1 Zweck

Das vorliegende Dokument enthält Hinweise zu den statischen Berechnungen, die über die Angaben der SIA-Normen bzw. des Fachhandbuchs Kunstbauten ASTRA hinausgehen. Diese umfassen folgende Themen:

Abschnitt 2 – Checkliste Statik

Abschnitt 3 – Fuss und Radwegbrücken – Verschärfte Einwirkungen

Abschnitt 4 – Det. Lastmodell auf Gehwegauskragungen

Abschnitt 5 – Ausnahmetransporte und Sondertransporte

Während die Checkliste Statik im Abschnitt 2 für jede statische Berechnung (Neubau oder Bestand) anzuwenden ist, kommen die Bestimmungen der Abschnitte 3, 4 und 5 nur zur Anwendung, wenn sie für das jeweilige Projekt erforderlich sind.

2 Checkliste Statik

Die Checkliste Statik dient dazu, dass die abgegebenen statischen Berechnungen von Dritten nachvollzogen werden können; d.h. die Ergebnisse müssen ohne grossen Aufwand reproduziert werden können.

- □ Abgabe der statischen Berechnungen als .pdf in maximal zwei Dateien (Hauptteil, Anhang) inkl. elektronischem Inhaltsverzeichnis
- □ Zusammenfassung mit Tabelle der Erfüllungsgrade $n = R_d/E_d$ (elastisch ungerissen, falls nötig orthotrop unter Berücksichtigung von Rissbildung und/oder plastischen Umlagerungen)
- □ Statisches Modell mit Abmessungen (Geometrie), Materialien, Steifigkeiten, Lagerbedingungen
- □ Begründung der Annahmen und allenfalls Beurteilung mit Sensitivitätsanalyse
- □ Herleitung der Einwirkungen in Übereinstimmung mit der Projektbasis
- □ Kombinationen der Einwirkungen mit Last- bzw. Reduktionsbeiwerten in Übereinstimmung mit der Projektbasis
- □ Aufzeigen der Auswirkungen separat für die einzelnen Einwirkungen
- □ Angabe der Lastkombinationen und Laststellungen für die massgebenden Grenzwerte der Auswirkungen
- □ Angabe auf welchem Wege die ungünstigste Stellung der Verkehrslasten (unter Vernachlässigung entlastend wirkender Lasten) aufgefunden wurde: Einflusslinien, Durchrechnung mehrerer Lastfälle oder einer Kombination davon
- □ Plausibilisierung der Auswirkungen mit einer überschlägigen Handrechnung inkl. Dokumentation (z.B. Handrechnung der vertikalen Auflagerreaktionen oder der maximalen Momente/Querkräfte)
- □ Bei bestehenden Tragwerken: Plausibilisierung mit vorhandenen Berechnungen
- □ Nachvollziehbare Darstellung der massgebenden Nachweise
    - Angabe der Formeln in Buchstaben und mit den eingesetzten Zahlenwerten (Excel-Tabellen allein sind nicht nachvollziehbar)
    - Querverweise für numerische Werte aus anderen Abschnitten
- □ Anhang mit FE-Berechnungen mit folgenden Angaben
    - statisches Modell mit Geometrie und Eingabe der Materialien, Steifigkeiten und Lagerbedingungen
    - Eingabe aller Einwirkungen

- Kombination der Einwirkungen mit Last- bzw. Reduktionsbeiwerten
- Auswirkungen für jede Einwirkung separat
- Kennzeichnung der für die Nachweise massgebenden Auswirkungen

Es ist darauf zu achten, dass die Ausdrucke der FE-Berechnungen im Anhang klar beschriftet und die Werte lesbar sind.

3 Fuss- und Radwegbrücken – Verschärfte Einwirkungen

3.1 Zweck

Der vorliegende Abschnitt enthält die im Kt. Zürich anzuwendenden, gegenüber der Norm SIA 261 modifizierten charakteristischen Werte der Einwirkungen auf Fuss- und Radwegbrücken.

3.2 Allgemeines

Eine Erhebung des TBA Kt. ZH zeigte klar, dass die in der Norm SIA 261 für 'leichte Unterhaltsfahrzeuge' festgelegten Einwirkungen bei einer Vielzahl von bestehenden Fuss- und Radwegbrücken die Achslasten der effektiv eingesetzten Unterhaltsfahrzeuge nicht abdecken. Die in der Norm SIA 261 genannten „leichten Unterhaltsfahrzeuge" referenzieren ein 3.5 t schweres Fahrzeug (ohne dynamischen Beiwert), während die meisten im Kt. Zürich eingesetzten Unterhaltsfahrzeuge in der Regel 5.5 t schwer sind und die Objekte (z.B. während dem Winterdienst) oft mit Geschwindigkeiten > 30 km/h befahren. Die Tendenz der Fahrzeuggewichte ist eher steigend, dies ist im Einzelfall zu berücksichtigen.

Die Lastmodelle sind jeweils in der Nutzungsvereinbarung und in der Projektbasis klar zu definieren.

3.3 Lastmodelle Norm SIA 261 / Ziffer 9.2

q_k	= 4 kN/m^2	(LM 1)	verteilte Nutzlast
Q_k	= 10 kN	(LM 2)	Einzellast, quadratische Aufstandsfläche von s = 0.1 m (≙ leichtem, zweiachsigen Unterhaltsfahrzeug von ca. 3.5 t Gesamtgewicht)

Q_k und q_k dürfen als nicht gleichzeitig wirkend angenommen werden.

Ziffer 9.2.5: Bei schweren Unterhaltsfahrzeugen sind der charakteristische Wert der Einzellast Q_k und deren Aufstandsfläche projektspezifisch festzulegen und in der Nutzungsvereinbarung sowie in der Projektbasis festzulegen. Q_k und q_k dürfen als nicht gleichzeitig wirkend angenommen werden.

3.4 Lastmodelle TBA Kt. Zürich

Normale Einwirkungen auf Fuss- und Radwegbrücken

1) Generell: Unterhaltsfahrzeug bis 5.5 t

q_k	= 4 kN/m^2	(LM 1)	verteilte Nutzlast
Q_k	= 20 kN	(LM 2)	Einzellast, quadratische Aufstandsfläche von s = 0.2 m (≙ leichtem, zweiachsigen Unterhaltsfahrzeug von ca. 5.5 t Gesamtgewicht)

Q_k und q_k dürfen als nicht gleichzeitig wirkend angenommen werden.

Bei Geschwindigkeiten > 5 km/h ist für das LM 2 zusätzlich, je nach Fahrbahnbelag und Fahrbahnübergang, ein dynamischer Beiwert von $\Phi \geq 1.3$ zu berücksichtigen.

Es ist zu beachten, dass evtl. die Achslast oder das Gesamtgewicht gegenüber dem LM 1 massgebend werden könnte.

Wanderwegbrücken, die für Unterhaltsfahrzeuge nicht zugänglich sind, dürfen allein für das LM1 des nichtmotorisierten Verkehrs gemäss der Norm SIA 261 (q_k) bemessen werden.

2) Schwerere Unterhaltsfahrzeuge bis 16 t

Für schwerere Unterhaltsfahrzeuge als 5.5 t ist eine Interessensabwägung vorzunehmen (Teilnehmer Leiter SI und Leiter Strassenregionen sowie Leiter Kunstbauten). Das Gesamtgewicht sowie die Lastmodelle sind in der Nutzungsvereinbarung und der Projektbasis zu definieren.

q_k = …….. (LM 1)
Q_k = …….. (LM 2)

Als Richtwerte für die charakteristischen Werte der Einwirkungen gelten die in der Norm SIA 261 / Ziffer 8 für die Kategorie G definierten Einwirkungen.

Bei Geschwindigkeiten > 5 km/h ist für das LM 2 zusätzlich, je nach Fahrbahnbelag und Fahrbahnübergang, ein dynamischer Beiwert von $\Phi \geq 1.3$ zu berücksichtigen.

Es ist zu beachten, dass evtl. die Achslast oder das Gesamtgewicht gegenüber dem LM 1 massgebend werden könnte.

Bei bestehenden Brücken dürfen lediglich diejenigen Unterhaltsfahrzeuge eingesetzt werden, welche die maximal zulässigen Achslasten (bzw. Einzellasten) nicht überschreiten.

4 Det. Lastmodell auf Gehwegauskragungen

4.1 Ausgangslage

Bis zur Einführung der Norm SIA 160 (1989) wurden Gehwegauskragungen von Brücken nicht für den Strassenverkehr bemessen, sondern für eine gleichmässige Belastung von 400 kg/m2 sowie für eine Einzellast von 7.5 t (nicht zeitgleich wirkend). Dies führte dazu, dass heute viele Auskragungen unter Verkehrslasten gemäss der aktuellen Erhaltungsnorm SIA 269 keine genügende Tragsicherheit aufweisen.

Da Verstärkungsmassnahmen oft aufwändig sind und Massnahmen zur Verhinderung des Befahrens der Auskragung den Betrieb einschränken, soll mit Hilfe eines risikobasierten Ansatzes abgeschätzt werden, wie gross die Risiken im Einzelfall sind, um so den Handlungsbedarf besser beurteilen zu können.

4.2 Zweck

In diesem Abschnitt wird das deterministische Lastmodell definiert, welches als Grundlage für die Risikobeurteilung durch das TBA dient.

4.3 Vorgehen

Kann die Gehwegauskragung nicht für den Strassenverkehr mit aktualisiertem Lastmodell 1 gemäss der Norm SIA 269/1 nachgewiesen werden (Erfüllungsgrad n < 1.0), ist ein repräsentativer LKW anzusetzen. Um eine einheitliche Beurteilung zu erlauben, wird das unter Abschnitt 4.4 definierte Fahrzeug mit vorgegebener Geometrie verwendet, welches in Anlehnung an den ASTRA Forschungsbericht Nr. 664 vom Oktober 2014 [AGB 2009/005]: „Aktualisierte Strassenlasten für Betonfahrbahnplatten von bestehenden Brücken“ definiert wurde. Es sind keine Lastbeiwerte anzusetzen; alle Auswirkungen, auch die der ständigen Lasten, sind auf charakteristischem Niveau anzugeben.

4.4 Deterministisches Lastmodell

Als repräsentativer LKW ist das Lastmodell DET1 gemäss Abbildung 1 und Abbildung 2 anzusetzen.

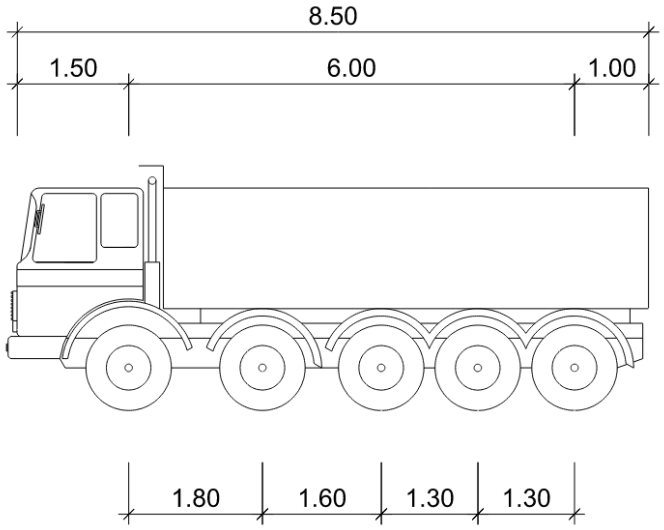

Abbildung 1 Fahrzeuggeometrie des Lastmodells DET1 [AGB 2009/005]

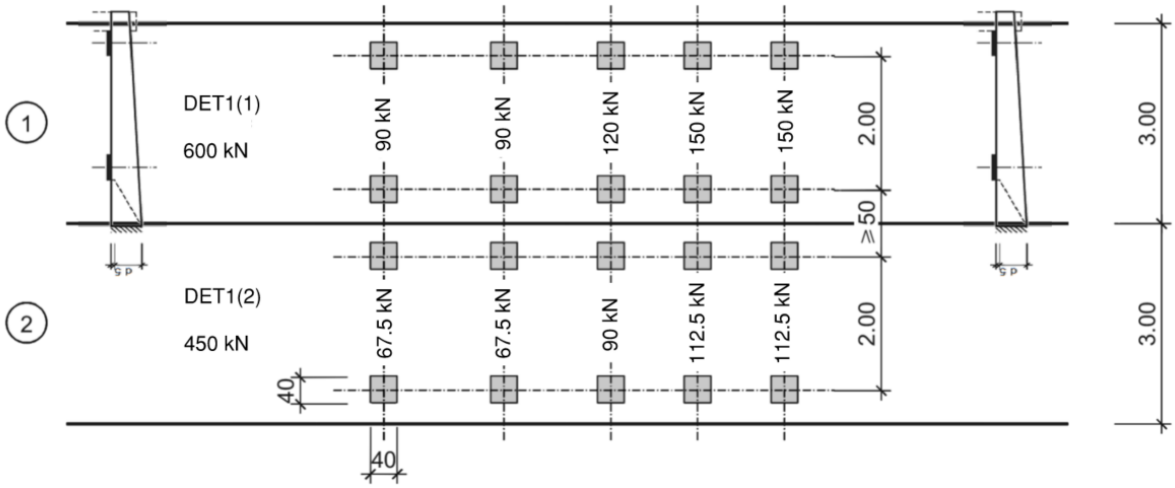

Abbildung 2 Lastmodell DET1 mit Achslasten und Laststellung auf den «Fahrspuren» Auskragung (1) und Fahrbahn (2) [AGB 2009/005]

Gemäss [AGB 2009/005] sind einfache 5-achsige Lastwagen mit einem zulässigen Gesamtgewicht von 40 t jene Fahrzeuge mit dem massgebenden Einfluss auf die Auswirkungen. Das Fahrzeug mit 600 kN gemäss [AGB 2009/005] entsprich dabei dem schwersten 5-achsigen Lastwagen, welcher 2009 an einer Messstelle in St- Maurice gemessen wurde; dasjenige mit 450 kN entspricht in etwa dem Mittelwert. Nachfolgend werden die (deterministischen) Fahrzeuge mit einem Gesamtgewicht von 600 kN als DET1(1) (Auskragung) und das Fahrzeug mit einem Gesamtgewicht von 450 kN als DET1(2) (Fahrbahn) bezeichnet. Mit den (deterministischen) Fahrzeugen werden anschliessend die Auswirkungen auf das Tragwerk berechnet. Im Unterschied zu [AGB 2009/005] wird für die Berechnung der Auswirkung kein dynamischer Beiwert angesetzt.

4.5 Auswirkungen

Für das unter Abschnitt 4.4 vorgegebene Lastmodell sind an den massgebenden Stellen folgende Auswirkungen separat auf charakteristischem Niveau anzugeben:

- Biegemoment und Querkraft aus ständigen Lasten ($m_{G,k}$ und $v_{G,k}$)

- Biegemoment und Querkraft aus DET1(1) (600 kN Fahrzeug) entsprechend Abbildung 2 ($m_{DET1(1)}$ und $v_{DET1(1)}$)
- Biegemoment und Querkraft aus DET1(2) (450 kN Fahrzeug) entsprechend Abbildung 2 ($m_{DET1(2)}$ und $v_{DET1(2)}$)

Als Beispiel sind in Abbildung 3 die Einwirkungen und als Auswirkungen die Biegemomente an der Einspannung der Auskragung gezeigt.

In Fällen, in denen das Befahren der Auskragung auch die globale Tragsicherheit gefährdet (z.B. Durchstanzen der Mittelabstützung), sind auch hier die entsprechenden Auswirkungen der Durchstanzlast aus ständigen Lasten, DET1(1) und DET1(2) einzeln anzugeben.

Die Widerstände an den massgebenden Stellen sind auf Bemessungsniveau anzugeben. Für die Ausnutzung des Biegewiderstands darf der charakteristische Wert der Auswirkung angesetzt werden.

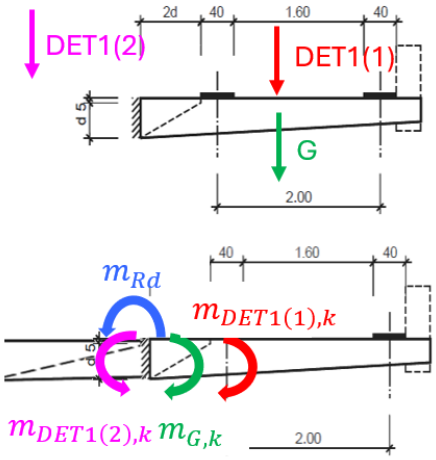

Abbildung 3 Einwirkungen und Auswirkungen auf charakteristischem Niveau am Beispiel des Biegemoments an der Einspannung der Auskragung

Die Auswirkungen sind in tabellarischer Form abzugeben:

	Widerstand	***Auswirkungen ständige Lasten***	***Auswirkungen DET1(1)***	***Auswirkungen DET1(2)***
Biegung am massgebenden Schnitt	m_{Rd}	$m_{G,k}$	$m_{DET1(1),k}$	$m_{DET1(2),k}$
Querkraft am massgebenden Schnitt	v_{Rd}	$v_{G,k}$	$v_{DET1(1),k}$	$v_{DET1(2),k}$
Evtl. weitere massgebende Nachweise (z.B. Durchstanzen)	…	…	…	…

4.6 Risikobeurteilung

Die Risikobeurteilung wird TBA intern durchgeführt.

5 Ausnahmetransporte und Sondertransporte

5.1 Zweck

Brücken, über die eine Ausnahmetransportroute verläuft (im GIS-Browser Kanton Zürich abrufbar), werden heute für das Lastmodell 3 (LM 3 Typ I oder II) gemäss der Norm SIA 261 bemessen. Dieses Lastmodell soll die schwersten Sondertransporte abdecken, wobei die folgenden Fahrvorschriften gelten:

- Überfahrt in Brückenmitte
- Schritttempo
- Brücke ist für den übrigen Verkehr zu sperren.

Häufig sind die Sondertransporte weniger schwer. Es stellt sich daher die Frage, wann die oben genannten Fahrvorschriften nötig sind und wann auf diese verzichtet werden kann.

Brücken, über die eine Ausnahmetransportroute verläuft, sind daher für die in den Abschnitten 5.2, 5.3 und 5.4 aufgeführten Lastmodelle zu bemessen bzw. nachzuweisen.

5.2 Ausnahmetransport gemäss Norm SIA

Es ist das Lastmodell 3 (LM 3 Typ I oder II) der Norm SIA 261/1 anzuwenden.

Zusätzlich zu der quasi zentrischen Überfahrt mit einer maximalen Exzentrizität zwischen der Brückenachse und der Achse des Normfahrschemels $e = b/10 \leq 1.0$ m (b = Breite der Fahrbahn) ist zu prüfen, ob eine Überfahrt in der rechten Fahrspur ohne zusätzliche Massnahmen möglich wäre (d.h. ist die Fahrvorschrift «Überfahrt in Brückenmitte» notwendig?). Bei bestehenden Brücken wäre auch eine andere Fahrachse denkbar, wenn dadurch Verstärkungsmassnahmen verhindert werden könnten.

5.3 Sondertransport mit Fahrvorschriften

Heutige Sondertransporte fahren oft in einem Fahrschemel mit bis zu 20 Achsen. Der Achsabstand beträgt dabei in der Regel 1.5 m. Obwohl das maximal zulässige Gewicht der Ausnahmetransportroute eingehalten ist, können diese Sondertransporte im Vergleich zum LM 3 der Norm SIA 261/1 massgebend werden.

Für bestehende Brücken sind daher folgende zwei Fälle zu untersuchen:

Fall 1: Achslasten 200 kN, Achsabstand 1.5 m, 42 t Zugfahrzeug gemäss Abbildung 4
Mit wievielen Achsen darf der Sondertransport über die Brücke fahren?

Fall 2: 20 Achsen im Abstand von 1.5 m, 42 t Zugfahrzeug gemäss Abbildung 4
Wie schwer dürfen die Achsen des Sondertransports sein?

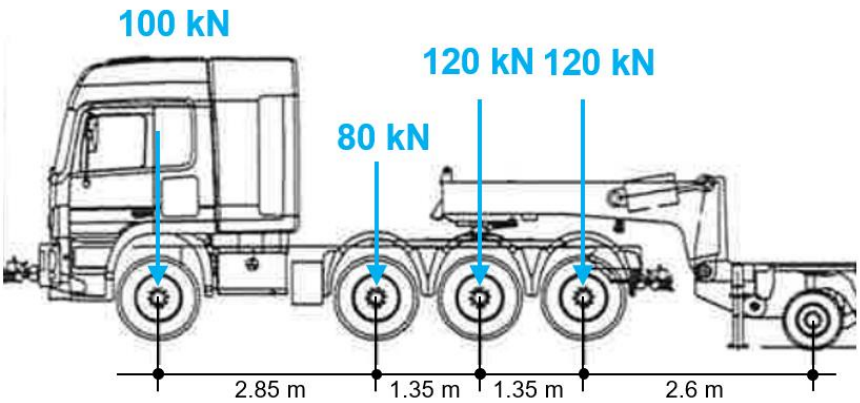

Abbildung 4 42 t Zugfahrzeug

Bei Neubauten sind auf Ausnahmetransportrouten Typ I 20 Achsen à 200 kN (Gesamtgewicht Anhänger 4'000 kN) und auf Ausnahmetransportrouten Typ II 9 Achsen à 200 kN (Gesamtgewicht Anhänger 1'800 kN) anzusetzen.

Wie beim LM 3 (Abschnitt 5.2) sind sowohl eine zentrische Überfahrt (max. Exzentrizität zwischen der Fahrbahnachse und der Achse des Transports e = b/10 ≤ 1.0 m) als auch eine Überfahrt in rechter Fahrspur zu untersuchen.

Entlastende Achsen sind zu vernachlässigen.

5.4 Sondertransport ohne Fahrvorschriften

Bei bestehenden Bauwerken ist aufzuzeigen, welcher Sondertransport gemäss folgender Liste ohne Einschränkungen (auf rechter Fahrspur und im Gegenverkehr) die Brücke überfahren kann:

96 t	8 Achsen à 120 kN, Achsabstand 1.5 m
84 t	7 Achsen à 120 kN, Achsabstand 1.5 m
72 t	6 Achsen à 120 kN, Achsabstand 1.5 m
60 t	5 Achsen à 120 kN, Achsabstand 1.5 m

Es darf angenommen werden, dass die Gegenfahrbahn mit dem Fahrstreifen 2 des Lastmodells 1 beansprucht wird. Bei Brücken mit Spannweiten > 15 m ist zusätzlich zum Sondertransport eine verteilte Verkehrslast von 2.0 kN/m^2 im Fahrstreifen anzusetzen.

Entlastende Verkehrslasten (Achslasten und verteilte Lasten) sind zu vernachlässigen.

Bei Neubauten ist die Überfahrt eines 96 t schweren Sondertransports durch die Bemessung für das Lastmodell 1 gemäss der Norm SIA 261 abgedeckt.

5.5 Beiwerte

Lastbeiwert

Für die Nachweise des Lastmodells 3 sowie die in den Abschnitten 5.3 und 5.4 definierten Sondertransporte ist ein Lastbeiwert γ_Q = 1.5 gemäss Norm SIA 260 anzusetzen.

Dynamischer Beiwert

Bei sehr unebenen Fahrbahnen oder bei Fahrbahnübergängen ist für Sondertransporte ohne Fahrvorschriften gemäss Abschnitt 5.4 in Anlehnung an die ASTRA Dokumentation 82001 «Überprüfung bestehender Strassenbrücken mit einem aktualisierten Verkehrslastmodell», Ausgabe 2025, ein dynamischer Beiwert Φ = 1.2 anzusetzen. Ansonsten darf Φ = 1.0 angenommen werden.

5.6 Ergebnisse

Für die in den Abschnitten 5.2 bis 5.4 vorgegebenen Lastmodelle sind die Ergebnisse wie folgt anzugeben:

LM3 SIA 261/1	• Mögliche Fahrachse (Brückenmitte, rechte Fahrspur, weitere)
Sondertransport mit Fahrvorschriften	• Anzahl Achsen (Fall 1) bzw. max. Achslast (Fall 2) • Mögliche Fahrachse (Brückenmitte, rechte Fahrspur, weitere)
Sondertransport ohne Fahrvorschriften	• Max. Gesamtgewicht