

Gegenstand Nr. C10016

Pambio Noranco, 11. Juli 2011

Dipl. ing. Cristina Zanini

## **Auswirkungen einer möglichen Zulassung von 60-Tonnen-Lastwagen auf die Schweizer Strassen**

Auftraggeber: Bündnis NoMegatrucks.ch

c/o Alpen-Initiative, Route de la Fonderie 8c, 1700 Freiburg

## Inhaltsverzeichnis

1. AUFTRAGSBESCHREIBUNG .....	3
2. VERFÜGBARE DOKUMENTATION .....	4
3. GELTENDE VORSCHRIFTEN IN DER SCHWEIZ.....	5
4. EIGENSCHAFTEN DER LASTWAGEN.....	6
4.1 Heute auf den Schweizer Strassen zugelassene Lastwagen.....	6
4.2 60-t-Megatrucks .....	9
5. EIGENSCHAFTEN DES SCHWEIZER STRASSENNETZES .....	11
5.1 Das Schweizer Strassennetz .....	11
5.2 Allgemeiner Zustand der Schweizer Strassen .....	12
5.3 Bau- und Unterhaltskosten des Autobahnnetzes .....	13
6. AUSWIRKUNGEN DES SCHWERVERKEHRS AUF DAS STRASSENNETZ .....	14
7. STRASSENÖBERBAU .....	15
8. STRASSENBRÜCKEN .....	17
8.1 Vorgesehene Verkehrslastmodelle gem. SIA-SWISSCODE-Normen .....	17
8.2 Brücken-Typen .....	20
8.3 Zustand der Strassenbauwerke im Autobahnnetz .....	21
8.4 Überlegungen bezüglich der Anhebung der Gewichtslimite von 40 auf 60 t. ....	23
8.5 Ermüdungseffekte bei Brücken .....	26
9. DYNAMISCHE EFFEKTE IM BEREICH DER DEHNUNGSSTÖSSE O.Ä. ....	26
10. STOSSBELASTUNGEN .....	26
11. ÜBERLEGUNGEN ZUR GEOMETRIE .....	28
11.1 Kurvengeometrie und Fahrbahnbreite .....	28
11.2 Kreisel und Strasseneinmündungen .....	31
11.3 Geometrie der Rast- und Parkplätze .....	31
12. FRAGEN ZUR FINANZIERUNG.....	32
13. WEITERE ZU VERTIEFENDE THEMEN .....	33
14. BEWERTUNG DER EUROPÄISCHEN KOMMISSION .....	34
15. SCHLUSSFOLGERUNGEN .....	37
16. LITERATUR .....	39
17. ANHÄNGE .....	40

## 1. Auftragsbeschreibung

Das vorliegende Gutachten enthält wesentliche Angaben zu den möglichen Auswirkungen der Zulassung von bis zu 60 Tonnen schweren Lastwagen (so genannte Gigaliner, Megatrucks) auf das schweizerische Strassennetz.

Die Koalition Nomegatrucks.ch beauftragte uns, eine Bewertung der Tragfähigkeit und der Geometrie verschiedener Bauwerke (Strassenbrücken, Tunnel, usw.) vorzunehmen. Dieses Gutachten beschränkt sich daher vorwiegend auf die Eigenschaften der Bauwerke und befasst sich mit Details der Konstruktion und dem Unterhalt des Strassennetzes.

Zu diesem Zeitpunkt liegen in der Schweiz noch keine spezifischen, von qualifizierten Stellen wie Bundesämtern, Universitäten und Forschungszentren erstellten Forschungsberichte über die Folgen der Erhöhung der Gewichtslimite von 40 auf 60 Tonnen vor. Wohl aber sind verschiedene Studien aus den Neunziger Jahren zu den Effekten der Gewichtserhöhung von 28 auf 40 t und zu den Auswirkungen der entsprechenden Anpassungen der schweizerischen an die europäischen Vorschriften der letzten Jahrzehnte verfügbar. Das vorliegende, auf neutralen, in der Schweiz veröffentlichten wissenschaftlichen Daten basierende Gutachten enthält wesentliche Informationen zu diesem Thema. Die über das Internet zugängliche, durch Gegner und Befürworter der Massnahme erstellte Dokumentation wurde nicht in Betracht gezogen.

Es wurde versucht, die technischen Aussagen und Konzepte einem möglichst breiten Publikum von Laien zugänglich zu machen.

Des Weiteren sei darauf hingewiesen, dass die Zulassung von 60 t schweren LKW auf den Schweizer Strassen nicht nur gravierende Folgen für die Strassenbauwerke selbst, sondern auch bezüglich Unfall- und Brandgefahr und Verkehrsverlauf mit sich bringen würde.

Diese Fachbereiche gehören nicht zu unseren Kernkompetenzen und werden aus diesem Grunde in vorliegendem Bericht nicht behandelt.

Auf Grund der Bedeutung dieser Fragen empfehlen wir unseren Auftraggebern, die öffentlichen Stellen aufzufordern, eingehende Studien zu diesen Themen in Zusammenarbeit mit den zuständigen Stellen in Auftrag zu geben.

## 2. Verfügbare Dokumentation

Bei der Zusammenstellung des vorliegenden Gutachtens wurden zahlreiche Dokumente eingesehen und gesammelt, die zum Grossteil im Internet verfügbar und daher nicht immer absolut zuverlässig sind.

Es wurde festgestellt, dass das Thema in Nord- und Westeuropa häufig angesprochen und untersucht wird, dagegen finden sich kaum Nachweise über die Lage in den südeuropäischen Ländern.

Auf schweizerischer Ebene konnten über die zuständigen eidgenössischen Stellen zahlreiche Informationen gesammelt werden. Aus ihnen geht hervor, dass der Bund offiziell noch keine spezifischen Forschungsarbeiten zum Thema in Auftrag gegeben hat<sup>1</sup>.

Auf akademischer Ebene (Technische Hochschulen) dagegen sind verschiedene Studien über die Auswirkungen des Schwerverkehrs auf die Strassenbauwerke verfügbar. Genannte Studien stammen aus den Neunziger Jahren. 1999 erfolgte eine Anpassung an die europäischen Verordnungen, die eine Erhöhung des zulässigen Gesamtgewichts von LKW von 28 auf 40 bis 44 Tonnen bedingte. Diese Unterlagen enthalten einige Angaben zu einer allfälligen weiteren Erhöhung der Gewichtslimite auf 60 Tonnen. Besonders bedeutsam waren folgende, von der Eidgenössischen Technischen Hochschule Lausanne (École Polytechnique Fédérale de Lausanne) stammende Publikationen:

- (1.) Berücksichtigung von dynamischen Verkehrslasten beim Tragsicherheitsnachweis von Strassenbrücken, H. Ludescher / E. Brühwiler, These n. 2894/2003 EPFL École Polytechnique Fédérale de Lausanne (Insbesondere Kap. 10 Verkehrslasten auf Strassenbrücken)
- (2.) Überprüfung bestehender Strassenbrücken mit aktualisierten Strassenlasten, Dokumentation ASTRA 2006 Nr. 806.328 Forschungsarbeit ICOM EPFL T. Meystre, M. Hirt

Weitere Literaturnachweise finden sich im Kapitel 16.

---

<sup>1</sup> Debatte im Ständerat vom 16.06.2010: [http://www.parlament.ch/D/Suche/Seiten/geschaefte.aspx?gesch\\_id=20103342](http://www.parlament.ch/D/Suche/Seiten/geschaefte.aspx?gesch_id=20103342), Debatte vom 16.06.2010 im Ständerat zu Gigalinern. Überweisung der Motion KVF-SR 10.3342. Keine Folge für die Standesinitiativen Luzern, Neuchâtel und Genf: [http://www.parlament.ch/ab/frameset/d/s/4814/330666/d\\_s\\_4814\\_330666\\_330933.htm](http://www.parlament.ch/ab/frameset/d/s/4814/330666/d_s_4814_330666_330933.htm)

### **3. Geltende Vorschriften in der Schweiz**

Für die Planung von Strassenbauwerken gelten in der Schweiz verschiedene Vorschriften.

Betreffs der zulässigen Gewichtslimite und des strukturellen Verhaltens (Belastungen und Verformungen) sind zurzeit die Normen des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereins SIA anwendbar. Diese werden durch besondere Vorschriften ergänzt, die auf Bundes- (Bundesamt für Strassen ASTRA), Kantons- und Gemeindeebene von den für Strassenbau und -verwaltung zuständigen Behörden erlassen worden sind.

Die durch den Schweizerischen Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS erlassenen Normen enthalten in standardisierter Form alle Vorschriften bezüglich der Strassengeometrie (Breite, Höhe, Kurvenradien, Kreuzungen, Parkplätze usw.), sowie Angaben zu den Strassenbelägen (Oberbau, Untergrund, usw.).

In den nachfolgenden Kapiteln soll näher auf einige bedeutsame Aspekte genannter Normen eingegangen werden.

## 4. Eigenschaften der Lastwagen

### 4.1 Heute auf den Schweizer Strassen zulässige Lastwagen

Zurzeit sind auf dem Schweizer Strassennetz verschiedene Typen von Lastwagen mit variablen Längen und einem maximalen Gesamtgewicht von 40 t zulässig. Die Strassenplanung gemäss VSS-Vorschriften basiert auf nachfolgend dargestellten Geometrien. Die für die Geometrie relevanten LKW sind offenbar die längeren Fahrzeuge, Anhängerzüge oder Sattelmotorfahrzeuge, mit einer maximalen Länge von 18 m.

Anwendungsbereich	Anwendungsformen	Grundtyp	Repräsentatives Fahrzeug Véhicule représentatif	Véhicule type	Exemples	Domaine d'application
Wohngebiete	Abb. 1...12	Lastwagen (Normalfall)	 10-m-Lw <i>Camion de 10 m</i>	<i>Camion (cas normal)</i>	Fig. 1...12	Zones d'habitation
		Lastwagen (Minimalfall)	 8-m-Lw <i>Camion de 8 m</i>	<i>Camion (cas minimum)</i>		
Industrie- und Gewerbegebiete	Abb. 13	Anhängierzüge	 Anhängierzug <i>Esquisse d'un train routier</i>	<i>Trains routiers</i>	Fig. 13	Zones industrielles et artisanales
		Sattelmotorfahrzeug	 Sattelmotorfahrzeug <i>Véhicule articulé</i>	<i>Véhicules articulés</i>		

**Tab. 1**  
Anwendungsbereich und repräsentative Fahrzeuge  
Abb. 1 Auszug aus VSS SN640 052 (13.)

**Tab. 1**  
Domaine d'application et véhicules représentatifs

Die verschiedenen zugelassenen LKW sind in verschiedene Kategorien aufgeteilt. Es handelt sich hier um bis zu 40 t schwere Fahrzeuge mit 5 bis 6 Achsen.

Tabelle 2.2 – Definierte Verkehrsklassen


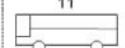

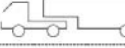
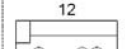
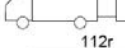
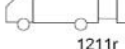

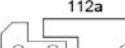
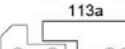
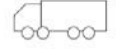
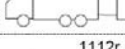
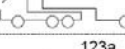


Kategorie	Leichte Fzg.	Einzelne Fahrzeuge	Fahrzeuge mit Anhänger	Gelenkfahrzeuge
Klassen	 < 3.5t	11 	111 	111 
		12 	1111r  112r  1211r 	112a  113a 
		22 	122 	122 
			1112r 	123a 

Abb. 2 Auszug, siehe S. 10 (2.)

Zur Information ist eine Aufteilung genannter Kategorien in Bezug auf den Transit auf der Nord-Süd-Achse in Göschenen graphisch dargestellt. Man beachte den hohen Schwerverkehrsanteil (vorwiegend längere Fahrzeuge, wie Sattelmotorfahrzeuge und Anhängerzüge).

Abb. 3 Auszug, siehe S.11 (2.)

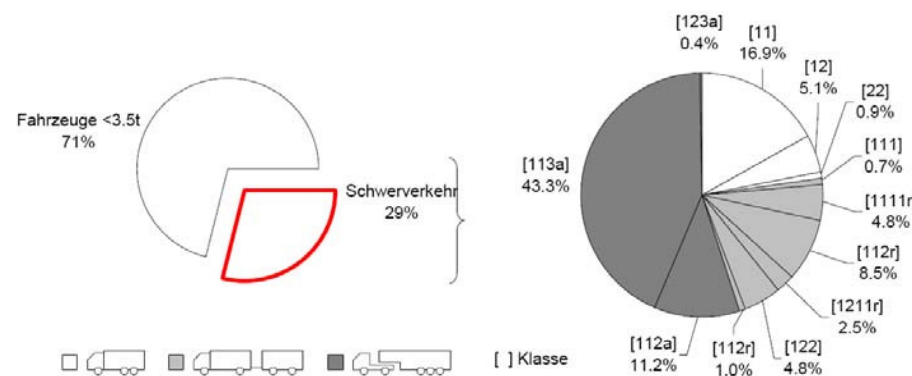


Bild 2.12 – Verkehrszusammensetzung in Göschenen im Jahre 2003

In Bezug auf die Dimensionierung der Strassenbauwerke (Kunstbauten) sind kurze Fahrzeuge mit hoher punktueller Radlast und hoher Überladungsgefahr besonders signifikant.

1. Die Baustellenlastwagen mit 5 Achsen (Typ 23) und einem zulässigen Gewicht von 40 Tonnen sind sehr signifikante Fahrzeuge, da die 5 Achsen auf nur ca. 6.8 m verteilt sind :

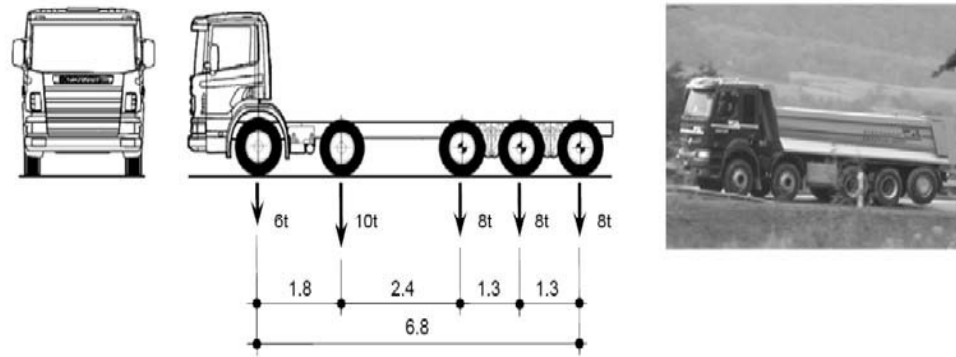


Bild 2.16 – 40 Tonnen Baustellenlastwagen vom Typ 23

Dieser Typ Fahrzeug kann leicht überladen werden, weshalb dafür ein Lastfaktor von  $\gamma_Q = 1.5$  angesetzt wird. Der dynamische Beiwert wird bei einem Fahrzeug dieses Gewichts auf 1.3 angesetzt.

Abb. 4 Auszug S. 15 (2.)

Auf dem Grossteil der Schweizer Autobahnen sind auch Sondertransporte möglich<sup>2</sup>. Es handelt sich um Einzelfälle, die eine Sonderbewilligung erfordern und von Bund und Kantonen streng reglementiert sind.

2. Die Pneukrane mit einem Gewicht von 60 Tonnen dürfen nur mit einer Sonderbewilligung fahren. Ausserdem sind sie mit ihren 5 Achsen à je 12 Tonnen, welche nur auf 7.2 m verteilt sind, sehr signifikant :

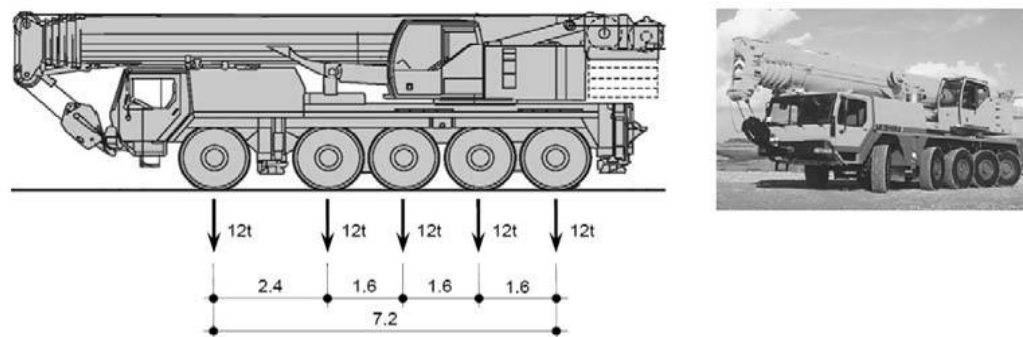


Bild 2.17 – 60 Tonnen Pneukran

Für diesen Fahrzeugtyp sind die Gewichtsschwankungen relativ gering, da die Ladung meistens konstant ist. Deshalb wird lediglich ein Lastfaktor von  $\gamma_Q = 1.1$  angesetzt. Der dynamische Beiwert beträgt, wie bei den 40 Tonnen Baustellenlastwagen, ebenfalls 1.3.

Abb. 5 Auszug S. 15 (2.)

<sup>2</sup> Vgl. Abb. 10 und Anhang 4



**4.2 60-t-Megatrucks**

Bei Erhöhung des maximalen Gesamtgewichts auf 60 t könnten auf den Schweizer Strassen folgende neue Fahrzeugkategorien zugelassen werden:

Vor allem würden gemäss dem Bericht der EU-Generaldirektion Energie und Verkehr bis zu 25.25 m lange Lastwagen, so genannte Megatrucks oder Gigaliner, von 60 t Gesamtgewicht auf 7 bis 8 Achsen verteilt, zugelassen (6.).

Figure 2: Summary of the consequences on infrastructures, without countermeasures

Code	Shape	Pavement	Bridges	
			Extrême loads	Fatigue
A40 (current vehicles)		0	Green	Green
A44		2.38	Yellow	Yellow
A48		>2.38	Red	Red
B40		1.22	Green	Green
B44		1.83	Yellow	Yellow
B48		>1.83	Red	Red
C40		1.02	Green	Green
C44		1.42	Yellow	Yellow
C48		1.83	Red	Red
D46		1.04	Green	Green
E50		0.55	Yellow	Green
F50		0.53	Yellow	Green
G50		0.42	Yellow	Green
E60		2.00	Red	Red
F60		2.07	Red	Red
G60		1.46	Red	Red

Abb. 6 LKW-Kategorien gem. EU-Bericht S. 12 (6.)

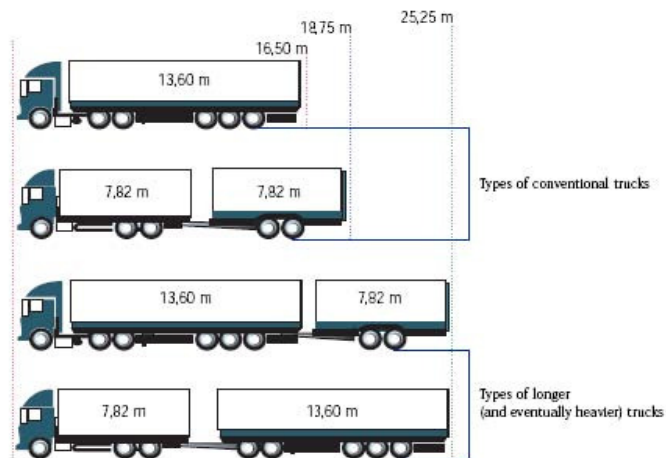


Abb. 7 Megatrucks: Beispiele

Bei Erhöhung der Gewichtslimiten könnten auf den Schweizer Strassen auch andere schwere Fahrzeuge wie zum Beispiel grosse Baustellenfahrzeuge und Autokrane zugelassen werden.

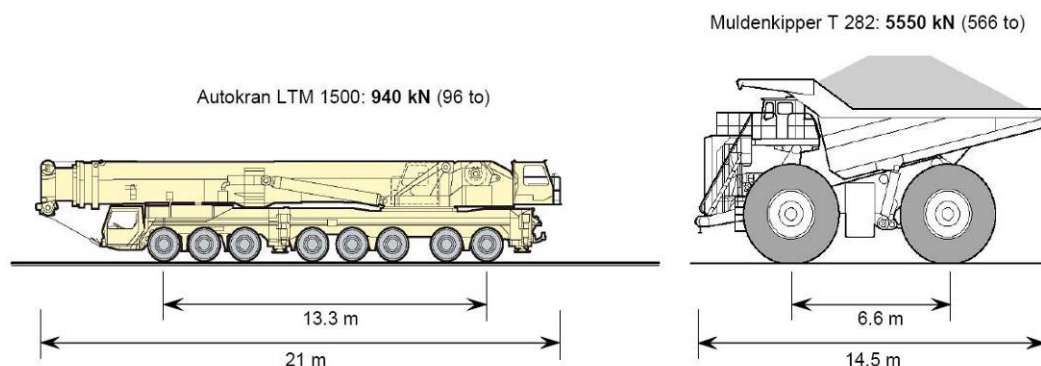


Bild 192: Gewicht einer der grössten Autokrane sowie einer der grössten Muldenkipper  
Abb. 8 Baustellenfahrzeuge, Auszug S. 192 (1.)

Zum Vergleich sind hier die Gewichte von einer Lokomotive und einem Panzerfahrzeug angegeben. Megatrucks wären etwa so lang und schwer.

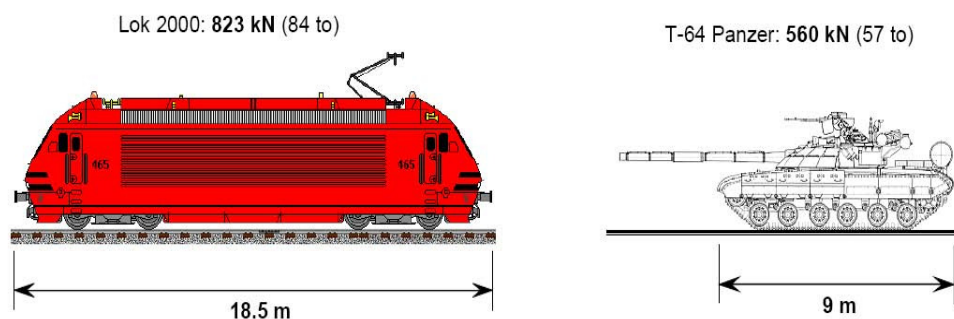


Bild 191: Gewicht einer typischen Lokomotive sowie eines schweren Kampfpanzers  
Abb. 9 Auszug S. 191 (1.)

## 5. Eigenschaften des Schweizer Strassennetzes

### 5.1 Das Schweizer Strassennetz

Das Schweizer Nationalstrassennetz, 1766 km lang, untersteht direkt dem Bund und wird durch das Bundesamt für Strassen ASTRA verwaltet. Das Netz ist zu 93.3% (der insgesamt 1862.5 geplanten km) fertig gestellt.

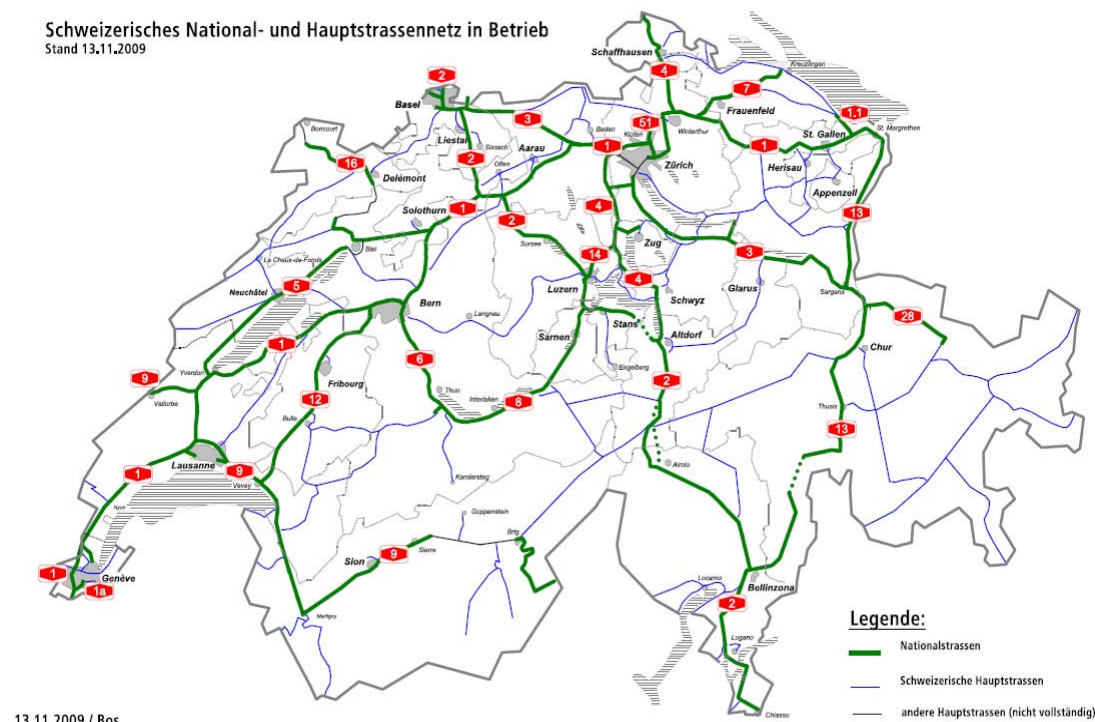


Abb. 10 Schweizerische Strassen, auf welchen Sondertransporte genehmigt werden.

Die Nationalstrassen machen etwa 2% des gesamten schweizerischen Strassennetzes aus. Weiter ist ein dichtes Netz an Kantonstrassen (18.136 km) und Gemeindestrassen (51.446 km)<sup>3</sup> vorhanden.

Etwa 11%, das entspricht 200 km, des Autobahnnetzes sind untertunnelt<sup>4</sup>. Zu anderen Kunstbauten wie Strassenbrücken, Stützmauern usw. sind keine öffentlichen Daten verfügbar. Das Bundesamt für Strassen ASTRA betreibt die Kunstbautendatenbank KUBA<sup>5</sup>. Leider war uns der Zugriff auf diese Informationen<sup>5</sup> nicht möglich, auch statistische Daten der Kantone sind nicht leicht einsehbar. Es sollten aber mit Hilfe mehrerer existierender Datenbanken statistische Untersuchungen vorgenommen werden, mit dem Ziel, die im Schweizer Strassennetz vorhandenen Bauwerke zu quantifizieren und anhand schon durchgeführter Unterhaltsarbeiten die häufigsten Problemfälle deutlich zu machen.

<sup>3</sup> Vgl. (7.) BFS, Mobilität und Verkehr 2009

<sup>4</sup> Vgl. (5.) Strassen und Verkehr 2009 ASTRA

<sup>5</sup> KUBA Kunstbautendatenbank / Banque de données pour les ouvrages d'art

Zur Information führen wir Daten über die Autobahn A2 im Tessin an, die aus einer Publikation stammen, die anlässlich der Fertigstellung in den Achtziger Jahren erschienen ist<sup>6</sup>. Die 143 km Autobahn im Tessin enthalten zahlreiche Tunnel und andere Bauwerke. In der Leventina und am Monte Ceneri verläuft über ein Drittel der Gesamtstrecke über Viadukte. In der Leventina ist zudem der Anteil an Tunnelstrecken (in der Piottino-Schlucht etwa 37%) besonders hoch. Generell ist anzunehmen, dass die alpenquerenden Autobahnabschnitte etwa zu 20% aus Brückenbauwerken und zu 20% aus Tunneln bestehen. Darüber hinaus dürfen Nebenbauwerke wie Stützmauern, Überführungen, Unterführungen usw. nicht vergessen werden.

Der Anteil an Brücken und Tunneln ist auch entlang der Hauptstrassen in den bergigen Kantonen (Graubünden, Tessin, Uri, Wallis, usw.) sehr hoch, sicherlich deutlich höher als im Flachland.

## 5.2 Allgemeiner Zustand der Schweizer Strassen

Bedauerlicherweise war es nicht möglich, Angaben zum Zustand und zu anstehenden Unterhaltsarbeiten des Strassennetzes zu erhalten. Gemäss ASTRA sind im Schnitt alle 15 Jahre grosse Unterhaltsarbeiten an den Autobahnen vorgesehen. Je nach Bedarf werden dabei Verstärkungen und Anpassungen vorgenommen.

Auf Kantonebene konnte festgestellt werden, dass Verstärkungs- und Anpassungsarbeiten in Abhängigkeit vom allgemeinen Zustand des Strassenabschnittes und dessen Wichtigkeit durchgeführt werden. Graubünden zum Beispiel hat mitgeteilt, dass ein Grossteil seiner Strassen am Anfang des vergangenen Jahrhunderts gebaut wurde und deshalb den heute geltenden Verkehrserfordernissen nicht mehr entspricht. Dies gilt wohl auch für das Strassennetz anderer Kantone.

Aufgrund genannter Erkenntnisse ziehen wir den Schluss, dass der Grossteil der nationalen Autobahnen für den heute zugelassenen Schwerverkehr bis 40 t geeignet ist. Was die Strassen der Kantone betrifft, liegt es nahe, dass nur die Hauptverbindungsstrecken angepasst wurden. Beispielsweise sind im Tessin wegen Mängeln an Belastbarkeit und Strassenführung verschiedene Kantonsstrassen schon heute für den Schwerverkehr nur beschränkt nutzbar<sup>7</sup>.

---

<sup>6</sup> Vgl. (16.) e (17.)

<sup>7</sup> [http://www.ti.ch/dt/dc/asco/usip/temi/Traf\\_pes/Traf\\_pes\\_vis\\_res/traf\\_pes\\_vis\\_res.htm](http://www.ti.ch/dt/dc/asco/usip/temi/Traf_pes/Traf_pes_vis_res/traf_pes_vis_res.htm)

### 5.3 Bau- und Unterhaltskosten des Autobahnnetzes

Das Schweizer Autobahnnetz wurde grösstenteils in den Sechziger bis Achtziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts gebaut, genauer gesagt, zwischen 1958 und 1986. Die Baukosten betragen insgesamt etwa 20 Milliarden Franken (ohne Teuerung), umgerechnet etwa 11.5 Mio. pro Kilometer.

Was die Tessiner Autobahnabschnitte betrifft, so ergaben sich Kosten von etwa 5000 Mio. Franken (ohne Teuerung), also in etwa 35 Mio. pro Kilometer. Diese Kosten entstanden grösstenteils aufgrund des hohen Anteils an Viadukten und Tunnels. Wenn man bedenkt, dass sich die Baukosten in den letzten 50 Jahren in etwa verdoppelt haben, liegt der geschätzte Durchschnittswert des Autobahnnetzes bei ca. 50 Mio. pro Kilometer.

Diese Angaben bestätigen sich auch durch die Zahlen der jüngsten grossen Baustellen:

- Gesamterneuerung Stadttangente A1 Bern ca. 40 Mio. Fr./km
- Gesamterneuerung Stadttangente A2 Luzern ca. 80 Mio. Fr./km
- Strassenbelagserneuerung A1 Morges Ecublens ca. 18 Mio. Fr./km
- Strassenbelagserneuerung A1 Oftringen ca. 20 Mio. Fr./km
- Neuer Autobahnring A13 Roveredo ca. 70 Mio. Fr./km

Der Gesamtwert des Schweizer Autobahnnetzes kann demnach auf etwa 88 Milliarden Franken geschätzt werden.

Ein ordnungsgemässer Unterhalt der Infrastruktur sieht allgemein folgende Gebrauchsdauern vor: Strassenbauwerke etwa 80 Jahre, Strassenbelag und Oberbau etwa 30 Jahre. Die jährlichen Unterhaltskosten zum optimalen Erhalt des Strassennetzes betragen demnach 3,5% für Oberbau und Strassenbelag und 1,25% für Kunstbauten. Bei einem zu 50% aus reiner Strasse (20 Mio./Jahr und km) und zu 50% aus Strassenbauwerken (70 Mio./Jahr und km) bestehenden Strassennetz ergibt sich ein optimaler Jahresunterhaltsbetrag von etwa 1400 Mio. Fr.

Laut ASTRA wurden 2009 für gewöhnliche und aussergewöhnliche Unterhaltsarbeiten ca. 1200 Mio. Fr. ausgegeben.

Die Unterhaltskosten sind im Laufe der Jahre deutlich angestiegen<sup>8</sup> und der Trend wird sich voraussichtlich nicht ändern. Tatsächlich sind seit dem Bau über 30 Jahre vergangen, was bedeutet, dass der Strassenoberbau seine maximale Lebensdauer inzwischen erreicht hat. Die in den Neunziger Jahren vorgenommene Erhöhung der Gewichtslimite von 28 auf 40 t hat den Abnutzungsprozess weiter beschleunigt.

Ähnliche Überlegungen gelten auch für die kantonalen Hauptstrassen.

<sup>8</sup> In Bezug auf die Zeitspanne 1985-2000 etwa 350 Mio./Jahr, von 2001 bis 2008 wachsende Beträge von 580 bis 800 Mio. Fr.

## 6. Auswirkungen des Schwerverkehrs auf das Strassennetz

Einige Experten sagen, ein LKW beschädige die Fahrbahn gleich stark wie 10'000 PKW<sup>9</sup> und dass der Schaden direkt von der punktuellen Achslast abhängig sei: zwei- bis dreiachsige voll beladene LKWs verursachen mehr Schäden als vier bis fünfachsig LKWs.

Angesichts der Tatsache, dass der Schwerverkehrsanteil auf der Nord-Süd-Achse 29% beträgt (vgl. Abb. 3), kann man folgern, dass die Frage des Unterhalts der von Lastwagen stark befahrenen Strecken an Bedeutung gewinnt.

Im Bereich der Strassen- und Strassenbauwerkplanung hat der Schwerverkehr mit bis zu 60 t schweren Lastwagen Auswirkungen, die in den nachfolgenden Kapiteln näher untersucht werden:

### Strukturelle Aspekte:

- Tragfähigkeit und Abnutzung des Strassenoberbaus
- Tragfähigkeit von Strassenbrücken
- Ermüdungseffekte bei Brücken
- Dynamische Effekte bei Widerlagern oder Ähnlichem
- Beschädigung von Seitenstrukturen und Leitplanken

### Geometrische Aspekte:

- Kurvengeometrie
- Kreisel und Kreuzungen
- Auffahrtsrampen, Beschleunigungs- und Verzögerungstreifen.

---

<sup>9</sup> Vgl. E-Mail des Tiefbauamtes Graubünden

### 7. Strassenoberbau

Der Oberbau aller Strassen besteht aus einer Deckschicht aus bituminösem Mischgut und einer Tragschicht aus einem Kies-Sand-Gemisch. Der Oberbau ist durch den Schwerverkehr direkt belastet.

Der Oberbau kann in Abhängigkeit von Wetterlagen und Nutzungsart verschieden dick ausgeführt werden.

Gemäss VSS-Normen 640 320 und 320b soll die Dimensionierung des Strassenoberbaus und -unterbaus auf die Verkehrslast und die thermischen Bedingungen und Frost abgestimmt sein.

Die Verkehrslastkategorie wird auf Grund des vorgesehenen Schwer- und Leichtverkehrs der nächsten 20 Jahre errechnet. Die Rechnung zieht die Gesamtzahl an schweren Lastwagen, die eine bestimmte Strecke befahren, in Betracht, wobei die Fahrzeugkategorie anhand bestimmter Äquivalenzfaktoren mit einbezogen wird.

Tab. 4  
Äquivalenzfaktoren nach SLF-Kategorien

Tab. 4  
Facteurs d'équivalence par catégories de PL





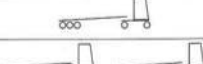

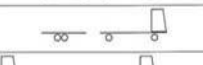



Kategorien von schweren Lastfahrzeugen (SLF) gemäss Norm [2] <i>Catégories de poids lourds (PL) selon norme [2]</i>	Oberbau mit bituminösem Mischgut <i>Chaussée en enrobé bitumineux</i>	Oberbau mit Beton <i>Chaussée en béton</i>
Lastwagen <i>Camion</i>	1,0	1,3
Lastenzug <i>Camion remorque</i>	2,2	2,2
Sattelschlepper <i>Semi-remorque</i>	1,4	1,4

Abb. 11 Äquivalenzfaktoren zur Errechnung der gewichteten Verkehrslast, Auszug (19)

Abb. 12 Äquivalenzfaktoren nach Schwerverkehrsklasse, Auszug (19)

Tab. 3  
Äquivalenzfaktoren nach Schwerverkehrsklassen

Tab. 3  
Facteurs d'équivalence par classes de véhicules lourds

Fahrzeugsilhouetten der Schwerverkehrsklassen <i>Silhouettes des classes de véhicules lourds</i>	Oberbau mit bituminösem Mischgut <i>Chaussée en enrobé bitumineux</i>	Oberbau mit Beton <i>Chaussée en béton</i>
	0,8	0,7
	1,5	2,3
	1,5	2,6
	0,5	0,5
	1,6	1,7
	1,4	1,4
	1,1	1,4
	2,2	2,2
	2,6	2,7
	1,3	1,5

Die Dimensionierung des Oberbaus ist demnach direkt von der Fahrzeugklasse und der punktuellen Achslast abhängig. Aus einer Hochrechnung zu den angegebenen Koeffizienten ergibt sich, dass die Auswirkungen auf den Strassenoberbau umso grösser sind, je grösser und schwerer die Lastwagen sind. Dieses Ergebnis ist auch durch eine europäische Studie belegt (siehe Abb. 6). Die geltenden VSS-Normen sollten in diesem Sinne aufgrund detaillierter Forschungsarbeiten für die neuen Schwerverkehrsfahrzeuge ergänzt werden.

Erforderlicher Strukturwert $SN_{\text{erf}}$ in Funktion von der gesamten äquivalenten Verkehrslast $W_n$ und Tragfähigkeitsklasse $S_i$			
Valeur structurelle nécessaire $SN_{\text{erf}}$ en fonction du trafic pondéral équivalent total $W_n$ et de la classe de portance $S_i$			
Gesamte äquivalente Verkehrslast Trafic pondéral équivalent total $W_n$	Tragfähigkeitsklassen $S_i$ Classes de portance		
	S2	S3	S4
Erforderlicher Strukturwert $SN_{\text{erf}}$ Valeur structurelle nécessaire			
200 000	63	52	42
750 000	78	64	53
1 000 000	82	67	55
2 000 000	92	76	62
5 000 000	106	88	72
10 000 000	117	98	81
20 000 000	129	109	90
50 000 000	145	124	104
75 000 000	153	131	110
100 000 000	159	136	115

**Tab. 6**  
Erforderlicher Strukturwert  $SN_{\text{erf}}$  in Funktion von der gesamten äquivalenten Verkehrslast  $W_n$  und Tragfähigkeitsklasse  $S_i$

**Tab. 6**  
Valeur structurelle nécessaire  $SN_{\text{erf}}$  en fonction du trafic pondéral équivalent total  $W_n$  et de la classe de portance  $S_i$

Abb. 13: Erforderliche Strukturwerte in Funktion der äquivalenten Verkehrslast, Auszug (20.)

Es liegt also nahe, dass eine mögliche Zulassung von schwereren LKWs gravierendere Schäden (Spurrillen, Risse, Verformungen, usw.) und eine schnellere Abnutzung der Strassenbeläge an allen Strassen und Strassenbauwerken, die Brücken und Tunnels mit einschliessen, verursachen und häufigere Unterhaltsarbeiten erfordern würde. Dadurch würden zusätzliche Kosten entstehen, und die vielen Baustellen zur Strassenerneuerung würden immer häufiger den Verkehr behindern.

Dieser Aspekt ist nicht nur in Hinblick auf das Nationalstrassennetz, sondern auch in besonderem Masse für die Kantons- und Gemeindestrassen von extremer Relevanz.

Bei 1766 km Nationalstrassen und 18'136 km Kantonsstrassen und einer Ausgabe von etwa 500 Fr./m<sup>2</sup> für die Erneuerung und Sanierung des Strassenoberbaus entstünden allein für das Nationalstrassennetz Kosten in der Höhe von rund **600 Mio./Jahr über 15 Jahre**.



Auf Kantons- und Gemeindeebene wären sogar noch aufwändigere Eingriffe erforderlich.

Aufgrund der erheblichen finanziellen Folgen sind wir der Ansicht, dass die Frage der Dimensionierung des Strassenoberbaus im Rahmen wissenschaftlicher Forschungsarbeiten weiter vertieft werden sollte.

## 8. Strassenbrücken

Im folgenden Kapitel sollen einige technische und statische Angaben erläutert werden. Da die Daten aus verschiedenen verfügbaren Unterlagen stammen, sind hier die Lasten in kN ausgedrückt. Es gilt also: 10 kN = 1 t (400 kN = 4 t, 600 kN = 6 t). Es wird unterschieden zwischen der punktuellen Radlast in kN und der auf die Gesamtlänge des Fahrzeugs verteilten Linienlast in kN/m.

### 8.1 Vorgesehene Verkehrslastmodelle gem. SIA-SWISSCODE-Normen

Die Dimensionierung aller Strassenbrücken und Kunstbauten in der Schweiz erfolgt nach den durch die SIA erlassenen, stets aktualisierten Vorschriften. Die durch die Erhöhung der Gewichtslimite bei Lastwagen von 28 auf 40 t in den Achtziger und Neunziger Jahren bedingte Steigerung der Belastung von Brücken und Strassenbauwerken erforderte eine Anpassung der Tragwerksnormen. 2003 trat die neue SWISSCODE SIA 261 „Einwirkungen auf Tragwerke“ in Kraft.

Die Fahrzeuglasten werden durch in kN und kN/m ausgedrückte statische Kräfte unter Berücksichtigung der durch die Mechanik der Fahrzeuge, die Unebenheiten des Untergrunds und die ungleichmässige Verteilung der Lasten auf den Fahrzeugen hervorgerufenen dynamischen Effekte simuliert.

Die Norm sieht vereinfachte Verkehrslastmodelle zur Simulation der verschiedenen durch Lastfahrzeuge hervorgerufenen Effekte vor.

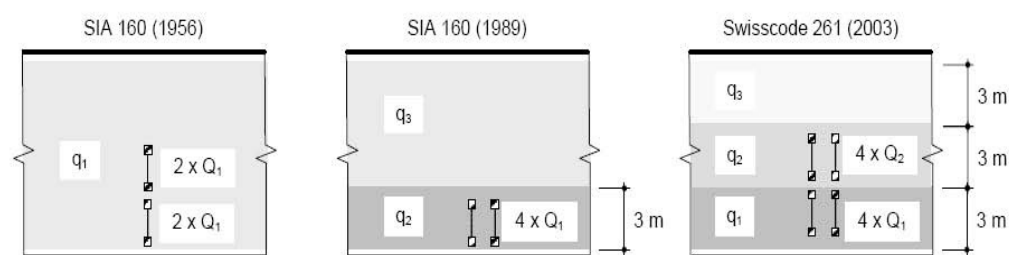


Bild 187: Verkehrslastmodelle in Schweizer Normen

Abb. 14 Verkehrslastmodelle gem. SIA-Normen (Entwicklung ab 1956), S. 188 (1.)

Es handelt sich um stark vereinfachte Modelle, welche eine Darstellung aller möglichen Lastenverteilungen beim LKW und deren entsprechenden dynamischen Effekte ermöglichen sollten. [1]

Bild 190 zeigt, was der Vergleich der gültigen Schweizer Lastnorm Swisscode 261:2003 mit einem kompakten, schweren Lastwagen ergibt: Gemäss Norm wird ein Gesamtgewicht in extremer Grösse von 1120 kN berücksichtigt. Der Rechenwert auf Gebrauchsniveau beträgt immer noch 747 kN. Zum Vergleich: eine moderne Lokomotive der Schweizerischen Bundesbahnen (Lok 2000) wiegt 824 kN (84 to) und hat eine Länge über Puffer von 18.5 m (Bild 191). Die 1120 kN wirken demgegenüber nur auf 8.5 m Länge, was der Fahrzeuglänge und einem Abstand von 0.5 m nach vorne und hinten entspricht.

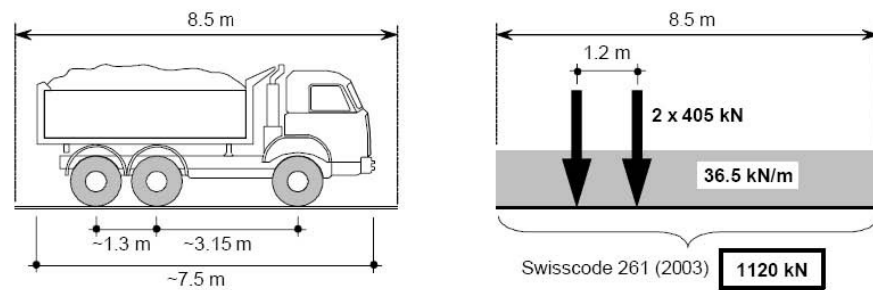


Bild 190: Verkehrslasten und Verkehrslastmodelle

Abb. 15 Vergleich zwischen einem typischen LKW und dem Verkehrslastmodell nach Norm SIA 261, bei  $\gamma_Q=1.5$  S. 190 (1.)



Bild 204: Verkehrslast infolge typischer Lastwagen

Abb. 16 Verkehrslast, typische Situation: einzelnes Fahrzeug und LKW-Stau auf einer Fahrbahn S. 203 (1.)

Diese Beispiele zeigen, dass nach der Zulassung der 40 t schweren Lastwagen in der Überarbeitung der Norm SIA 261 von 2003 die Dimensionierungslasten deutlich erhöht wurden.

Ausserdem sieht die Norm eingehende Vorschriften in Bezug auf weitere durch LKW verursachte Einwirkungen vor:

- **Horizontale Beschleunigungs- und Brems-Längskräfte**  
Horizontale Kräfte, welche Pfeiler und Widerlager beanspruchen. Diese Lasten sind proportional zu den oben genannten senkrechten Lasten. Bei grösseren Strassenbauwerken (Kunstabauten) können Bremskräfte von bis zu 900 kN (90 t) erreicht werden. Diese Angabe ist besonders relevant, wenn es sich um Bauwerke mit Gefälle handelt.
- **Fliehkräfte bei Bauwerken in Kurven**  
Auch diese Kräfte sind proportional zu den senkrechten Lasten und wirken gemeinsam mit den Beschleunigungs- oder Bremskräften. Bei Kurvenradien unter 200 m betragen die Fliehkräfte 20% der Punktlast. Sie sind aus diesem Grund bei der Dimensionierung nicht vernachlässigbar. Bei höherer Achsenanzahl der 60-t-LKW kommt es zu einer deutlichen Erhöhung dieser Kräfte.
- **Lastmodelle für Sondertransporte**  
Auf den Schweizer Hauptstrassen sind zurzeit Sondertransporte bis 60 t möglich. Sie erfordern allerdings eine Sondergenehmigung. Gemäss Norm SIA 261/1 wurden die entsprechenden Lastmodelle entwickelt.

## 8.2 Brücken-Typen

Die Schweiz besitzt im Brückenbau eine langjährige Tradition, insbesondere was die Spannbetontechnik mit bauseitigem Guss anbelangt<sup>10</sup>. Genannte Tradition führt zu Planungswettbewerben für die wichtigeren Bauwerke, wobei es sich meist um stark diversifizierte, nicht standardisierte Projekte handelt. Entlang unserer Autobahnen finden wir also gewagt anmutende Bauwerke wie zum Beispiel die Felsenaubücke in Bern oder den besonders hohen und langen Biaschina-Viadukt in der Leventina.



Fig. 17 Viadotto strallato Sunniberg, circonvallazione Klosters, ing. Menn  
Abb. 17 Sunniberg-Hängeviadukt, Umfahrung bei Klosters, Ing. Menn

Neben den oben genannten bedeutenden Bauwerken existieren zahlreiche Stahlbetonbauwerke verschiedener Art und Geometrie: Brücken in Kurven, Doppel-Kastenbrücken, Brücken mit offenem Querschnitt, Plattenbrücken, Balkenbrücken, Brücken mit interner oder externer Vorspannung. Genannte Bauwerke wurden zu einer optimalen Integration und Anpassung der Strassen an die komplizierte Topographie des Landes geplant. In anderen Ländern mit günstigeren topographischen Verhältnissen ist die Anzahl an Strassenbauwerken geringer und deren Typologie schwächer differenziert (meist Stahlbalkenstrukturen und standardisierte Fertigelemente aus Spannbeton).

Aus diesem Grund sind wir nicht in der Lage, allgemeingültige Schlussfolgerungen über die Tragfähigkeit der schweizerischen Strassenbauwerke in Bezug auf etwaige Verkehrslaständerungen zu formulieren. Das ASTRA und die Kantone beauftragen in der Regel externe Ingenieurbüros mit dieser Art Berechnungen.

2006 wurde von der École Polytechnique Fédérale de Lausanne eine Studie über die verschiedenen Brückenarten durchgeführt (vgl. (2)), welche ergab, dass das strukturelle Verhalten in Abhängigkeit von dem statischen System und dem Querschnitt variiert.

<sup>10</sup> Ingenieure wie Maillard und Menn sind für ihre im schweizerischen Strassensystem vorkommenden Bauwerke weltbekannt.

Die Studie der École Polytechnique Fédérale de Lausanne (vgl. (2)) unterscheidet folgende typische Bauwerkskategorien:

- Kastenbrücken
- Zweistegige Balkenbrücken
- Mehrstegige Balkenbrücken
- Plattenbrücken

Die Analysen wurden anhand realistischer Simulationen von Schwerverkehr durchgeführt. Dabei wurden sowohl die durch LKW verursachten Lasten als auch die Verkehrsintensität berücksichtigt. Genannte Werte wurden mit den Ergebnissen der Strukturanalysen gem. Norm SIA 261 verglichen (2003).

Anhand der durchgeführten Analysen können folgende allgemeine Überlegungen formuliert werden:

- Aufgrund des hohen Anteils an Eigengewicht von Spannbetonbrücken sind diese im Vergleich zu den in der Schweiz seltener vorkommenden Stahlbrücken durch mögliche Verkehrslaständerungen weniger beeinflusst.
- Längere Brücken sind durch Linienlasten stärker beansprucht.
- Punktuelle Achslasten sind für die Dimensionierung von kurzen Brücken und einzelnen strukturellen Elementen wie Gurtplatten und Kragen ausschlaggebend.
- Die Scher- und Torsionsspannungen sind bei kleineren Bauwerken deutlich höher.
- Allgemein sind die vom SIA vorgesehenen Verkehrslasten sicher, weshalb es möglich ist, zum Zweck der strukturellen Bewertung bestimmte Reduktionsfaktoren bei den vorgeschriebenen Lasten anzuwenden. Genannte Faktoren sind von Bauwerk zu Bauwerk verschieden. Bei der in der SIA-Norm 261 vorgesehenen Konstante  $\alpha=0,9$  ergibt sich eine mögliche Faktorreduktion um ca. 20% bei Punktlasten und 40% bei Linienlasten.

Tabelle 6.1 – Aktualisierte  $\alpha$ -Beiwerte für die Überprüfung bestehender Strassenbrücken

Brücken	Querschnitt	Spannweiten	$\alpha_{Q1}$	$\alpha_{Q2}$	$\alpha_{Q1}, \alpha_{Q2}$
Balken	Kasten	20-80 m	0.70	0.50	0.50
	Zweistegig	20-80 m			0.40
	Mehrstegig	15-35 m			0.40
Platten		8-30 m			0.40

Soll die Überprüfung auch für 96 Tonnen Pneuکرane durchgeführt werden, können die im Anhang A.10 aufgeführten aktualisierten  $\alpha$ -Beiwerte verwendet werden.

Abb. 18 Reduktionsfaktoren in Abhängigkeit von Bauwerktypus und Art der Verkehrslast. S. 35 (2.).

### 8.3 Zustand der Kunstbauten im Autobahnnetz

Während die nach 2003 erbauten Kunstbauten den neuen Vorschriften entsprechen, müssen die aus der Zeit vor 2003 errichteten Bauwerke auf Tragfähigkeit und Funktionalität überprüft werden. Dabei machen letztere fast die Gesamtheit des Schweizer Strassennetzes aus.

Das ASTRA hat aus diesem Grunde die Frage der Notwendigkeit einer eventuellen Verstärkung der schon vorhandenen Bauwerke bereits untersucht und den verschiedenen Eidgenössischen Technischen Hochschulen entsprechende Studien in Auftrag gegeben. Aus genannten Studien hat sich folgendes ergeben:

- Bei den kleineren Bauwerken sind die Beanspruchungen durch punktuelle Lasten deutlich höher, weshalb keine Verstärkungsarbeiten einzuplanen sind.
- Bei grossen Bauwerken, zum Beispiel bei Brücken mit über 20 m Spannweite, sind die Gesamtlasten höher, weshalb je nach Konstruktionsweise Verstärkungsarbeiten notwendig sein könnten.
- Bei Bauwerken in Kurven müssen aufgrund der starken Scher- und Torsionsspannungen die neuen Vorschriften bezüglich der Fliehkräfte angewandt werden.

Im Normalfall beauftragen das ASTRA und die Kantone private Ingenieurbüros und Experten der eidgenössischen TU (technischen Hochschulen) mit den Berechnungen der einzelnen Bauwerke.

#### 8.4 Überlegungen bezüglich der Anhebung der Gewichtslimite von 40 auf 60 t.

Aus den wichtigsten Publikationen geht hervor, dass die vereinfachten Verkehrslastmodelle der geltenden SIA-Normen konservativ gehalten sind und teilweise der reellen Verkehrslast nicht ganz entsprechen.

Von grösster Bedeutung in der folgenden Umsetzung der Erkenntnisse ist das ingenieurmässige *Denken in Gefährdungsbildern*. Die einfachen Lastmodelle der Bemessungsnorm genügen bei einer vertieften Überprüfung nicht mehr, sondern es ist notwendig, sich eine konkretere Vorstellung vom jeweils massgeblichen Gefährdungsbild zu machen. Dies bezieht sich sowohl auf die Anzahl Schwerverfahrzeuge, welche den Verkehrslasten auf Bemessungsniveau entsprechen, als auch auf die massgeblichen Fahrzeugstellungen und -kombinationen für lokale Nachweise.



Bild 169: Links: Massgeblicher Lastfall für das primäre Tragsystem, rechts: schwere, kompakte Bautransporter sind aufgrund deren steifer Federung auch dynamisch gesehen die aggressivsten Fahrzeuge

Abb. 19 I.: Massgeblicher Lastfall für das primäre Tragsystem, r.: ein schweres und kompaktes Lastfahrzeug ist aufgrund der steifen Federung dynamisch gesehen besonders aggressiv. S. 138 (1.)

- **Entwicklung realitätsnaher Verkehrsmodelle für die Überprüfung bestehender Strassenbrücken**

Bei der Überprüfung von zweispurigen Strassenbrücken mit Gegenverkehr wird in der Schweiz eine Aktualisierung der Lastwerte der Normlastmodelle empfohlen. Bei der Ermittlung aktualisierter Lastwerte gemäss [Imhof et al. 2001] ergeben sich teilweise unrealistisch tiefe Werte für die verteilten Lasten. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass die Verkehrslastmodelle in Bemessungsnormen teilweise keinen Bezug zur Realität haben, wie im Abschnitt zu Verkehrslasten auf Strassenbrücken gezeigt wird. Bei grossen Spannweiten hat dies keinen Einfluss, meist sind jedoch vor allem kleinere Brücken und Fahrbahnplatten kritisch.

Es wird daher empfohlen, gerade für kleinere Brücken realitätsnähere Lastmodelle zu entwickeln, um die Tragsicherheit besser abzuschätzen. Beispiele für geeignete Modelle sind in Bild 180 dargestellt. Die angegebenen Lastkennwerte stellen dabei bereits die extremen Werte dar und wären bei der Integration in bestehende Normen und Empfehlungen durch den Lastfaktor  $\gamma_Q$  zu dividieren.

Höhere Lastkennwerte rechtfertigen sich einerseits bei dichtem Verkehr. Andererseits werden an Brücken auf stark belasteten Abschnitten auch höhere Ansprüche an die Zuverlässigkeit gestellt. Diesem wichtigen Aspekt des Strassenmanagements wurde bisher jedoch wenig Aufmerksamkeit geschenkt.

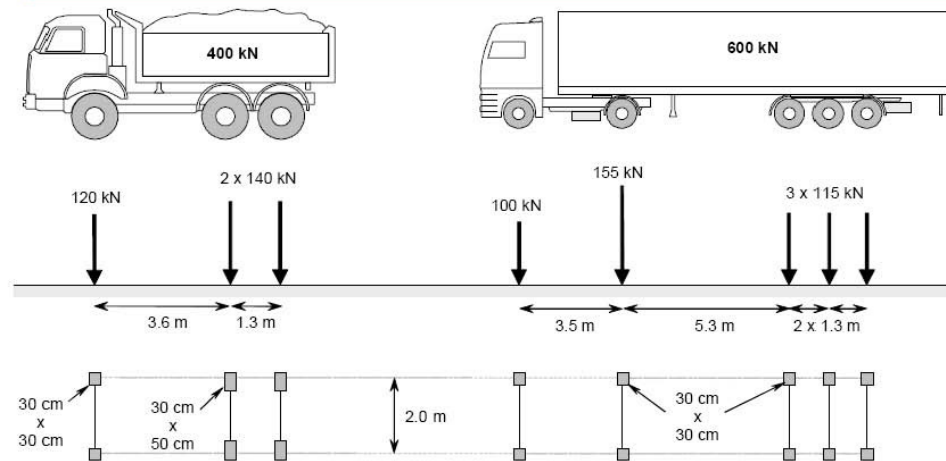


Bild 180: Lastmodelle für extrem schwere Einzelfahrzeuge  
Abb. 20 Verkehrslastmodelle für extrem schwere Fahrzeuge, Auszug S. 159 (1.)

Aus der Literatur entnehmen wir, dass extrem schwere, aber kompakte Fahrzeuge mit hohen Achslasten sich extrem aggressiv auf Strassenbauwerke auswirken. Bei 60 t-Lastwagen erfolgt die Gesamtgewichtserhöhung durch Verlängerung der Fahrzeuge und Erhöhung der Achsenanzahl. D.h., die punktuelle Achslast nimmt nur beschränkt zu, so auch die gesamte Linienlast, wie nachfolgend geschildert:

Für die beiden LKWs aus Abb. 20 ergibt sich:

- 400 kN / 7.5 m = 53 kN/m
- 600 kN / 14 m = 43 kN/m (geringere Linienlast)

Bei Vergleich mit der SIA-Norm 261 (Abb. 15) ergibt sich also ohne Beachtung des Lastsicherheitsfaktors  $\gamma_Q=1.5$ :



- a)  $24.3 \times 7.5 + 2 \times 270 \text{ kN} = 722 \text{ kN}$  (72 t) +80% in Vergleich zu 400 kN  
b)  $24.3 \times 14 + 2 \times 270 \text{ kN} = 880 \text{ kN}$  (88 t) +46% in Vergleich zu 600 kN

Die obige Abbildung zeigt den beachtlichen Unterschied zwischen den vereinfachten Lastmodellen der Normen und der realen Lastenverteilung bei LKWs. Genannter Unterschied ist jedoch bei Brücken mit grosser Spannweite eher irrelevant. Bei Bauwerken mit geringer Spannweite, wie kurze Brücken, Fahrbahnplatten oder Kragen empfiehlt es sich, realitätsnähere Modelle zu entwickeln, da die heute geltende Norm eher konservativ scheint.

Genannte Aspekte wurden in der Forschungsarbeit der École Polytechnique Fédérale de Lausanne eingehend untersucht (vgl. (1.)). Folgende zusätzliche Informationen zu der effektiven Lastverteilung bei LKWs sind aus der Arbeit zu entnehmen:

- Bei 60 t-LKWs kommt es aufgrund der höheren Achsenanzahl zu keiner bedeutenden Erhöhung der einzelnen Achslasten (2 Räder je Achse).
- Die auf die Bauwerke einwirkenden dynamischen Kräfte hängen von den Eigenschaften der Fahrbahn (Unebenheiten des Strassenbelags, Gefälle usw.), den konstruktiven Merkmalen der Lastwagen (Radaufhängung, mechanische Verbindung der Achsen) und der mehr oder weniger gleichmässigen Lastverteilung auf dem Fahrzeug ab.
- Die von den geltenden SIA-Normen vorgesehenen dynamischen Faktoren sind konservativ.
- Die SIA-Lastmodelle entsprechen der realen Lastenverteilung beim LKW nicht, weshalb eingehende Studien zu diesem spezifischen Thema vorgenommen werden sollten.
- Weitere Aspekte wie das Verhalten bei Unfällen, die häufige Überladung von Schwerverkehrsfahrzeugen, die Fliehkräfte bei Kurven sollten durch weiterführende Studien näher erforscht werden.

Die erste Schlussfolgerung ist demnach, dass eine Erhöhung der Gewichtslimite von 40 auf 60 t keine wesentliche Problematik in Bezug auf die statischen Kräfte und die Tragfähigkeit von Brücken mit sich bringt, **solange die Last auf eine grössere Länge verteilt wird und die punktuelle Radlast nicht zunimmt.**

Im Falle einer Zulassung genannter Schwerlastfahrzeuge sind jedoch eine Überprüfung der SIA-Lastmodelle und eine eingehende Untersuchung der Lastfaktoren in Bezug auf die Verkehrsdichte erforderlich.

### 8.5 Ermüdungseffekte bei Brücken

Bei allen Materialien lässt sich eine Minderung der Festigkeit durch Ermüdungseffekte beobachten. Genannte Effekte treten dann auf, wenn das Bauwerk durch zahlreiche Belastungs- und Entlastungszyklen beansprucht wird. Im Bereich des Stahlbaus handelt es sich um ein wohlbekanntes Phänomen. Weniger vertieft wurde diese Problematik in Bezug auf Spannbetonbauten. Auf Grund des hohen Eigengewichtanteils der Spannbetonbauten ist dieses Thema in Normalfall jedoch untergeordnet.

Wenn bei einer Erhöhung des Maximalgewichts auf 60 t das Gesamtgewicht der transportierten Last nicht ansteigt und gleichzeitig die Achslast nicht zunimmt, kommt es zu keiner erheblichen Veränderung der Ermüdungserscheinungen. Im Falle einer Erhöhung der transportierten Last in Bezug auf die derzeitige Lage ist jedoch eine weiterführende Untersuchung dieser Frage erforderlich.

## 9. Dynamische Effekte im Bereich der Dehnungsstösse o.ä.

Lastwagen von 60 t verfügen über eine höhere Achsenanzahl, wobei die Achsen synchron wirken. Diese Tatsache beeinflusst das dynamische Verhalten und verstärkt die Belastung spezifischer Bereiche wie zum Beispiel der Dehnungsstösse zwischen Strasse und Strassenbauwerk.

Im Falle einer Zulassung von 60 t LKWs stehen demnach wesentliche Beschädigungen dieser besonders empfindlichen Elemente an.

Auch hier gelten ähnliche Überlegungen, wie sie im Abschnitt über den Strassenbelag geschildert wurden.

## 10. Stossbelastungen

Auch die Dimensionierung von Seitenbauwerken, Leiteinrichtungen wie Leitplanken, Verkehrsbeschilderung und Schallschutzwände ist durch die SIA-Norm 261 in Bezug auf die zu beachtenden Längs- und Querkräfte reglementiert. Bei ausserstädtischen Strassen gelten Werte von 1500 kN längs und 600 kN quer. Bei innerstädtischen Strassen, wo der Verkehr langsamer läuft, sind diese Werte um 50% reduziert.

Es handelt sich hier um besonders hohe, von der Art des belastenden Körpers abhängige Werte, welche proportional zu Masse, Geometrie und Geschwindigkeit festgelegt werden.

Eine Dimensions- und Lasterhöhung von Lastwagen hätte bedeutsame Folgen für die Seitenbauwerke (Leitplanken, Schallschutzwände, Brückenwiderlager und -pfeiler, Gebäude am Fahrbahnrand).

Es sollten also unbedingt Verstärkungen von Leiteinrichtungen (Leitplanken) sowie von allen Seitenstrukturen wie Brückenpfeiler, Schallschutzeinrichtungen usw. vorgenommen werden. Aufgrund der Bedeutung solcher Strukturen in Bezug auf Sicherheit und Häufigkeit am gesamten Autobahnnetz sollten extensive Verstärkungsarbeiten vorgenommen werden.

Bei einer Ausgabe von etwa 1000 Fr./Laufmeter (Eingriffe auf beiden Seiten der Fahrbahn und am Mittelstreifen) sind für das Autobahnnetz allein Gesamtkosten von mindestens **120 Mio. Fr./Jahr über 15 Jahre** vorzusehen.

## 11. Überlegungen zur Geometrie

Die geometrischen Eigenschaften sind deutlich relevanter als die oben geschilderten Überlegungen zur strukturellen Sicherheit. Eine Erhöhung der zulässigen Länge bis 25,25 m (heute max. 18,75 m) und die Geometrie der Megatrucks haben gravierenden Auswirkungen auf die Strassengeometrie.

### 11.1 Kurvengeometrie und Fahrbahnbreite

Auf den National- und Hauptstrassen werden die Kurvenradien aufgrund der Ausbaugeschwindigkeit definiert.

Auf Strassen mit Geschwindigkeitslimit von 80 km/h sind Kurven mit Kurvenradius = 200 m möglich, bei industriellen Verbindungsstrassen beträgt die Ausbaugeschwindigkeit 40 km/h mit minimalem Kurvenradius = 50 m.

Bei den Nationalstrassen entsteht diesbezüglich normalerweise kein Problem, da die Kurvenradien in der Regel sehr gross sind.

Was jedoch die Kantonsstrassen, die Strasseneinmündungen und Kreuzungen angeht, so würde eine Erhöhung der zulässigen Fahrzeuglänge konkrete Probleme im Bereich der Geometrie bedingen.

Heute schon kommt es häufig vor, dass Sattelschlepper in grosse Schwierigkeiten geraten, wenn diese aus Versehen in Strassen einbiegen, die nicht für den Schwerverkehr konzipiert sind, besonders im Stadtbereich.

Bei engen Kurven muss die Fahrbahnbreite an die Art der passierenden Fahrzeuge angepasst werden. Zur Dimensionierung sind Länge und Wendekreis von ausschlaggebender Wichtigkeit. Die schweizerischen VSS-Normen bezeichnen durch Monogramme die möglichen Geometrien auf Basis der Standardfahrzeuge aus Abb. 1.

Im Falle einer Zulassung von erheblich längeren Lastwagen sind besonders dort, wo die Kurvenradien kleiner sind, das heisst bei Auf- und Ausfahrtsrampen, Kreuzungen und Hauptstrassen, Zufahrtsschwierigkeiten möglich.

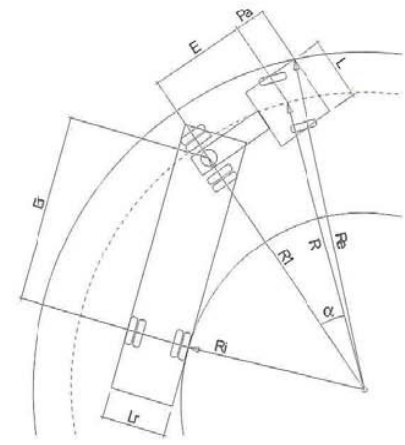
Es wäre also ratsam, generell Fahrbahnverbreiterungen an Kurven vorzunehmen.

Berechnungsgrundlagen  
Equations de base

Sattelschlepper  
Semi remorque

$$R_i = \sqrt{R^2 - E^2 - E r^2} - \frac{L_r}{2}$$

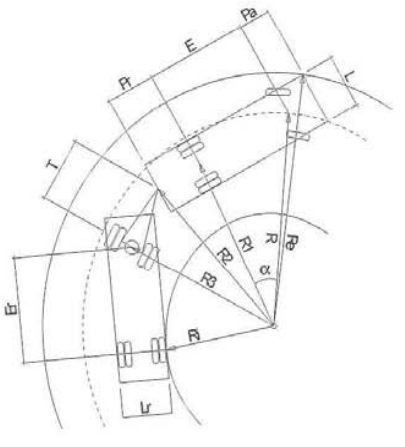
$$R_e = \sqrt{\left(\sqrt{R^2 - E^2} + \frac{L_r}{2}\right)^2 + (E + P_a)^2}$$

$$R_e = \sqrt{\left(\sqrt{\left(R_i + \frac{L_r}{2}\right)^2 + E r^2} + \frac{L_r}{2}\right)^2 + (E + P_a)^2}$$


Lastwagen mit Anhänger  
Camion avec remorque

$$R_i = \sqrt{R^2 - E^2 + P_r^2 - T^2 - E r^2} - \frac{L_r}{2}$$

$$R_e = \sqrt{\left(\sqrt{R^2 - E^2} + \frac{L_r}{2}\right)^2 + (E + P_a)^2}$$

$$R_e = \sqrt{\left(\sqrt{\left(R_i + \frac{L_r}{2}\right)^2 - P_r^2 + T^2 + E r^2} + \frac{L_r}{2}\right)^2 + (E + P_a)^2}$$


Legende  
Légende

R<sub>i</sub> = Innenradius / rayon intérieur  
R = Wendekreis / rayon de braquage  
R<sub>e</sub> = Aussenradius / rayon extérieur  
R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> = Zwischenradien / rayons intermédiaires

E = Radstand / empattement  
P<sub>a</sub> = Vorderer Übergang / porte-à-faux avant  
P<sub>r</sub> = Hinterer Übergang / porte-à-faux arrière  
L = Breite / largeur  
L<sub>r</sub> = Breite des Anhängers / largeur de la remorque  
T = Deichsel / timon  
E<sub>r</sub> = Achsabstand Anhänger (Aufhänger) / empattement arrière

Der Winkel  $\alpha$  des Wendekreises ist in allen Fällen gegeben durch die Formel  $\sin \alpha = E/R$   
Dans tous les cas, l'angle de braquage  $\alpha$  est donné par la formule  $\sin \alpha = E/R$

Abb. 21 Auszug VSS 640 198a: Berechnung von Wendekreisen (14.)

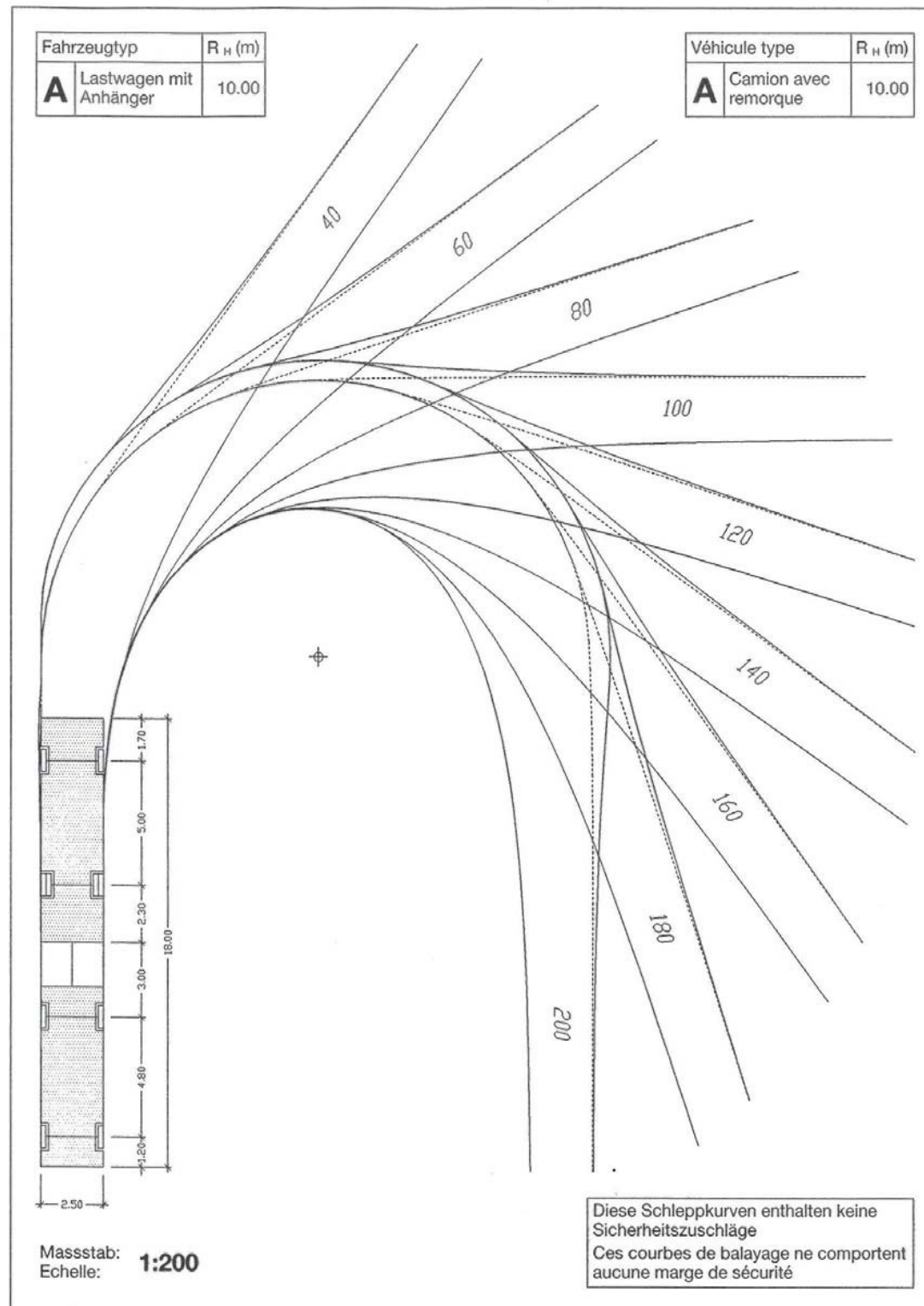


Abb. 23 Auszug VSS 640 271a: Fahrbahnverbreiterungen bei Kurvenradius = 10 m (15.)

### **11.2 Kreisel und Strasseneinmündungen**

Die in der Schweiz heute vorhandenen Kreisel sind in der Regel nicht für den Verkehr von mehr als 18 m langen Fahrzeugen geeignet. Es gelten deshalb dieselben Überlegungen wie bei Abschnitt 11.1

### **11.3 Rast- und Parkplätze**

Ausser den Strassen selbst sind auch alle Infrastrukturbauten der Nationalstrassen, darunter Rastplätze, Tankstellen, Parkplätze, Auf- und Ausfahrtsrampen von der Geometrieangepassung betroffen.

Alle Zoll- und Grenzübergangseinrichtungen müssen ebenso an die neuen geometrischen Erfordernisse angepasst werden.

Ohne eine eingehende Analyse der Projekte ist es an dieser Stelle nicht möglich, den Umfang genannter Eingriffe zu definieren.  
Es handelt sich zweifellos um sehr umfangreiche Massnahmen, deren Kosten voraussichtlich in etwa den schon genannten Zahlen entsprechen.

## 12. Fragen zur Finanzierung

Bei einer möglichen Zulassung von bis zu 60 t schweren Lastwagen sind allein im Bereich der Strassenbeläge und der Leiteinrichtungen Mindestausgaben in der Höhe von 720 Mio. Fr./Jahr über 15 Jahre hinweg vorzusehen. Hinzu kommen die schon genannten Unterhaltsarbeiten von rund 1200 Mio./Jahr.

Die Kosten für die notwendigen Studien, die Bewertung und die Verstärkung der einzelnen Bauwerke und die Anpassung der Verkehrsbeschilderung müssen hinzugerechnet werden. Weitere umfangreiche Investitionen zur Anpassung der Strassengeometrie sind zwar vorhersehbar, nicht aber quantifizierbar.

Unseres Erachtens liegt es nahe, dass der Aufwand für den Unterhalt in etwa doppelt so hoch sein wird wie der heute für das Nationalstrassennetz vorgesehene Betrag.

Sollte der Schwerverkehr bis 60 t auch auf Kantons- und Gemeindeebene zugelassen werden, so entstünden noch weit höhere Kosten.



### 13. Weitere zu vertiefende Themen

Folgende Aspekte, die unseres Erachtens relevanter sind als die oben beschriebenen klassischen Probleme des Hoch- und Tiefbaus, sind in vorliegendem Bericht nicht eingehend untersucht worden:

- Unfälle (vor allem in Tunnels): Lokalisierung, Rettungsdienst, Zugang für Rettungsfahrzeuge
- Brände (vor allem in Tunnels): Erhöhtes Risiko infolge der grösseren zulässigen Nutzlast pro Fahrzeug
- Nebeneinander von Schwer- und Leichtverkehr (Überholgelegenheiten usw.)
- Verhalten bei Baustellen
- Spezialbeschilderung (Ampeln, horizontale und vertikale Verkehrsbeschilderung)
- Anpassungen von Rastplätzen (Parkplätze, Zufahrts- und Abfahrtsrampen)
- Einflussnahme auf Staubbildung, besonders in schon heute von intensivem Schwer- und Leichtverkehr betroffenen stadtnahen Bereichen.

Wir sind der Meinung, dass die Lösung genannter Probleme weitere Kosten bedingen würde. Es empfiehlt sich daher, die Behörden auf Bundes- und Kantonsebene aufzufordern, eingehende Studien zu genannten Themen vorzunehmen.

## 14. Bewertung der Europäischen Kommission

Nachfolgend sind die auf europäischer Ebene vorgenommenen Bewertungen geschildert. Man beachte, dass die Auswirkungen auf Kunstbauten nicht detailliert untersucht wurden. Hervorgehoben wird nur, dass für Bauwerke und Strassenbeläge umfangreiche Eingriffe anstünden.

Nachfolgend einige Vorschläge zur Minderung der Schwierigkeiten:

- Gütertransportunternehmen dazu verpflichten, die Lasten zu kalibrieren
- Wiegesysteme auf LKW einbauen
- Einzuhaltende Mindestabstände vorschreiben
- Überholverbot einführen
- Zulassung auf bestimmte Strassen beschränken









Unseres Erachtens ist der Zustand des Schweizer Strassennetz (technische Schwierigkeiten bei alpenquerenden Strassen, hoher Anteil an Tunnels und Brücken, hoher Urbanisierungsgrad) wohl kaum mit den Gegebenheiten der Mehrheit der Europäischen Länder vergleichbar.





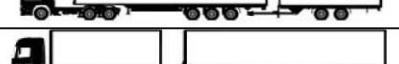

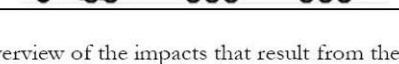
Aufgrund der in vorliegendem Bericht angeführten Überlegungen sind wir der Überzeugung, dass die von der EU-Kommission vorgeschlagenen Massnahmen kaum an durchgreifenden Wartungs- und Anpassungsarbeiten am schweizerischen Strassennetz vorbeiführen (Stossbelastungen, geometrische Probleme, usw.), weshalb die Notwendigkeit eingehender Studien zum heutigen Stand der Dinge weiter unterstrichen wird.

### 3. Conclusions on infrastructure

Summarising the whole chapter, and indicating in the pavement column the median value of the indicator calculated previously (relative aggressiveness on a network made up of 5 % of low traffic – flexible pavement, 15 % of moderate traffic – bituminous pavement, 40 % of heavy traffic – thick bituminous pavement and 40 % of heavy traffic – semi-flexible pavement), the main results are shown in the simplified table below.

Figure 33: Summary of the consequences on infrastructures, without countermeasures

		<span style="color: green;">■</span> No consequences <span style="color: yellow;">■</span> Moderate consequences <span style="color: red;">■</span> Important consequences		
Code	Shape	Pavement	Bridges	
			Extreme loads	Fatigue
A44		2.39		
A48		>2.39		
B40		1.22		
B44		1.92		
B48		>1.92		
C40		1.02		
C44		1.42		
C48		1.85		

Code	Shape	Pavement	Bridges	
			Extreme loads	Fatigue
D46		1.04	Green	Green
E50		0.66	Yellow	Green
F50		0.53	Yellow	Green
G50		0.42	Yellow	Green
E60		2.05	Red	Red
F60		2.07	Red	Red
G60		1.46	Yellow	Red

This table gives an overview of the impacts that result from the traffic of different combinations of vehicles, with different GVW (*gross vehicle weight*), driving on different kinds of pavements. Using a basic colour code, it allows a rough comparison of all cases. It clearly shows that, in some cases (in red), important consequences have to be expected and that the corresponding combinations (A44, A48, B44, B48, C48, E60, F60 and G60) should be avoided. The 44 tonnes on 5 axles (A44 combination, 2 axle tractor and 3 axle tridem semi-trailer) is very bad for the infrastructures, bridges and pavements. If the Directive is modified in the future, this configuration should best be avoided in all EU State Members, even those which already authorized this configuration (e.g. France, Belgium, Italy).

It must be reminded that appropriate countermeasures could help to decrease the impact on bridges, and hence change the result presented in the table above. Among these countermeasures could be mentioned:

- Training the industry about the best way to load a lorry.
- Minimal spacing between two LHVs.
- No overtaking.
- On-board load measuring systems.
- Authorisations limited to specific routes.

It is therefore essential to define the relevant itineraries, to identify the problematic bridges and to decide of the appropriate measures that should be implemented. However, these three tasks require time and exhaustive expertise. Some possible countermeasures will be discussed later in this report, along with proposals for further studies.

Abb.23 Schlussfolgerungen laut EU-Studie (6.)

## 15. Schlussfolgerungen

In den vorhergehenden Kapiteln wurden die möglichen Auswirkungen auf das Schweizer Strassennetz bei einer möglichen Zulassung von 60 t schweren Lastwagen ausgiebig geschildert.

Genannte Hinweise ergeben sich aus der in der Schweiz zurzeit zugänglichen wissenschaftlichen Literatur zum Thema. Die Schlussfolgerungen des vorliegenden Berichts und insbesondere die finanziellen Einschätzungen sollten von den zuständigen Behörden näher untersucht werden.

Aufgrund der oben genannten Überlegungen können folgende Schlussfolgerungen formuliert werden:

1. Eine Erhöhung der Gewichtslimits von 40 auf 60 t bewirkt eine stärkere Abnutzung der Strassenbeläge und des Strassenoberbaus. Aus diesem Grund sind äusserst kostenintensive und baustellentechnisch sehr komplizierte Verstärkungsmassnahmen notwendig.
2. Eine Erhöhung des Gesamtgewichts bei LKWs erfordert Verstärkungsarbeiten an den dynamischen und Stosskräften stärker ausgesetzten sekundären Bauwerken wie Dehnungsstösse, Leiteinrichtungen, Schallschutzwände und Verkehrsbeschilderung. Da solche Elemente im Strassennetz extrem häufig vorkommen, sind die finanziellen Folgen umso gravierender.
3. Eine Erhöhung der Gewichtslimiten von 40 auf 60 t bewirkt eine vernachlässigbare Erhöhung der punktuellen und der Linienlasten auf den Strassen. Heute sind auf den National- und Durchgangsstrassen Sondertransporte bis 60 t bereits möglich. Die strukturelle Sicherheit der Hauptbauwerke des Nationalstrassennetzes ist nicht beeinträchtigt.
4. Eine eingehende Analyse der wichtigsten Kantons- und Gemeindestrassen ist vorzunehmen, insbesondere was Kurventrakte und deren Befahrbarkeit angeht. Ein weiterer zu untersuchender Aspekt ist das Verhalten von Strassenbauwerken in Kurven in Bezug auf die erhöhten Fliehkräfte. Genannter Aspekt ist in einem von gewundenen Strassen geprägten Land besonders relevant und muss näher erforscht werden.
5. Begleitende Aspekte wie Ausmasse, Wendekreis, Parkmöglichkeiten, Auswirkungen auf den Verkehr (Schwierigkeiten bei Überholmanöver, Unfälle, Brände) sind in Bezug auf die strukturelle Sicherheit der Bauwerke von grosser Bedeutung.
6. Zu den heutige üblichen und aussergewöhnlichen Unterhaltskosten beim nationalen Strassennetz kommen die beträchtlichen Kosten zur Anpassung an den 60 t Schwerverkehr hinzu. Es werden benötigt:
  - Akademische Forschungsarbeiten zu den in vorliegendem Gutachten geschilderten Aspekten (Lastmodelle, Abnutzung des Strassenbelags, Stossbelastung, Geometrie usw.) sowie zu den in Punkt 13 aufgezeigten Themen.

- Gutachten zu jedem einzelnen Bauwerk zur Feststellung einer möglichen Notwendigkeit von Verstärkungsarbeiten.
- Allgemeine Verstärkungsarbeiten von sekundären Elementen wie Leitplanken, Schallschutzwände, Verkehrsbeschilderung.
- Anpassung der Geometrie von Kurven, Strassenkreuzungen, Kreiseln, Parkplätzen, Beschleunigungs- und Verzögerungstreifen.

Voraussichtlich kann man mit zusätzlichen Ausgaben in der Höhe von etwa 1 bis 1.5 Milliarden Fr. Jahr über 15 Jahre rechnen.

Wir erhoffen, mit vorliegendem Gutachten einen Überblick der bei einer Anhebung der Gewichtslimite auf den Schweizer Strassen relevanten technischen Aspekte geschaffen zu haben.

Wir sind der Ansicht, dass die zuständigen Behörden so bald wie möglich eingehende wissenschaftliche Studien über die Auswirkungen genannter Massnahmen vornehmen sollten.

Pambio Noranco, den 11. Juli 2011

Borlini & Zanini S.A.

Cristina Zanini Barzaghi  
Dipl. Ing. ETH SIA OTIA

## 16. Literatur

- (1.) Berücksichtigung von dynamischen Verkehrslasten beim Tragsicherheitsnachweis von Strassenbrücken, H. Ludescher / E. Brühwiler, Thèse n. 2894/2003 EPFL École Polytechnique Fédérale de Lausanne
- (2.) Überprüfung bestehender Strassenbrücken mit aktualisierten Strassenlasten, ASTRA Dokumentation 2006 Nr. 806.328 Studie ICOM EPFL T. Meystre, M. Hirt
- (3.) BFU Positionspapier Gigaliner Auswirkungen der Anhebung der Gewichtslimite für Lastwagen von 40 auf 60 Tonnen, BFU Beratungsstelle für Unfallverhütung, Bern 2010
- (4.) Überwachung und Unterhalt der Kunstbauten der Nationalstrassen, ASTRA-Richtlinie 2005 Nr. 308.314
- (5.) Strassen und Verkehr 2009 – Zahlen und Fakten: Jährliche Publikation des Bundesamt für Strassen ASTRA
- (6.) Final Report Effects of adapting the rules on weights and dimensions of heavy commercial vehicles as established within Directive 96/53/EC, European Commission 6.11.2008 TREN/G3/318/2007
- (7.) Mobilität und Verkehr 2009, BFS, Neuchatel 838-090005
- (8.) Dynamic amplification of traffic loads on road bridges, H. Ludescher, Structural Engineering International, Mai 2009 SEI 19/2
- (9.) Norm SIA 261 Einwirkungen auf Tragwerke 2003
- (10.) Norm SIA 261/1 Einwirkungen auf Tragwerke, ergänzende Festlegungen 2003
- (11.) Norm SIA 160 Einwirkungen auf Tragwerke 1989
- (12.) SIA Dokumentation D0181 Grundlagen der Projektierung von Tragwerken, Einwirkungen auf Tragwerke, Einführung in die Normen SIA 260 und 261, 2003 ISBN 3-908483-38-7
- (13.) Norm VSS 640 052 Wendeanlagen
- (14.) Norm VSS 640 198a Kurven – Wendeplatten
- (15.) Norm VSS 640 271a Kontrolle der Befahrbarkeit
- (16.) L'autostrada: la N2 e N13 nel Canton Ticino, 1986, Hrsg. Tessiner Grosser Rat, Casagrande Bellinzona
- (17.) La N2 alla Biaschina, opere principali, 1982, Hrsg. Kommission für öffentliche Bauten, Abteilung Nationalstrassen
- (18.) Stahlbetonbrücken, prof. Ch. Menn, Springer Verlag, 1986
- (19.) Norm VSS 640 320a Dimensionierung
- (20.) Norm VSS 640 324b 052 Dimensionierung Strassenaufbau

## 17. Anhänge

Einige besonders relevante Dokumente aus der oben aufgelisteten Literatur sind dem vorliegenden Gutachten als Anhänge beigelegt.

- Anhang 1 Auszüge aus (1.) "Berücksichtigung von dynamischen Verkehrslasten beim Tragsicherheitsnachweis von Strassenbrücken", H. Ludescher / E. Brühwiler, Thèse n. 2894/2003 EPFL École Polytechnique Fédérale de Lausanne
- Anhang 2 Auszüge aus (2.) "Überprüfung bestehender Strassenbrücken mit aktualisierten Strassenlasten", ASRA Dokumentation 2006 n. 806.328 Studie ICOM EPFL T. Meystre, M. Hirt
- Anhang 3 Auszüge aus (13.)-(15.) VSS-Normen: Geometrie von Fahrzeugen, Kurven und Kehren
- Anhang 4 Landkarte Schweiz und Tessin mit Angaben zur Befahrbarkeit der Strassen für LKW
- Anhang 5 Auszüge aus (5.) Strassen und Verkehr 2009 – Zahlen und Fakten: Jährliche Fachpublikation des Bundesamts für Strassen ASTRA
- Anhang 6 Auszüge aus (6.) "Final Report Effects of adapting the rules on weights and dimensions of heavy commercial vehicles as established within Directive 96/53/EC", European Commission 6.11.2008 TREN/G3/318/2007