



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Strassen ASTRA

RICHTLINIE
ANPRALL VON
STRASSENFAHRZEUGEN
AUF
BAUWERKSTEILE VON
KUNSTBAUTEN

Ausgabe 2023 V1.50
ASTRA 12008

Impressum

Autoren / Arbeitsgruppe

Dr. Dimitrios Papastergiou
Walter Waldis
Stéphane Cuennet

ASTRA N-SSI, Vorsitz
ASTRA N-SSI
ASTRA I-Ouest, FU

Dr. Wolfgang Schüler
Thomas P. Lang
Pascal Guignard
Dr. Mark Treacy
Prof. Dr. Eugen Brühwiler

Ing.-Büro W. Schüler
Thomas Lang Consulting GmbH, Grindelwald
Gruner AG, Zürich
Gruner AG, Zürich
EPFL

Originalsprache

Deutsch

Herausgeber

Bundesamt für Strassen ASTRA
Abteilung Strassennetze N
Standards und Sicherheit der Infrastruktur SSI
3003 Bern

Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von www.astra.admin.ch heruntergeladen werden.

© ASTRA 2023

Abdruck - ausser für kommerzielle Nutzung - unter Angabe der Quelle gestattet.

Vorwort

Die vorliegende Richtlinie richtet sich an die Bauherrenvertreter sowie die von ihnen beauftragten Ingenieure. Sie liefert detaillierte Informationen zu den Aspekten des Anpralls von Strassenfahrzeugen an Tragwerke.

Für die Erst-Ausgabe 2005 dieser Richtlinie wurden die Grundlagen für die differenzierte Ermittlung der beim Anprall eines Strassenfahrzeugs massgebenden Einwirkungen erarbeitet, welche als einheitliche Basis für die Bemessung und Überprüfung von Bauwerksteilen von Kunstbauten bzw. für den Objektschutz gegen Anprall von Schwere Lastfahrzeugen dienen. Diese Grundlagen sind auch in der vorliegenden Ausgabe der Richtlinie in den informativen Anhängen kurz zusammengefasst dargestellt.

Die vorliegende Ausgabe der Richtlinie trägt der Weiterentwicklung des Standes der Technik Rechnung und enthält insbesondere folgende wichtigste Anpassungen gegenüber der Ausgabe von 2005:

- Beseitigung von Abweichungen resp. Erläuterungen zu Abweichungen von der Norm SIA 261 bei den Ausgangswerten Q_0 zur Bestimmung der Bemessungswerte der Anprallkräfte;
- Beseitigung von Widersprüchen mit der Norm VSS 40 561 in Bezug auf den Abstand des Tragwerks vom Fahrbahnrand, bei dem der Anprall von Strassenfahrzeugen zu berücksichtigen ist;
- Tabellarische Angabe der Bemessungswerte der Anprallkräfte Q_d bei vor den Tragwerksteilen angeordneten Fahrzeugrückhaltesystemen (FZRS) in Funktion des Abstandes des FZRS zum Tragwerk;
- Ersatz des Erhöhungsfaktors ψ_v zur Berücksichtigung der Verkehrsmenge durch einen Erhöhungsfaktor zur Berücksichtigung des Unfallgeschehens;
- Aktualisierung und Anpassung der Vorgaben für die rechnerische Beurteilung von bestehenden Bauwerken und für die Bestimmung der Verhältnismässigkeit von Massnahmen an die Norm SIA 269, sowie eine Ergänzung mit Anwendungsbeispielen.

Bei der Verwendung der vorliegenden Ausgabe der Richtlinie ergeben sich somit keine Widersprüche zu den geltenden Schweizer Normen. Indem Einflussfaktoren wie der Abstand des Tragwerks von der Strasse, das Unfallgeschehen oder der Typ des Fahrzeugrückhaltesystems berücksichtigt werden, können die Anprallkräfte mit Hilfe der Richtlinie jedoch differenzierter bestimmt werden

Bundesamt für Strassen

Jürg Röthlisberger
Direktor

Inhaltsverzeichnis

	Impressum	2
	Vorwort.....	3
1	Einleitung	7
1.1	Zweck des Dokuments	7
1.2	Geltungsbereich	7
1.2.1	Ausnahmen	8
1.2.2	Bestehende Bauwerke	8
1.3	Adressaten	8
1.4	Inkrafttreten und Änderungen	8
2	Grundsätze.....	9
2.1	Allgemeines	9
2.1.1	Übersicht Massnahmen	9
2.1.2	Strategien und Vorgehen bei der Projektierung von Massnahmen	10
2.1.3	Verhältnismässigkeit	11
2.2	Tragsicherheitsnachweis.....	11
2.2.1	Allgemeines	11
2.2.2	Begleiteinwirkungen	11
2.2.3	Angrenzende Bauteile	11
2.3	Fahrzeugrückhaltesystem	13
2.3.1	Leitschranken	13
2.3.2	Leitmauern	13
2.3.3	Anpralldämpfer	14
2.4	Organisatorische Massnahmen	14
3	Einwirkungen	15
3.1	Ausgangslage.....	15
3.2	Übersicht Anprallarten.....	15
3.3	Ausgangswerte der Anprallkraft.....	15
3.4	Anprall von Fahrzeugen (Fahrzeugchassis)	16
3.4.1	Übersicht und Bezeichnungen	16
3.4.2	Bemessungswert der Anprallkraft	16
3.5	Anprall von Fahrzeugaufbauten und Ladungen.....	18
3.5.1	Übersicht und Bezeichnung	18
3.5.2	Anprall an Stützen und Wände	19
3.5.3	Anprall an Überbauten	21
3.6	Lage, Richtung, Höhe und Fläche der Krafteinwirkung	22
4	Bestehende Bauwerke	25
4.1	Rechnerische Beurteilung	25
4.2	Massnahmen	25
4.3	Anprallrisiko	26
4.4	Verhältnismässigkeit von Massnahmen.....	26
	Anhänge	27
	Glossar	44
	Literaturverzeichnis	47
	Auflistung der Änderungen.....	49

1 Einleitung

1.1 Zweck des Dokuments

Die vorliegende Richtlinie beschreibt die durch den Anprall von Strassenfahrzeugen auf Tragwerke hervorgerufenen Einwirkungen.

Die Einwirkungen werden als Anprallkräfte berücksichtigt. Stosszuschläge sind bei den angegebenen Anprallkräften bereits enthalten. Die Anprallkräfte können deshalb als statische Ersatzlasten eingesetzt werden.

Beim Anprall von Strassenfahrzeugen an Tragwerke wird ein wesentlicher Teil der kinetischen Energie durch Verformung des Fahrzeugs aufgenommen, weshalb der Fahrzeuganprall als sogenannter weicher Stoss bezeichnet wird. Harte Stösse lassen sich nicht durch statische Ersatzlasten repräsentieren. Sie werden in der vorliegenden Richtlinie nicht behandelt (siehe Anhang I).

1.2 Geltungsbereich

Der Anprall von Strassenfahrzeugen ist bei Autobahnen, Autostrassen und Ausserortsstrassen zu berücksichtigen, wenn das Tragwerk bzw. die zum Tragwerk gehörenden Bauteile innerhalb der Abstände gemäss Abb. 1.1 resp. Abb. 1.2 liegen.

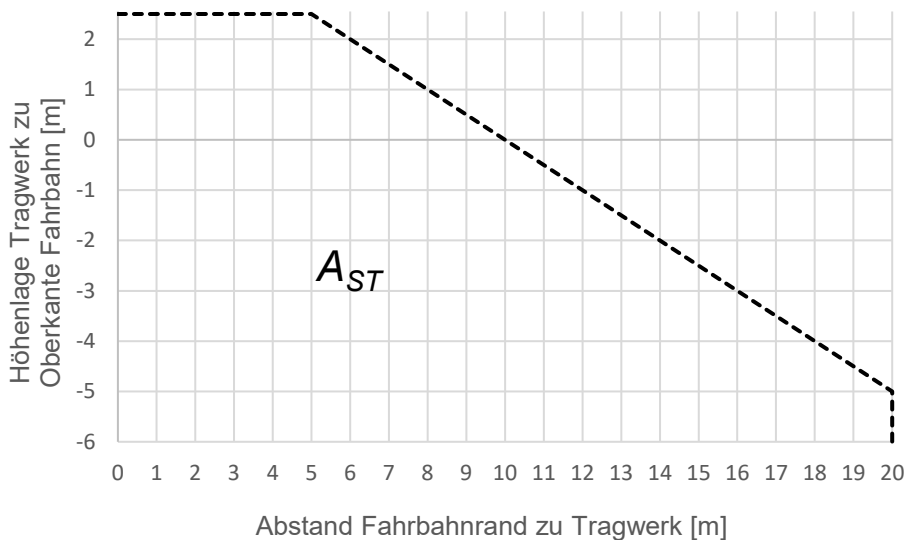


Abb. 1.1 Abstände A_{ST} Strassen zu Tragwerk bei Autobahnen und Autostrassen

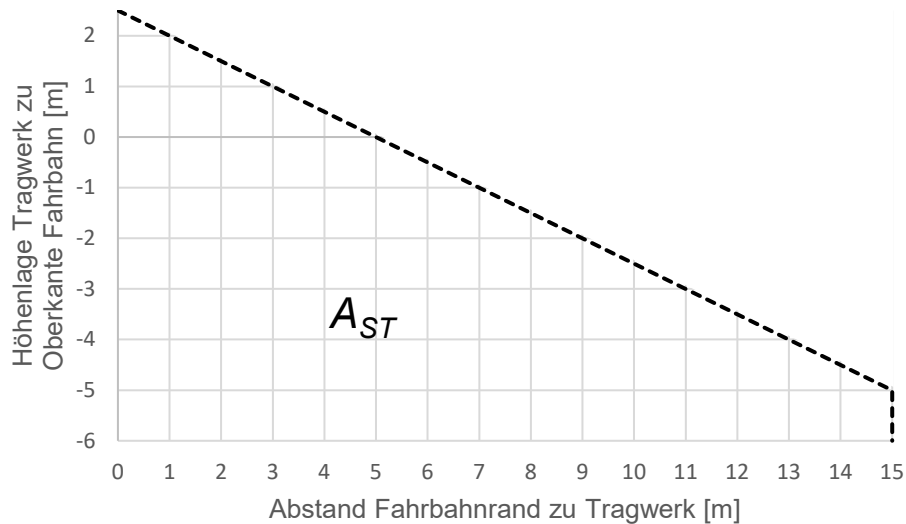


Abb. 1.2 Abstände A_{ST} Strasse zu Tragwerk bei Ausserortsstrassen

Der Abstand A_{ST} bestimmt sich senkrecht zur Achse der Fahrbahn. Referenzpunkt ist der Fahrbahnrand oder bei Strassen mit Standstreifen der äussere Rand des Standstreifens.

Der Anprall von Strassenfahrzeugen ist bei Innerortsstrassen zu berücksichtigen, wenn das Tragwerk bzw. die zum Tragwerk gehörenden Bauteile näher als 3 m vom Fahrbahnrand entfernt liegen.

Die in dieser Richtlinie angegebenen Anprallkräfte beziehen sich auf den Anprall von schweren Lastfahrzeugen (SLF). Durch den Anprall von Fahrzeugen mit einem maximalen Gesamtgewicht von weniger als 3'500 kg verursachte Kräfte sind im Allgemeinen wesentlich kleiner. Diese sind gemäss Norm SIA 261 [10] festzulegen.

1.2.1 Ausnahmen

Ausnahmen von der vorliegenden Richtlinie sind zulässig, wenn spezielle Verhältnisse dies rechtfertigen. Sie müssen durch umfassende Untersuchungen begründet und dokumentiert sein.

1.2.2 Bestehende Bauwerke

Die vorliegende Richtlinie ist für die Bemessung neuer Bauwerke gültig. Die Richtlinie ist ebenfalls bei der Überprüfung und Instandsetzung von bestehenden Bauwerken anzuwenden.

Die Richtlinie sowie die Norm SIA 261 [10] beschreiben unter anderem auch die Einwirkungen, welche durch den Anprall von Fahrzeugaufbauten und Ladungen von SLF hervorgerufen werden. Unter Kapitel 4 der Richtlinie sind Kriterien zur Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Bauwerke in Bezug auf die durch den Anprall von SLF hervorgerufenen Einwirkungen angegeben.

1.3 Adressaten

Angesprochen mit dieser Richtlinie sind Bauherren, Planer und Betreiber von Kunstbauten der Nationalstrassen aller Klassen.

1.4 Inkrafttreten und Änderungen

Dieses Dokument tritt am 01.01.2005 in Kraft. Die „Auflistung der Änderungen“ ist auf Seite 49 dokumentiert.

2 Grundsätze

2.1 Allgemeines

2.1.1 Übersicht Massnahmen

Abb. 2.1 liefert eine Übersicht möglicher Massnahmen bei einer Gefährdung durch Fahrzeuganprall. Dabei wird generell in Massnahmen zum Schutz des Tragwerks und in Massnahmen zum Schutz der Fahrzeuginsassen unterschieden.

Die vorliegende Richtlinie behandelt Massnahmen zum **Schutz des Tragwerks** und liefert dabei primär die Grundlagen für die Bemessung auf Anprall. In diesem Zusammenhang werden jedoch auch die Wirkungen von Leitschranken und Leitmauern behandelt.

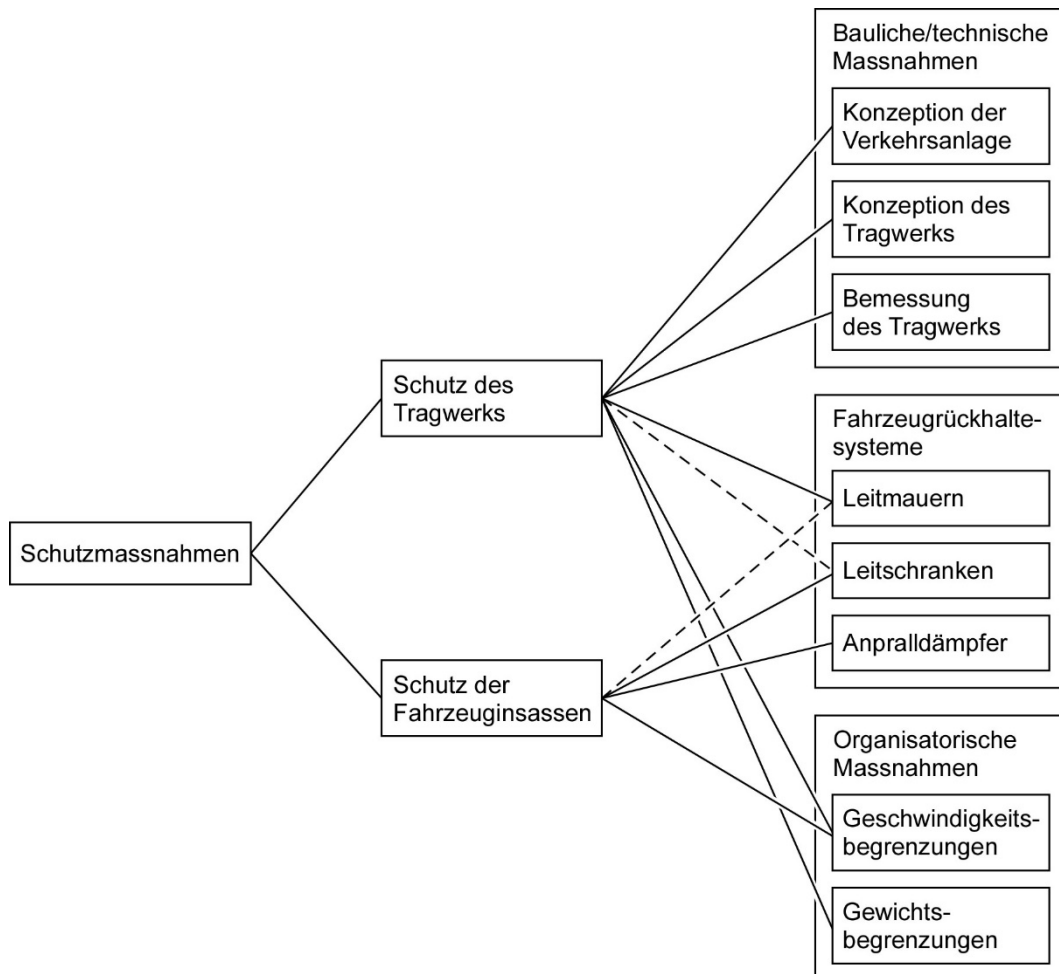


Abb. 2.1 Übersicht der Massnahmen gegen Fahrzeuganprall

2.1.2 Strategien und Vorgehen bei der Projektierung von Massnahmen

Gemäss der Norm SIA 260, Grundlagen der Projektierung von Tragwerken [9], sind zur Verhinderung eines Tragwerkversagens grundsätzlich die folgenden Strategien und Massnahmen zu prüfen:

- Das Vermeiden oder die Verminderung der Gefährdung**
 lässt sich durch die Tragwerkskonzeption erreichen, beispielsweise wenn Bauteile des Tragwerks in einem grossen Abstand zur Fahrbahn angeordnet werden. Mit dem Einsatz von Schutzeinrichtungen, zum Beispiel Leitmauern oder organisatorischen Massnahmen wie Verkehrsbeschränkungen, kann die Gefährdung ebenfalls umgangen oder vermindert werden.
- Das Vorsehen von Schutzmassnahmen**
 besteht im Einsatz passiver Schutzeinrichtungen wie Leitmauern oder Leitschranken. Anpralldämpfer sind Einrichtungen für den Schutz von Fahrzeuginsassen. Zum Schutz von Tragwerken sind sie nicht wirksam.
- Die Wahl von Tragsystemen mit geringer Anfälligkeit gegenüber der Gefährdung oder von Systemen, die beim Ausfall eines Bauteils nicht versagen,**
 sind konzeptuelle Massnahmen. Es ist dies unter anderem der Verzicht auf Bauelemente, welche empfindlich auf Anprall sind (z.B. schlanke Stützen) sowie die Wahl von Tragwerkskonzepten, bei denen der Ausfall eines gefährdeten Tragelements nicht zum vollständigen Tragwerksversagen führt.

Gemäss Abb. 2.2 sind Tragwerkskonzepte sowie Schutzmassnahmen, mit denen ein Anprall verhindert werden kann, in jedem Fall zu prüfen. Kann die Anprallgefährdung nicht verhindert werden, ist das Tragwerk auf Anprall zu bemessen oder so zu projektieren, dass durch den Ausfall des betroffenen Bauteils die Tragsicherheit des gesamten Tragwerks nicht gefährdet wird.

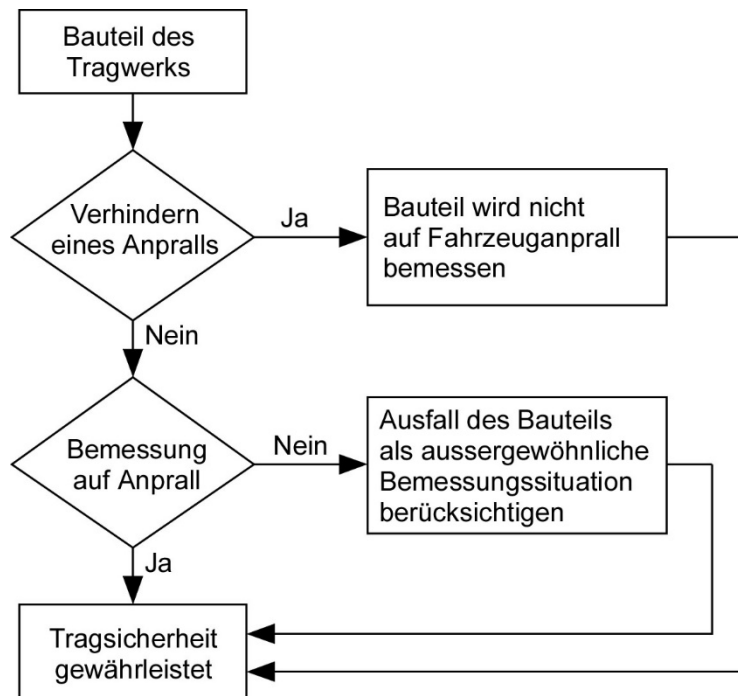


Abb. 2.2 Grundsätze zum Vorgehen bei der Projektierung

2.1.3 Verhältnismässigkeit

Massnahmen zur Gewährleistung der Tragsicherheit bei einer Gefährdung durch Anprall sind immer nach den Grundsätzen der Verhältnismässigkeit zu beurteilen. Neben den Aspekten der architektonischen Gestaltung und der Einpassung in den Strassenraum sind dabei auch die Risiken sowie die wirtschaftlichen Kriterien massgebend. Die Grundsätze der Verhältnismässigkeit sind im Speziellen bei bestehenden Bauwerken von Bedeutung (siehe Anhang VI).

2.2 Tragsicherheitsnachweis

2.2.1 Allgemeines

Die Anprallkräfte sind gemäss den im Kapitel 3 angegebenen Grenzen grundsätzlich immer in der für das Tragwerk ungünstigsten Lage und Richtung anzunehmen.

Für die Bemessung von Bauteilen auf Anprall kann es vorteilhaft sein, die kinematische Methode der Plastizitätstheorie anzuwenden, um die gesamte Kapazität des Bauteils respektive des Tragwerks zu nutzen.

2.2.2 Begleiteinwirkungen

Gemäss SIA 260, Ziffer 4.4.3.6 [9] muss für die Bemessungssituation Anprall fallweise entschieden werden, ob neben der aussergewöhnlichen Leiteinwirkung A_d resp. Q_d und den ständigen und quasi-ständigen Begleiteinwirkungen noch eine veränderliche Begleiteinwirkung mit ihrem häufigen Wert $\psi_{1i} Q_{ki}$ zu berücksichtigen ist.

In der Abb. 2.3 sind drei Beispiele dargestellt, bei denen bei der Bemessungssituation Anprall eine veränderliche Begleiteinwirkung mit ihrem häufigen Wert berücksichtigt werden muss. Im Fall von a) Brückenkonsolen oder b) Brückenstützen sind die aus dem Strassenverkehr resultierenden Lasten, repräsentiert durch das Lastmodell 1 gemäss der Norm SIA 261 [10], als veränderliche Begleiteinwirkungen zu berücksichtigen. Bei c) Galeriestützen muss gegebenenfalls eine Schneelast mit ihrem häufigen Wert als veränderliche Begleiteinwirkung berücksichtigt werden.

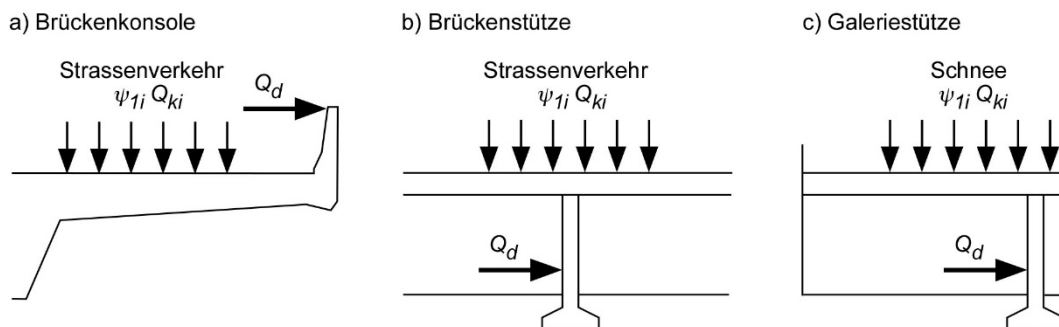


Abb. 2.3 Beispiele für Bemessungssituationen Anprall, bei denen veränderliche Begleiteinwirkungen mit ihrem häufigen Wert berücksichtigt werden müssen

2.2.3 Angrenzende Bauteile

Tragsicherheitsnachweise sind grundsätzlich nicht nur für die direkt vom Anprall betroffenen, sondern auch für die angrenzenden Bauteile zu erbringen. Dabei ist nachzuweisen, dass die durch den Anprall hervorgerufenen Kräfte und Momente auch von diesen Bauteilen aufgenommen werden können.

Die Abb. 2.4 zeigt das Beispiel a) einer monolithisch mit dem Brückenrand verbundenen Leitmauer. Der Tragsicherheitsnachweis der angrenzenden Brückenkonsole muss in diesem Fall mit den durch die Anprallkraft $Q_{d,y}$ im Nachweisquerschnitt erzeugten Kräften V_d und Momenten M_d erfolgen.

Beim Anprall an vergleichsweise wenig steife Bauteile aus Stahl, wie die in b) dargestellte Leitschranke, sind für den Tragsicherheitsnachweis der Brückenkonsole die maximal von den Stahlpfosten übertragbaren Kräfte und Momente massgebend. Die Bemessungswerte V_d und M_d dieser Einwirkungen werden ausgehend vom plastischen Biege­widerstand $M_{R,pl}$ der Stahlpfosten berechnet. Der Biege­widerstand bei plastischer Verformung wird mit dem plastischen Widerstandsmoment W_{pl} und der in der Norm SIA 263 [12] angegebenen Zug­festigkeit f_u ermittelt.

Das von einem Leitschrankenpfosten maximal auf den Brückenrand übertragbare und als Bemessungswert einzusetzende Moment M_d ist gleich dem 1,4-fachen plastischen Biege­widerstand $M_{R,pl}$ des Pfostens. Der Faktor 1,4 berücksichtigt dabei die Differenz zwischen dem für den Widerstand massgebenden 5%- und dem für die Einwirkung massgebenden 95%-Fraktilwert.

Die zum einwirkenden Moment M_d korrespondierende Querkraft V_d berechnet sich mit der für die Deformation des Stahlpfostens massgebenden Höhe h_Q . Dabei kann angenommen werden, dass die Anprallkraft auf der Höhe des Plankenprofils bzw. in der Mitte bei Leit­schranken mit mehreren Profilen wirkt.

Die Abbildung 2.4 zeigt schematisch den erforderlichen Tragsicherheitsnachweis für den Fall einer Leitmauer und einer Stahlleitschranke. Die genauen Kräfte, deren Lage und Kraftangriffsfläche sind gemäss Kapitel 3.6 zu bestimmen.

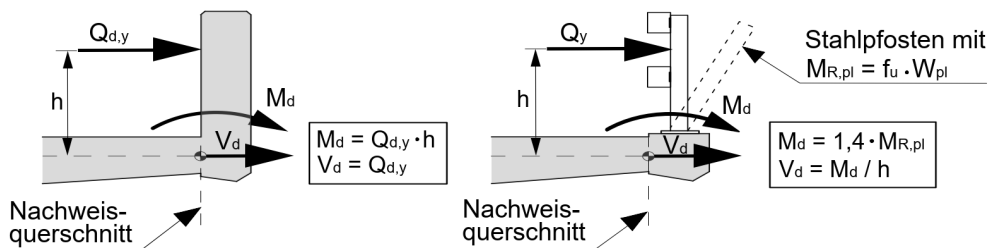


Abb. 2.4 Für den Tragsicherheitsnachweis von angrenzenden Bauteilen massgebende Bemessungswerte der einwirkenden Momente M_d und Kräfte V_d (schematische Darstellung)

Die Dübelbefestigungen oder die eingelegten Befestigungen von Leitschrankenpfosten sind in der Regel so bemessen, dass sie beim Umbiegen des Pfostens nicht versagen. Die maximale bei einem Anprall mögliche Einwirkung auf den Konsolkopf ist somit nur vom plastischen Biege­widerstand der Pfosten, jedoch nicht vom Trag­widerstand der Pfosten­befestigung abhängig. Zur Sicherstellung der erforderlichen Kraftverteilung im FZRS muss die Streifenplatte eine Mindestlänge von 16 m gemäss Teil 4 (Kapitel 5.1) der ASTRA RL 12004 [2] aufweisen.

Ist bei bestehenden Bauwerken der Tragsicherheitsnachweis mit der üblichen Annahme der Ausbreitung der Kräfte bis zum Nachweis­schnitt unter 45° nicht möglich, kann der Nachweis auch mit anderen Modellen, beispielsweise auf der kinematischen Methode der Plastizitätstheorie basierend, erbracht werden. Bei einem Brückenrand mit einer Leit­mauer, wie er in Abb. 2.4 a) dargestellt ist, kann die Leitmauer als Torsion übertragendes Element oder wie in Abb. 2.5 dargestellt als Platte, Schale oder Membrane betrachtet werden.

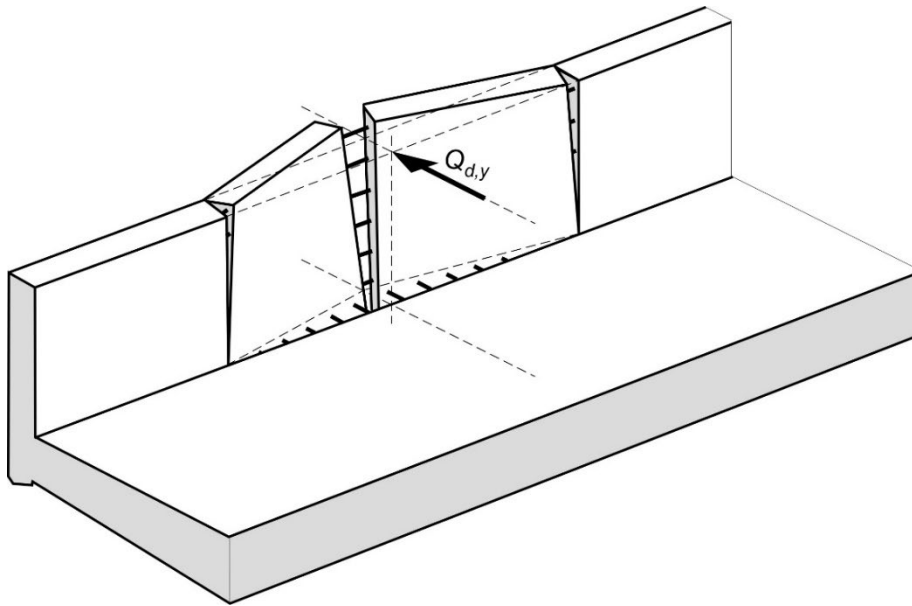


Abb. 2.5 Für den Tragsicherheitsnachweis eines Brückenrandes mit einer Leitmauer verwendetes Widerstandsmodell "Platte, Schale oder Membran"

2.3 Fahrzeugrückhaltesystem

2.3.1 Leitschranken

Leitschranken sind auf den Schutz Dritter und den Schutz von Fahrzeuginsassen ausgerichtete Systeme. Sie sind per Definition nachgiebige Schutzeinrichtungen (Fahrzeugrückhaltesysteme (FZRS)) und unterliegen nicht der Norm SIA 261 [10] respektive der Richtlinie 12008. Es handelt sich hierbei um ein Bauprodukt (System 1 gemäss Bauprodukteverordnung (BauPV)). Das Zulassungsverfahren ist in der Norm SN EN 1317-5 [5] geregelt. Selbst die Verankerung der Systeme, z.B. Verbundanker auf Bauwerken, ist integraler Bestandteil der Erstprüfungen (Versuche nach Norm SN EN 1317-2 [4]).

Je nach Konstruktion vermögen sie aber auch von der Strasse abgekommene schwere Lastfahrzeuge ganz oder teilweise zurückzuhalten bzw. umzulenken. Leitschranken sind deshalb auch Einrichtungen zum Schutz von Tragwerken. Dabei ist ihre Wirksamkeit von der Rückhaltewirkung des Systems sowie von der Distanz der Leitschranke zum Tragwerk abhängig. Beim Einsatz von Leitschranken kann die Anprallkraft gemäss Ziffer 3.4.2 bzw. 3.5.2 dieser Richtlinie reduziert werden

2.3.2 Leitmauern

Leitmauern aus Beton sind Fahrzeugrückhaltesysteme, welche allgemein eine hohe Rückhaltewirkung aufweisen. Der Einsatz als Einrichtung zum Schutz des Tragwerks ist in den meisten Fällen günstig.

Betonleitmauern, welche Elemente des Tragwerks darstellen oder mit dem Tragwerk verbunden sind, müssen auf Anprall bemessen werden. Beispiele sind in der Abb. 2.6 dargestellt. Die massgebenden Anprallkräfte sind im Kapitel 3 angegeben.

In Ausnahmefällen können FZRS aus vorfabrizierten Betonelementen eingesetzt werden, wenn der Wirkungsbereich des nach Norm SN EN 1317-2 [4] und zugelassenen FZRS kleiner gleich dem Abstand von Vorderkante des FZRS bis zur Vorderkante des Tragwerks ist.

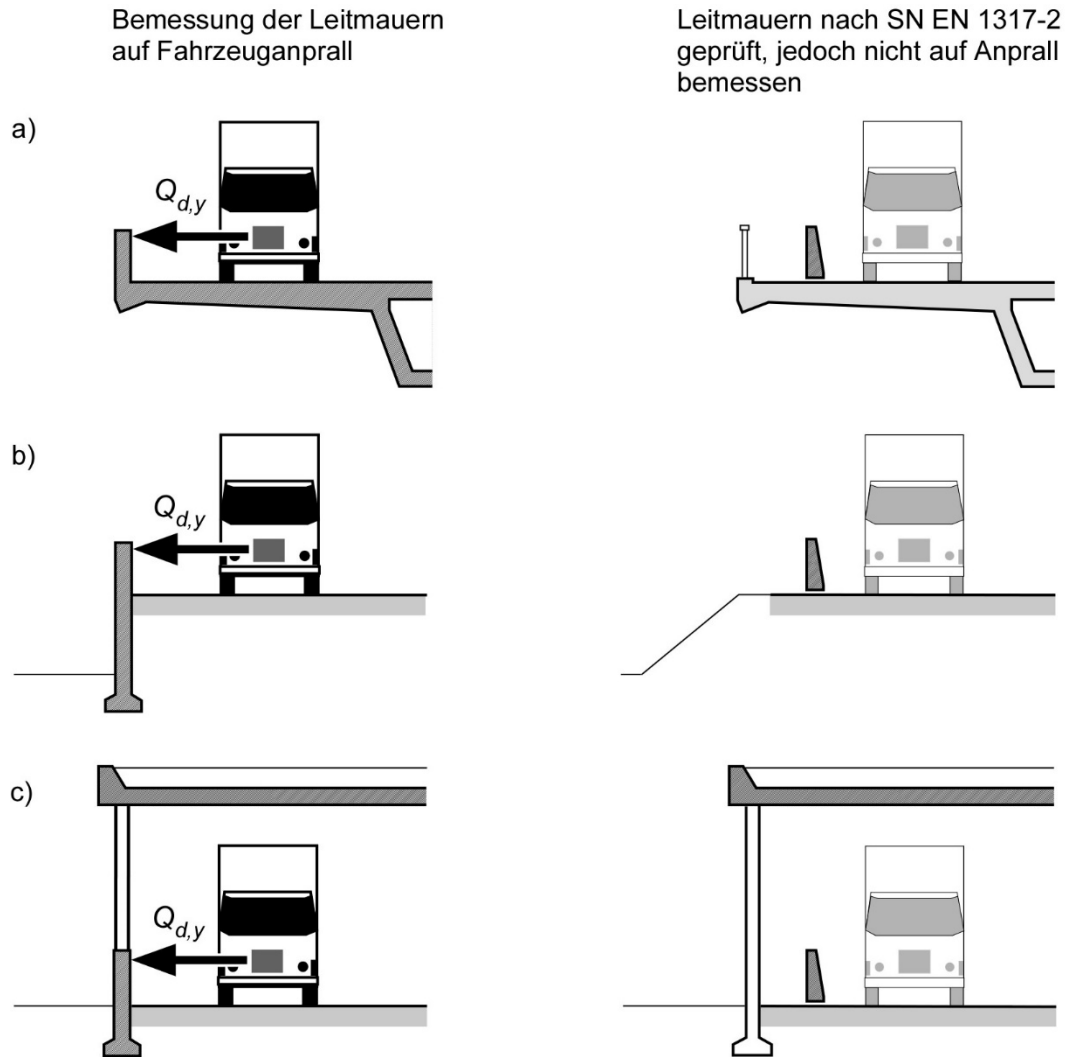


Abb. 2.6 Beispiele für den Einsatz von Leitmauern als Tragwerkselement und als Fahrzeugrückhaltesystem

2.3.3 Anpralldämpfer

Für gefährdete Bauteile, beispielsweise einzelne Stützen, können spezielle Schutzeinrichtungen vorgesehen werden. Anpralldämpfer sind für solche Zwecke jedoch grundsätzlich nicht geeignet, da es sich dabei üblicherweise um passive Schutzeinrichtungen handelt, welche auf den Schutz der Insassen von Personenwagen ausgerichtet sind. Solche Anpralldämpfer sind im Fall des Anpralls eines schweren Lastfahrzeugs wirkungslos.

Werden speziell auf den Anprall schwerer Lastfahrzeuge ausgelegte Anpralldämpfer als Einrichtungen zum Schutz des Tragwerks vorgesehen, ist ihre Funktion und Wirksamkeit nachzuweisen. Dabei sind die Grundsätze der Angemessenheit zu beachten. Speziell zu berücksichtigen ist zudem die mit dem Einsatz einer solchen Schutzeinrichtung verbundene erhöhte Gefährdung für die Insassen von Personenwagen

2.4 Organisatorische Massnahmen

Organisatorische Massnahmen, welche die Wahrscheinlichkeit und/oder die Auswirkungen eines Anpralls vermindern, sind zu prüfen. Beispiele für solche Massnahmen sind verkehrstechnische Beschränkungen wie Gewichts- oder Geschwindigkeitsbeschränkungen.

3 Einwirkungen

3.1 Ausgangslage

Die für die Bemessung von Tragwerken auf Fahrzeuganprall festgelegten Anprallkräfte basieren auf den Grundwerten der Norm SIA 261 [10] und im Falle von vor dem Tragwerk vorhandenen Fahrzeugrückhaltesystemen auf deren nach Norm SN EN 1317-2 [4] festgestellten Leistungseigenschaften.

3.2 Übersicht Anprallarten

Der Anprall eines schweren Lastfahrzeugs kann auf verschiedene Arten ablaufen. Abhängig vom Tragwerk (Stütze, Wand, Überbau) und vom anprallenden Fahrzeugbereich (Fahrzeugchassis, Fahrzeugaufbau oder Ladung) werden die folgenden in der Abb. 3.1 dargestellten Anprallarten unterschieden.

	Frontaler Anprall an Stützen und Überbauten	Seitlicher Anprall an Wände und Leitmauern
Anprall von Fahrzeugen (Fahrzeugchassis)		
Anprall von Fahrzeugaufbauten und Ladungen		

Abb. 3.1 Übersicht Anprallarten

3.3 Ausgangswerte der Anprallkraft

Die Ausgangswerte Q_0 der Anprallkräfte (entspricht Grundwerten Q_{0d} gemäss Norm SIA 261 [10] Tabelle 21) für Autobahnen, Autostrassen und Ausserortsstrassen sind wie folgt.

Tab. 3.1 Ausgangswerte Q_0 zur Bestimmung der Bemessungswerte der Anprallkräfte für Autobahnen, Autostrassen und Ausserortsstrassen

	Frontaler Anprall an Stützen $Q_{0,\alpha}$ [kN]	Seitlicher Anprall an Wände und Leitmauern $Q_{0,y}$ [kN]
Autobahnen/Autostrassen	1'000	500
Ausserortsstrassen	1'000	500

Die Bemessungswerte bestimmen sich nach Ziffer 3.4.2 und 3.5.2.

Für Leitmauern aus Stahlbeton müssen die in Tab. 3.1 aufgeführten Kräfte angesetzt werden.

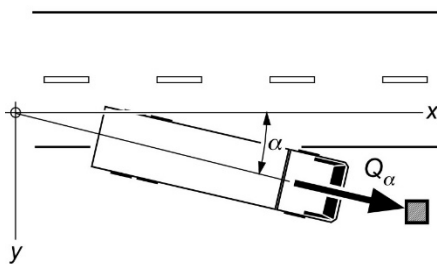
3.4 Anprall von Fahrzeugen (Fahrzeugchassis)

3.4.1 Übersicht und Bezeichnungen

Der Anprall eines schweren Lastfahrzeugs an ein Tragwerkelement kann ein frontaler Anprall an eine Stütze oder ein seitlicher Anprall an eine Wand sein.

- Der **frontale Anprall an Stützen** erfolgt unter einem Winkel α ausgehend von der normalen Fahrtrichtung bzw. der Strassenachse (x-Richtung). Die Anprallkraft wird mit Q_α bezeichnet (Abb. 3.2 a).
- Beim **seitlichen Anprall an Wände** ist die in y-Richtung senkrecht zur Strassenachse wirkende Anprallkraft massgebend. Sie wird mit Q_y bezeichnet (Abb. 3.2 b). In x-Richtung auf das Tragwerk wirkende Kräfte entstehen hauptsächlich auf Grund von Reibungskräften zwischen Fahrzeug und Wand. Sie sind vergleichsweise klein und müssen nicht berücksichtigt werden.

a) Frontaler Anprall an Stützen



b) Seitlicher Anprall an Wände

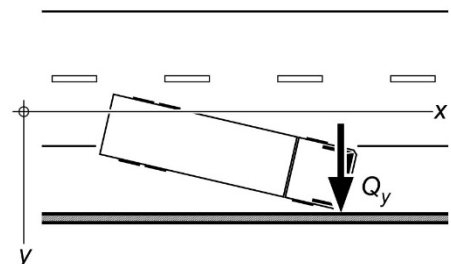


Abb. 3.2 Übersicht Anprall von Fahrzeugen (Fahrzeugchassis)

3.4.2 Bemessungswert der Anprallkraft

Einwirkungen in Folge von Fahrzeuganprall sind als aussergewöhnliche Einwirkungen zu behandeln. Die nachfolgend angegebenen Anprallkräfte sind deshalb als Bemessungswerte zu berücksichtigen.

Autobahnen, Autostrassen und Ausserortsstrassen

Im Regelfall müssen Tragwerke am Fahrbahnrand von Strassen gemäss Norm VSS 40 561 [18] mit Fahrzeugrückhaltesystemen abgesichert werden.

In Abstimmung mit der Bauherrschaft bzw. der Aufsichtsbehörde sind die in Tab. 3.2 angegebenen Bemessungswerte Q_d als Grundlage für die statischen Berechnungen und Nachweise, insbesondere bei bestehenden Tragwerkskonstruktionen, anzuwenden.

Dabei gilt:

$$\text{Frontaler Anprall an Stützen} \quad Q_{d,\alpha} = Q_d \quad (1)$$

$$\text{Seitlicher Anprall an Wände} \quad Q_{d,y} = \frac{Q_d}{2} \quad (2)$$

Tab. 3.2 Bemessungswerte Q_d , [kN] in Abhängigkeit des Abstands¹⁾ von Hinterkante²⁾ FZRS zu Vorderkante Tragwerk

	A_{Qd} ¹⁾ [m]	FZRS				
		6611 FP ⁴⁾	6611 GP ⁵⁾	6811 GP ⁵⁾	9211 ³⁾	9311 ³⁾
Bemessungswerte Q_d [kN]	0,0 m	785	840	660	0	0
	0,1 m	710	780	555	0	0
	0,2 m	630	725	450	0	0
	0,3 m	550	665	340	0	0
	0,4 m	470	605	235	0	0
	0,5 m	390	550	130	0	0
	0,6 m	310	490	20	0	0
	0,7 m	230	430	0	0	0
	0,8 m	155	370	0	0	0
	0,9 m	75	310	0	0	0
	1,0 m	0	255	0	0	0
	1,1 m	0	195	0	0	0
	1,2 m	0	135	0	0	0
	1,3 m	0	75	0	0	0
	1,4 m	0	20	0	0	0
1,5 m	0	0	0	0	0	

- 1) Der objektbezogene Abstandswert A_{Qd} ist auf eine Dezimale zu runden
- 2) Hinterkante nicht Vorderkante
- 3) Leitmauer gemäss Tab. 3.1 auf Anprall bemessen
- 4) FP = System mit Pfosten mit Fussplatte auf Streifenfundament gemäss ASTRA RL 11005 FZRS [3]
- 5) GP = System mit gerammten Pfosten gemäss ASTRA RL 11005 FZRS [3]

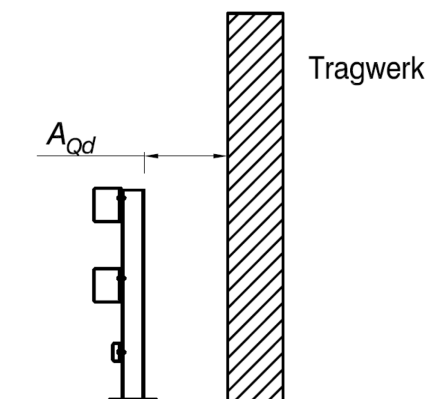


Abb. 3.3 Abstandsmessung zur Ermittlung des Bemessungswerts Q_d

Die in Tab. 3.2 angegebenen Werte sind um 30 % zu erhöhen, wenn eine Unfallhäufigkeit in Verbindung mit Schwerlastfahrzeugen SLF gemäss folgenden Kriterien vorliegt:

2 Unfälle oder mehr innert 5 Jahren in Verbindung mit SLF ($0,4 U_{SLF}/\text{Jahr}$) im Intervallbereich der Tragwerkskonstruktion von:

- 500 m für Autobahnen und Autostrassen je Richtungsfahrbahn
- 200 m für Ausserortsstrassen je Strassenabschnitt

Für die Ermittlung der Anzahl relevanter Unfälle sind alle Schleuder- oder Selbstunfälle (Unfalltypengruppe 0), Unfalltypen 1 bis 9 gemäss Unfallaufnahmeprotokoll (UAP) für die Fahrzeugarten mit FAZ-Code 20, 35, 37 und 38 zu berücksichtigen. Die Unfalldaten können über unfalldaten@astra.admin.ch angefordert werden.

Der Systemaufbau des FZRS bezüglich der erforderlichen Mindest- und Vorlängen ist gemäss ASTRA RL 11005 FZRS [3] und der Norm VSS 40 561 [18] auszuführen.

Innerortsstrassen

Bei Innerortsstrassen mit einer Verkehrsgeschwindigkeit von 50 bzw. 60 km/h ist der Fahrzeuganprall durch die folgenden Bemessungswerte Q_d zu berücksichtigen, falls sich das Tragwerk näher als 3 m vom Fahrbahnrand entfernt befindet ($s \leq 3,0$ m):

$$\text{Frontaler Anprall an Stützen} \quad Q_{d,x} = 500 \text{ kN} \quad (3)$$

$$\text{Seitlicher Anprall an Wände} \quad Q_{d,y} = 250 \text{ kN} \quad (4)$$

Diese Werte stammen aus [7].

Diese Bemessungswerte sind als Richtwerte zu verstehen. Die lokalen Gegebenheiten, wie die Exposition des Tragwerks, Böschungen, Kurven und allfällige Fahrzeugrückhaltesysteme sowie die Verkehrsdichte, der Schwerverkehrsanteil und das Unfallgeschehen können wie folgt berücksichtigt werden:

- Ist keine Gefährdung des Tragwerks durch Fahrzeuganprall vorhanden, muss dieser nicht berücksichtigt werden.
- Bei einer geringen Gefährdung des Tragwerks kann der Bemessungswert um maximal 50% reduziert werden.
- Wird die Gefährdung des Tragwerks auf Grund der lokalen Situation als gross beurteilt, ist eine Erhöhung des angegebenen Bemessungswerts bis maximal 50% zu prüfen.

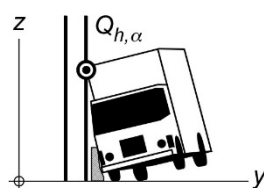
3.5 Anprall von Fahrzeugaufbauten und Ladungen

3.5.1 Übersicht und Bezeichnung

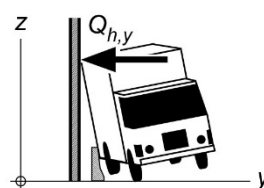
Ein Anprall des Fahrzeugaufbaus oder der Ladung an ein Tragwerkselement kann frontal an eine Stütze, seitliche an eine Wand oder frontal an einen Überbau auftreten. Die Krafteinwirkung findet dabei in grösserer Höhe statt als beim Anprall des Fahrzeugchassis. Die Anprallkraft wird deshalb mit Q_h bezeichnet.

- Der **frontale Anprall an Stützen** erfolgt unter einem Winkel α ausgehend von der normalen Fahrtrichtung bzw. der Strassenachse (x-Richtung). Die Anprallkraft wird mit $Q_{h,\alpha}$ bezeichnet (Abb. 3.4 a).
- Beim **seitlichen Anprall an Wände** ist die in y-Richtung senkrecht zur Strassenachse wirkende Anprallkraft massgebend. Sie wird mit $Q_{h,y}$ bezeichnet (Abb. 3.4 b). In x-Richtung auf das Tragwerk wirkende Kräfte entstehen hauptsächlich auf Grund von Reibungskräften zwischen Fahrzeugaufbau und Wand. Sie sind vergleichsweise klein und müssen nicht berücksichtigt werden.
- Der **frontale Anprall an Überbauten** erfolgt in der Fahrtrichtung bzw. der Richtung der Strassenachse (x-Richtung). Die Anprallkraft wird mit $Q_{h,x}$ bezeichnet (Abb. 3.4 c).

a) Frontaler Anprall an Stützen



b) Seitlicher Anprall an Wände



c) Frontaler Anprall an Überbauten

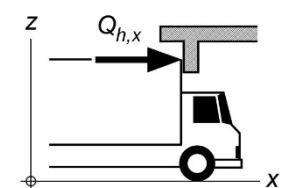


Abb. 3.4 Übersicht Anprall von Fahrzeugaufbauten und Ladungen

3.5.2 Anprall an Stützen und Wände

Der Nachweis des Anpralls von Fahrzeugaufbauten und Ladungen an Stützen und Wänden ist nur dann zu führen, wenn das Tragwerk mit einem FZRS abgesichert ist. Andernfalls ist der Anprall von Fahrzeugen (Fahrzeugchassis) massgebend.

- Autobahnen, Autostrassen und Ausserortsstrassen**

In Abstimmung mit der Bauherrschaft bzw. der Aufsichtsbehörde sind die in Tab. 3.3 angegebenen Bemessungswerte Q_{hd} als Grundlage für die statischen Berechnungen und Nachweise, insbesondere bei bestehenden Tragwerkskonstruktionen, anzuwenden.

Dabei gilt:

Frontaler Anprall an Stützen $Q_{hd,x} = Q_{hd}$ (5)

Seitlicher Anprall an Wände $Q_{hd,y} = Q_{hd}$ (6)

Tab. 3.3 Bemessungswerte Q_{hd} , [kN] in Abhängigkeit des Abstands 1) FZRS zu Tragwerk

Bemessungswerte Q_{hd} [kN]	A_{Qhd} ¹⁾ [m]	FZRS				
		6611 FP ³⁾	6611 GP ⁴⁾	6811 GP ⁴⁾	9211 ²⁾	9311 ²⁾
	0,0 m	280	290	235	333	333
	0,1 m	260	275	205	250	333
	0,2 m	240	260	175	170	333
	0,3 m	220	245	144	85	250
	0,4 m	200	230	115	0	170
	0,5 m	180	210	85	0	85
	0,6 m	160	195	55	0	0
	0,7 m	145	180	25	0	0
	0,8 m	125	165	0	0	0
	0,9 m	105	150	0	0	0
	1,0 m	85	130	0	0	0
	1,1 m	65	115	0	0	0
	1,2 m	45	100	0	0	0
	1,3 m	25	85	0	0	0
	1,4 m	5	70	0	0	0
	1,5 m	0	50	0	0	0
	1,6 m	0	35	0	0	0
	1,7 m	0	20	0	0	0
	1,8 m	0	5	0	0	0
	1,9 m	0	0	0	0	0

1) Der massgebende Abstand A_{Qhd} bestimmt sich bei den Systemen 6611 FP, 6611 GP und 6811 GP von der Hinterkante des Systems bis zur Vorderkante des Tragwerks gemäss Abb. 3.5 und bei den Systemen 9211 und 9311 von der Vorderkante des Systems bis zur Vorderkante des Tragwerks gemäss Abb. 3.6. Der objektbezogene Abstandswert A_{Qhd} ist auf eine Dezimale zu runden.

2) Leitmauer gemäss Tab. 3.1 auf Anprall bemessen

3) FP = System mit Pfosten mit Fussplatte auf Streifenfundament gemäss ASTRA RL 11005 FZRS [3]

4) GP = System mit geramten Pfosten gemäss ASTRA RL 11005 FZRS [3]

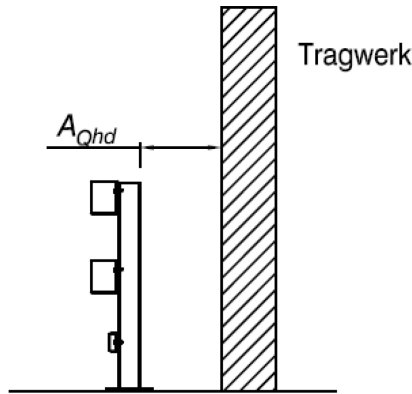


Abb. 3.5 Abstandsmessung zur Ermittlung des Bemessungswerts Q_{hd} bei Systemen 6611 FP, 6611 GP, 6811 GP

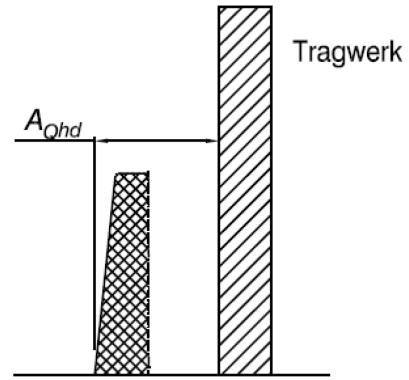


Abb. 3.6 Abstandsmessung zur Ermittlung des Bemessungswerts Q_{hd} bei Systemen 9211, 9311

Die in Tab. 3.3 angegebenen Werte sind um 30 % zu erhöhen, wenn eine Unfallhäufigkeit in Verbindung mit Schwerlastfahrzeugen *SLF* gemäss folgenden Kriterien vorliegt:

2 Unfälle oder mehr innert 5 Jahren in Verbindung mit *SLF* ($0,4 U_{SLF}/\text{Jahr}$) im Intervallbereich der Tragwerkskonstruktion von:

- 500 m für Autobahnen und Autostrassen je Richtungsfahrbahn
- 200 m für Ausserortsstrassen je Strassenabschnitt

Für die Ermittlung der Anzahl relevanter Unfälle sind alle Schleuder- oder Selbstunfälle (Unfalltypengruppe 0), Unfalltypen 1 bis 9 gemäss Unfallaufnahmeprotokoll (UAP) für die Fahrzeugarten mit FAZ-Code 20, 35, 37 und 38 zu berücksichtigen. Die Unfalldaten können über unfalldaten@astra.admin.ch angefordert werden.

Der Systemaufbau des *FZRS* bezüglich der erforderlichen Mindest- und Vorlängen ist gemäss ASTRA RL 11005 *FZRS* [3] und der Norm VSS 40 561 [18] auszuführen.

• Innerortsstrassen

Bei Innerortsstrassen mit einer Verkehrsgeschwindigkeit von 50 bzw. 60 km/h ist der Anprall von Fahrzeugaufbauten und Ladungen durch die folgenden **Bemessungswerte** Q_{dh} zu berücksichtigen, falls sich das Tragwerk näher als 3 m vom Fahrbahnrand entfernt befindet ($s \leq 3,0$ m):

$$\text{Frontaler Anprall an Stützen} \quad Q_{hd,x} = 150 \text{ kN} \quad (7)$$

$$\text{Seitlicher Anprall an Wände} \quad Q_{hd,y} = 60 \text{ kN} \quad (8)$$

Diese Bemessungswerte sind als Richtwerte zu verstehen. Die lokalen Gegebenheiten, wie die Exposition des Tragwerks, Böschungen, Kurven und allfällige Fahrzeugrückhaltesysteme sowie die Verkehrsdichte, der Schwerverkehrsanteil und das Unfallgeschehen können wie folgt berücksichtigt werden:

- Ist keine Gefährdung des Tragwerks durch Fahrzeuganprall vorhanden, muss dieser nicht berücksichtigt werden.
- Bei einer geringen Gefährdung des Tragwerks, kann der Bemessungswert um maximal 50% reduziert werden.
- Wird die Gefährdung des Tragwerks auf Grund der lokalen Situation als gross beurteilt, ist eine Erhöhung des angegebenen Bemessungswerts bis maximal 50% zu prüfen.

3.5.3 Anprall an Überbauten

Bei Brückenüberbauten und insbesondere bei Längsträgern von Brücken sowie bei Tunnelportalen muss, für den Fall, dass die Ladung eines schweren Lastfahrzeugs zu hoch oder ein Fahrzeugaufbau (z.B. Kipper, Kran) nicht in ordnungsgemässer Position ist (vgl. Anhang V), die Einwirkung einer Anprallkraft berücksichtigt werden.

- **Autobahnen, Autostrassen und Ausserortsstrassen**

Bei Autobahnen und Autostrassen sowie bei Ausserortsstrassen mit einer Verkehrsgeschwindigkeit $v = 80$ km/h wird der **Bemessungswert** $Q_{hd,x}$ für den frontalen Anprall von Fahrzeugaufbauten und Ladungen an Überbauten aus dem Ausgangswert $Q_{o,\alpha}$ gemäss Tab. 3.1 wie folgt bestimmt:

$$Q_{hd,x} = \psi_h \cdot \frac{Q_{o,\alpha}}{2} \quad (9)$$

$Q_{o,\alpha}$	Ausgangswert zur Bestimmung des Bemessungswerts der Anprallkraft [kN] gemäss Tab. 3.1
ψ_h	Reduktionsfaktor zur Berücksichtigung der lichten Höhe über der Fahrbahn

- **Innerortsstrassen**

Bei Innerortsstrassen mit einer Verkehrsgeschwindigkeit von 50 bzw. 60 km/h ist der frontale Anprall von Fahrzeugaufbauten und Ladungen an Überbauten durch den **Bemessungswert** $Q_{hd,x}$ zu berücksichtigen, falls die lichte Höhe über der Fahrbahn weniger als 5 m beträgt ($h_L \leq 5,0$ m):

$$Q_{hd,x} = 250 \text{ kN} \quad (10)$$

Dieser Wert stammt aus [4]. Dieser Bemessungswert ist als Richtwerte zu verstehen. Er kann auf der Basis einer Risikoabschätzung, welche die lokalen Gegebenheiten, die Exposition des Tragwerks, die Verkehrsdichte, den Schwerverkehrsanteil usw. berücksichtigt, reduziert werden. Ist der frontale Anprall von Fahrzeugaufbauten und Ladungen an Überbauten überhaupt nicht relevant, muss diese Einwirkung nicht berücksichtigt werden.

Reduktionsfaktor zum Einfluss der lichten Höhe

Der Reduktionsfaktor ψ_h zur Berücksichtigung der lichten Höhe bei Überbauten wird gemäss Abb. 3.7 bestimmt. Massgebend ist dabei die vorhandene lichte Höhe h_L über der Fahrbahn. Für Tragwerke in Höhen von $h_L \geq 6$ m ist der Anprall von Fahrzeugaufbauten und Ladungen nicht relevant und muss nicht berücksichtigt werden ($\psi_h = 0$).

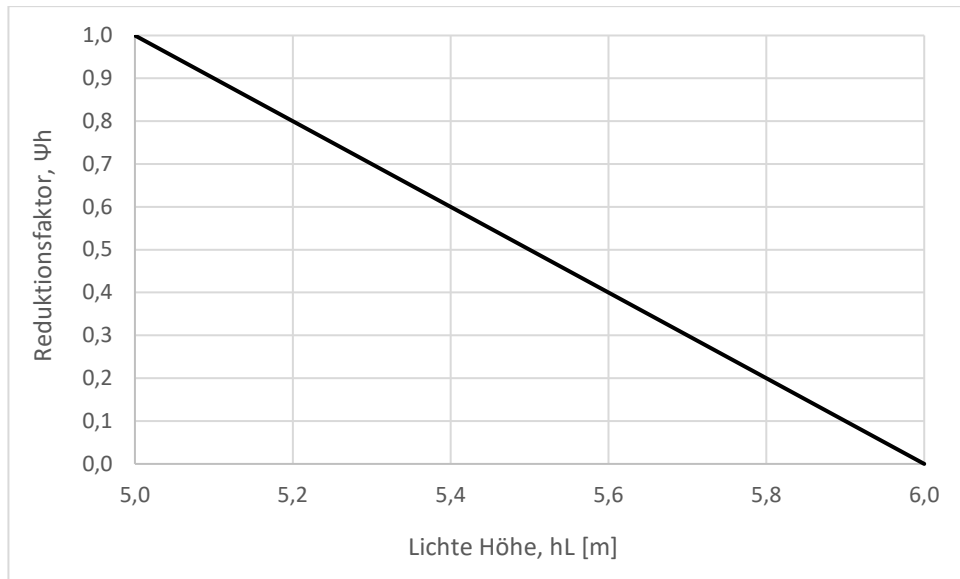


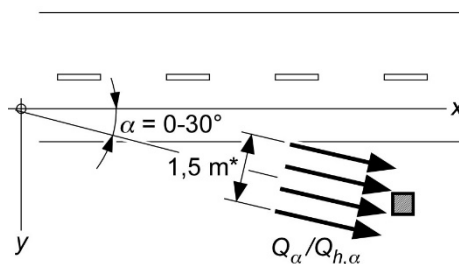
Abb. 3.7 Reduktionsfaktor ψ_h zur Berücksichtigung der lichten Höhe h_L bei Überbauten

3.6 Lage, Richtung, Höhe und Fläche der Krafteinwirkung

Für den frontalen Anprall an Stützen und den seitlichen Anprall an Wände ist die Anprallkraft horizontal auf einer rechteckigen Fläche von 0,40 m x 1,50 m (bzw. Bauteilbreite, falls kleiner) wirkend anzunehmen. Diese Krafteinwirkung ist sowohl für den Anprall von Fahrzeugen (Fahrzeugchassis) sowie für den Anprall von Fahrzeugaufbauten und Ladungen anzunehmen.

- Beim **frontalen Anprall an Stützen** ist die Anprallkraft unter einem Winkel α zwischen 0 und 30°, ausgehend von der Strassenachse (x-Richtung), anzunehmen (Abb. 3.8a). Massgebend ist der für die Bemessung ungünstigste Anprallwinkel α .
- Beim **seitlichen Anprall an Wände** ist die Anprallkraft in y-Richtung wirkend anzunehmen (Abb. 3.8b).

a) Frontaler Anprall an Stützen



* oder Bauteilbreite bei schmalereem Tragwerk

b) Seitlicher Anprall an Wände

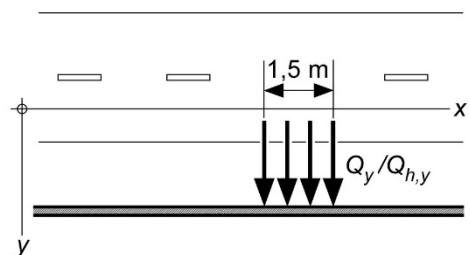


Abb. 3.8 Richtung der Krafteinwirkung

Die horizontal auf eine Fläche von 0,40 m x 1,50 m wirkende Anprallkraft ist auf der Höhe h_Q bzw. h_{Qh} anzusetzen. Die Höhe wird von der Fahrbahn (Abb. 3.9a) bzw. dem Terrain im Fall einer Böschung (Abb. 3.9b) und Abb. 3.9c) bis zur Mitte der Kraftangriffsfläche für den:

Anprall Fahrzeugchassis von $h_Q = 0,8 \text{ m}$

und für den Anprall Fahrzeugaufbauten und Ladungen von $h_{Qh} = 4,0 \text{ m}$ gemessen.

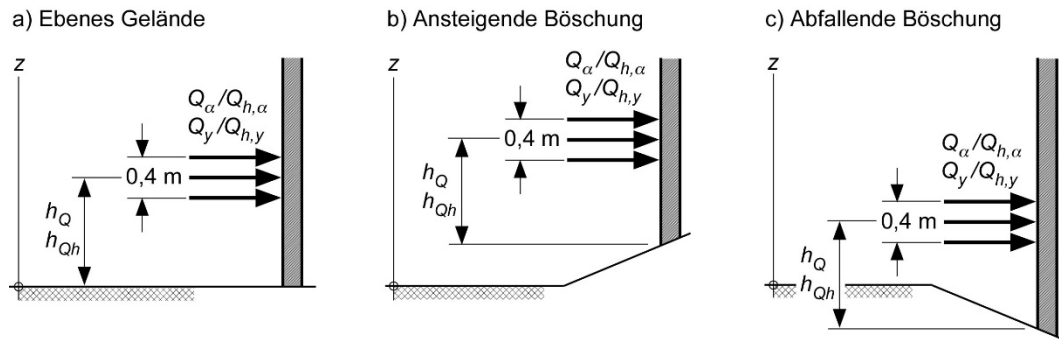


Abb. 3.9 Höhe der Krafteinwirkung

Für den Fall des **frontalen Anpralls von Ladungen und Fahrzeugaufbauten an Überbauten** ist die Anprallkraft horizontal in Fahrtrichtung (x-Richtung) auf einer rechteckigen Fläche von 0,40 m x 1,50 m bzw. der Bauteilhöhe gleichmässig verteilt anzunehmen. In Abb. 3.10 sind Beispiele für den Kraftangriff bei verschiedenen Längsträgern von Brückenüberbauten dargestellt. Bei sehr schmalen Bauteilen, beispielsweise bei Flanschen von Stahlträgern, wirkt die Anprallkraft als Linienlast. Der Kraftangriff erfolgt immer unten am exponierten Bauteil.

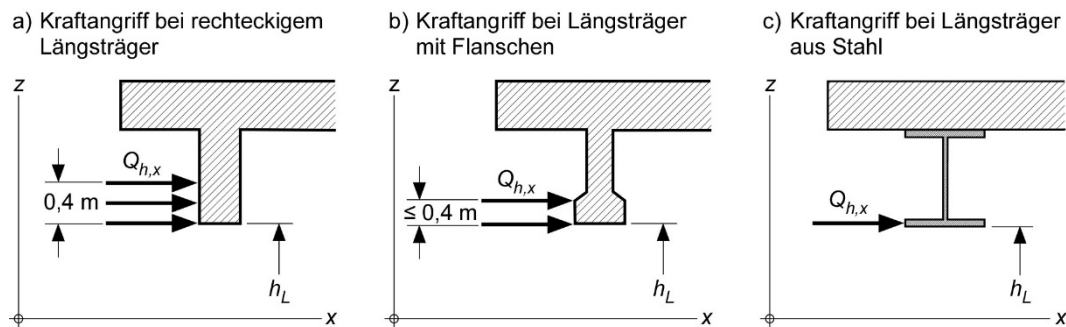


Abb. 3.10 Beispiele für die Grösse der Kraftangriffsfläche bei einem Anprall an unterschiedliche Längsträger

Bezüglich der Lage der Anprallkraft in y-Richtung ist die für die Bemessung des Überbaus ungünstigste Position des Kraftangriffs über den Fahr- und Standstreifen massgebend (Abb. 3.11). Dabei sind auch temporär verschobene Lagen der Fahrstreifen zu berücksichtigen.

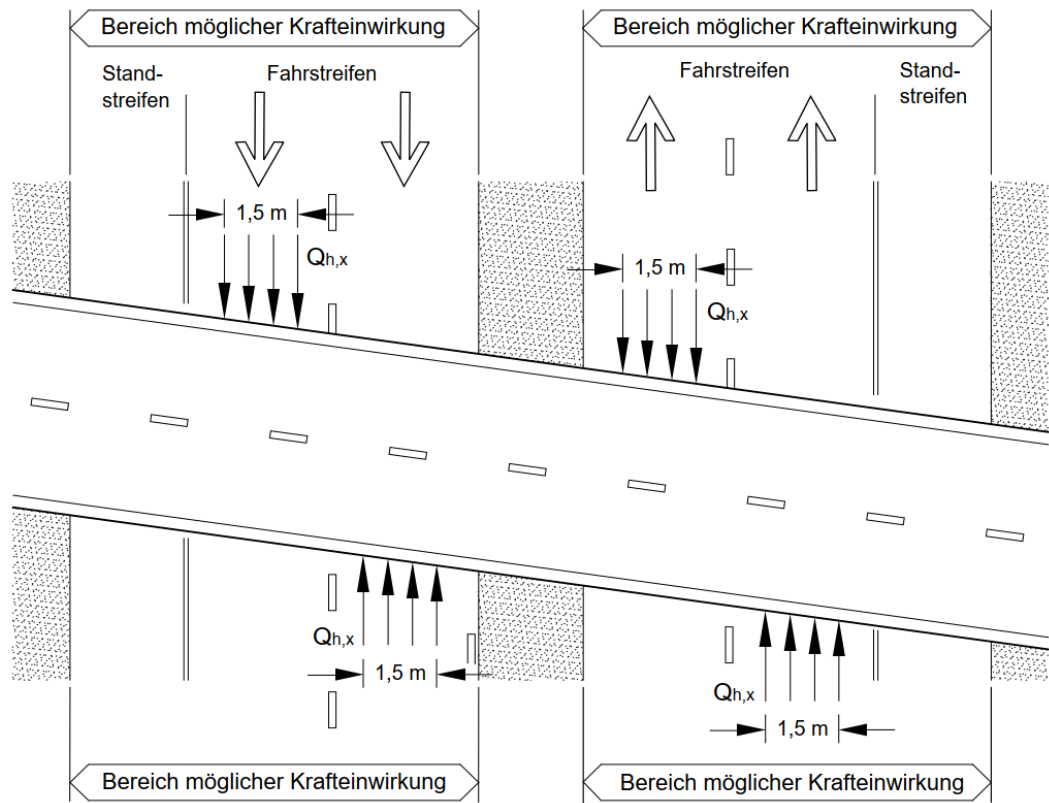


Abb. 3.11 Lage der Krafteinwirkung beim Anprall an Überbauten (Hinweis: die vier dargestellten Lastfälle wirken nicht gleichzeitig)

4 Bestehende Bauwerke

4.1 Rechnerische Beurteilung

Die rechnerische Beurteilung des Tragwiderstands von bestehenden Bauwerken bezüglich Fahrzeuganprall erfolgt gemäss der Norm SIA 269 [13] mit dem sogenannten Erfüllungsgrad. Die Bauwerke sind nach den in der Norm SIA 261 [10] (Ziffer 16.3) resp. der Norm SIA 269/8 Ziffer 10.4 aufgeführten Merkmalen in eine der Bauwerksklassen einzuteilen. Als numerische Aussage, in welchem Mass ein bestehendes Tragwerk die rechnerischen Anforderungen an Neubauten gemäss geltender Norm erfüllt, wird dabei der Erfüllungsgrad n bestimmt. Er ist allgemein definiert als Quotient aus dem normgemässen Widerstand R_d und der normgemässen Auswirkung E_d .

$$n = R_d / E_d \tag{11}$$

Der Erfüllungsgrad n kann auch direkt aus dem Vergleich der Anprallkraft Q_R , für welche der rechnerische Tragsicherheitsnachweis genau erfüllt ist (Grenzzustand der Tragsicherheit) und dem Bemessungswert der Anprallkraft Q_d bzw. Q_{dh} gemäss dieser Richtlinie, bestimmt werden.

$$n = Q_R / Q_d \tag{12}$$

Für die Beurteilung des vorhandenen Widerstandes gegenüber Fahrzeuganprall wird der gemäss Gleichung (11) bzw. (12) ermittelte Erfüllungsgrad n mit dem Mindesterfüllungsgrad n_{min} gemäss Tab. 4.1 verglichen. Die Grenzwerte sind von der BWK gemäss Norm abhängig.

Ist der Erfüllungsgrad grösser als der Mindesterfüllungsgrad n , sind Massnahmen erforderlich, falls die Verhältnismässigkeit gegeben ist. Die Verhältnismässigkeit ist gemäss Kapitel 4.4 zu beurteilen. Ist er kleiner als der Mindesterfüllungsgrad n , sind in jedem Fall Massnahmen erforderlich.

$n \geq n_{min}$ Massnahmen sind erforderlich, falls die Verhältnismässigkeit gegeben ist

$n < n_{min}$ Massnahmen sind erforderlich

Tab. 4.1 Mindesterfüllungsgrad n_{min}

Grenzwerte	Bauwerksklassen I und II	Bauwerksklassen II-i, III
Minimaler Wert, n_{min}	0,40	0,70

4.2 Massnahmen

Die Ziffer 2.1.1 dieser Richtlinie liefert eine Übersicht über Massnahmen zum Schutz des Tragwerks in Bezug auf Fahrzeuganprall. Weiter sind unter Ziffer 2.1.2 mögliche Strategien zur Berücksichtigung des Anpralls angegeben. Bei bestehenden Bauwerken können bauliche Massnahmen zur Verstärkung oder Fahrzeugrückhaltesysteme zum Schutz des Tragwerks vorgesehen werden. Das Risiko eines Anpralls kann auch durch betriebliche Massnahmen reduziert werden.

4.3 Anprallrisiko

Das Anprallrisiko ist von der jeweiligen lokalen Situation abhängig. Faktoren, welche das Risiko ungünstig beeinflussen, sind unter anderem

- Unfallschwerpunkte
- Strassenverlauf, welcher ein Abirren von Fahrzeugen begünstigt (z.B. unstetige Linienführung, enge Kurven)
- in Bezug auf Fahrzeuganprall ungünstige Anordnungen des Tragwerks (z.B. Lage nahe bei Ausfahrten von Autobahnen und Autostrassen)

4.4 Verhältnismässigkeit von Massnahmen

Die Verhältnismässigkeit ist gemäss Norm SIA 269 [13] Ziffer 5.4 resp. Norm SIA 269/8 [15] Ziffer 10 zu beurteilen. Ein Anwendungsbeispiel nach Norm SIA 269 ist im Anhang VI enthalten.

Anhänge

I	Grundlagen der Stossbelastung.....	29
II	Grundlagen der probabilistischen Berechnung der Anprallkraft	31
II.1	Modell der probabilistischen Berechnung	31
II.2	Probabilistische Berechnung gemäss ENV 1991	31
II.3	Probabilistische Berechnung mit realistischeren Variablen	32
III	Abirren von Strassenfahrzeugen.....	33
III.1	Übersicht	33
III.2	Abirrdistanz	33
III.3	Abirrwinkel.....	33
IV	Wirksame Fahrzeugmasse	35
IV.1	Allgemeines	35
IV.2	Zusammensetzung des Schwerverkehrs	35
IV.3	Verteilung der wirksamen Fahrzeugmasse.....	35
V	Anprall an Überbauten.....	37
V.1	Allgemeines	37
V.2	Schadenbilder	37
V.3	Häufigkeit	39
VI	Verhältnismässigkeit von Massnahmen, Beispiel	40
VI.1	Anwendungsbeispiel: Anprall von Strassenfahrzeugen auf Leitmauern auf Brücken .	40

I Grundlagen der Stossbelastung

(Anhang nur informativ)

Der Anprall von Strassenfahrzeugen an Stahlbetonteile hat eine stossartige Beanspruchung des getroffenen Bauteils zur Folge. Im Gegensatz zu Explosions- und Sprungbelastungen handelt es sich dabei um eine eigentliche Stossbelastung. Bei Stossbelastungen werden sogenannte harte und weiche Stösse unterschieden.

Beim **harten Stoss** trifft ein sehr steifer meistens vergleichsweise kleiner Körper mit grosser Geschwindigkeit auf das Stahlbetonteil, dringt in dieses ein (Penetration) und durchdringt es (Perforation). Der stossende Körper wird dabei praktisch nicht verformt. Die Stosszeit ist sehr kurz und der Stossvorgang ist äusserst komplex. Er kann analytisch nicht exakt erfasst werden. Die Beanspruchung des getroffenen Tragelements ist durch Materialverdrängung im Allgemeinen und durch Betonabplatzungen an der Bauteilvorder- und -rückseite ("Spalling" und "Scabbing") gekennzeichnet. Diese Versagensarten treten bei einer statischen Belastung nicht auf.

Der **weiche Stoss** ist dadurch gekennzeichnet, dass der grösste Teil der kinetischen Energie des aufprallenden Körpers durch plastische Verformung aufgenommen wird. Beim weichen Stoss prallen wenig steife, deformierbare Körper auf vergleichsweise steife Bauteile. In Bezug auf die Versagens- und Bruchmechanismen unterscheiden sich weiche Stösse nicht wesentlich von einer statischen Belastung. Die Stossbeanspruchung führt beim getroffenen Bauteil zu einem Durchstanzen (Schubversagen) oder zur Bildung von Fließgelenken (Biegeversagen). Die Einwirkungen des weichen Stosses können durch statische Ersatzlasten beschrieben werden.

Der Fahrzeuganprall an ein Tragelement kann üblicherweise als weicher Stoss betrachtet werden, da beim Anprall auf das Bauteile aus Stahlbeton der grösste Teil der kinetischen Energie des Fahrzeugs durch die plastische Verformung des Fahrzeugs aufgenommen wird. In selteneren Fällen können steife Ladungen, beispielsweise Stahlträger oder steife Lastwagenaufbauten wie Krane, bei einem Anprall auch harte Stösse verursachen.

Massnahmen um Tragwerke gegenüber Fahrzeuganprall zu schützen sind unter anderem der Einsatz von Schutzeinrichtungen [8] [10]. Die Anordnung von Schutzeinrichtungen kann bei harten und bei weichen Stössen zweckmässig sein. Bestehen keine Möglichkeiten zur Verringerung der Wahrscheinlichkeit eines Anpralls, ist der Widerstand des Tragelements auf die Anpralleinwirkung auszulegen. In Bezug auf den harten Stoss ist der Einsatz von Schutzschichten aus Beton oder Stahl zum Schutz des Bauteils gegen Penetration zweckmässig. Die Massnahme bei weichen Stössen ist die adäquate Bemessung des Tragwerks bezüglich der einwirkenden Stosskraft.

Die nachfolgend als massgebende Einwirkungen für die Bemessung von Tragwerken angegebenen Anprallkräfte beziehen sich auf die von Schweren Lastfahrzeugen erzeugten weichen Stösse.

Einwirkung auf Bauteil	Stossbelastung	
	weicher Stoss	harter Stoss
Physik. Modell, Problemstellung		
Ursachen des Anpralls (anprallender Körper)	<ul style="list-style-type: none"> – Fahrzeugkarosserie – Verkleidungen, Verdecke – wenig steife Ladungen 	<ul style="list-style-type: none"> – sehr harte, steife Ladungen – steife Fahrzeugaufbauten (z.B. Kran, Container)
Versagensarten	<p>Schubversagen Biegeversagen</p>	<p>Spalling Scabbing</p> <p>Penetration Perforation</p>
Massnahmen	<p>Bemessung</p>	<p>Schutzschicht</p>

Abb. I.1 Übersicht Stossbelastungen

II Grundlagen der probabilistischen Berechnung der Anprallkraft

(Anhang nur informativ)

II.1 Modell der probabilistischen Berechnung

Die Höhe der Anprallkraft bei einem Anprall eines Strassenfahrzeugs an ein Tragwerksteil neben der Strasse, wird hauptsächlich durch die folgenden Parameter bestimmt:

- Fahrzeugmasse, m
- Abirrgeschwindigkeit, v
- Abirrwinkel, α
- Fahrzeugverzögerung, a
- Fahrzeugsteifigkeit, k

Im Fall einer probabilistischen Berechnung der Anprallkraft werden die Variablen nicht als feste (deterministische) Grössen, sondern als durch ihre Verteilungsfunktion definierte Bemessungsvariablen eingeführt. Die Resultate sind Anprallkräfte, die mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit auftreten. Das einer solchen, probabilistischen Berechnung zu Grunde liegende Modell ist in der Abb. II.1 synoptisch dargestellt.

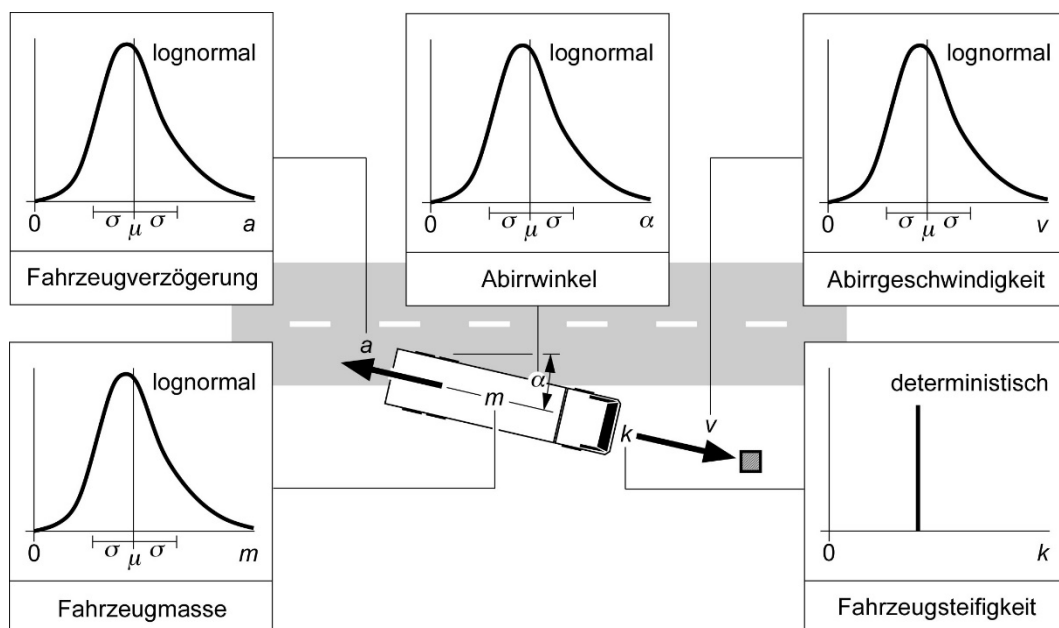


Abb. II.1 Modell der probabilistischen Berechnung der Anprallkraft

II.2 Probabilistische Berechnung gemäss ENV 1991

Im Anhang A der Norm SN EN 1991-2-7 (Eurocode 1 [6]) sind die für eine probabilistische Berechnung der Anprallkraft notwendigen Variablen definiert. Für die Abirrgeschwindigkeit, die Fahrzeugverzögerung und die Fahrzeugmasse sind Verteilungsfunktionen mit Verteilungstyp, Mittelwert und Standardabweichung angegeben. Sowohl der Abirrwinkel sowie die Fahrzeugsteifigkeit werden als deterministische Werte angegeben. Die Variablen finden sich in der Abb. II.2.

Abb. II.2 Variable zur probabilistischen Berechnung der Anprallkraft gemäss SN EN 1991-2-7 [6], Annex A, Tabelle A.1

Variable	Physikalische Grösse	Verteilungstyp	Mittelwert	Standard-abweichung
			μ	σ
v	Abirrgeschwindigkeit			
	- Autobahn	lognormal	80 km/h	10 km/h
	- Städtisches Gebiet	lognormal	40 km/h	8 km/h
a	Fahrzeugverzögerung	lognormal	4 m/s ²	1,3 m/s ²
m	Fahrzeugmasse			
	- Schweres Lastfahrzeug	normal	20'000 kg	12'000 kg
	- Personenwagen	deterministisch	1'500 kg	
α	Abirrwinkel	deterministisch	30°	
k	Fahrzeugsteifigkeit	deterministisch	300 kN/m	

II.3 Probabilistische Berechnung mit realistischeren Variablen

Die probabilistische Berechnung der Anprallkraft mit den Variablen gemäss Abb. II.2 ergibt auch in grossen Distanzen zum Fahrbahnrand hohe Anprallkräfte, welche mit einer vergleichsweise grossen Wahrscheinlichkeit auftreten. Beispielsweise werden 20 m vom Fahrbahnrand entfernt 1'000 kN noch mit einer Wahrscheinlichkeit von 65% erreicht. Diese Ergebnisse müssen als wenig realistisch beurteilt werden. Die Gründe dafür sind der grosse und mit 30° deterministisch definierte Abirrwinkel α sowie die als Normalverteilung definierte Fahrzeugmasse m .

Für eine realistischere Berechnung der Anprallkräfte wird der Anprallwinkel gemäss der im Anhang III angegebenen Verteilung definiert. Gemäss dieser Verteilung sind Winkel von 30° selten und kommen nur bei 10% der Abirrunfälle vor. Der mittlere Abirr- bzw. Anprallwinkel ist wesentlich kleiner und beträgt ca. 15°. Gemäss Abb. III.2, Anhang III, wird der Abirrwinkel α als lognormal-verteilte Variable mit einem Mittelwert von $\mu = 15^\circ$ und einer Standardabweichung von $\sigma = 12,5^\circ$ definiert.

Die Fahrzeugmasse m wird ebenfalls mit einer Lognormal-Verteilung definiert. Da bei diesem Verteilungstyp keine negativen Werte möglich sind, ist er definitionsgemäss besser geeignet als die Normalverteilung. Aufgrund der Ergebnisse der Untersuchung [8] wird die Fahrzeugmasse als Lognormal-Verteilung mit $\mu = 12'000$ kg und $\sigma = 6'000$ kg beschrieben. Diese Verteilung entspricht weitgehend der in Abb. IV.1, Anhang IV, angegebenen Verteilung.

In der folgenden Tabelle sind die für die probabilistische Berechnung der Anprallkraft verwendeten Bemessungsvariablen zusammengestellt.

Abb. II.3 Zur probabilistischen Berechnung der Anprallkraft für Schwere Lastfahrzeuge und Autobahnen verwendete Variablen

Variable	Physikalische Grösse	Verteilungstyp	Mittelwert	Standard-abweichung
			μ	σ
v	Abirrgeschwindigkeit ¹⁾	lognormal	80 km/h	10 km/h
a	Fahrzeugverzögerung ¹⁾	lognormal	4 m/s ²	1,3 m/s ²
m	Fahrzeugmasse ²⁾	lognormal	12'000 kg	6'000 kg
α	Abirrwinkel ³⁾	lognormal	15°	12,5°
k	Fahrzeugsteifigkeit ¹⁾	deterministisch	300 kN/m	

¹⁾ gemäss ENV 1991-2-7 [6]

²⁾ gemäss Bürkel Baumann und Schuler [24]

³⁾ gemäss Vulin, Quincy [36]

III Abirren von Strassenfahrzeugen

(Anhang nur informativ)

III.1 Übersicht

Der Bereich neben der Strasse, in dem eine Bemessung auf Fahrzeuganprall relevant ist, ist abhängig vom Abirrverhalten der Fahrzeuge. Die seitliche Distanz, bis zu welcher Fahrzeuge abirren und der Winkel, unter welchem die abirrenden Fahrzeuge die Fahrbahn verlassen, sind keine festen Grössen. Nachfolgend werden Verteilungen für die Abirrdistanz und den Abirrwinkel angegeben.

III.2 Abirrdistanz

Die "American Association of State Highway and Transportation Officials" (AASHTO) [19] gibt eine Wahrscheinlichkeitsverteilung für die seitliche Distanz an, mit der von der Strasse abgekommene Fahrzeuge abirren. Die angegebene Verteilung basiert auf Beobachtungen von Abirrunfällen in vergleichsweise ebenen Mittelstreifen von Autobahnen. Sie ist jedoch statistisch nicht abgesichert [19]. Die Wahrscheinlichkeitsverteilung, Abb. III.1, zeigt, dass eine Abirrdistanz von 10 m bei weniger als 20% aller Unfälle erreicht bzw. überschritten wird.

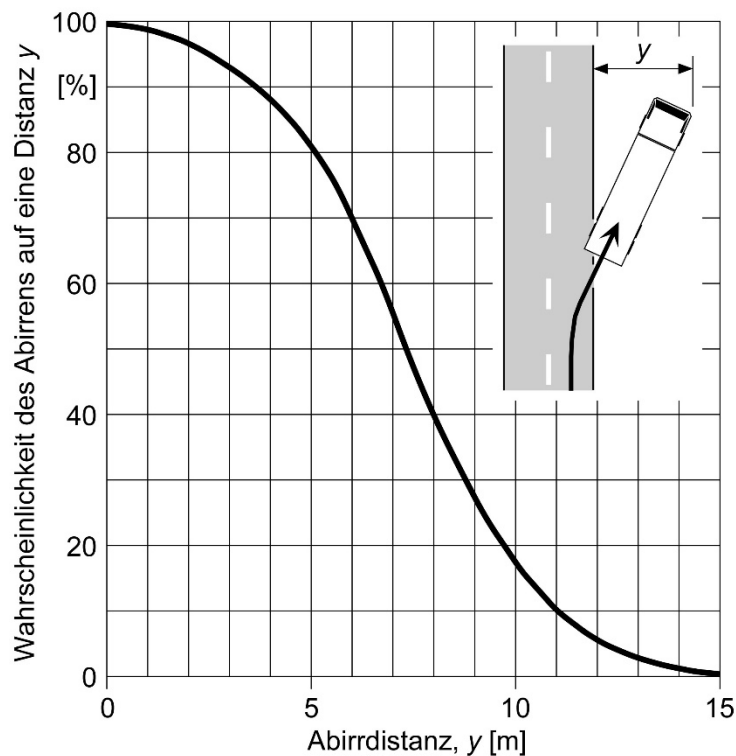


Abb. III.1 Wahrscheinlichkeitsverteilung der seitlichen Abirrdistanz in ebenen Mittelstreifen von Autobahnen nach [19] (modifizierte Darstellung)

III.3 Abirrwinkel

Vulin und Quincy [36] haben Abirrunfälle in Mittelstreifen auf Autobahnen untersucht. Die Abb. III.2 zeigt die dabei festgestellte Verteilung der Anprallwinkel an die Schutzeinrichtungen im Mittelstreifen. Aus der Verteilung geht hervor, dass der Winkel unter dem die Fahrzeuge abirren, nur bei 10% der Unfälle mehr als 30° beträgt. Auf Grund der Resultate einer

anderen zitierten Studie (Duverge) sind Abirrwinkel mit mehr als 30° sogar nur in 5% der Fälle zu erwarten.

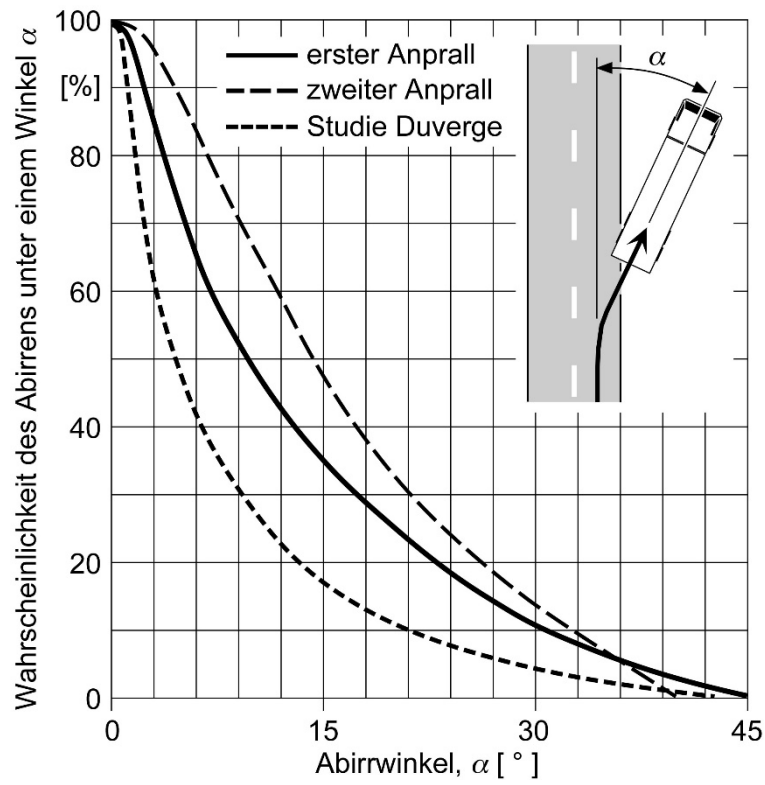


Abb. III.2 Wahrscheinlichkeitsverteilung der Anprallwinkel an Schutzeinrichtungen im Mittelstreifen von Autobahnen nach [16] (modifizierte Darstellung)

IV Wirksame Fahrzeugmasse

(Anhang nur informativ)

IV.1 Allgemeines

Für die Beurteilung des Anpralls an Tragwerke oder Schutzeinrichtungen ist eine Analyse des Schwerverkehrs notwendig. Im Rahmen einer für die Kantone Bern und Solothurn durchgeführten Forschungsarbeit [24] wurde die Zusammensetzung des Schwerverkehrs nach Fahrzeugart, Gesamtgewicht und Beladung untersucht. Dabei zeigte sich, dass die bei einem Anprall wirksame Fahrzeugmasse üblicherweise wesentlich geringer ist als das zulässige Maximalgewicht des Lastfahrzeugs.

IV.2 Zusammensetzung des Schwerverkehrs

Die Analysen der Zusammensetzung des Schwerverkehrs nach Fahrzeugart und Gesamtgewicht auf Grund von Verkehrszählungen und der Auswertung verschiedener statistischer Quellen ergaben im Wesentlichen identische Resultate. Die Zählung des Schwerverkehrs auf der Autobahn N1 zeigt, dass Lastwagen, Lastenzüge und Sattelzüge je etwa einen Drittel des Schwerverkehrs ausmachen. Nur ein kleiner Prozentsatz der Schwere Lastfahrzeuge sind Busse:

- Lastwagen: 30%
- Bus: 3%
- Lastenzug: 34%
- Sattelzug: 33%

Die Zusammensetzung des Schwerverkehrs auf Grund des Gesamtgewichts der Schwere Lastfahrzeuge (*SLF*) zeigt das folgende Bild:

- Ein Drittel der *SLF* haben ein Gesamtgewicht <10'000 kg
- Die Hälfte der *SLF* haben ein Gesamtgewicht <15'000 kg
- 10% der *SLF* sind schwerer als 28'000 kg

IV.3 Verteilung der wirksamen Fahrzeugmasse

Die bei einem Anprall wirksame Fahrzeugmasse entspricht in den meisten Fällen nicht dem maximalen Gesamtgewicht des Fahrzeugs. Die Fahrzeugmasse, die dynamisch am Anprall beteiligte ist und als wirksame Masse bezeichnet wird, kann aus den folgenden Gründen wesentlich geringer sein:

- Die Lastfahrzeuge sind leer oder nur teilweise beladen
- Die Ladung ist nicht starr mit dem Fahrzeug verbunden
- Es handelt sich um zusammengesetzte Fahrzeuge (Lastenzug, Sattelzug)

In der Abb. IV.1 ist die im Rahmen der Forschungsarbeit [24] ermittelte Verteilung der wirksamen Fahrzeugmasse dargestellt. Verglichen mit dem maximal zulässigen Gesamtgewicht der Schwere Lastfahrzeuge sind die wirksamen Fahrzeugmassen gering. 95% aller Fahrzeuge weisen eine wirksame Fahrzeugmasse von 15'000 kg oder weniger auf.

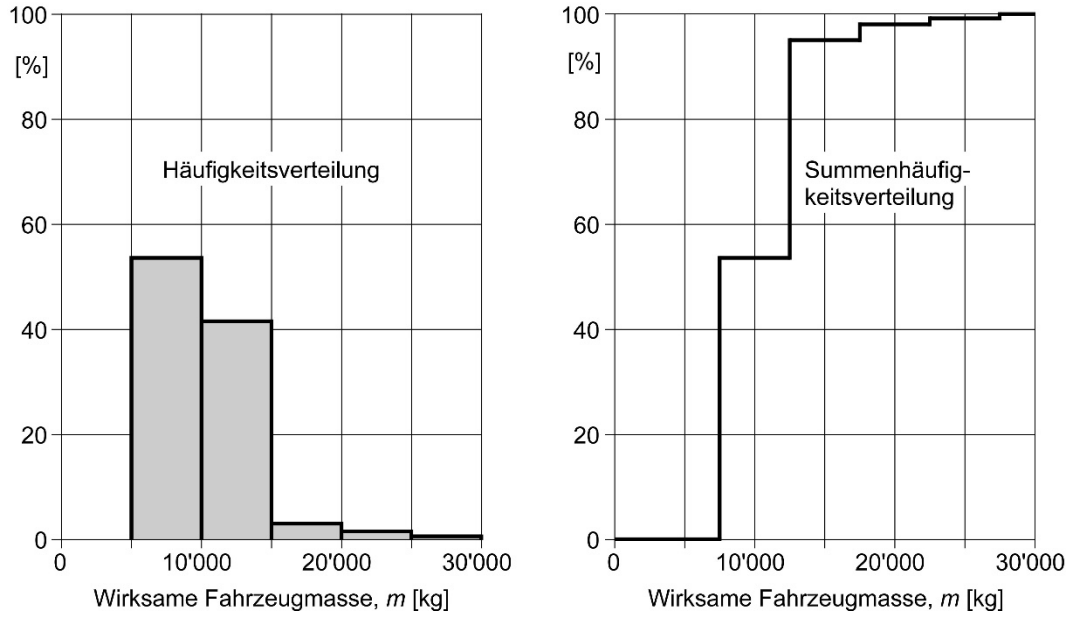


Abb. IV.1 Häufigkeits- und Summenhäufigkeitsverteilung der wirksamen Fahrzeugmasse von Schweren Lastfahrzeugen (SLF) nach [24]

V Anprall an Überbauten

(Anhang nur informativ)

V.1 Allgemeines

Durch Anprall hervorgerufene Schäden an Überbauten über Strassen sind vergleichsweise häufig [23]. In Frankreich, Deutschland und in Grossbritannien werden pro Jahr jeweils etwa 250 Schadenfälle angegeben. In Anbetracht der Grösse dieser Staaten muss für die Schweiz mit jährlich etwa 30 Ereignissen gerechnet werden.

V.2 Schadenbilder

Da die Fahrzeugaufbauten sowie die Ladungen in einer Vielzahl der Fälle vergleichsweise leicht und wenig steif sind, sind im Allgemeinen auch die durch den Anprall hervorgerufenen Schäden marginal [31].

Zurückzuführen war der Unfall in der Abb. V.1 auf die falsche Verladung eines Baggers. Die lichte Höhe unter der Brücke war gerade 4.50 m, aber der Transport der eher kleinen Baumaschine hatte >4.80 m und die Überführung war das erste Objekt nach der Rampe in Baden-Dättwil mit einer Höhe von < 4.8 m.



Abb. V.1 A1-Unfall Birmenstorf, 2014

Die Abb. V.2a zeigt einen solchen "harmlosen" Anprall eines Kippers an eine Brücke. Die Abb. V.2b und Abb. V.2c zeigen durch Anprallereignisse hervorgerufene schwerere Schäden an der Bewehrung. Solche Ereignisse können die Tragsicherheit von Brücken gefährden.

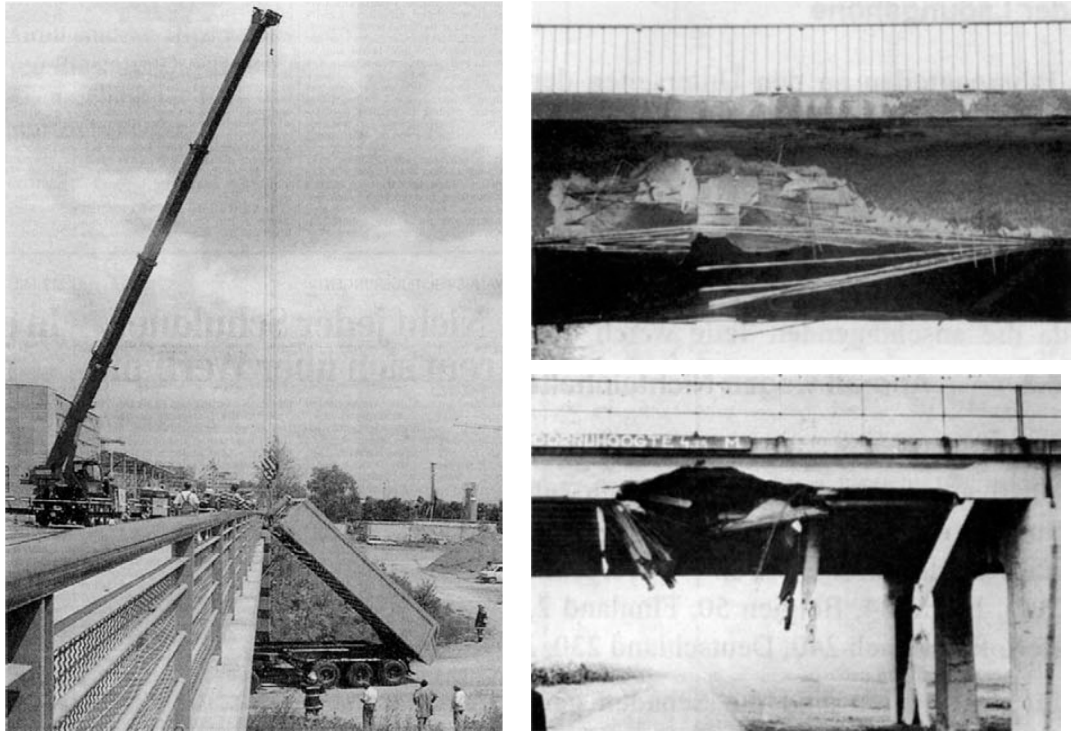


Abb. V.2 Anprallbeispiele aus [31]. a. Links: Anprall eines Kippers an eine Brücke (Deutschland 1999), b. oben rechts: Schaden an schlaffer Bewehrung (Deutschland, 1993), c. unten rechts: Schaden an Spannbewehrung (Niederlande)

V.3 Häufigkeit

In der Abb. V.3 sind die durchschnittlich pro Jahr bei Bahnbrücken in Grossbritannien registrierten Anprallereignisse an Brückenüberbauten als Histogramm dargestellt. Vergleichen mit dem in der Schweiz minimal vorhandenen lichten Höhe von $h_L = 4,5$ m [30], treten bei der dargestellten Häufigkeitsverteilung ein Viertel aller Ereignisse bei grösseren Durchfahrts Höhen auf. Der Anprall von Fahrzeugladungen oder -aufbauten an höher als 6,0 m gelegene Überbauten dagegen ist wenig wahrscheinlich.

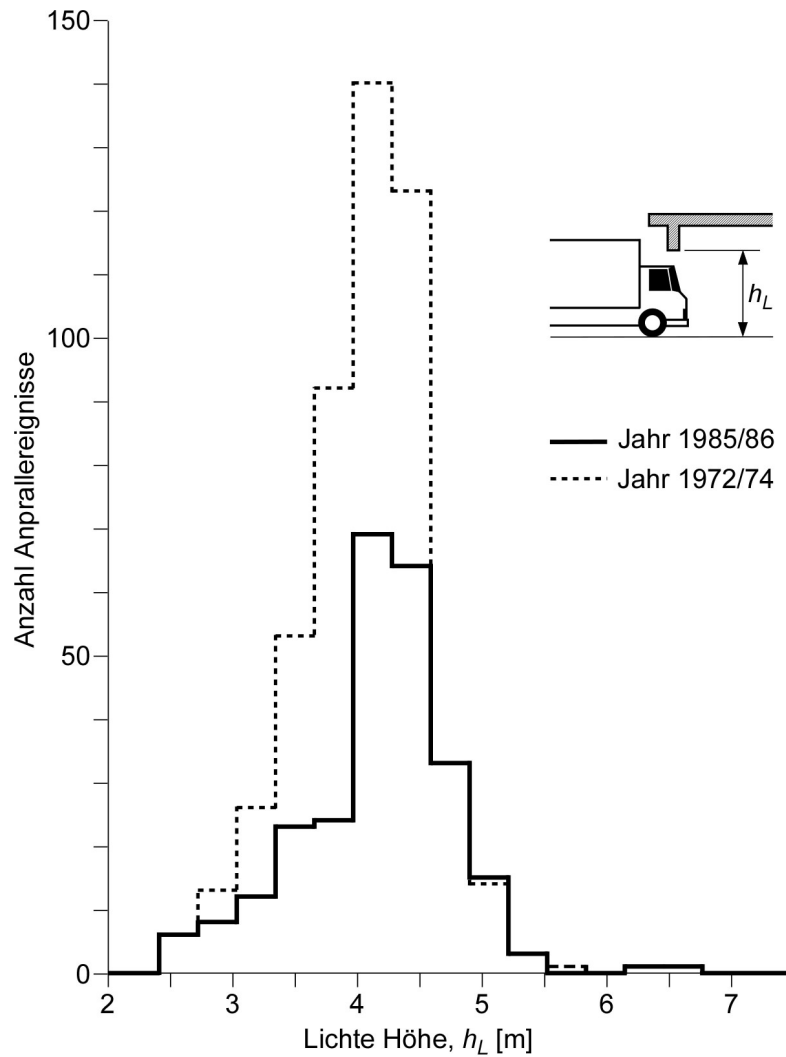


Abb. V.3 Verteilung (Histogramm) von Anprallereignissen an Überbauten von Bahnbrücken in Grossbritannien gemäss [35] (modifizierte Darstellung)

VI Verhältnismässigkeit von Massnahmen, Beispiel

VI.1 Anwendungsbeispiel: Anprall von Strassenfahrzeugen auf Leitmauern auf Brücken

Im Rahmen der Überprüfung einer bestehenden Autobahnbrücke (Inbetriebnahme 1968) werden die Leitmauern aus Stahlbeton hinsichtlich allenfalls notwendiger Sicherheitsmassnahmen untersucht. Die Verhältnismässigkeit von sicherheitsrelevanten, baulichen Erhaltungsmassnahmen wird unter Verwendung der Vorgaben in Kapitel 4 gemäss folgenden 8 Schritten untersucht:

Schritt 1: Bisherige Nutzung und Nutzungsanforderungen

Während der bisherigen Nutzungsdauer von 55 Jahren wurde die Autobahnbrücke, die zur Bauwerksklasse III zugehörend eingestuft wird, vom gesetzlich zugelassenen Strassenverkehr genutzt. Bisher traten keine nennenswerten Anprallereignisse auf. Der Nutzungszustand der Brücke bleibt während der vereinbarten, künftigen Nutzungsdauer von 50 Jahren unverändert. Baukosten für sicherheitsrelevante Erhaltungsmassnahmen werden folglich über 50 Jahre amortisiert. In 50 Jahren wird die Situation neu beurteilt werden.

Schritt 2: Beschreibung der aussergewöhnlichen Überprüfungssituation «Anprall auf Leitmauer»

Die aussergewöhnliche Überprüfungssituation (Gefährdungsbild) betrifft den seitlichen Anprall eines Lastwagens (mit der gesetzlich zugelassenen maximalen Masse) auf das Rückhaltesystem in Form einer Leitmauer auf einer Brücke gemäss Abb. 2.6a.

Es wird angenommen, dass der Lastwagen die Leitmauer durchdringt und über eine Höhe von 30 m auf das Gelände unter der Brücke stürzt und einen Sachschaden von 3,5 Million CHF verursacht.

Zusätzlich verursacht der Unfall auch 2 Personenopfer. Gemäss der Norm SIA 269 werden für ein gerettetes Menschenleben 3 bis 10 Millionen Franken angenommen. Mit Bezug auf Angaben des Bundesamts für Raumentwicklung [37] zur «Zahlungsbereitschaft» wird ein Wert von 6,9 Millionen CHF pro gerettetes Menschenleben angenommen.

Somit resultiert ein geschätzter Gesamtschaden von $D = 3,5 + 2 \times 6,9 = 17,3$ Millionen CHF.

Schritt 3: Ermittlung der Überprüfungswerte der Auswirkung

Unter Anwendung von Kapitel 3.4 wird ein seitlicher Anprall mit einer Anprallkraft von $Q_{d,y} = 500$ kN angenommen. Diese konzentrierte Anprallkraft wirkt auf einer Höhe von 1,37 m oberhalb des Einspannquerschnitts der Leitmauer über eine Breite von 1,5 m ein. Der Überprüfungswert des Biegemoments im Einspannquerschnitt wird mittels einer Modellierung des massgebenden Bruchmechanismus ermittelt und beträgt $M_{dy,act} = 229$ kNm/m.

Schritt 4: Ermittlung des Überprüfungswerts des Tragwiderstands

Die Aktualisierung des Tragwiderstands der Leitmauer gemäss den Vorgaben der Normen SIA 269ff beinhalten folgende Aspekte:

- Vergleich der Abmessungen der Leitmauer mit den Vorgaben gemäss Ausführungsplan
- Die Aktualisierung der massgebenden Festigkeit des Betonstahls von 1968 berücksichtigt das Verfestigungsverhalten des Stahls und die höhere Festigkeit (von

- etwa 15%) bei stossartigen Beanspruchungen. Im vorliegenden Fall führt dies zu einem Überprüfungswert der Stahlfestigkeit von $f_{sd} = 460$ MPa.
- Die Aktualisierung der Festigkeit des Betons durch zerstörungsfreie Prüfungen (Rückprallhammer) führt unter Berücksichtigung der Festigkeitszunahme (von etwa 40%) bei stossartigen Beanspruchungen zum Überprüfungswert der Betonfestigkeit von $f_{cd} = 42$ MPa, der jedoch nicht massgebend wird für die Biegebeanspruchung und die Aufnahme der Querkraft.
 - Widerstandsmodell mit Plastifizierung des Biegequerschnitts (Einspann-Querschnitt) unter Berücksichtigung eines Bruchmechanismus, der eine mitwirkende Länge der Leitmauer aktiviert. Der Bruchmechanismus gemäss Abb. 2.5 wird untersucht.

Diese Untersuchungen im Rahmen der nach der Norm SIA 269 durchzuführenden Aktualisierungen führen schliesslich zum massgebenden (deterministischen) Überprüfungswert $M_{Rd,act} = 203$ kNm/m.

Bemerkung: Eine erste Ermittlung des Tragwiderstands unter Verwendung einzig der Angaben in den Bauwerksakten und einer einfachen, elastischen Tragwerksanalyse, führt zu einem Überprüfungswert von nur $M_{Rd,act} = 125$ kNm/m, der sehr wahrscheinlich unrealistisch tief ist und somit für weitere Betrachtungen keine Relevanz hat. Dies zeigt auf, dass die Überprüfungssituation «Anprall» immer eine Detaillierte Überprüfung gemäss SIA 269 Ziffer 6.1.4 erfordert.

Schritt 5: Erfüllungsgrad und Beurteilung, Abschätzung der Versagenswahrscheinlichkeit

Gemäss dem deterministischen Nachweis der Tragsicherheit beträgt der Erfüllungsgrad:

$$n = \frac{M_{Rd,act}}{M_{dy,act}} = \frac{203 \text{ kNm/m}}{229 \text{ kNm/m}} = 0,89$$

Dieser Erfüllungsgrad ist kleiner als 1. Die Tragsicherheit ist nicht erfüllt. Gemäss Kapitel 4.1 ist die Verhältnismässigkeit von sicherheitsrelevanten Massnahmen zu untersuchen, denn $n = 0,89 \geq n_{min} = 0,70$.

Eine weitere Aktualisierung der Schritte 3 und 4 ist im Moment nicht angezeigt. Es soll zunächst die Verhältnismässigkeit von sicherheitsrelevanten Massnahmen untersucht werden.

Zur nachfolgenden Beurteilung der Verhältnismässigkeit der sicherheitsrelevanten Massnahme „Verstärkung oder Ersatzneubau der Leitmauer“ ist es notwendig, die Versagenswahrscheinlichkeit, welche dem Erfüllungsgrad von $n = 0,89$ entspricht, zu ermitteln. Dazu gibt es Untersuchungen und Angaben in der Literatur.

Der kleinste Zielwert der Versagensrate gemäss Norm SIA 269 Anhang B (Tabelle 2) liegt bei 10^{-6} pro Jahr, was implizit einem Erfüllungsgrad von $n = 1,0$ entsprechend angenommen werden kann. Für den vorliegenden Fall mit einem Erfüllungsgrad von $n = 0,89$ kann gemäss dem VSS Bericht Nr 623 [38] Kapitel 3.6.3 (Zusammenhang Erfüllungsgrad / Versagenswahrscheinlichkeit) ein Zuverlässigkeitsindex $\beta_0 \approx 3,1$ entnommen werden, was einer Versagensrate von etwa 10^{-3} pro Jahr entspricht.

Schritt 6: Projektierung der sicherheitsrelevanten Erhaltungsmassnahme und Ermittlung der sicherheitsrelevanten Baukosten

Die sicherheitsrelevante Erhaltungsmassnahme wird gemäss zwei Optionen: 1) Verstärkung und 2) Ersatzneubau der Leitmauer projektiert, möglichst auf Stufe Vorprojekt. Die gesamten Baukosten der Erhaltungsmassnahme werden geschätzt. Daraus sind die Kosten zu ermitteln, welche einzig die sicherheitsrelevante Erhaltungsmassnahme betreffen¹.

¹ Bei Leitmauern aus Stahlbeton sind bedeutende Schäden infolge Chlorid-induzierter Bewehrungskorrosion üblich. Die Instandsetzung dieser Schäden ist bekanntlich aufwändig.

Im vorliegenden Fall hat die Projektierung ergeben, dass eine Verstärkung unter Einsatz von UHFB kostengünstiger (und nachhaltiger) ist als der Ersatzneubau der Leitmauer. Die ermittelten, sicherheitsrelevanten Kosten betragen $C_I = 2,6$ Millionen CHF.

Schritt 7: Ermittlung der Massnahmeneffizienz

Die Verhältnismässigkeit der sicherheitsrelevanten Massnahme wird nun unter Anwendung der Norm SIA 269, Ziffer 5.4, beurteilt, indem die Massnahmeneffizienz anhand des Koeffizienten EF_M ermittelt wird:

$$EF_M = \frac{\Delta R_M}{\Delta SC_M}$$

Die Risikoreduktion (als «Nutzen» der sicherheitsrelevanten Kosten) ist das Produkt der Reduktion der Eintretenswahrscheinlichkeit Δp_f mit der Schadensgrösse D :

$$\Delta R_M = \Delta p_f \cdot D$$

Durch die sicherheitsrelevante Erhaltungsmassnahme wird die Eintretenswahrscheinlichkeit reduziert auf einen Wert kleiner als 10^{-6} pro Jahr, denn die Bemessung der Massnahme erfüllt die Anforderungen an die Tragsicherheit gemäss den Normen SIA 269 resp. SIA 260.

Die Differenz zwischen der Eintretenswahrscheinlichkeit vor und nach der Realisierung der sicherheitsrelevanten Erhaltungsmassnahme beträgt somit:

$$\Delta p_f = p_{f,0} - p_{f,neu} = 10^{-3} - 10^{-6} \cong 10^{-3} / \text{Jahr}.$$

Die Schadensgrösse gemäss der aussergewöhnlichen Überprüfungssituation gemäss Schritt 2 beträgt $D = 17.3$ Millionen CHF.

Die Risikoreduktion nimmt schliesslich folgenden Wert an:

$$\Delta R_M = 10^{-3} / \text{Jahr} \cdot 17,3 \cdot 10^6 \text{CHF} = 17'300 \text{CHF} / \text{Jahr}$$

Die *Sicherheitskosten*, formuliert als diskontierter, jährlicher monetärer Wert über den betrachteten Zeitraum von 50 Jahren, die der eigentlichen Sicherung des Tragwerks (Leitmauer) angelastet werden, betragen:

$$SC_M = DF \cdot C_I$$

Als Diskontzinssatz wird im Bereich der Strasseninfrastruktur oft $i = 2\%$ angesetzt. Daraus ergibt sich folgender Diskontierungsfaktor DF :

$$DF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = 0,032 [1/\text{Jahr}]$$

Somit betragen die Sicherheitskosten:

$$SC_M = 2'600'000 \cdot 0,032 = 83'200 \text{CHF} / \text{Jahr}$$

und der Wert der Massnahmeneffizienz beträgt schliesslich:

$$EF_M = \frac{\Delta R_M}{SC_M} = \frac{17'300}{83'200} = 0,21 \ll 1,0$$

Der Koeffizient EF_M ist deutlich kleiner als 1.

Schritt 8: Beurteilung der Verhältnismässigkeit der sicherheitsrelevanten Erhaltungsmassnahme

In Anwendung der Ziffern 5.4.3 und 6.3 der Norm SIA 269 sind die Ergebnisse der Schritte 1 bis 7 in jedem Fall zu beurteilen. In der Regel:

- ist die sicherheitsrelevante Erhaltungsmassnahme unverhältnismässig und darf nicht ausgeführt werden, falls der rechnerische Wert der Massnahmeneffizienz $EF_M < 0,5$ ist.

- Umgekehrt muss die sicherheitsrelevante Massnahme ausgeführt werden, falls $EF_M > 2,0$.
- Bei rechnerischen Werten der Massnahmeneffizienz von $0,5 < EF_M < 2,0$ ist in jedem Fall eine Sensitivitätsanalyse durchzuführen, denn angesichts der teilweise grob geschätzten Werte ist das Ergebnis nicht eindeutig.

Im vorliegenden Beispiel ist der Wert der Massnahmeneffizienz EF_M deutlich kleiner als 0,5. Folglich ist die sicherheitsrelevante Erhaltungsmassnahme unverhältnismässig und darf nicht ausgeführt werden.

Falls bereits Geldmittel für die Massnahme bereitgestellt wurden, dann sind diese – im Sinne eines haushälterischen Umgangs mit öffentlichen Geldern – in Sicherheitsmassnahmen zu investieren, die verhältnismässig sind und den Benutzern der Strasseninfrastruktur einen echten Mehrwert bringen.

Aus diesem Grund sollte die Verhältnismässigkeit der sicherheitsrelevanten Erhaltungsmassnahme immer im Projektteam und zusammen mit den Vertretern der Bauwerkseigentümerschaft beurteilt werden.

Schritt 9: Sensitivitätsanalyse

Bei einer Sensitivitätsanalyse sind die wichtigsten Parameter der Einwirkungen und des Tragwiderstands sowie das Gefährdungsbild nach Schritt 2 zu aktualisieren.

Im Vordergrund stehen in der Regel folgende drei Aspekte:

- Bei der Ermittlung der Schadensgrösse D aufgrund des angedachten Unfallereignisses gemäss Schritt 2 ist die Annahme der Anzahl Personenopfer entscheidend. Der monetäre Wert für die Zahlungsbereitschaft für die Verminderung des Unfall- und Gesundheitsrisikos in der Schweiz ist relativ hoch und oft deutlich höher als der durch Anprall angerichtete Sachschaden.
- Die Qualität des Projekts für die Umsetzung der sicherheitsrelevanten Massnahmen und deren Baukosten ist entscheidend. Die Verstärkung bestehender Tragwerke und Tragwerksteile ist eine Gratwanderung, indem je nach Konzeptidee und Einsatz von (neuartigen) Technologien die Baukosten entweder relativ gering gehalten werden können, (was ja eigentlich das Ziel der Bauwerkserhaltung ist) oder dann die Baukosten gross werden und in den Bereich eines Ersatzneubaus zu liegen kommen.
- Eine weitere Aktualisierung der Anprallkraft würde oft zu einem kleineren Überprüfungswert der Anprallkraft führen, womit der Erfüllungsgrad grösser würde. Ähnlich würde eine weitere Aktualisierung des Tragwiderstands der bestehenden Leitmauer in der Regel zu einem grösseren Überprüfungswert des Tragwiderstands führen, womit der Erfüllungsgrad ebenfalls vergrössert würde.

Glossar

Die in diesem Dokument verwendete Begriffe entspricht den SIA Normen 260ff. Die folgende Tabelle enthält zusätzliche Begriffe, die nicht in den SIA Normen enthalten sind.

Begriff	Bedeutung
Anprallkraft(-last)	Auf das Bauwerk wirkende Kraft bei einem Anprall
Aufhaltstufe	Das durch eine Anfahrprüfung definierte Aufhaltevermögen eines Fahrzeugrückhaltesystems
Durchschnittlicher täglicher Verkehr	Mit <i>DTV</i> bezeichnete Anzahl Fahrzeuge, welche während 24 Stunden auf einer Strasse in beiden Fahrrichtungen durchschnittlich verkehren.
Fahrzeuganprall	Zusammenstoss eines Fahrzeugs mit einem Bauwerk.
Fahrzeugrückhaltesystem	Bauliche Massnahme ausserhalb der Fahrbahn, welche von der Strasse abkommende Fahrzeuge umlenkt bzw. aufhält. Sie kommen als Leitschranken, Leitmauern oder Anpralldämpfer vor.
Leitmauer	Starre oder wenig deformierbare, allgemein aus Beton bestehende Schutzeinrichtung, die von der Fahrbahn abkommende Fahrzeuge umlenkt bzw. aufhält.
Leitschranke	Deformierbare, in der Regel aus Stahlplanken und Stahlpfosten bestehende Schutzeinrichtung, die von der Fahrbahn abkommende Fahrzeuge umlenkt bzw. aufhält.
Probabilistische Berechnung	Berechnung, bei der die Variablen nicht feste (deterministische) Grössen, sondern durch eine Verteilungsfunktion definierte sind. Die Ergebnisse solcher Berechnungen sind mit einer Wahrscheinlichkeit behaftet.
Risiko	Qualitative oder quantitative Charakterisierung eines Schadens hinsichtlich der Möglichkeit seines Eintreffens und seiner Grösse.
Schweres Lastfahrzeug	Schwere Lastfahrzeuge (<i>SLF</i>) sind Strassenfahrzeuge mit einem maximalen Gesamtgewicht über 3,5 t. Es sind dies Lastwagen, Lastenzüge, Sattelzüge und Busse.
Sicherheit	Zustand gegenüber einer Gefährdung, wenn diese durch geeignete Massnahmen unter Kontrolle gehalten oder auf ein akzeptierbares Mass beschränkt wird.
Sicherheitsmassnahme	Massnahme zur Erreichung oder Erhaltung von Sicherheit.
Tragwerk	Gesamtheit der Bauteile und des Baugrunds, die für das Gleichgewicht und die Formerhaltung eines Bauwerks notwendig sind.
Versagenswahrscheinlichkeit	Relative Häufigkeit (z.B. pro Jahr) mit der das Versagen (eines Tragwerks) bei vielen unabhängigen Ereignissen unter den gleichen Bedingungen eintritt (frequentistisch).

Lateinische Grossbuchstaben	Bedeutung
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ASV	Anteil Schwerverkehr
BWK	Bauwerksklasse
DF	Diskontierungsfaktor
DTV	Durchschnittlicher täglicher Verkehr
FZRS	Fahrzeugrückhaltesystem

Lateinische Grossbuchstaben	Bedeutung
A_d	Bemessungswert einer aussergewöhnlichen Einwirkung
A_{Qd}	Abstand FZRS bis Tragwerk bei Anprall von Fahrzeugen (Fahrzeugchassis)
A_{Qhd}	Abstand FZRS bis Tragwerk bei Anprall Fahrzeugaufbauten und Ladungen
A_{ST}	Abstand Strasse zu Tragwerk
E_d	Bemessungswert einer Auswirkung
IK	Investitionskosten
M_d	Bemessungswert des Biegemoments
$M_{R,pl}$	plastischer Biege­widerstand
M_{Rd}	Bemessungswert des Biege­widerstands
N_d	Bemessungswert der Normalkraft
N_{Rd}	Bemessungswert des Normalkraftwiderstands
Q	Anprallkraft von Fahrzeugen (Fahrzeugchassis)
Q_d	Bemessungswert der Anprallkraft von Fahrzeugen (Fahrzeugchassis)
Q_α	Anprallkraft von Fahrzeugen (Fahrzeugchassis) beim frontalen Anprall an Stützen
$Q_{d,\alpha}$	Bemessungswert der Anprallkraft beim frontalen Anprall an Stützen
Q_y	Anprallkraft von Fahrzeugen (Fahrzeugchassis) beim seitlichen Anprall
$Q_{d,y}$	Bemessungswert der Anprallkraft beim seitlichen Anprall an Wände
Q_h	Anprallkraft von Fahrzeugaufbauten und Ladungen
$Q_{h,\alpha}$	Anprallkraft von Fahrzeugaufbauten und Ladungen beim frontalen Anprall an Stützen
$Q_{h,x}$	Anprallkraft von Fahrzeugaufbauten und Ladungen beim frontalen Anprall an Überbauten
$Q_{h,y}$	Anprallkraft von Fahrzeugaufbauten und Ladungen beim seitlichen Anprall an Wände
Q_{hd}	Bemessungswert der Anprallkraft von Fahrzeugaufbauten und Ladungen
$Q_{hd,\alpha}$	Bemessungswert der Anprallkraft von Fahrzeugaufbauten und Ladungen beim frontalen Anprall an Stützen
$Q_{hd,x}$	Bemessungswert der Anprallkraft von Fahrzeugaufbauten und Ladungen beim frontalen Anprall an Überbauten
$Q_{hd,y}$	Bemessungswert der Anprallkraft von Fahrzeugaufbauten und Ladungen beim seitlichen Anprall an Wände
Q_o	Ausgangswert der Anprallkraft
$Q_{o,\alpha}$	Ausgangswert der Anprallkraft für den frontalen Anprall an Stützen
$Q_{o,y}$	Ausgangswert der Anprallkraft für den seitlichen Anprall
Q_R	Anprallkraft, für welche der rechnerische Tragsicherheitsnachweis genau erfüllt ist
$\psi_{1i} Q_{ki}$	Häufiger Wert einer veränderlichen Begleiteinwirkung
R_d	Bemessungswert des Tragwiderstands
S	Schaden
SK	Sicherheitskosten
SLF	Schweres Lastfahrzeug
V_d	Bemessungswert der Querkraft
V_{Rd}	Bemessungswert des Querkraftwiderstands
W_{pl}	plastisches Widerstandsmoment

Griechische Grossbuchstaben	Bedeutung
ΔR	Risikoreduktion
Δp_f	Reduktion der Versagenswahrscheinlichkeit

Lateinische Kleinbuchstaben	Bedeutung
a	Fahrzeugverzögerung
b	Breite
f_u	Zugfestigkeit
h_Q	Höhe Kraftangriff beim Anprall von Fahrzeugen (Fahrzeugchassis)
h_{Qh}	Höhe Kraftangriff beim Anprall von Fahrzeugaufbauten und Ladungen
k	Fahrzeugsteifigkeit
m	Fahrzeugmasse
n	Erfüllungsgrad
n_{min}	Mindesterfüllungsgrad
s	Distanz des Tragwerks zum Fahrbahnrand
s_O	Distanz des Tragwerks zum Fahrbahnrand bei ebenem Gelände
s_r	Distanz zwischen Tragwerk und Fahrzeurückhaltesystem
v	Verkehrsgeschwindigkeit, Abirrgeschwindigkeit
t	Zeit, Schichtdicke
x	Raumrichtung
y	Raumrichtung, seitliche Abirrdistanz
z	Raumrichtung

Griechische Kleinbuchstaben	Bedeutung
α	Abirrwinkel, Anprallwinkel, Kraftangriffswinkel
μ	Statistischer Mittelwert
σ	Statistische Standardabweichung
ψ_h	Reduktionsfaktor zur Berücksichtigung der lichten Höhe bei Überbauten
ψ_r	Reduktionsfaktor zur Berücksichtigung von Fahrzeurückhaltesystemen
ψ_s	Reduktionsfaktor zur Berücksichtigung der Distanz des Tragwerks vom Fahrbahnrand
ψ_v	Erhöhungsfaktor zur Berücksichtigung des Verkehrs

Literaturverzeichnis

Weisungen und Richtlinien des ASTRA

-
- [1] ASTRA 22001 „**Fachhandbuch Kunstbauten (2022)**“, www.astra.admin.ch.
-
- [2] ASTRA 11004 „**Konstruktive Einzelheiten von Brücken (2022)**“, www.astra.admin.ch.
-
- [3] ASTRA 11005 „**Richtlinien Fahrzeurückhaltesysteme (2022)**“, www.astra.admin.ch.
-

Normen

-
- [4] SN EN 1317-2:2010, „**Rückhaltesysteme an Strassen - Teil 2: Leistungsklassen, Abnahmekriterien für Anprallprüfungen und Prüfverfahren für Schutzeinrichtungen und Fahrzeugbrüstungen, CEN (2010)**“.
-
- [5] SN EN 1317-5:2012, „**Rückhaltesysteme an Strassen - Teil 5: Anforderungen an die Produkte, Konformitätsverfahren und -bewertung für Fahrzeurückhaltesysteme, CEN (2012)**“.
-
- [6] prENV 1991-2-7:1995, „**Eurocode 1: Basis of design and actions on structures Part 2-7: Accidental actions, CEN (2005)**“.
-
- [7] SN EN 1991-1-7, „**Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-7: Allgemeine Einwirkungen – Aussergewöhnliche Einwirkungen**“, CEN (2006)“.
-
- [8] SN 505 160 (SIA 160), „**Einwirkungen auf Tragwerke, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein (1989)**“.
-
- [9] SN 505 260 (SIA 260), „**Grundlagen der Projektierung von Tragwerken, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein (2013)**“.
-
- [10] SN 505 261 (SIA 261), „**Einwirkungen auf Tragwerke, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein (2020)**“.
-
- [11] SN 505 262 (SIA 262), „**Betonbau, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein (2013)**“.
-
- [12] SN 505 263 (SIA 263), „**Stahlbau, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein (2013)**“.
-
- [13] SN 505 269 (SIA 269), „**Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein (2011)**“.
-
- [14] SN 505 269 (SIA 269/1), „**Erhaltung von Tragwerken – Einwirkungen, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein (2011)**“.
-
- [15] SN 505 269/8 (SIA 269/8), „**Erhaltung von Tragwerken – Erdbeben, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein (2017)**“.
-
- [16] SN 640 200 – 202, „**Geometrisches Normalprofil, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute VSS (1992)**“.
-
- [17] SN 640 566, „**Passiver Schutz im Strassenraum – Einsatz, Wahl und Anordnung von Fahrzeurückhaltesystemen**“, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute VSS (1995)“.
-
- [18] Norm VSS 40 561, „**Passive Sicherheit im Strassenraum – Fahrzeug-Rückhaltesysteme**“, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute VSS (2021)“.
-

Dokumentation / Berichte

-
- [19] American Association of State Highway and Transportation Officials AASHTO. (1977) „**Guide for Selecting, Locating and Designing Traffic Barriers**“, Washington D.C.
-
- [20] Ammann, W. (1983) „**Stahlbeton- und Spannbetontragwerke unter stossartiger Belastung**“, Birkhäuser Verlag, Basel.
-
- [21] Bundesamt für Statistik BFS. (2000) „**Schweizerische Verkehrsstatistik 1996/2000**“, Neuchâtel.
-
- [22] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL. (1992) „**Handbuch III zur Störfallverordnung – Richtlinien für Verkehrswege**“, EDMZ, Bern.
-
- [23] Bundesminister für Verkehr, Abteilung Strassenbau. (1982) „**Schäden an Brücken und anderen Ingenieurbauwerken – Ursachen und Erkenntnisse**“, Verkehrsblatt-Verlag Borgmann GmbH & Co. KG, Dortmund.
-
- [24] Bürkel Baumann Schuler. (1995) „**Wirksames Fahrzeuggewicht Schwerer Lastfahrzeuge zur Beurteilung des Anpralls an Schutzeinrichtungen**“, Tiefbauamt des Kantons Bern und Kanton Solothurn, Büro für Nationalstrassen.
-

-
- [25] Hellmich, K. et. Al. (2000) „**Krafteinwirkung auf die Kappe und den Überbau einer Brückenkonstruktion infolge eines Anprallvorgangs an eine Stahlleitschiene**“, Stahlbau 69, Heft 9, Ernst & Sohn Verlag Berlin.
-
- [26] Internationaler Eisenbahnverband UIC. (1997) „**UIC-Kodex 777-1, Massnahmen zum Schutz der Eisenbahnbrücken gegen Anprall von Strassenfahrzeugen und des Schienenverkehrs vor abirrenden Strassenfahrzeugen**“.
-
- [27] Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau (IVT) der ETH Zürich. (1994-1997) „**Diverse Prüfberichte zu Anprallversuche an passive Schutzeinrichtungen**“, Zürich.
-
- [28] Klingmüller, O., Bourgund, U. (1992) „**Sicherheit und Risiko im Konstruktiven Ingenieurbau**“, Vieweg, Braunschweig, Wiesbaden.
-
- [29] Miyamoto, A., King, M.W. (1996) „**Design concept for reinforced concrete slab structures under soft impact loads**“, in Jones, N. et al. (Eds.): Structures under shock and impact IV, Computational Mechanics Publications, Southampton UK.
-
- [30] Popp, C. (1965) „**Untersuchungen über den Stossverlauf beim Anprall von Kraftfahrzeugen auf Stützen und Rahmenstiele aus Stahlbeton**“, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 172, Verlag Wilhelm Ernst und Sohn, Berlin.
-
- [31] Scheer, J. (2000) „**Versagen von Bauwerken – Ursachen**“, Lehren Band 1: Brücken, Ernst & Sohn Verlag, Berlin.
-
- [32] Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung bfu. (2000) „**Unfallgeschehen in der Schweiz - Statistik 2000**“, Bern.
-
- [33] Shimada, T. et al. (1997) „**An Experiment on the Shock Absorbing Characteristics of the Road Terminal Pole with Absorbing System**“, Proceedings of the 2nd Asia-Pacific Conference on Shock & Impact Loads on Structures, Melbourne, Australia.
-
- [34] Siemes, T., Rostam, S. (1996) „**Durable safety and serviceability – a performance based design format**“, IABSE Colloquium Delft 1996, Basis of Design and Actions on Structures, Background and application of Eurocode 1, IABSE Report Volume 74, Zürich.
-
- [35] UK Railways Inspectorate (1997).
-
- [36] Vulin, D., Quincy, R. (1987) „**Accidents avec Sortie de Chaussée en Terre-Plein Central sur Autoroutes de Liaison**“, Rapport INRETS no. 42, Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (INRETS).
-
- [37] Bundesamt für Raumentwicklung ARE. (2022) „**Sektion Grundlagen: Value of Statistical Life (VOSL): Empfohlener Wert der Zahlungsbereitschaft für die Verminderung des Unfall- und Gesundheitsrisikos in der Schweiz**“.
-
- [38] Vogel, T., Zwicky, D., Joray, D., Diggelmann, M., Hoj, N.P. (2009) „**Tragsicherheit der bestehenden Kunstbauten**“, Forschungsauftrag AGB 2005/107, VSS Bericht Nr. 623.
-

Auflistung der Änderungen

Ausgabe	Version	Datum	Änderungen
2023	1.50	16.11.2023	<ul style="list-style-type: none"> • Übernahme der Ausgangswerte Q_d für Innerortstrassen aus [3], [4]. • Beseitigung von Widersprüchen mit der Norm VSS 40 561 in Bezug auf den Abstand des Tragwerks vom Fahrbahnrand. • Tabellarische Angabe der Bemessungswerte der Anprallkräfte Q_d für die einzusetzenden Fahrzeugrückhaltesystemen (FZRS). • Ersatz des Erhöhungsfaktors ψ zur Berücksichtigung der Verkehrsmenge durch einen Erhöhungsfaktor zur Berücksichtigung des Unfallgeschehens. • Aktualisierung und Anpassung der Vorgaben für die rechnerische Beurteilung von bestehenden Bauwerken und für die Bestimmung der Verhältnismässigkeit von Massnahmen an die Norm SIA 269, sowie eine Ergänzung mit einem Anwendungsbeispiel. • Eingearbeitete Korrigenda.
2020	1.11	01.05.2020	Formelle Anpassungen.
2020	1.10	20.02.2020	Korrigenda zur Ausgabe von 2005.
2005	1.00	01.01.2005	Inkrafttreten der Richtlinie 12008.

