Bauwerk (Schutzeinrichtung für Strecke und Bauwerk geprüft).

- c) Anschluss an eine geprüfte Schutzeinrichtung (Querschnittswechsel) der Aufhaltestufe H4b mittels einer für diese Schutzeinrichtungen geprüften Übergangskonstruktion der Aufhaltestufe H4b.

Bei der Möglichkeit a) ist zu berücksichtigen, dass bei den geprüften Systemen, bei denen das Gelände im Anprallfall mitgewirkt hat, auch das Gelände über die Länge L_2 nach [9] weitergeführt werden muss, da es Bestandteil der Schutzeinrichtung ist und in der Anprallprüfung mitgewirkt hat. Bei den anderen vier Systemen kann die Schutzeinrichtung auf einem Streifenfundament weitergeführt werden. Da für den Anschluss von H4b-Schutzeinrichtungen derzeit keine geprüften Anfangs- und Endkonstruktionen zur Verfügung stehen, sind die Verschwendung und anschließende Einbindung in eine Böschung eine Möglichkeit, die H4b-Schutzeinrichtungen nach den Regelungen gemäß [9] enden zu lassen.

10 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurden insgesamt 27 Anprallprüfungen an 14 Systemen durchgeführt. Es zeigt sich, dass die Entwicklung von Schutzeinrichtungen mit einem sehr hohen Aufhaltevermögen bei gleichzeitig begrenztem Wirkungsbereich ($W_4 \leq 1,3$ m) aufgrund der vielfältigen Randbedingungen und auftretenden Kräfte anspruchsvoll ist. Bei sechs Systemen sind die beiden obligatorischen Anprallversuche (TB 11 und TB 81) positiv verlaufen. Damit stehen heute zumindest sechs unterschiedliche Systeme mit sehr hohem Aufhaltevermögen (Aufhaltestufe H4b) zur Absicherung von Brückenrändern zur Verfügung. Die Systeme haben unter den gegebenen Randbedingungen der RiZ Kap 1 [3] bewiesen, dass sie entsprechende Fahrzeuge aufhalten und umlenken können. Die dabei auftretenden Kräfte konnten bestimmt und in die Klassen des DIN-Fachberichtes 101 [14] eingeordnet werden. Es muss dann im Einzelfall bei der Planung überprüft werden, welches System auf welcher Brücke passend eingesetzt werden kann. Zum ersten Mal stehen damit Systeme der Aufhaltestufe H4b in Deutschland auf

Brücken für den Praxiseinsatz zur Verfügung. Dies ist als positiver Entwicklungsschritt zu mehr Verkehrssicherheit zu werten.

Kommen weitere Randbedingungen wie z. B. Lärmschutz oder Fortführung auf der Strecke hinzu, so zeigt sich, dass derzeit keines der hier geprüften Systeme universell einsetzbar ist. Für die Verwendung muss vielmehr im Einzelfall überprüft werden, ob und welches System eingesetzt werden kann.

Vor diesem Hintergrund wird empfohlen, dass möglichst frühzeitig eine enge Abstimmung der Brückenplanung mit der Streckenplanung stattfindet, um sinnvolle und verkehrssichere Lösungen zu bekommen (Längen, Übergangskonstruktionen, Anfangs- und Endkonstruktionen etc.). Daher sollte nach Möglichkeit bereits in der Planung eines Brückenbauwerkes die Schutzeinrichtung unter Berücksichtigung aller anderen Randbedingungen einbezogen werden. Eine separate Planung der Schutzeinrichtung im Anschluss oder gar als letztes Element des Bauwerks kann dazu führen, dass keine geeignete Schutzeinrichtung zur Verfügung steht.

Die Kraftmessungen zeigen die Größenordnung der beim Anprallvorgang entstehenden Einwirkungen und bestätigen damit die Untersuchungen in [10] und [11]. Aus den Messwerten wurden Vorschläge erarbeitet, für welche Einwirkungen Brücken bemessen werden sollen, auf denen die hier dargestellten Schutzeinrichtungen installiert werden sollen. Die genauen Werte der ermittelten Einwirkungsgrößen gelten nur für die untersuchten Schutzeinrichtungen. Die Größenordnung der Werte zeigt, dass die Einwirkungen bei H4b-Systemen um bis zu sechsmal höher liegen als der Lastansatz des DIN-Fachberichtes 101 „Einwirkungen“ von 2003; sie können aber in die Lastklassen des DIN-FB 101 von 2009 [14] eingeordnet werden.

Für Brückenneubauten ist es erforderlich, die Größe der zugehörigen Kräfte einer Schutzeinrichtung zu kennen, damit eine Bemessung wirtschaftlich sinnvoll, aber dennoch sicher erfolgen kann. Darüber hinaus ist diese Kenntnis insbesondere für die Brückeninstandsetzung erforderlich, weil nur so entschieden werden kann, welche Schutzeinrichtung für das Brückenbauwerk verträglich ist und welche Verstärkungsmaßnahmen gegebenenfalls erforderlich sind.

Daher wurde in den neuen RPS [9] die Forderung mit aufgenommen, wonach zukünftig für alle

Schutzeinrichtungen ab der Aufhaltestufe H2 ein Nachweis über die Größe der beim Anprallvorgang in das Bauwerk eingeleiteten Kräfte erforderlich ist. Dieser Nachweis ist im Regelfall durch eine Messung der Kräfte in einer Anprallprüfung zu erbringen.

Die derzeit bestehenden Richtlinien (RiZ-ING, RPS) fordern einerseits einen Mindestabstand der Schutzeinrichtungen zur Fahrbahn von 50 cm und andererseits einen Mindestabstand zwischen Schutzeinrichtung und Geländer von 75 cm. Vor dem Hintergrund der Geometrie nach RiZ Kap 1 (Kappenbreite bisher = 2,00 m) lassen sich beide Anforderungen nur erfüllen, wenn die Schutzeinrichtung nicht breiter als 50 cm ist. Die Erfahrung aus dem vorliegenden Projekt zeigt aber, dass Schutzeinrichtungen mit sehr hohem Aufhaltevermögen für den Einsatz auf Brücken zum Teil größere Baubreiten aufweisen. Auf Basis der in diesem Projekt gewonnenen Erfahrungen ist individuell zu entscheiden, welche von beiden Anforderungen hinsichtlich des Abstandes (Fahrbahnrand-Schutzeinrichtung oder Schutzeinrichtung-Geländer) eher eingeschränkt werden kann, um die Anordnung von Schutzeinrichtungen festlegen zu können. Die andere Alternative ist, die Brückenkappe zu verbreitern, was aber mit finanziellem Mehraufwand verbunden ist und eher beim Neubau in Betracht kommt. Damit jedoch Schutzeinrichtungen mit der Wirkungsbereichsklasse W4 ($W \leq 1,30$ m) unter den zuvor beschriebenen Randbedingungen der Richtzeichnung Kap 1 [3] regelwerkskonform auf Brücken einsetzbar sind, wurde die Brückenbreite in der neuen RiZ Kap 1 [3] bereits von 2,00 m auf 2,05 m verbreitert. Damit erhöht sich das vorhandene Maß von Vorderkante Schutzeinrichtung bis Vorderkante Geländer von 1,25 m auf die erforderlichen 1,30 m. Das Festhalten an der Kappenbreite von 2,00 m hätte eine Einschränkung der verwendbaren Schutzeinrichtungen bedeutet.

Die untersuchten und hier vorgestellten Schutzeinrichtungen erfüllen die Anforderungen der Aufhaltestufe H4b auf Brücken gemäß [4]. Sie sind jedoch nicht universell einsetzbar. Wünschenswert wären weitergehende Entwicklungen, die auch weitere Detailanforderungen erfüllen, die in diesem Bericht aufgeführt sind. Daher wird auch zukünftig eine Weiterentwicklung der Schutzeinrichtungen mit sehr hohem Aufhaltevermögen erforderlich sein.

11 Literatur

- [1] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Richtlinien für passive Schutzeinrichtungen an Straßen – Ausgabe 1989 (RPS 89), FGSV Verlag GmbH, Köln, 1989
- [2] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Ergänzungen zu den Richtlinien für passive Schutzeinrichtungen an Straßen – Ausgabe 1989 (RPS 89), Stand: Juni 1996, Verkehrsblatt 1996
- [3] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Richtzeichnungen für Ingenieurbauten, RiZ-ING, Verkehrsblatt-Verlag Borgmann GmbH & Co KG, Dortmund
- [4] DIN EN 1317: Rückhaltesysteme an Straßen, Beuth-Verlag GmbH, Berlin
- [5] ELLMERS: Eignung von Fahrzeug-Rückhaltesystemen gemäß den Anforderungen nach DIN EN 1317, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Verkehrstechnik, Heft V 106, 2003
- [6] Bundesanstalt für Straßenwesen: Studie über Schutzeinrichtungen als Absturzsicherung auf Brücken mit einem Aufhaltevermögen der Stufe H4 nach DIN EN 1317-2, 1998 (unveröffentlicht)
- [7] DIN-Fachbericht 101: Einwirkungen auf Brücken – Ausgabe März 2003, Beuth-Verlag GmbH, Berlin, 2003
- [8] DIN 1072: Straßen- und Wegbrücken; Lastannahmen, Beuth-Verlag GmbH, Berlin
- [9] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Richtlinien für passiven Schutz an Straßen durch Fahrzeug-Rückhaltesysteme (RPS 2009)
- [10] BERGERHAUSEN; KLÖCKNER; KÜBLER: Rückhaltesysteme mit hohem Rückhaltevermögen auf Brücken (2013)
- [11] BERGERHAUSEN: Auswertung der Kräfte von Schutzeinrichtungen der Aufhaltestufe H2 auf Brücken (unveröffentlicht)
- [12] DIN EN 1991-1-1, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke, Beuth-Verlag GmbH, Berlin

- [13] Bundesanstalt für Straßenwesen: Anprallversuche mit Motorädern an passiven Schutzeinrichtungen, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Verkehrstechnik, Heft V 90, 2001
- [14] DIN-Fachbericht 101: Einwirkungen auf Brücken – Ausgabe März 2009, Beuth-Verlag GmbH, Berlin, 2009

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Verkehrstechnik“

2008

- V 165: Ermittlung des Beitrages von Reifen-, Kupplungs-, Brems- und Fahrbahnabrieb an den PM₁₀-Emissionen von Straßen
Quass, John, Beyer, Lindermann, Kuhlbusch, - Hirner, Sulkowski, Sulkowski, Hippler € 14,50 -
- V 166: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2006 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Fitschen, Koßmann € 26,00
- V 167: Schadstoffe von Bankettmaterial – Bundesweite Datenauswertung
Kocher, Brose, Siebertz € 14,50
- V 168: Nutzen und Kosten nicht vollständiger Signalisierungen unter besonderer Beachtung der Verkehrssicherheit
Frost, Schulze € 15,50
- V 169: Erhebungskonzepte für eine Analyse der Nutzung von alternativen Routen in übergeordneten Straßennetzen
Wermuth, Wulff € 15,50
- V 170: Verbesserung der Sicherheit des Betriebspersonals in Arbeitsstellen kürzerer Dauer auf Bundesautobahnen
Roos, Zimmermann, Riffel, Cyra € 16,50
- V 171: Pilotanwendung der Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen (ESN)
Weinert, Vengels € 17,50
- V 172: Luftschadstoffe an BAB 2007
Baum, Hasskelo, Siebertz, Weidner € 13,50
- V 173: Bewertungshintergrund für die Verfahren zur Charakterisierung der akustischen Eigenschaften offenerporiger Straßenbeläge
Altreuther, Beckenbauer, Männel € 13,00
- V 174: Einfluss von Straßenzustand, meteorologischen Parametern und Fahrzeuggeschwindigkeit auf die PM_x-Belastung an Straßen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden. -
Düring, Lohmeyer, Moldenhauer, Knörr, Kutzner, - Becker, Richter, Schmidt € 29,00 -
- V 175: Maßnahmen gegen die psychischen Belastungen des Personals des Straßenbetriebsdienstes
Fastenmeier, Eggerdinger, Goldstein € 14,50

2009

- V 176: Bestimmung der vertikalen Richtcharakteristik der Schallabstrahlung von Pkw, Transportern und Lkw
Schulze, Hübel € 13,00
- V 177: Sicherheitswirkung eingefräster Rüttelstreifen entlang der BAB A24
Lerner, Hegewald, Löhe, Velling € 13,50
- V 178: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2007 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Fitschen € 26,00
- V 179: Straßenverkehrszählung 2005: Methodik
Kathmann, Ziegler, Thomas € 15,50
- V 180: Verteilung von Tausalzen auf der Fahrbahn
Hausmann € 14,50

- V 181: Voraussetzungen für dynamische Wegweisung mit integrierten Stau- und Reisezeitinformationen
Hülsemann, Krems, Henning, Thiemer € 18,50
- V 182: Verkehrsqualitätsstufenkonzepte für Hauptverkehrsstraßen mit straßenbündigen Stadt-/Straßenbahnkörpern
Sümmermann, Lank, Steinauer, M. Baier, R. Baier, Klemps-Kohnen € 17,00
- V 183: Bewertungsverfahren für Verkehrs- und Verbindungsqualitäten von Hauptverkehrsstraßen
Lank, Sümmermann, Steinauer, Baur, Kemper, Probst, M. Baier, R. Baier, Klemps-Kohnen, Jachtmann, Hebel € 24,00
- V 184: Unfallrisiko und Regelakzeptanz von Fahrradfahrern
Alrutz, Bohle, Müller, Prahlow, Hacke, Lohmann € 19,00
- V 185: Möglichkeiten zur schnelleren Umsetzung und Priorisierung straßenbaulicher Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit
Gerlach, Kesting, Thiemeyer € 16,00
- V 186: Beurteilung der Streustoffverteilung im Winterdienst
Badelt, Moritz € 17,00
- V 187: Qualitätsmanagementkonzept für den Betrieb der Verkehrsrechnerzentralen des Bundes
Kirschfink, Aretz € 16,50

2010

- V 188: Stoffeinträge in den Straßenseitenraum – Reifenabrieb
Kocher, Brose, Feix, Görg, Peters, Schenker € 14,00
- V 189: Einfluss von verkehrsberuhigenden Maßnahmen auf die PM₁₀-Belastung an Straßen
Düring, Lohmeyer, Pöschke, Ahrens, Bartz, Wittwer, - Becker, Richter, Schmidt, Kupiainen, Pirjola, - Stojiljkovic, Malinen, Portin € 16,50 -
- V 190: Entwicklung besonderer Fahrbahnbeläge zur Beeinflussung der Geschwindigkeitswahl
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Lank, Steinauer, Busen € 29,50
- V 191: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2008
Fitschen, Nordmann € 27,00
Dieser Bericht ist als Buch und als CD erhältlich oder kann ferner als kostenpflichtiger Download unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
- V 192: Anprall von Pkw unter großen Winkeln gegen Fahrzeugrückhaltesysteme
Gärtner, Egelhaaf € 14,00
- V 193: Anprallversuche an motorradfahrerfreundlichen Schutzeinrichtungen
Klöckner € 14,50
- V 194: Einbindung städtischer Verkehrsinformationen in ein regionales Verkehrsmanagement
Ansorge, Kirschfink, von der Ruhren, Hebel, Johanning € 16,50
- V 195: Abwasserbehandlung an PWC-Anlagen
Londong, Meyer € 29,50
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
- V 196: Sicherheitsrelevante Aspekte der Straßenplanung
Bark, Kutschera, Baier, Klemps-Kohnen € 16,00
- V 197: Zählungen des ausländischen Kraftfahrzeugverkehrs auf den Bundesautobahnen und Europastraßen 2008
Lensing € 16,50
- V 198: Stoffeintrag in Straßenrandböden – Messzeitraum 2005/2006
Kocher, Brose, Chlubek, Karagüzel, Klein, Siebertz € 14,50
- V 199: Stoffeintrag in Straßenrandböden - Messzeitraum 2006/2007
Kocher, Brose, Chlubek, Görg, Klein, Siebertz € 14,00

V 200: Ermittlung von Standarts für anforderungsgerechte Datenqualität bei Verkehrserhebungen
Bäumer, Hautzinger, Kathmann, Schmitz,
Sommer, Wermuth € 18,00 -

V 201: Quantifizierung der Sicherheitswirkungen verschiedener Bau-, Gestaltungs- und Betriebsformen auf Landstraßen
Vieten, Dohmen, Dürhager, Legge € 16,00

2011

V 202: Einfluss innerörtlicher Grünflächen und Wasserflächen auf die PM₁₀-Belastung
Endlicher, Langner, Dannenmeier, Fiedler, Herrmann,
Ohmer, Dalter, Kull, Gebhardt, Hartmann € 16,00 -

V 203: Bewertung von Ortsumgehungen aus Sicht der Verkehrssicherheit
Dohmen, Vieten, Kesting, Dürhager, Funke-Akbiyik € 16,50

V 204: Einfluss von Straßenrandbegrünung auf die PM₁₀-Belastung
Bracke, Reznik, Mölleken, Berteilt, Schmidt € 22,00
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

V 205: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2009
Fitschen, Nordmann € 27,50
Dieser Bericht ist sowohl als gedrucktes Heft der Schriftenreihe als auch als CD erhältlich oder kann außerdem als kostenpflichtiger Download unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

V 206: Sicherheitspotenzialkarten für Bundesstraßen nach den ESN
Färber, Lerner, Pöppel-Decker € 14,50

V 207: Gestaltung von Notöffnungen in transportablen Schutzeinrichtungen
Becker € 16,00

V 208: Fahrbahnquerschnitte in baulichen Engstellen von Ortsdurchfahrten
Gerlach, Breidenbach, Rudolph, Huber, Brosch, Kesting € 17,50

V 209: Stoffeintrag in Straßenrandböden - Messzeitraum 2008/2009
Beer, Surkus, Kocher € 14,50

2012

V 210: Schmale zweibahnig vierstreifige Landstraßen (RQ 21)
Maier, Berger € 18,50

V 211: Innliegende Linkseinfädeltstreifen an plangleichen Knotenpunkten innerorts und im Vorfeld bebauter Gebiete
Richter, Neumann, Zierke, Seebo € 17,00

V 212: Anlagenkonzeption für Meistereigehöfte – Optimierung von Arbeitsabläufen
Schmauder, Jung, Paritschkow € 19,00

V 213: Quantifizierung von Verkehrsverlagerungen durch Baustellen an BAB
Laffont, Mahmoudi, Dohmen, Funke-Akbiyik, Vieten € 18,00

V 214: Vernetzungseignung von Brücken im Bereich von Lebensraumkorridoren
Schmellekamp, Tegethof
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 215: Stauprävention auf BAB im Winter
Kirschfink, Poschmann, Zobel, Schedler € 17,00

V 216: Verbesserung der Verkehrssicherheit auf einbahnig zweistreifigen Außerortsstraßen (AOSI)
Lippold, Weise, Jährg € 17,50

V 217: Verbesserung der Bedingungen für Fußgänger an Lichtsignalanlagen
Alrutz, Bachmann, Rudert, Angenendt, Blase,
Fohlmeister, Häckelmann € 18,50 -

V 218: Empfehlungen zum richtigen Aufbringen von Tausalösungen
Hausmann € 16,00

V 219: Bewältigung großer Verkehrsmengen auf Autobahnen im Winter
Roos, Zimmermann, Schulz, Riffel € 16,50

2013

V 220: Maßnahmen zur Bewältigung der besonderen psychischen Belastung des Straßenbetriebsdienstpersonals – Pilotstudie
Pöpping, Pollack, Müller € 16,00

V 221: Bemessungsverkehrsstärken auf einbahnigen Landstraßen
Arnold, Kluth, Ziegler, Thomas € 18,50

V 222: Aktualisierung des MLuS 02 – Erstellung der RLuS
Düring, Flassak, Nitzsche, Sörgel, Dünnebeil, -
Rehberger € 19,50 -

V 223: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2010
Fitschen, Nordmann € 16,50
Dieser Bericht ist sowohl als gedrucktes Heft der Schriftenreihe als auch als CD erhältlich oder kann außerdem als kostenpflichtiger Download unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Arnold, Kluth, Ziegler, Thomas € 18,50

V 224: Prüfung und Bewertung von Schutzeinrichtungen der Aufhaltestufe H4b für den Einsatz auf Brücken – Teil 1 und 2
Bergerhausen, Klostermeier, Klöckner, Kübler € 19,00

Alle Berichte sind zu beziehen beim:

Carl Schünemann Verlag GmbH
Zweite Schlachtpforte 7
D-28195 Bremen
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53
Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48
www.schuenemann-verlag.de

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.