



DIPLOMARBEIT

Master Thesis

Neubau der Vorderrheinbrücke

Umfahrung Illanz West

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades
eines Diplom-Ingenieurs/ einer Diplom-Ingenieurin

unter der Leitung von

O.Univ.-Prof. J. Kollegger

E 212-2

Institut für Tragkonstruktionen

Forschungsbereich für Stahlbeton- und Massivbau

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Thomas Gruber

0351463

Veitingergasse 49

1130 Wien

Wien, im September 2011

MASTER-ARBEIT – FS 11

Neubau der Vorderrheinbrücke

Umfahrung Ilanz West

Projekt:

ni**H**
&er
„Hin und Her“

Bearbeitung:

Thomas Gruber

Betreuung:

Prof. Thomas Vogel

Georg Kocur



*Die Master-Arbeit wurde im Zuge eines Auslandsaufenthaltes in der Schweiz am **Institut für Baustatik und Konstruktion** an der **ETH-Zürich** unter der Leitung von **Prof. Vogel** verfasst und beurteilt, und an der **TU-Wien** am **Institut für Tragkonstruktionen** von **Prof. Kollegger** anerkannt. Die vorliegende Arbeit wurde, um formalen Anforderungen der TU-Wien gerecht zu werden, umstrukturiert. Sämtliche Details zu den ‚Statischen Berechnungen‘ wie auch zu Inhalten des ‚Technischen Berichts‘ liegen im Anhang bei. Die im Anhang angeführten Pläne befinden sich im Planfach an der Rückseite der Arbeit.*

*Für meine Eltern und Großeltern,
in aufrichtiger Dankbarkeit für das unerschütterliche Vertrauen,
das sie in mich und mein Studium gesetzt haben.*

ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit behandelt das „*Neubauprojekt Vorderrheinbrücke*“ der „*Umfahrung Ilanz West*“ (Graubünden, Schweiz). Sie umfasst sämtliche Inhalte eines *typischen Vorprojekts* sowie ausführliche Erläuterungen zur Vorbereitung und zum Entwurfsprozess eines Brückenbauprojektes. Letzterem entsprang der Entwurf „*Hin und Her*“, welcher durch seine aussergewöhnliche Form ins Auge springt. Das Charakteristikum des Tragwerks ist die alternierend ansteigende Höhe der Stege des Trogquerschnittes (jeweils zur Kurvenaussenseite hin), die Form der Pfeiler spielt ihrerseits mit der Asymmetrie des Überbaues. Der Entwurf projiziert die dynamische Wellenbahn der Linienführung vom Grundriss auf den Längsschnitt, mit der Absicht einen günstigen Einfluss auf das statische Verhalten des Überbaues zu erzielen.

Die komplexe Gestalt des Tragwerks wurde durch Herantasten und das Anwenden verschiedenster Modellierungssoftware analysiert und berechnet. Der in Anlehnung an die Virtuosität des Überbaues entworfene Unterbau wurde mithilfe eines statisch unbestimmten Fachwerkmodelles bemessen. Ein Umgebungsmodell im Massstab 1:250 und die dadurch gewonnenen Visualisierungen zeigen die Integration des Neubaus in seine Umgebung, welche im Grunde das oberste Ziel des Entwurfes darstellt.

ABSTRACT

The thesis deals with the new construction of the „*Vorderrhein-bridge*“ of the road-bypass „*Ilanz West*“ (Graubünden, Switzerland). It includes all contents of a typical pre-project as well as detailed explanations for the preparation and conceptual-design process of a bridge. Output of this was the conceptual design „*Hin und Her*“ which impresses through its special form. The characteristic of the bearing structure is the alternately increasing height of the bars of the cross section (outer side walls). The design of the pillars interacts with the asymmetry of the main structure. The concept reflects the dynamic curves of the ground-plan onto the longitudinal-section, in order to positively influence the static nature of the bridge building.

The complex static behaviour was analysed and calculated step by step by using various computer software. The substructure was created by keeping the virtuosity of the body in mind and designed by using a statically undetermined framework-model. The visualisation through a design-model of the area on a scale of 1:250 shows the integration of the new construction responding to its environment. This is the main target of the conceptual design.

DANKSAGUNG

Professor Vogel, der mich ohne zu zögern in sein Programm zur Master-Arbeit aufnahm und die Extravaganz meiner präsentierten Entwürfe akzeptierte, gebührt mein spezieller Dank. Im Zuge der Zwischenpräsentationen und seiner regelmäßigen Betreuung, konnte ich zahlreiche Problemstellungen diskutieren, und schuf mit der Zeit ein Verständnis für die Komplexität des Tragwerks. Durch sein offenes Ohr für meine Anliegen hat mich der betreuende *Assistent Georg Kocur* dabei unterstützt. Die vergangenen 16 Wochen intensiver Auseinandersetzung mit einem persönlich entworfenen Brückenbauwerk haben meine erwartungsvollen Vorstellungen an eine Master-Arbeit an der ETH zur Gänze erfüllt.

Für das entgegengebrachte Verständnis und die Bereitschaft zur zügigen Anrechnungen der Masterarbeit an der Technischen Universität Wien, bedanke ich mich aufrichtig bei **Professor Kollegger**. Die Begeisterung für die Ingenieurbaukunst, die in seinen Vorlesungen und der Unterstützung der Studenten bei der „Concrete Student Trophy“ zum Ausdruck kommt, war wegweisend für die Richtung, die ich gegen Ende meines Studiums einschlug.

Abschließend sei das *International Office der Technischen Universität Wien* erwähnt, das einen erheblichen Teil der Finanzierung des Auslandsaufenthaltes übernommen hat. Im speziellen gilt mein Dank *Frau Schweighart*, die sich meiner Anliegen annahm.

Thomas Gruber

Zürich / Wien, im September 2011

INHALT

TECHNISCHER BERICHT

1. EINLEITUNG	6
2. ANGABE UND AUFGABENSTELLUNG	7
2.1. Angabe.....	7
2.2. Aufgabenstellung.....	7
2.3. Randbedingungen	8
2.4. Planungsterminplan	9
3. VORBEREITUNG	11
3.1. Literaturrecherche: Wie entsteht der Entwurf einer Brücke?	11
3.2. Bauplatzbeschau	12
3.3. Einflussfaktoren.....	15
3.4. Umgebungsmodell	15
4. ENTWURF	18
4.1. Allgemein.....	18
4.2. Entwurf 1	20
4.3. Entwurf 2	24
4.4. Entwurf 3	26
5. BAUWERKSBESCHREIBUNG	28
5.1. Gestaltung und konstruktive Ausbildung.....	28
5.2. Wahl der Materialien	30
5.3. Zusammenfassung der statischen Vorbemessung.....	31
6. BAUABLAUF	32
6.1. Richtlinien und Normen zur Ausführung.....	32
6.2. Örtliche Randbedingungen.....	32
6.3. Konventionelle Herstellung (Lehrgerüst)	34
6.4. Variante: Fertigteilesegmentbauweise	36
7. ENTWÄSSERUNG.....	38
7.1. Allgemein.....	38
7.2. Hydraulische Bemessung.....	38
7.3. Belagsentwässerung.....	39
8. KOSTENSCHÄTZUNG.....	41
8.1. Allgemein.....	41
8.2. Konventionelles Bauverfahren (mit Lehrgerüst)	41
8.3. Fertigteilesegmentbauweise	42
8.4. Vergleich der Bauweisen	42
9. NUTZUNGSVEREINBARUNG	45
9.1. Allgemein.....	46
9.2. Vorgesehene Nutzung	48

9.3.	Umfeld und Drittanforderungen	48
9.4.	Bedürfnisse des Betriebs und der Unterhalts	48
9.5.	Besondere Vorgaben der Bauherrenschaft.....	49
9.6.	Schutzziele und Risiken	49
9.7.	Unterschriften	49
10.	PROJEKTBASIS.....	50
10.1.	Allgemein.....	51
10.2.	Tragwerkskonzept	52
10.3.	Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit, Dauerhaftigkeit.....	53
10.4.	Akzeptierte Risiken.....	54
10.5.	Weitere projektrelevante Bedingungen.....	54
10.6.	Unterschriften	55

STATISCHE BERECHNUNGEN

1.	BEMESSUNG ÜBERBAU (GZT).....	57
1.1.	Baustoffe	57
1.2.	Lastaufstellung	57
1.3.	Statisches System	66
1.4.	Ermittlung der Schnittgrößen.....	66
1.5.	Vorspannung	68
1.6.	Bemessung	74
1.7.	Bewehrungsskizzen	78
2.	BEMESSUNG UNTERBAU (GZT)	81
2.1.	Stützenbemessung	81
2.2.	Fundamentbemessung.....	84
2.3.	Widerlagerbemessung	84
3.	GEBRAUCHSTAUGLICHKEIT (GZG)	88
3.1.	Begrenzung der Rissbreiten	88
3.2.	Begrenzung der Durchbiegungen.....	88

QUELLENANGABEN UND VERWENDETE NORMEN	90
---	-----------

ANHANG	93
---------------------	-----------

Anhänge

Aufgabenstellung Master-Arbeit FS11, Prof. Thomas Vogel, 2011

Modellfotographien *Entwurf „Hin und Her“*

Statische Berechnungen

Projektpläne (Planfach)

Projektplan „Masterarbeit“ (A0) div.

Bauablauf Lageplan M 1:500

Bauablauf Randbedingungen M 1:500

Entwässerungskonzept M 1:500 / M 1:100

TECHNISCHER BERICHT

1. EINLEITUNG

Professor Vogel (*Institut für Baustatik und Konstruktion*) schreibt alljährlich Themen zur Master-Arbeit im Bereich **Brückenbau** aus, die auf reale Projekte bezogen sind und dazu anregen, sich ein Semester lang intensiv mit einer konkreten Aufgabenstellung auseinander zu setzen. Gefordert ist die Abgabe eines *Technischen Berichts*, der alle relevanten Informationen zur bearbeiteten Materie enthält, und einer *Statischen Bemessung*.

Entwurf (*Ausarbeitung verschiedener Entwürfe und Variantenstudium*), **Bauwerksbeschreibung**, **Kostenschätzung**, **Projektpläne**, sowie **Vorstatik** (*Vordimensionierung, statische Berechnungen*)

Der Detaillierungsgrad eines „Vorprojektes“ wurde angestrebt (siehe TB-2.2). Der Umstand, dass das vorliegende Projekt eine **Abschlussarbeit zur Erlangung des Titels eines Diplomingenieurs** darstellt, bietet die Möglichkeit, unter dem Deckmantel einer realen Aufgabenstellung, die während des Studiums erlangten Fähigkeiten auf den Prüfstand zu stellen. Es wurde versucht sämtliche Aufgabenstellungen eines konventionellen Vorprojekts, soweit dies für einen einzelnen Studenten des Bauingenieurwesens ohne Berufserfahrung möglich ist, zu bearbeiten. Dabei wurde der Fokus auf einen *ansprechenden, herausfordernden Entwurf* gelegt. Die grosse Breite der Aufgabenstellung, die vom kreativen Entwurf, der Tragwerkskonzeption, der Über- und Unterbaubemessung bis zur Erstellung von Entwurfsmodellen und Projektplänen reicht, unterstreicht die Forderung einer generalistischen Sachbearbeitung des Projekts „**Neubau der Vorderrheinbrücke**“.

Zu betonen ist desweiteren, dass die Ausarbeitung des vorliegenden Projekts eine Master-Arbeit darstellt. Es wird nur bedingt der Anspruch auf eine realistische Lösung erhoben, nämlich dahingehend, dass die notwendigsten Nachweise hinreichend genau erfüllt sind. Es ist jedoch nicht von Relevanz, ob durch den gewagten Entwurf des Über- und Unterbaus gewisse Mehrkosten entstehen, die realistischerweise bei einem Brückenbau dieses Stellenwertes keine Genehmigung erhielten.

Zuletzt sei erwähnt, dass der dem Variantenstudium entspringende Entwurf „*Hin und Her*“ eine passable Herausforderung bei der Bemessung darstellt. Für die Bemessung des speziellen Überbaues konnten keine herkömmlichen Formeln und Abschätzungen der Fachliteratur herangezogen werden, ebenso für den Unterbau nicht, welcher dem Ausdruck des gewagten Überbaues einen passenden Sockel verleiht. Dieser Umstand forderte eine intensive, kreative Auseinandersetzung mit Bemessungsmodellen und schuf, wenn auch nicht primär in den Ergebnissen sichtbar, ein Verständnis für verschiedene Möglichkeiten der Tragwerkskonzeption, deren Potentiale und Grenzen.

2. ANGABE UND AUFGABENSTELLUNG

2.1. Angabe

(Auszüge aus der beiliegenden „Angabe zur Master-Arbeit“)

1. Ausgangslage
2. Anforderungen an die neue Brücke / Randbedingungen
 - Geometrie
 - Geologie
 - Entwässerung
 - Umwelt
3. Vorgaben für die Master-Arbeit

2.2. Aufgabenstellung

(Auszüge aus der beiliegenden „Angabe zur Master-Arbeit“)

Aufgabenstellung:

1. Vorbereitung
2. Entwurf und Variantenstudium
3. Vorprojekt
 - Technischer Bericht
 - Projektpläne
 - Statische Berechnungen
4. Spezialaufgabe

4.1 Allgemeines

- 4.1.1 Im Vorprojekt werden die technische Machbarkeit abgeklärt, das Erscheinungsbild beurteilt, die Kosten geschätzt und die Wirtschaftlichkeit geprüft.
Das Vorprojekt wird in der Regel für die Auflage ausgearbeitet.
- 4.1.2 Die im Entwurf gewählten Abmessungen sind Erfahrungswerte. Im Rahmen des Vorprojektes sind die wichtigsten Abmessungen zu überprüfen und sofern erforderlich anzupassen.
- 4.1.3 Im Rahmen des Vorprojektes darf davon ausgegangen werden, dass übliche Konstruktionsdetails gemäss den „Projektierungs-Grundlagen“ der Abteilung Kunstbauten ausgeführt werden.
- 4.1.4 Für einfache Fälle kann in Absprache mit der Abteilung Kunstbauten auf die Erstellung einer Vorprojektmappe verzichtet werden. Die im Rahmen des Vorprojektes zu behandelnden Aspekte werden dann anlässlich einer Arbeitsbesprechung diskutiert und die relevanten Besprechungspunkte in einer Aktennotiz festgehalten.

Abb. 1 – Vorprojekt (Tiefbauamt Graubünden: Weisung für die Projektierung von Kunstbauten [Auszug]); [15]

2.3. Randbedingungen

Baugrund

Das entstehende Bauwerk befindet sich im Gebiet „California“, das im *Geologischen Bericht* [1] ausführlich behandelt wird. Anhand der Abhandlung über drei Bohrungen im Projektgebiet und weiteren entlang der neuen Umfahrungsstrasse, vermag man sich ein Bild über die Beschaffenheit des Baugrundes zu machen. Der *Geologische Bericht* bildet die Grundlage für die Bemessungen des Unterbaus (Stützen, Fundamente, Widerlager, siehe Statische Berechnungen Kapitel 2).

Topographie

Das Bauwerk hebt bei km0,030 vom Untergrund ab, setzt unmittelbar danach über den Vorderrhein, überwindet mit zunehmender Steigung der Gradienten das Gebiet „California“ und die querende Bahntrasse der Rhätischen Bahn (RhB), passiert das Industriegebiet um nach der Kreuzung mit einer Strasse am Hangfuss bei km0,300 mit abnehmender Steigung wieder auf den Boden aufzusetzen.

Der Vorderrhein soll stützenfrei überbrückt werden. Bei den weiteren Hindernissen (RhB und Strasse) ist auf die Einhaltung der Lichtraumprofile zu achten. Die Angaben hierfür sind im *Lageplan* und im *Längsschnitt* enthalten (*Projektplan im Anhang*).

Umwelt

Das Bauwerk liegt inmitten einer Bergkulisse, gen Osten und Westen, das Tal entlang, wird der Blick jedoch auf weite Distanz freigegeben. Die wenig bebaute Grünfläche auf der die Brücke über 200 Meter weit steht, wird als charakteristisches Landschaftselement wahrgenommen. Der Aufgabenstellung ist zu entnehmen, dass „ein möglichst grosszügiger Lichtraum unterhalb der Brücke in diesem Bereich dazu beitragen soll, das Landschaftselement aufrecht zu erhalten“. Seitens der Bauherren wird Wert auf ein „möglichst filigranes und sich in die Region eingliederndes Konzept der Brücke“ gelegt. Letztgenannter Aspekt stellt bei niedrigen Brücken mit geringem Abstand zum Terrain eine besondere Herausforderung dar, die auch in der Vorlesung Professor Vogels zum „*Brückenbau*“ Erwähnung fand.

2.4. Planungsterminplan

Die Bearbeitung der Master-Arbeit gliedert sich in vier Abschnitte:

- Vorbereitung
- Entwurf / Variantenstudium
- Bemessung und Konstruktion
- Visualisierung

Insgesamt standen zwischen Ausgabe der Aufgabenstellung und Abgabe der Master-Arbeit 16 Wochen für die Ausarbeitung zur Verfügung. Der anfangs erstellte *Planungsterminplan (beiliegend)* wurde größtenteils eingehalten. Eine Abweichung ergibt sich in den Kalenderwochen 22 – 24: Es wurde nur eine Spezialaufgabe (und nicht zwei wie fälschlicherweise angenommen), ausgeteilt. Die „gewonnene“ Zeit glich einen Rückstand aus, der sich aus Komplikationen während der Bemessung ergeben hatte.

Ein Original der Angabe zur Master-Arbeit liegt im Anhang bei, der erstellte Planungsterminplan ist auf der folgenden Seite abgebildet.

Planungsterminplan

Projekt: *Neubau der Vorderrheinbrücke, Umfahrung Ilanz West*

Projektant: **Thomas Gruber**

Werteanalyse für jede Phase:

1. *Sammeln von Informationen* > 2. *Varianten generieren* > 3. *Analyse u. Evaluation* > 4. *Entscheidungsfindung* > (5. *Kontrolle*)

Aufgabe \ Zeitraum		März					April		Mai					Juni				Juni
		KW 9	KW 10	KW 11	KW 12	KW 13	KW 14	KW 16	KW 18	KW 19	KW 20	KW 21	KW 22	KW 23	KW 24	KW 25	KW 26	KW 27
1 2 3 4 Vorbereit.	Projektierungsprogramm	■																
	Geländemodell	■	■															
	Grundlagenbeschaffung		■	■														
	Referenzobjekte		■	■	■													
5 6 7 8 Entwurf	Variantenstudium		■	■	■	■												
	Ausarbeiten von Varianten (mind. 3)		■	■	■	■												
	Anfertigen von Arbeitsmodellen (ev.)					■	■											
	Vorbereitung Zwischenpräsentation					■	■											
9 10 11 12 13 14 15 16 17 Bemessung + Konstruktion	Literaturstudium						■											
	Vergleich mit Referenzobjekten						■											
	Vordimensionierung / Stat. Modell						■											
	Konstruktive Bemessung							■										
	Projektpläne							■										
	Anfertigen von Arbeits-/Präsentationsmodellen								■	■	■	■						
	Vorschläge für Spezialaufgaben									■	■	■						
	Spezialaufgabe 1												■	■	■			
Spezialaufgabe 2												■	■	■				
18 19 20 Visual.	Erstellen eines Posters																■	
	Anfertigen eines Präsentationsmodelles																■	■
	Vorbereitung der Abschlusspräsentation																	■
21 22	Diverse Nacharbeiten																	■
	Anfertigen des Technischen Berichts																	■

1. Vorweisung <i>Fr. 18.03.</i>	1. Zwischenpräsentation <i>Do. 31.03.</i>	2. Vorweisung <i>Do. 21.04.</i>	2. Zwischenpräsentation <i>Di. 10.05.</i>	3. Vorweisung <i>Fr. 27.05.</i>	4. Vorweisung <i>Mo. 20.06. (!)</i>	Schlusspräsentation <i>Mi. 29.06.</i>	ABGABE <i>Mo. 04.07.</i>
---	---	---	---	---	---	---	------------------------------------

3. VORBEREITUNG

3.1. Literaturrecherche: Wie entsteht der Entwurf einer Brücke?

Der Entwurf einer Brücke setzt einerseits eine intensive Auseinandersetzung mit dem örtlichen Bauplatz voraus, andererseits ist ein breites Wissen über diverse Anwendungsmodalitäten und Möglichkeiten des Brückenbaus gefordert. Zweiteres habe ich versucht durch den Besuch der Vorlesungen zum Brückenbau an der Technischen Universität Wien und an der ETH Zürich, sowie durch das Studium diverser Literatur zu erlangen (s.u., [4] u. [5]).

Leonhard erwähnt in einer ausführlichen Abhandlung zum Entwurf von Brücken [2], dass man die Einflüsse aus *Örtlichen Verhältnisse, Umwelt – Gestalt, Umwelt – Anforderungen*, das heisst: die „Daten“, speichern muss, um sie während dem Entwurfsprozess jederzeit parat zu haben. Er bespricht in seinem Buch eine Menge an Faktoren und Aspekten, welche auf den Entwurf einwirken und die Wahrnehmung der Gestalt einer Brücke beeinflussen. Dies sind unter anderem: Ordnung, Zweckerfüllung, Charakter, uvm.

Entsteht schlussendlich ein Bild vor dem inneren Auge, das zunehmend Gestalt annimmt, ist es an der Zeit, schreibt Leonhard weiter, mit dem Zeichnen zu beginnen und dabei der bleistiftführenden Hand möglichst freies Geleit zu lassen. Dabei sind Fragen der *Proportionen, Abmessungen* und der *Form*, als auch des *Herstellungsverfahrens* während des Prozesses zu klären. Weitere Fragen sollten sein: *Wie sehen die Gründungsverhältnisse aus? Vertragen sich die Krümmungen in Grund- und Aufriss?* Dialma **Bänziger** betont gleichermassen in „Faszination Brückenbau“ [3], dass sich „die Entwurfsidee als *Gesamtschau* im Kopf entwickelt“. Auch er stellt die Integration der Umgebung als entscheidenden Faktor in das Zentrum des Konzepts.

Abschliessend sei noch das umfassende Werk von Leonardo F. **Troyano** erwähnt, welcher mich durch seine grundlegende Abhandlung über Brücken inspiriert hat [6]. „*A bridge is land over water. [...] A bridge is a piece of engineering work and, like any other engineering construction, involves transforming nature in order to adapt it to man’s requirements. It is basically a useful structure and is often unnoticed by travelers crossing it*“. Letzterem Aspekt wollte ich entschieden entgegenwirken und bin unter dem Widerhall eines weiteren, trefflichen Troyano-Zitates schliesslich zur tatsächlichen Entwurfsarbeit übergegangen: „*A bridge is never a result of a calculation, [...]*.“

Der gesamte Prozess samt Erstellung zahlreicher Arbeitsmodelle und Visualisierungen dauerte zwei Wochen. Die Ergebnisse und der Variantenentscheid sind im Kapitel 4 dargestellt.

3.2. Bauplatzbeschau

Unter der Führung des betreuenden Assistenten *Georg Kocur* wurde wenige Tage nach Ausgabe der Arbeitsthemen eine Bauplatzbeschau durchgeführt. Anhand der Pläne analysierten wir die lokalen Gegebenheiten. Abweichungen von der geplanten Fahrbahngradienten schienen kaum möglich und waren auch nicht vorgesehen.

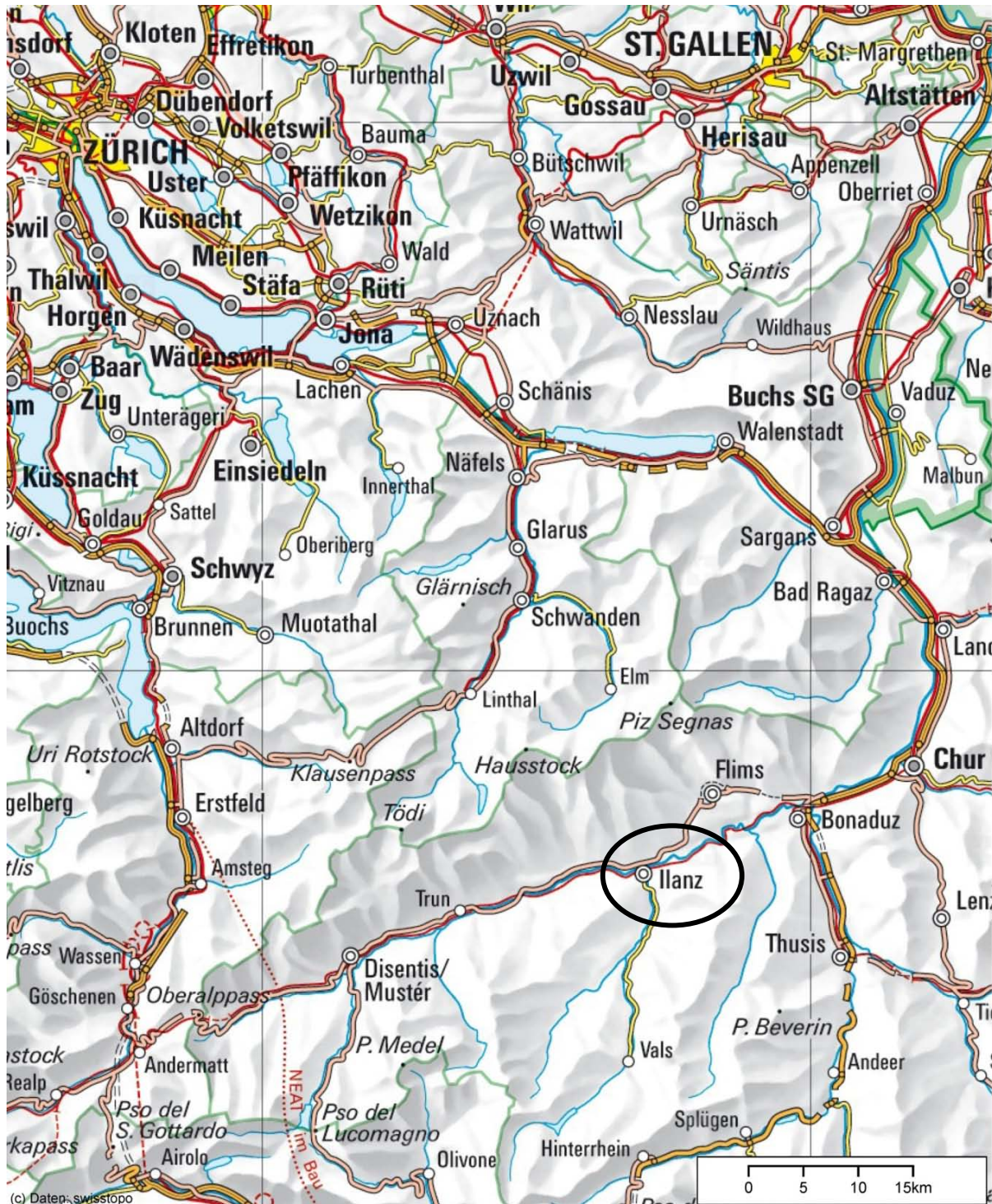


Abb. 2 - Geographische Übersicht, Quelle: maps.geo.admin.ch



Abb. 3 - Blick gen Westen. Im Hintergrund "alte RhB - Brücke", im Vordergrund links: *Mosterei (Abbruch)*



Abb. 4 - Blick gen Südwesten. Dach der *Mosterei*



Abb. 5 - Panorama (gen Westen). Brückenverlauf von rechten bis zum linken Bildrand (km 0,000 - km 0,300)



Abb. 6 – Panorama Ilanz (Blick gen Süden). Neubau der Vorderrheinbrücke rechts des Bildes



Abb. 7 - Bauplatz aus der Vogelperspektive, Orientierung Nord, Ilanz östlich des Ausschnittes, *Quelle: www.maps.google.com*

3.3. Einflussfaktoren

Die künftige Brücke überquert folgende primäre Hindernisse. Ersteres ist *stützenfrei* zu überqueren;

- Vorderrhein,
- Rhätische Bahn (RhB),
- Regionale Strasse,

die beiden Letzteren weisen jeweils ein einzuhaltendes *Lichttraumprofil* auf.

Die Umgebung wurde anhand der Studie „*Sicht- und Blickbeziehungen*“ (anbei) analysiert. Das Bauwerk weist eine Nord-West – Süd-Ost-Ausrichtung auf, welche in der Darstellung „*Stand der Sonne*“ (anbei) dargestellt ist. Erkenntnisse aus dieser Darstellung: In der Nachmittags- und Abendsonne sieht man von Ilanz und der Nationalstrasse aus nur eine Silhouette.

3.4. Umgebungsmodell

Die wichtigste Vorbereitungsmaßnahme stellt die Erstellung eines Umgebungsmodelles im Massstab 1:250 dar. Um Kosten und Arbeitsaufwand in einem moderaten Rahmen zu halten, wurde nur die nähere Umgebung der Brücke dargestellt (km 0,000 – km 0,360). Die Gesamtkonzeption der neuen Umfahrungsstrasse (*Umfahrung Ilanz West*) ist den Lageplänen zu entnehmen (siehe Kapitel 0).

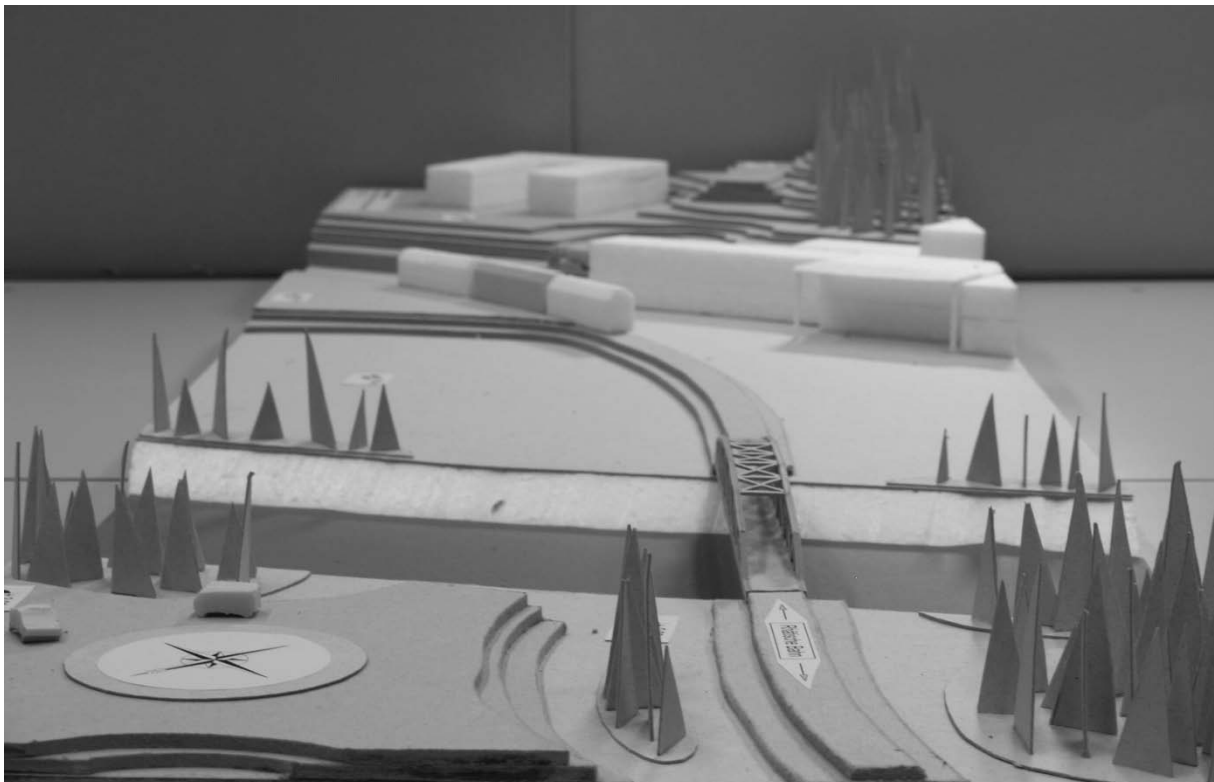


Abb. 8 - Umgebungsmodell

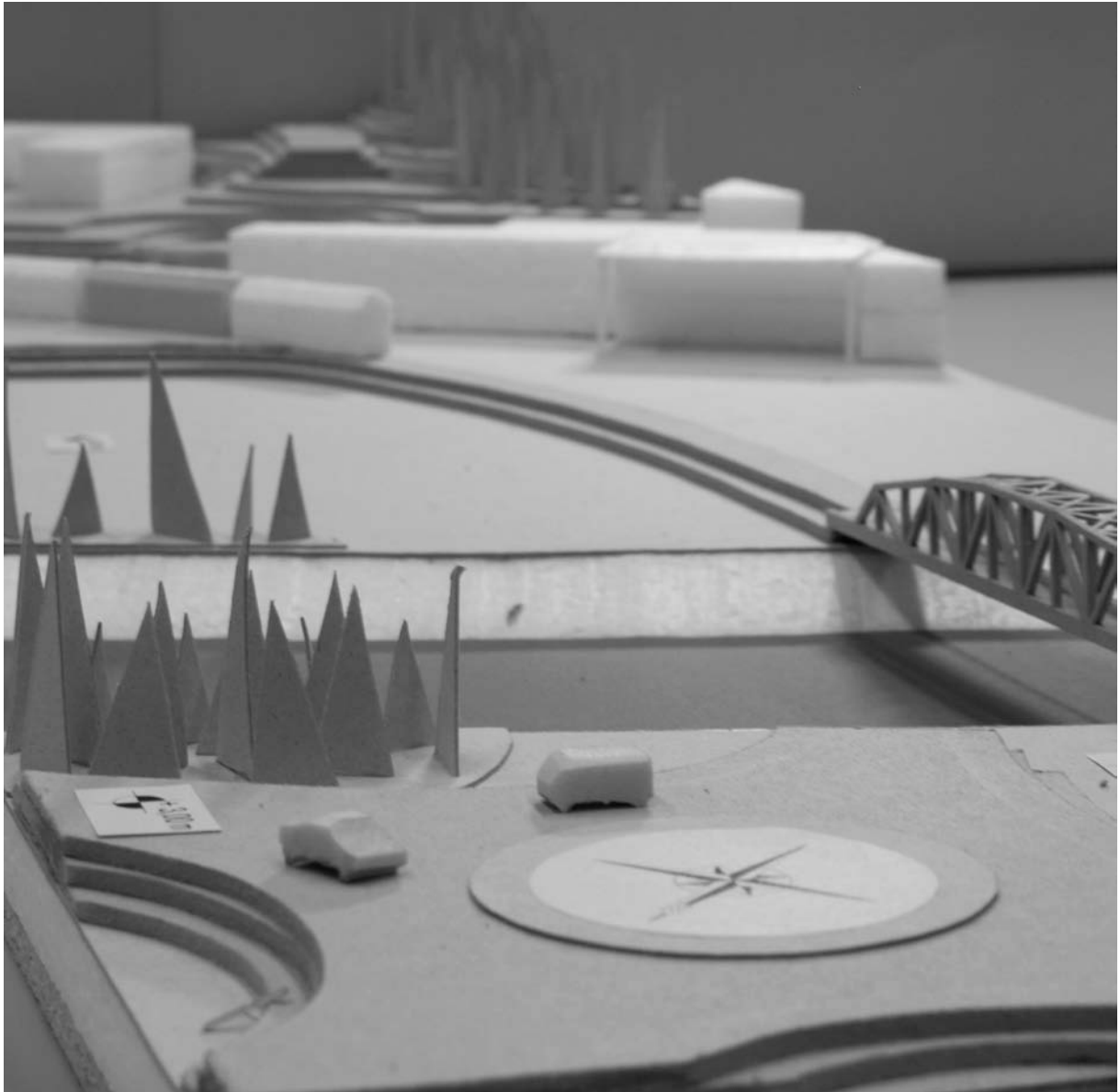
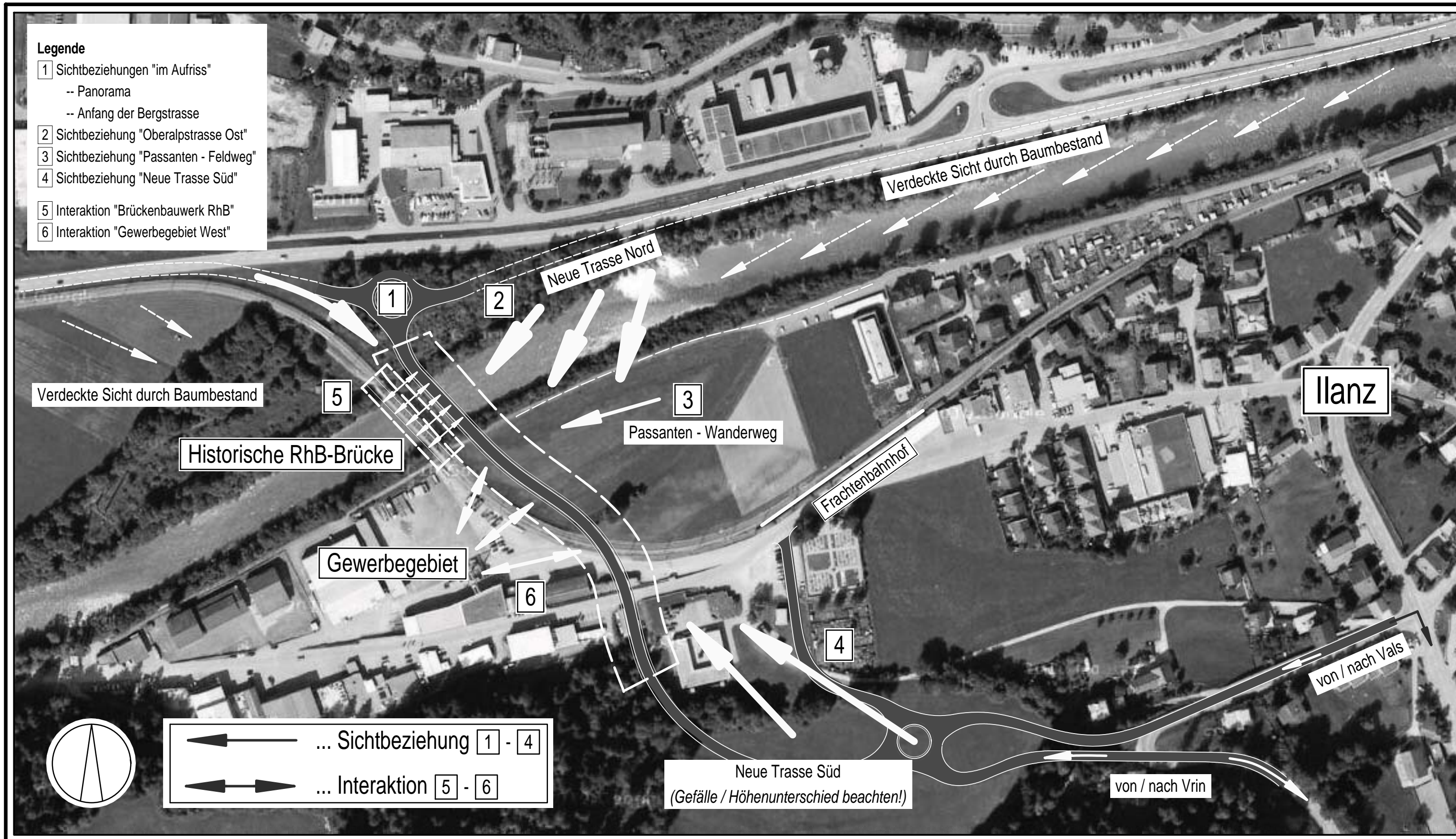


Abb. 9 - Umgebungsmodell

Sicht- und Interaktionsbeziehungen

Projekt "Neubau der Vorderrheinbrücke, Umfahrung Ilanz West"

Projektant: Thomas Gruber



4. ENTWURF

4.1. Allgemein

Weder die Überbrückung des Vorderrheins mit einer maximalen Spannweite von 60 Metern, noch die beiden Verkehrswege mit ihren jeweiligen Lichtraumprofilen (5,90 Meter bzw. 4,50 Meter) stellen ernsthafte Probleme für den Entwurf dar. Man würde eventuell mit konventionellen Lösungen und Bauhöhen ein Auslangen finden. Um jedoch einem gewissen Anspruch in konzeptioneller und ästhetischer Hinsicht gerecht zu werden, wurde (wie im Folgenden gezeigt) ein ausgefallener Entwurf gewählt, der nicht die maximale Kosteneffizienz und Dauerhaftigkeit zum Ziel hat, sondern vielmehr zum Ausdruck bringt, dass eine **Hauch an Kreativität** dem Schaffen eines Ingenieurs sehr zuträglich ist. Der Wiener Ingenieur des Brückenbaus des vergangenen Jahrhunderts, **Alfred Pauser**, bringt diesen Umstand trefflich auf den Punkt, wenn er im Vorwort zu seinem Werk über „Massivbrücken“ [12] schreibt: „Eine Beschränkung auf rein technische Aspekte, ein exponentiell zunehmendes Grundlagenwissen mit einer oft zu voreiligen Umsetzung in ein praktisch verwertbares Erkenntnisgut, [...] zwingen Bauingenieure in ein viel zu enges Korsett. Ihre rein naturwissenschaftliche Ausrichtung lässt keinen Raum für Emotionen als Voraussetzung für die Entwicklung eines Formgefühls, [...]“.

Im Rahmen einer Master-Arbeit bietet sich hierfür die seltene Möglichkeit, unvoreingenommen und unabhängig ein Bauwerk zu schaffen, das „über den Tellerrand der herkömmlichen Baulösungen hinwegblickt“. Es würde wohl durch den (vermeintlichen) Mehraufwand an Kosten in einer Gesellschaft, in der Geld und Gier vor dem Empfinden respektive der Pflege einer niveaувollen Baukultur stehen, selten Anklang finden. In „Brühlwiler, Menn: Stahlbetonbrücken“ [13] wird dieser Zusammenhang zwischen Wirtschaftlichkeit und Ästhetik eingehend diskutiert, dem zufolge die kostengünstigste Lösung keinesfalls die ästhetisch Beste ist: „Ideallösungen, die minimale Kosten und ein Maximum an ästhetischer Qualität aufweisen, sind nicht möglich“, heisst es dort klar. Die sogenannten *Zusatzkosten* für eine erhöhte ästhetische Qualität sollten bei „mittleren Brücken nicht mehr als 10-15% betragen“. Diese Grössenordnung wird nicht überschritten, wie ein Vergleich mit den Kostenschätzungen der von den Kollegen parallel ausgeführten Projekte zeigt.

Ausserdem sollte das Tragwerk einem **allgemeinen Verständnis** genügen, damit auch im laienhaften Beobachter das Gefühl geweckt wird, eine stabile, tragfähige Konstruktion vor Augen zu haben, beziehungsweise zu befahren. Die zur Kurvenaussenseite hin zunehmende Massivität der Stege ist ein geeignete Mittel dieses Empfinden hervorzurufen, da die Krümmung der Brücke in Zusammenhang mit der Schwerkraft vermuten lässt, an welcher Seite mehr Widerstand zu leisten ist. Dieses „allgemeine Verständnis“ ist ein wesentlicher Faktor, der sich (auch unterbewusst) auf die Beurteilung des Bauwerkes auswirkt.

Die Tragkonstruktion liegt beinahe gänzlich oberhalb der Fahrbahn und wird vom Benutzer automatisch eingesehen. Es war deshalb ein weiteres Ziel, speziell dem **Autofahrer** mehr als eine blosser Überfahrtsmöglichkeit zu bieten. Ich habe mich nicht nur in die Situation des Anrainers begeben, sondern versucht das Gefühl eines Autofahrers nachzuempfinden, der mit Schwung vom Kreisverkehr südwärts in Richtung Alpen rollt, beziehungsweise von Süden kommend vor dem Kreisverkehr ausrollt. Die zahlreichen Kurven im Bereich der Brücke stellen dabei das wesentlichste Gestaltungselement dar. Folgende Fragen tauchten auf:

Wie kann der anregende Kurvenverlauf im Grundriss (links – rechts – links) im Empfinden des Autofahrers widergespiegelt werden?

Welches Gefühl ergreift den Autofahrer, wenn er nach langer Fahrt (das Vorderrheintal entlang) bei Ilanz abzweigt, und nun die Alpen direkt vor Augen hat?

Welche Blickachsen ergeben sich für den Autofahrer, wenn er in zwölf Metern Höhe Fluss und Talboden überbrückt?

Um einen authentischen Einblick in den sehr intensiven und produktiven Entwurfsprozess zu gewähren, sind anbei ausgewählte Entwurfsskizzen und Modellfotographien (Anhang) der *Siegervariante „Entwurf 1“* dargestellt. Der Vollständigkeit halber werden auch die beiden verbleibenden Entwürfe dargestellt.

Siegervariante:

4.2. Entwurf 1

Der Entwurf sieht einen Trogquerschnitt vor, wobei die Höhe des äusseren Steges jeweils zur Kurvenaussenseite hin zunimmt. So entsteht ein dynamischer Verlauf der beiden Steghöhen, die abwechselnd zwischen 1,50 und 3,00 Metern variieren. Auf diese Weise entsteht auch im Aufriss ein Gefühl für den kurvenreichen Verlauf der Strassentrasse, die Wellenbahn des Grundrisses wird in den Aufriss projiziert. Man hat den Eindruck als würde man von den äusseren Stegen um die Kurve geleitet, oder als würde man auf „Carving-Skiern“ die Strasse entlang kurven. Die Stege dienen somit gleichzeitig als Brüstung und erhöhen in Folge dessen die physische und psychologisch-wahrgenommene Sicherheit der abschüssigen, kurvenreichen und eventuell schneeglatten Fahrbahn beträchtlich.

Die Formgebung der Stützen unterstreicht die gewagte Konstruktion des Überbaus, indem sie mit dem Kurvenfluss einhergeht, sich in gleichem Masse zur Aussenseite lehnt und jeweils dort zu unterstützen scheint, wo die grössten Lasten abzutragen sind. Man muss sich allerdings eingestehen, dass der konstruktive und wirtschaftliche Mehraufwand bei der Herstellung der Stützen am deutlichsten zu Buche schlägt.

Die beiden Stege sind überdies leicht nach aussen geneigt. Die äussere Kante nimmt einen Winkel von 20° mit der Vertikalen ein, die innere Kante ist nur 15° geneigt. Auf diese Weise entsteht eine zusätzliche Druckzonenfläche, die den Nachteilen des Trogquerschnitts (z.B. Kriechen) etwas entgegenwirkt. Durch die Wahl einer zunehmenden Steghöhe (zur Kurvenaussenseite) erzielt man überdies einen positiven Effekt in statischer Hinsicht. Vorspannkabel können mit einem grösseren Stich verlegt, und die Querkraft infolge Torsion kann besser abgetragen werden. Im Zuge der Bemessung hat sich herausgestellt, dass durch die zunehmende Steghöhe vor allem beim Querkraftnachweise (V + T) ein grösserer Puffer vorhanden war. Allerdings trat auch ein unerwartetes Phänomen auf, das bedingt durch den variablen Höhenverlauf der Stege einen negativen Einfluss auf die Verteilung der Schnittgrössen aus Torsion hatte. Er wird im Kapitel 1.6 der Statischen Berechnungen näher behandelt.

Die Stützweiten wurden so gewählt, dass ein Optimum aus Schlankheit des Überbaues und Anzahl der Eingriffe in den Untergrund entsteht. Nach der Hauptöffnung über den Fluss mit einer Spannweite von 60 Metern, folgen drei Öffnungen á 45 Meter, eine á 35 Meter und schlussendlich das Endfeld mit 30 Metern. Diese Anordnung bezweckt überdies eine möglichst gleichmässige Verteilung der Lasten auf den Untergrund, um die Unterschiede der einzelnen Gründungen gering zu halten.

Im Bereich der Flussüberquerung wurden zusätzliche Varianten der Hauptöffnung untersucht, wobei hier die Entscheidung auf eine konventionelle Voute (mit Hohlkasten) gefallen ist, welche mit dem Gesamtkonzept im Einklang steht. Im Aufriss sieht man, dass durch die Wahl einer schlichten Lösung die Betonung der Hauptöffnung zugunsten des Gesamtbauwerkes abnimmt. Nicht

die Überbrückung des Flusses steht im Vordergrund, vielmehr ist es die schwungvolle Fahrt über den Talboden. Die Variante eines gemischten Bogen-Scheibe-Systems hätte zwar optisch und konstruktiv einen grossen Reiz dargestellt, ist jedoch für die vergleichsweise geringe Spannweite und Wichtigkeit des Bauwerkes zu aufwendig.

Ein positiver Aspekt des Entwurfs ist die niedrige Bauhöhe von 80 cm ([Fahrbahnaufbau + Fahrbahplatte] - Unterkante) die dazu führt, dass kleine Fahrzeuge zeitweise ganz hinter den Stegflächen verschwinden. Aus diesem „Auftauchen und Verschwinden“ ergibt sich eine Dynamik, die durch den Beobachter wahrgenommen wird. Die Stege sind zugleich Geländer und Leitschiene. Bei regem Verkehrsfluss (= Anhaltspunkte, Grössenvergleich) wird das Gefühl einer schlankeren Konstruktion vermittelt.

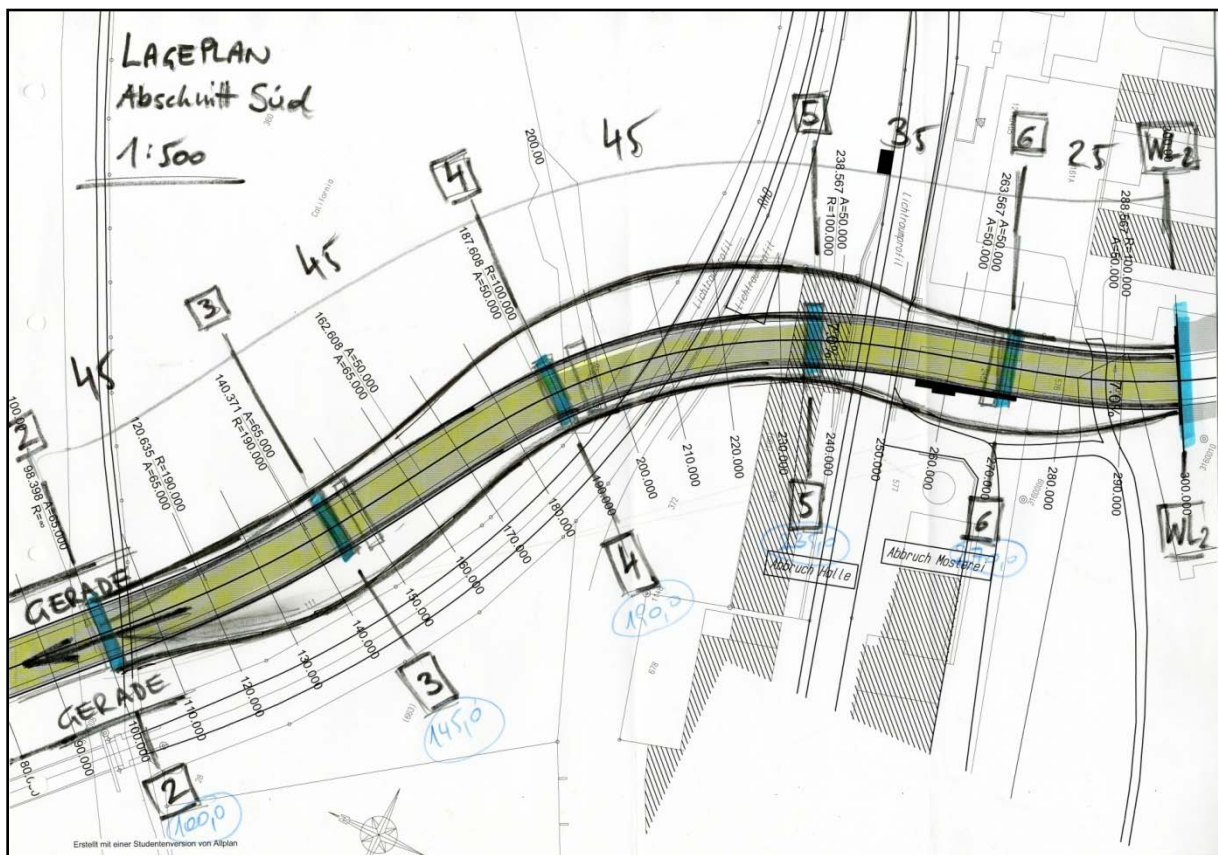


Abb. 10 - Entwurfsidee, Linienführung

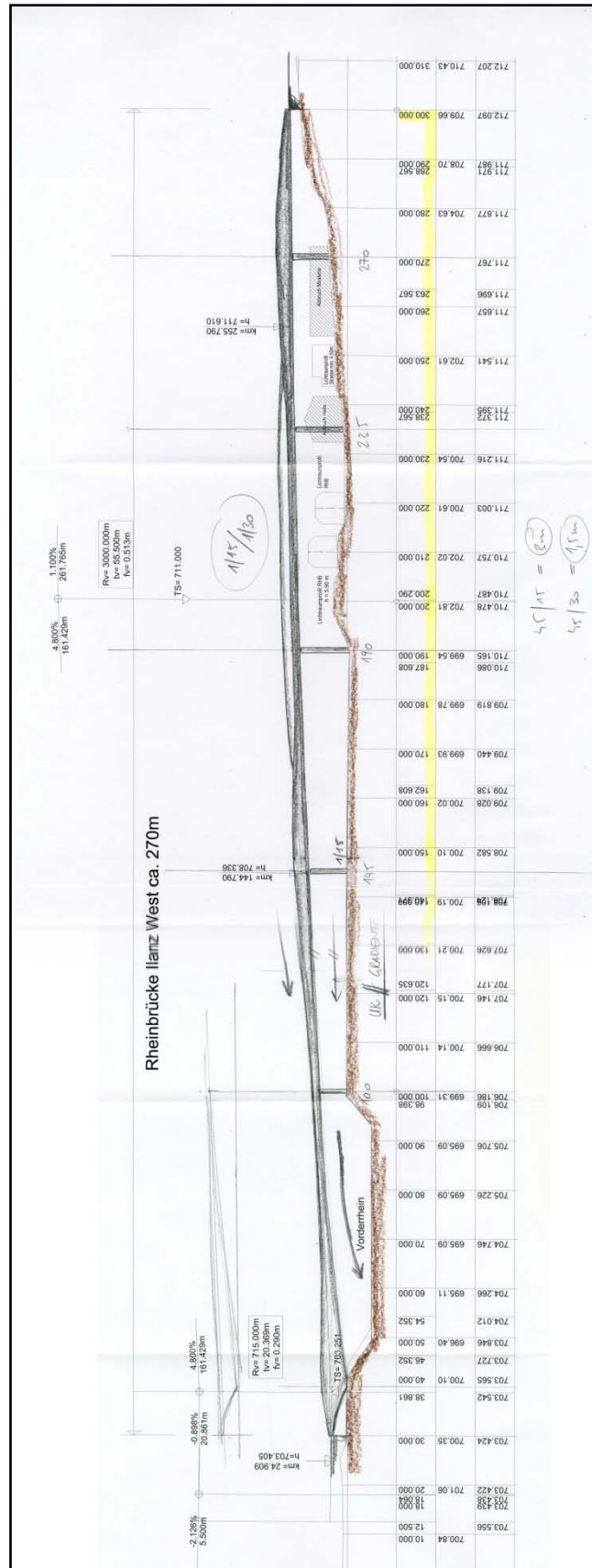


Abb. 11 - Entwurf 1

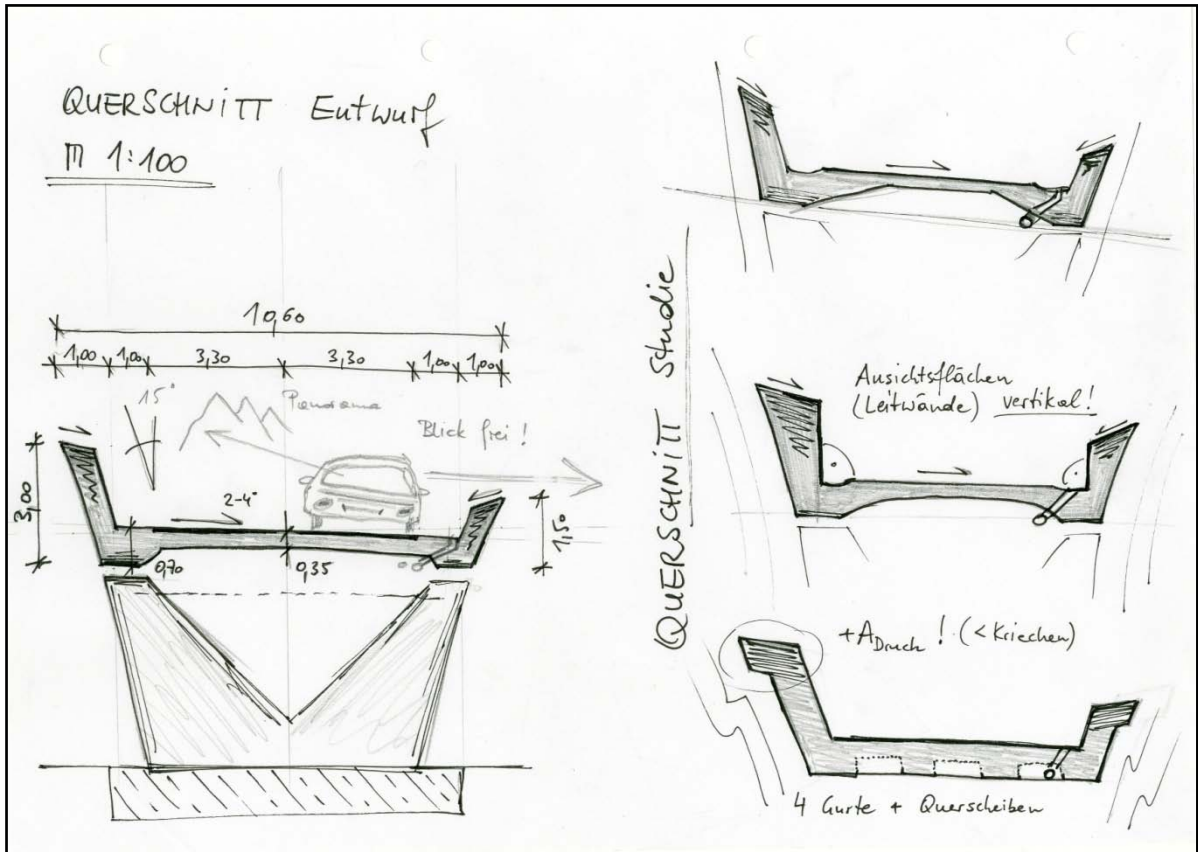


Abb. 12 - Entwurf 1, Querschnittsvariationen

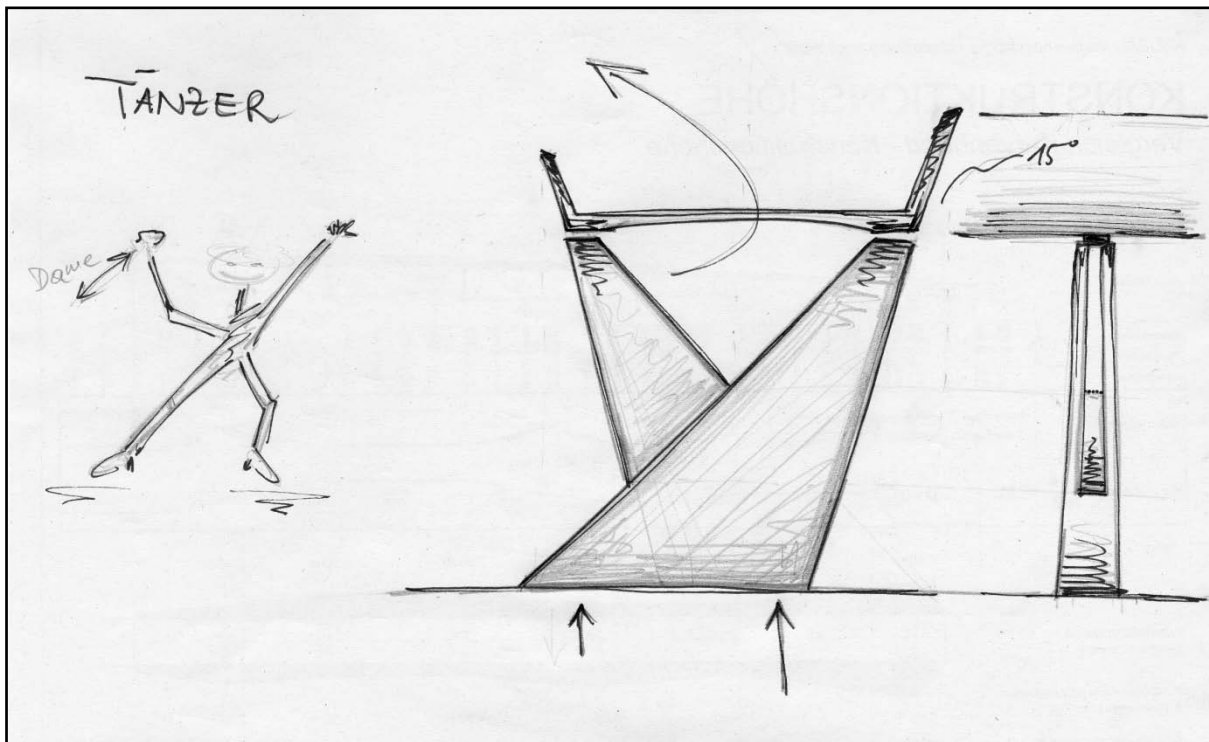


Abb. 13 - Stützenentwurf

4.3. Entwurf 2

Der zweite Entwurf steht im Kontrast zum ersten - ein grundsätzlich anderes Tragwerk, mit dem *Leichtigkeit und Transparenz* zum Ausdruck kommen soll. Nach der Anfertigung eines Modells bestätigte sich die Vorahnung: Speziell im Kurvenbereich kommt es zu entscheidenden Konflikten des Lichtraumprofils der Strasse mit den Pylonen. Abgesehen davon wirkt das hohe Tragwerk überdimensioniert und auf dem ebenen Untergrund zwischen den beiden Bergflanken deplatziert. Der schlichte Blick auf das Umgebungsmodell und diverse Abbildungen des Arbeitsmodells veranschaulichen den Umstand.

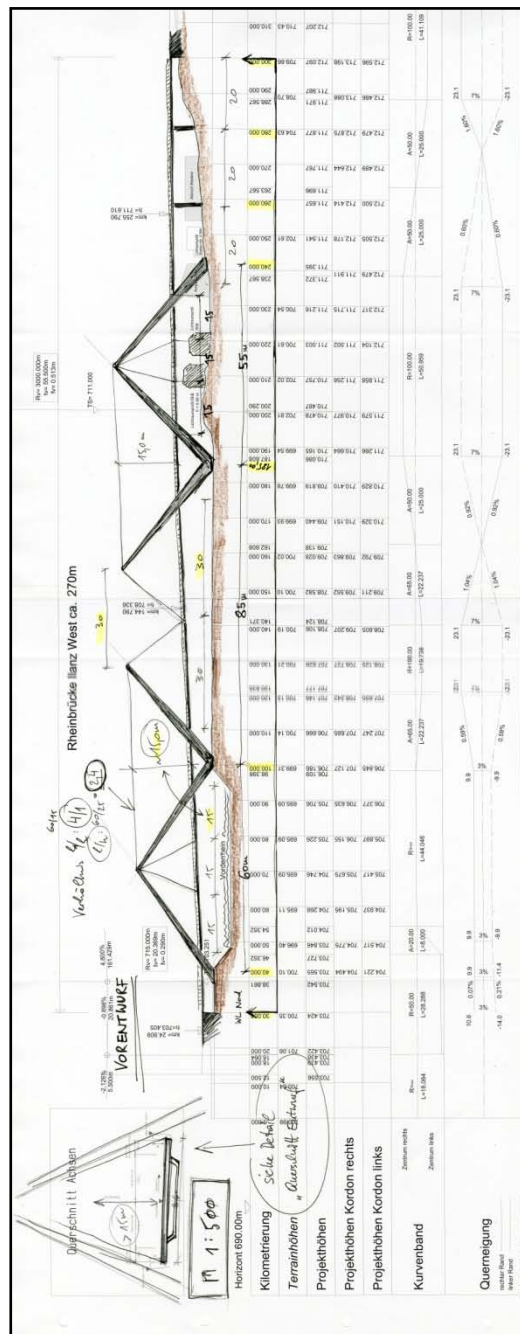


Abb. 14 - Entwurf 2

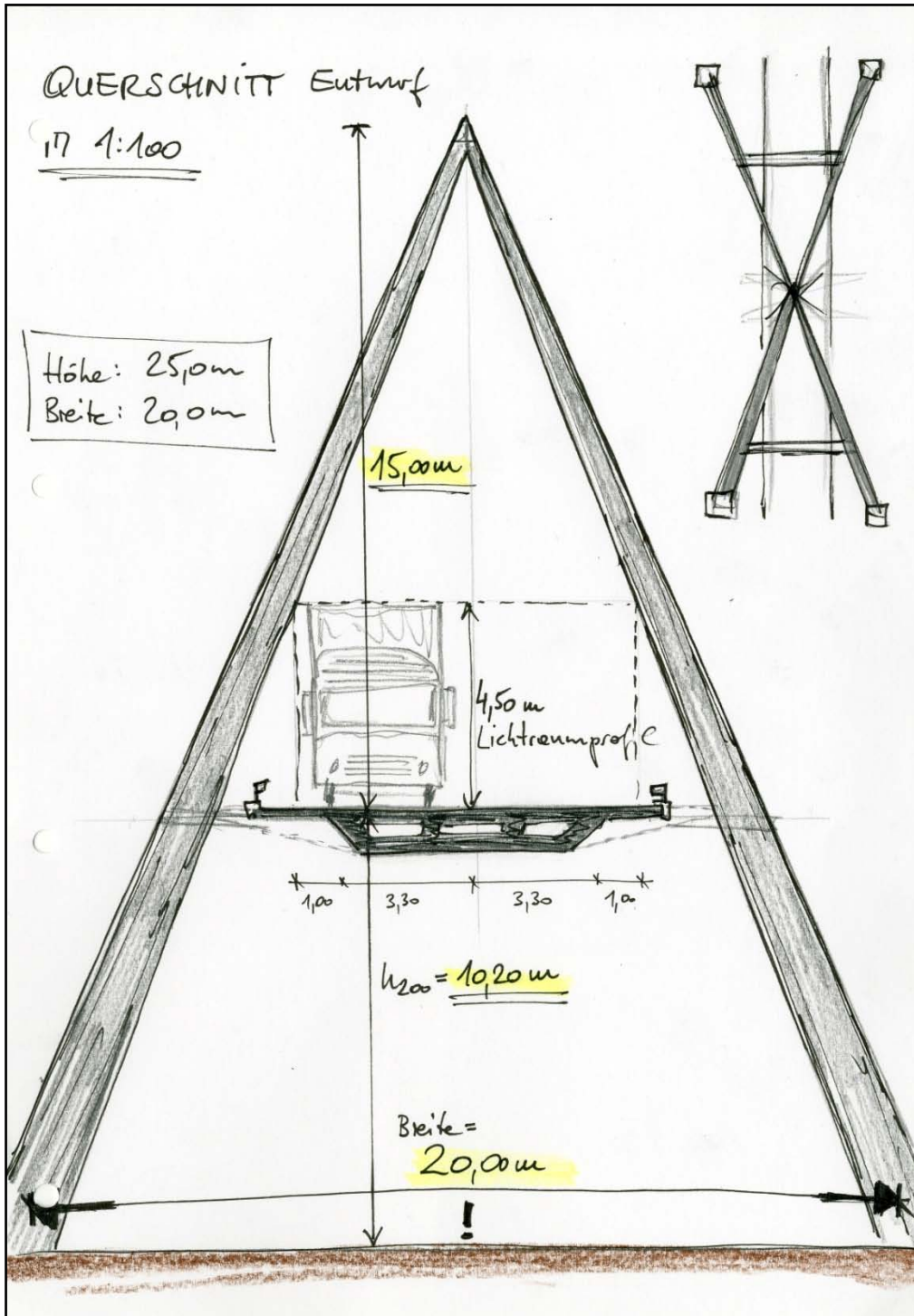


Abb. 15 - Entwurf 2 / Querschnitt

4.4. Entwurf 3

Im dritten Entwurf wird die Herausforderung in konstruktiver Hinsicht gesucht, nämlich anhand eines Holz-Beton-Verbundtragwerk. Durch den Baustoff Holz entsteht ein direkter Bezug zur Umgebung, und eine Recherche hat ergeben, dass in der Schweiz und in Deutschland bereits Holz-Beton-Verbundbrücken errichtet wurden [7]. Eine Herausforderung ist, das System aus aufeinander folgenden Einfeldträgern von 20 bis maximal 30 Metern Spannweite zu einem Durchlaufträger zu vereinen. Die Flussüberquerung mit einem parallelgurtigen, beidseits in vertikale Scheiben eingespannten, Holzfachwerk harmoniert mit der benachbarten RhB-Brücke durch den klassischen Kontrast „Alt – Neu“ bzw. „Historisch – Modern“.

Die vielen Krümmungen der Trasse stellen allerdings ein ernsthaftes Problem für diesen Entwurf dar. Für die zweite Hauptöffnung über die Bahntrasse und die Zufahrt zum Industriegebiet wird ein weiteres Fachwerk benötigt, dessen Druckstreben der gekrümmten Linienführung nicht standhalten. Aus diesem Grund wurde kein Modell angefertigt, und die Variante schied vorzeitig aus.

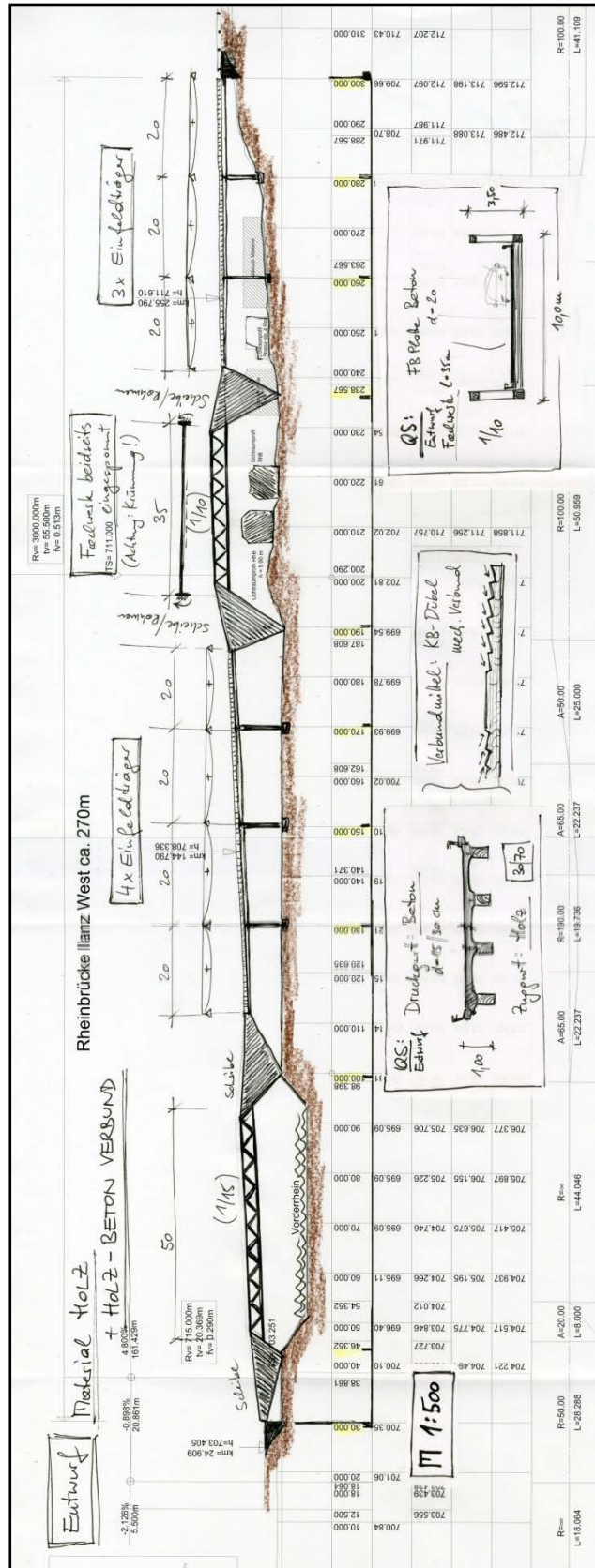


Abb. 16 - Entwurf 3

5. BAUWERKSDESCHEIBUNG

5.1. Gestaltung und konstruktive Ausbildung

Die wesentlichsten Aspekte der Gestaltung wurden bereits im vorangegangenen Kapitel erläutert. Erklärtes Ziel ist es, mit der Form des Überbaues einen statisch sinnvollen Weg zu finden, um auf die Krümmungen der Linienführung (Kurven im Brückenbereich) zu reagieren, ohne dabei auf einen schlichten Hohlkasten mit niedrigerer Bauhöhe zurückzugreifen. Obwohl der Hohlkasten womöglich die sinnvollste Lösung in konstruktiver Hinsicht darstellt, wird (im Zuge dieses Masterarbeitsprojektes) der Anspruch gestellt komplexere Herausforderungen anzugehen, auch wenn in Bezug auf das Langzeitverhalten des Betons im Troquerschnitt (Stichwort „hohe Betondruckzone“) Probleme vorprogrammiert sind. Diese zeigten sich in den Ergebnissen der Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ganz deutlich, welche noch eingehend diskutiert werden.

Der Überbau gliedert sich in zwei Bereiche:

- Jenen Bereich der als Hohlkasten ausgeführt wird, und die Überbrückung des Flusses darstellt (km0,030 – km0,100),
- und jenen interessanten Überlandabschnitt in dem ein Troquerschnitts mit variablen Steghöhen entsteht.

Das gesamte Tragwerk ist schwimmend gelagert mit dem Bewegungsnullpunkt im Bereich km0,040. Sämtliche Pfeiler weisen eine Einspannung im Bereich der Fusspunkte auf. Von einer integralen Bauweise wird abgesehen, um zusätzliche Kräfte im weichen Überbau zu vermeiden. Folgende Abbildung veranschaulicht das gewählte statische System:

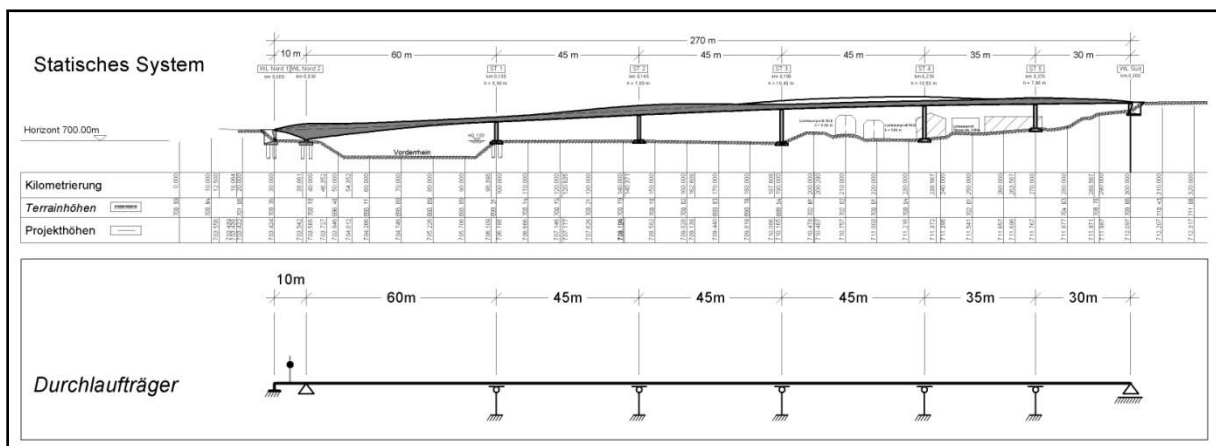


Abb. 17 - Statisches System

Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT)

Zur Untersuchung der Tragstruktur im Grenzzustand der Tragfähigkeit, und um ein Gefühl für den Kraftfluss im geschwungenen Teil der Brücke zu bekommen, werden Bemessungsmodelle mit unterschiedlichen Annahmen hinsichtlich der Eigenschaften des Trogquerschnittes erstellt. Schliesslich muss überprüft werden, ob sich der erhoffte positive Einfluss der alternierend wachsenden Steghöhen tatsächlich zu Buche schlägt. Ein Berechnungsmodell, das die getrennte Berechnung der Stege vorsieht, scheitert an Eigenschaften des Statikprogrammes *RStab*, das letztlich keine realistische Berechnung zulässt. Die Untersuchungen waren allerdings nicht zwecklos, denn sie bestätigen erstmals, dass sich der Überbau tatsächlich zur Kurvenaussenseite „lehnt“ und die grösseren Steghöhen einen günstigen Effekt auf das Tragverhalten haben. Sie ziehen steifigkeitsbedingt höhere Kräfte an und entlasten somit die schwachen Stege der Innenseite.

Die zweite, endgültige Programmierung des Überbaus erfolgt mit der Schweizer Software *Statik6* von *Cubus*. Auf Anraten von Prof. Vogel wird der gesamte Querschnitt zu einem homogenen Körper zusammengefasst, wodurch eine Beurteilung der einzelnen Stege ausbleibt. Die Eingabe eines Achspunktes ermöglicht allerdings die lagerichtige Positionierung des gesamten Querschnittes. Jener Achspunkt läuft auf einer im Grundriss definierten Strukturlinie entlang, womit der gesamte Kurvenverlauf abgebildet ist. Um die variablen Steifigkeiten des Überbaus ausreichend genau zu erfassen, sind 54 Einzelquerschnitte jeweils linear miteinander verbunden. Eine wahrheitsgetreue Eingabe der Querschnittshöhen, wie dies beispielsweise mit Prof. Rubins Software *IQ100* möglich ist, ist nicht notwendig. Eine Erweiterung der Software ermöglicht die Berücksichtigung von Vorspannkräften. Alle vorgesehenen Vorspannkabel sind direkt in die Programmierung des Überbaus implementiert. In den statischen Berechnungen wird sowohl eine „*formtreue Vorspannung*“ als auch eine Vorspannung im Sinne des Nachweises der *Dekompression* diskutiert. Letztere Vorspannung führt schlussendlich zur Wahl der eingelegten Vorspannkabel.

Für den offenen Querschnitt im Bereich $km0,100 - km0,270$ werden Einwirkungen aufgrund von Ablenkkraften in den Stegen untersucht. Die daraus resultierenden Querbiegemomente in der Fahrbahnplatte weisen allerdings eine, relativ zur (direkten) Gesamteinwirkung aus Eigengewicht und Verkehrslasten, geringe Grössenordnung auf. Für die weitere Bemessung der Fahrbahnplatte wird der Anschluss gelenkig modelliert, da durch die geringe Torsionssteifigkeit der Stege keine Kräfte aus Einspannmomenten aufgenommen werden können. Im Zuge detaillierterer Berechnungen, könnten die einzelnen Lastfälle (g , q_{ik} und Q_{ik}) separat untersucht werden. Für den Lastfall „Einzellast Q_{ik} “ ist die Vorstellung einer Einspannung durchaus vertretbar, wodurch eine geringfügige Optimierung des Bewehrungsgehaltes erzielt wird.

Die Tragfähigkeit der Pfeilerscheiben wird mittels eines statisch unbestimmten Fachwerkmodells untersucht. Ein Nachweis nach Theorie II. Ordnung gemäss Eurocode zeigt, dass eine ausreichende Stabilität vorhanden ist. Zusätzlich zur schlaffen Bewehrung wird an den massgebenden Stützen $km0,190 + km0,235$ vorgespannt.

Die Strassenprojektierung bedingt im Bereich des Widerlagers Nord aufgrund der grossen Kurvenkrümmung im Grundriss erhebliche Torsionsmomente (km0,040). Der gewählte Hohlkastenquerschnitt hält den Einwirkungen stand, allerdings wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass eine Adaptierung der Linienführung sinnvoll wäre. Ein grosser Teil der Querkraftbewehrung könnte eingespart werden, liesse man die Strasse auf der Brücke gerade auslaufen.

Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Das Langzeitverhalten des Baustoffes Beton hat erheblichen Einfluss auf die Verformung des Überbaus, vor allem im Bereich des Trogquerschnittes. Die geringe Steifigkeit und die hohe Druckzone im Feld führen zu grossen Verformungen infolge Kriechen. Auch eine in Rechnung gestellte Überhöhung kann nicht bezwecken, dass die hohen Anforderungen der Normen an die Durchbiegungen an jeder Stelle eingehalten werden. In drei Feldern werden die Grenzwerte zum Teil überschritten. In dieser Hinsicht sind für die weitere Projektierung Absprachen mit dem Bauherren über eine Anpassung der Grenzwerte zu führen, oder eine Steifigkeitszunahme des weichen Trogquerschnittes zu veranschlagen.

Bemessung der Fundamente und Widerlager

Ein umfangreiches geologisch-geotechnisches Gutachten [1] über den Zustand des Untergrundes im Projektierungsbereich bildet die Grundlage für die Bemessung der Fundamente und Widerlager. Nachweise werden sowohl für eine Flachfundierung im Überlandbereich erbracht, als auch für das kritische Widerlager im Hangbereich (WL Süd). Sämtliche Bodenkennwerte und das piezometrische Niveau des Grundwassers werden dabei dem geotechnischen Gutachten entnommen. Sollte sich in weiteren Untersuchungen herausstellen, dass der Untergrund schlechter (bzw. das Grundwasserniveau höher) ist als ursprünglich angenommen, kann man eine generelle Tieffundierung aller Fundamente und Widerlager vorsehen, die im Vorprojekt nur bei den flussnahen Pfeiler zur Anwendung kommt.

5.2. Wahl der Materialien

Überbau

- **Beton:** C35/45 (XD3 XF2/XF4)
- **Betonstahl:** BSt 550
- **Spannstahl:** Litzenspannsystem *Stahlton-CONA*

Unterbau

- **Beton:** C30/37
- **Betonstahl:** BSt 550
- **Spannstahl:** Litzenspannsystem *Stahlton-CONA*

5.3. Zusammenfassung der statischen Vorbemessung

Die Berechnungen an den massgebenden Stellen zeigen, dass das Tragwerk den Einwirkungen standhält. Im Grenzzustand der Tragfähigkeit werden alle Nachweise erfüllt, obwohl zu konstatieren ist, dass „nach oben hin“ wenig Spielraum besteht. Der Überbau ist stark vorgespannt, wobei über den Pfeilern Zulagen eingelegt werden.

Die Probleme im Zusammenhang mit den Nachweisen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit müssen noch eingehend diskutiert werden. Lösungsvorschläge sind im betreffenden Abschnitt genannt worden.

6. BAUABLAUF

6.1. Richtlinien und Normen zur Ausführung

Das *Bundesamt für Strassen (ASTRA)* regelt in der „Richtlinie für die Projektierung und Ausführung von Kunstbauten der Nationalstrassen“ [20] die allgemeinen Rahmenbedingungen für die Ausführung von Brückenbauprojekten. Dabei werden Kompetenzen zugeteilt und die Rolle des ASTRA als Bauherr unterstrichen.

Konkretere Vorgaben für die Ausführung von Kunstbauten sind in den „Besonderen Bestimmungen Teil 2 (BB2)“ [21] der kantonalen Verwaltung des *Tiefbauamtes Graubünden* zu finden. Vorschriften zu sämtlichen Arbeitsbereichen der Baudurchführung und die normative Ordnung sind an dieser Stelle geregelt. Auszug relevanter Teilbereiche aus dem Verzeichnis der „Bestimmungen“:

- Vorschriften für die Arbeiten in der Nähe von Bahnanlagen
- Vorschriften für die Ausführung von Kunstbauten
- Vorschriften Luftreinhaltung
- uvm.

6.2. Örtliche Randbedingungen

6.2.1. Bauwerksabschnitte

Das gesamte Brückenbauwerk wird, den örtlichen Gegebenheiten folgend, in drei *Bauwerksabschnitte* unterteilt.

Abschnitt 1 (0,040 – 0,100): Überbrückung Vorderrhein

Abschnitt 2 (0,100 – 0,215): Vorderrhein – Rhätische Bahn

Abschnitt 3 (0,215 – 0,300): Rhätische Bahn – Widerlager Süd

Der Baufortschritt erfolgt im Allgemeinen vom Widerlager Nord aus in Richtung Widerlager Süd. Die graphische Darstellung im Plan „Bauablauf – *Randbedingungen*“ illustriert, welche Zufahrtswege grundsätzlich zur Verfügung stehen.

6.2.2. Baustelleneinrichtung

Zur Baustelleneinrichtung und Zwischenlagerung von Baumaterial aller Art stehen zwei separate *Areale* zur Verfügung. Das **Areal 1** befindet sich nördlich des Vorderrheins, im Bereich zwischen Bahntrasse der RhB, Nationalstrasse und Fluss. Es bietet mit ungefähr 4500m² Fläche ausreichend Platz für Bauleitungs-Container, Parkplätze und Abstellfläche für einen Teil der

Baugeräte sowie Hubgeräte (Krananlage). Durch die Situierung direkt neben der Strasse besteht eine leichte Erreichbarkeit und daraus folgend sind nur geringe Kosten für zusätzliche Bauwege zu veranschlagen. Die Einrichtung dieses Areals muss allerdings mit dem Baufortschritt der Anschlussstrassen zur Brücke koordiniert werden. Sobald der Rohbau des *Ersten Abschnittes* fertiggestellt ist, kann das Areal 1 Grossteils freigegeben werden.

Das **Areal 2** bildet das logistische Zentrum für den Baufortschritt in den Abschnitten 2 und 3. Die 3000m² grosse Fläche im Gewerbegebiet von Ilanz muss in Absprache mit der Gemeinde angemietet werden. Sollte dies nicht möglich sein, könnte ein Teil des (üblicherweise bewirtschafteten) Feldes auf der gegenüberliegenden Seite der RhB (Abschnitt 2) gepachtet werden. Da Kontaminationen des Erdreiches in diesem Fall nicht auszuschliessen sind, muss mit der Gemeinde und dem jeweiligen Eigentümer über eine nachträgliche Nutzung der Fläche verhandelt oder über die Kosten eines Bodenaustausches nachgedacht werden.

Das Areal am Gewerbegebiet bietet den grossen Vorteil einer vorhandenen, betonierten Abstellfläche, die über feste Strassen erreichbar ist. Es ist ausreichend Platz für Magazine, Tagesunterkünfte und Sanitäreanlagen vorhanden, die von der Baumannschaft leicht über die Gleise zu erreichen sind. Hierfür sollten seitens der Baukoordination die notwendigen Sicherheitsmassnahmen festgelegt werden. Eine Geschwindigkeitsbeschränkung oder ein obligates Pfeifsignal der Bahn während der Bauzeit am Abschnitt 2 wären sinnvolle Massnahmen.

Zufahrtswege

Besonders der Einfahrtsbereich der Zufahrt zu Abschnitt 2 muss auf ausreichende Lichträume hin kontrolliert werden. Sollten diese nicht gegeben sein, besteht im äussersten Notfall die Möglichkeit, im Bereich des Frachtenbahnhofes einen Querung der RhB-Trasse herzustellen und über eine mobile Baustrasse Zugang zum Abschnitt 2 zu erhalten (vgl. Plan „Bauablauf Randbedingungen“). Generell ist auf die vorhandenen Oberleitungen zu achten, nicht nur im unmittelbaren Neubaubereich, sondern auch bei der Querung mit Sonderfahrzeugen.



Abb. 18 - Mobile Baustrasse

Alle übrigen Zufahren sind in einem einwandfreien Zustand und auch für schwere Spezialgeräte passierbar. Die allgemeine Aufwand zur Einrichtung von Baustrassen ist durch die unmittelbare Nähe zur Nationalstrasse vergleichsweise gering sein.

Vorderrhein

Das Bauwerk überbrückt im Bereich km0,040 – km0,100 den Vorderrhein in einer mittleren Höhe von sieben Metern. Etwa 100 Meter flussabwärts befindet sich ein Einlaufbauwerk, das hydraulisch genutztes Wasser aus einem Kraftwerk in den Vorderrhein rückenspeist. Der Wasserstand des Vorderrheins im Bereich der Überbrückung ist demzufolge relativ gering. Es ist nicht notwendig einen 60 Meter weit gespannten Lehrgerüstträger zu erstellen, da davon auszugehen ist, dass Lehrgerüststützen mit geringem Aufwand im Fluss situiert werden können. Eine besondere Untersuchung der Wasserpegelstände sowie eine Abklärung mit dem Kraftwerksbetreiber sind jedoch unbedingt erforderlich.

Rhätische Bahn

Die Trasse der Rhätischen Bahn bedingt, dass weite Umwege für die Verbindung der Bauabschnitte 2 und 3 gefahren werden müssen, die grundsätzlich Seite an Seite liegen. Eine gründliche Planung der Baustelleneinrichtung ist deshalb unabdingbar, da in diesem Bereich keine direkte Verbindung über die Gleise vorliegt.

Durch die Nähe der Bahn samt Abstellgleis, bestehen jedoch auch **Vorteile** für den Bauablauf. Eine Nutzung für Transportaufkommen aller Art ist durchaus denkbar und sollte im Vorfeld mit der Leitung der Rhätischen Bahn abgeklärt werden. Je nach (Aushub-)Massen und Transportentfernungen besteht nicht nur ein Potential für eine Kostensenkung, sondern auch für die Minimierung der Immissionen auf die Illnauzeller Bevölkerung während der Bauzeit (Baustellenzufahrten 2 und 3 führen direkt durch das Illnauzeller Ortgebiet). In unmittelbarer Nähe existiert sogar ein intakter Frachtenbahnhof (siehe Pläne), der für diverse Transporte bestens geeignet erscheint.

Checkliste Baustelleneinrichtung

R. Schach und J. Otto geben in ihrem Buch „Baustelleneinrichtung“ [22] eine ausführliche Checkliste zur Planung der Baustelle an. Ein Vergleich mit den Eindrücken aus der örtlichen Bauplatzbeschau (zu Anfang des Projekts) und den bereits genannten Randbedingungen lässt folgende wesentliche Punkte offen:

- „1.20. Sind **Vermessungspunkte** vorhanden?“
- „1.21. Befinden sich im Baufeld **Freileitungen**?“ – *Ja, im Bereich WL Nord - Muss gesondert untersucht werden, da die vorhandenen Pläne keinen Aufschluss über die Höhe der Leitung geben.*
- "4.1 Ist ein **Stromanschluss** vorhanden?“
- „5.1. Ist eine Möglichkeit der **Abwasserentsorgung** vorhanden?“ (Kanalisation)

6.3. Konventionelle Herstellung (Lehrgerüst)

Die konventionelle Herstellung des Stahlbetontragwerkes auf einem Lehrgerüst wurde von Anfang an primär in Betracht gezogen. Sämtliche statische Nachweise gehen von einem Kunstbau aus, der „in einem Guss“ hergestellt wird. Die Schalung des Trogquerschnittes (Überbau) folgt

herkömmlichen Mustern und stellt prinzipiell keine besonderen Anforderungen an die Herstellung, obgleich die extravagante Geometrie zu zusätzlichen Aufwänden an Schalungselementen führen kann.

Der Überbau ist kein klassischer Talübergang, sondern tendenziell als Hochstrasse zu betrachten und einzustufen. Die zu errichtenden Lehrgerüste erreichen eine Höhe von maximal 10 Metern und liegen folglich innerhalb dem in der Fachliteratur genannten wirtschaftlichen Rahmen [12]. Sinnvoller Weise erfolgt der Baufortschritt vom Festpunkt (WL Nord) aus. Durch die gegebene Zugänglichkeit aller Bauabschnitte (siehe Pläne und 6.2.1) werden im Grunde keine festen Krananlagen benötigt. Für die gängigen Hub- und Transportvorgänge innerhalb der Baustelle (Schalung, Bewehrung, Lehrgerüستهile) reichen Bagger und Radlader aus [22]. Sollten darüber hinaus phasenweise Geräte mit höheren Hublasten benötigt werden, stellen Mobilkräne eine kostengünstige und variabel einsetzbare Lösung dar.



Abb. 19 - Mobilkran [22]

Zum Einbringen des Betons kann entweder eine stationäre Betonpumpe installiert werden, oder auf Autobetonpumpen zurückgegriffen werden. Die Herstellung der Fundamente und Brückenpfeiler wird voraussichtlich unter dem Einsatz von mobilen Autobetonpumpen effizienter von Statten gehen, wohingegen die Installation einer Betonpumpanlage am Brückenanfang, samt Verlegung von Förderrohren entlang der Brücke, während dem Bau des Überbaues Vorteile bringt.



Abb. 20 - Autobetonpumpe

Im Allgemeinen sind abgesehen von den in 6.2 erwähnten Randbedingungen keine weiteren Besonderheiten im Zuge einer konventionellen Herstellungsmethode festzuhalten.

6.4. Variante: Fertigteilsegmentbauweise

Das Projekt „*Neubau der Vorderrheinbrücke*“ bietet sich weder für ein Taktschiebverfahren (unterschiedliche Krümmungen im Grundriss), noch für einen Freivorbau (Schlankheit, Querschnitt) an. Auch die *Fertigteilsegmentbauweise* erreicht normalerweise mit komplett anderen Grundvoraussetzungen als den hier vorliegenden eine deutlich höhere Effizienz. Nichtsdestotrotz wird der Versuch eines Vergleiches gestartet, um (im Hinblick auf die Spezialaufgabe der Masterarbeit) etwaige Möglichkeiten dieser Bauweise aufzuzählen. In Kapitel 8 folgt schliesslich ein monetärer Vergleich, der unter gewagten Annahmen ein wirtschaftlich passables Ergebnis liefert.

6.4.1. Bauvorgang

Um einen Vergleich zur „Konventionellen Herstellung“ anzustellen, wurden die Möglichkeiten einer Fertigteilsegmentbauweise bezogen auf den Trogquerschnitt beleuchtet. Der Bauvorgang folgt dem üblichen in der Literatur behandelten Schema mit Elementlängen von 2,50 Metern. Die Unterkante des Überbaues verläuft beinahe linear - es kann mit einer geraden, verstellbaren Schalung gearbeitet werden. Der kurvenreiche Verlauf stellt ein grösseres Problem dar und bedingt in weiterer Folge einen Mehraufwand für das, zur Herstellung der Fertigteile verwendeten, Schalungssystem. Um die obligate Vorspannung einzubringen werden abschnittsweise Nischen offen gelassen, die nachträglich betoniert werden.

Aufgrund der Krümmung im Grundriss kann auf Unterstützungen nicht zur Gänze verzichtet werden, es wird jedoch angenommen, dass kein massives Lehrgerüst (s.o.) zur Anwendung kommt. Der Hubvorgang der durchschnittlich 50 Tonnen schweren Fertigteile erfordert ein massiveres Hubgerät, beispielsweise einen *LTR 1060 Raupenkran* der Fa. Liebherr [23] oder separate Hub- und Montageeinrichtungen.

6.4.2. Potentiale und Möglichkeiten zur Kosteneinsparung

Der Unterschied zwischen Terrain und Überbau beträgt auf weiten Strecken knapp über 10 Meter. Ausserdem müssen Lehrgerüststräger zur Überspannung der Rhätischen Bahn hergestellt werden. Dabei sind grosse Mengen an Material zu montieren und *bereitzustellen*. Hier könnte eine Minimierung der Lehrgerüste auf einfache, verschiebliche Rüsttürme zur punkweisen Auflagerung einzelner Fertigteile grosse Kosteneinsparungen bewirken (Montage, Zinsen).

Gleiches gilt für die Schalung, obwohl Einsparungen in diesem Bereich geringer ausfallen, da das Schalgerüst zur Herstellung der 2,50 Meter langen Fertigteile flexibel und in Längsrichtung adjustierbar sein muss. Die unterschiedliche Höhe der Stege sollte hierbei kein ernsthaftes Problem darstellen. Die Neigung der Aussen- und Innenseiten bleibt konstant.

Das grösste Potential für eine Kosteneinsparung liegt allerdings bei einer drastischen Verkürzung der Bauzeit, die sich in einer Senkung der Nebenkosten niederschlägt. Die Fachliteratur misst diesem Faktor sehr viel Bedeutung bei, allerdings muss man festhalten, dass die Ausgangslage atypisch ist. Um die Längstorsion während dem Bauvorgang zu meistern, sind Unterstellungen

notwendig, die mitunter zu gering budgetiert wurden. Der zusätzliche Aufwand für eine spezielle Montagekonstruktion blieb bei der überschlägigen Kostenabschätzung in Kapitel 8.3 ebenfalls unberücksichtigt. Es ist deshalb davon auszugehen, dass grosse Fixkosten durch die Einrichtung spezieller Bauelemente (Vorfertigungshalle, Hubeinheit) entstehen und die Kostenschätzung im Kapitel 8 auf zu waghalsigen Annahmen beruht. Nichtsdestotrotz, der direkte Vergleich brachte interessante Einblicke in die Grössenordnungen der Möglichkeiten zur Einsparung bei diversen Kostenpositionen.

7. ENTWÄSSERUNG

7.1. Allgemein

Ein Grundsatz im Strassenbau lautet, das im Strassenbereich anfallende Oberflächenwasser solle möglichst dem umliegenden Boden (und nicht direkt dem Vorfluter) zugeführt werden, um bei starken Regenfällen grosse Abflussspitzen zu verhindern (Retention). Auf der anderen Seite muss beachtet werden, dass im Bereich der Fundamente kein unerwünschtes Stauwasser entsteht. Deshalb werden Versickerungsschächte vorgesehen, deren Lage dem Plan zu entnehmen ist.

Eine kostengünstige, aber ökologisch fragwürdige Möglichkeit besteht in der direkten Ableitung sämtlicher Oberflächenwässer in den Vorfluter (Vorderrhein). Aufgrund der zunehmenden Versiegelung der Landflächen und einem daraus folgenden steigendem Hochwasserrisiko in flussabwärts gelegenen Siedlungsgebieten (Rheinbecken), sollte davon tunlichst abgesehen werden. Ausserdem besteht durch die Anlage von Sickerschächten die Möglichkeit, bei Giftstoffunfällen auf der Brücke rasch einen erheblichen Anteil der Verunreinigungen über die Sickerschächte wieder auszuheben (Ölabscheider vorausgesetzt).

7.2. Hydraulische Bemessung

Die Brücke weist ein stetiges Längsgefälle und ausgeprägte Quergefälle auf, die bei der hydraulischen Berechnung berücksichtigt werden. Im Bereich km0,040 – km0,200 beträgt das Längsgefälle 4,8%, am verbleibenden Rest der Brücke nur mehr 1,1%. Die Abwässer werden folglich gegen die Kilometrierungsrichtung abgeleitet, wobei sich die Neigung der Abflussleitungen an derjenigen des Überbaus orientiert.

Regenintensität

◇ Mittelland, Voralpen, Tessin Nord, Jura	60 mm h ⁻¹ (165 l s ⁻¹ · ha ⁻¹)
◇ Alpen, Wallis, Engadin	35 mm h ⁻¹ (100 l s ⁻¹ · ha ⁻¹)
◇ Tessin Süd	80 mm h ⁻¹ (220 l s ⁻¹ · ha ⁻¹)

Abb. 21 – Entwässerung: Regenintensitäten [14]

Abstand der Abläufe

Aussendurchmesser	Innendurchmesser	Längsgefälle der Leitung						
		1%	1,5%	2%	3%	4%	5%	6%
Rohrserie SDR 26								
125	115,4	8	10	12	14	16	18	20
160	147,6	16	19	22	27	32	35	39

Abb. 22 - Entwässerung: Sammel- und Ablaufleitungen [14]

Bemessung der Leitungen

Die Bemessung der Abflussleitungen erfolgt nach der entsprechenden ASTRA-Richtlinie [14]. Der gewählte Abstand der Einlaufschächte wurde, um eine rasche Ableitung der anfallenden Wassermengen zu gewährleisten (bezugnehmend auf die Angaben in [13]), mit 15 Metern festgelegt.

An jedem dritten Einlaufschacht ist beidseitig ein entgegengesetzter Reinigungsschacht vorzusehen.

Sämtliche Abmessungen können den Plänen (siehe Anhang) entnommen werden.

7.3. Belagsentwässerung

Im Abstand von 2,5 Metern werden an den jeweiligen Tiefpunkten *Entwässerungsröhrchen* ($d = 50\text{mm}$) angebracht. Sie dienen zur Abführung des Wassers, das über das Porensystem des Belags an die Oberfläche der Abdichtung gelangt ist.

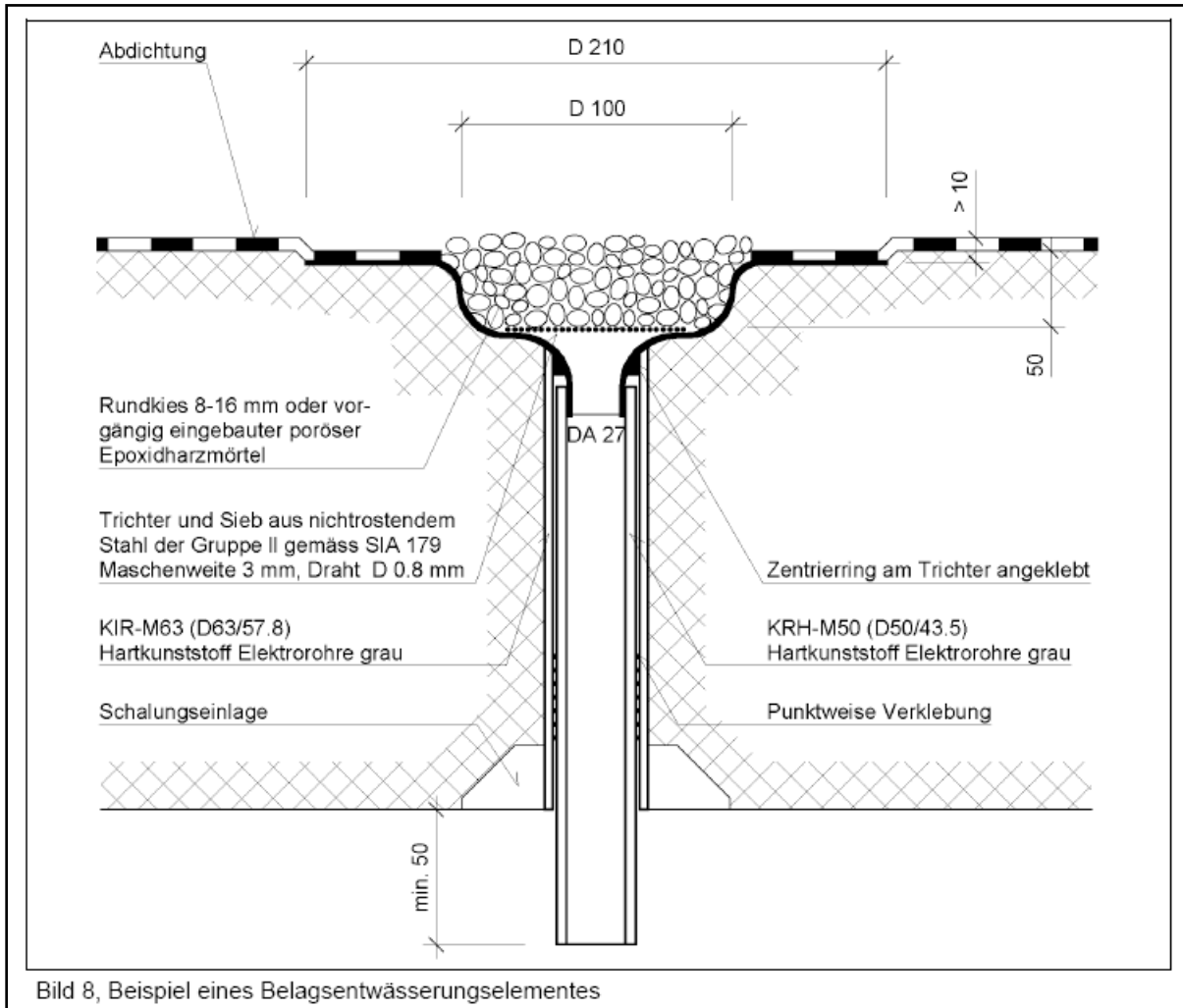


Abb. 23 – Belagsentwässerung (Beispiel Bundesamt für Strassen [ASTRA]) [14]

8. KOSTENSCHÄTZUNG

8.1. Allgemein

Es wurde für zwei Bauweisen jeweils eine Kostenschätzung durchgeführt: Sowohl für das *konventionelle Bauverfahren mit Lehrgerüst* als auch für die *Fertigteilesegmentbauweise*. Für beide Verfahren diente eine Preiskostentabelle des Tiefbauamtes Graubünden als Vorlage [17]. Die Tabellenwerte beziehen sich auf das Jahr 2006. Die, zur groben Plausibilitätskontrolle herangezogenen, Angaben zu „Brückenbaukosten/m² (EUR)“ der TU Dresden aus dem Jahr 2002 wurden deshalb mit dem Baukostenindex für Brücken der *Statistik Austria* aufgewertet und mit dem damaligen Wechselkurs umgerechnet [18] [19].

Bei den abgeschätzten Kosten handelt es sich *nicht* um *Life-Cycle-Costs*. Demnach sind nicht enthalten:

- Landerwerb
- Betriebs-, Kontroll- und Unterhaltskosten
- Abbruchkosten

8.2. Konventionelles Bauverfahren (mit Lehrgerüst)

Die massgebenden Beton- und Betonstahlmassen ergaben sich aus einer Abschätzung über einen Mittelwert aus fünf Querschnitten (3 Stützen, 2 Felder). Für die Ermittlung der kostspieligen Spannstmengen wurden die exakten Längen und Querschnittsflächen aus der *CUBUS Statik 6* Bemessung herangezogen, deren Ausdrücke den Kostenberechnungen beiliegen.

Ein Plausibilitätskontrolle durch den Vergleich mit Angaben der TU Dresden zu „Brückenbaukosten/m²“ ergab, dass die bezogenen Quadratmeterkosten realistisch sind und im gehobenen Preisniveau liegen.

Um die erhaltenen Kosten einem weiteren Vergleich zu unterziehen, wurde eine zweite Kostenabschätzung für den Überbau nach den Angaben von *Brühlwiler und Menn* [13] durchgeführt. Dabei kommt zum Ausdruck, dass die tatsächlichen Bewehrungsmengen aus erster Abschätzung grösser sind als bei einer durchschnittlichen Balkenbrücke. Stellt man die tatsächlichen Kostenanteile (an den Gesamtkosten) für „Baustelleninstallation, Unterbau, Überbau und Ausbau“ jenen nach Tab. 2.1. in [13] gegenüber, fällt auf, dass dem Überbau überdurchschnittlich hohe Kosten zuzurechnen sind, die vor allem aus einem Mehraufwand für Spann Stahl resultieren sind. Diese Beobachtung ist durchaus realistisch, handelt es sich beim Entwurf doch um eine komplizierte, stark vorgespannte Balkenbrücke.

8.3. Fertigteilsegmentbauweise

8.3.1. Allgemein

Auf Basis der ersten Kostenabschätzung für ein konventionelles Bauverfahren wurde ein Kostenvoranschlag für eine *Fertigteilsegmentbauweise* erstellt (vgl. Kapitel 6). Massgebende Annahmen hierfür waren:

- +39% Spannstahlmenge – Neue, detaillierte Berechnung, s.u.
- Weniger Schalung – Ann.: -40%
 - Geringere Bereitstellungsmenge
 - Grössere Wiederverwendungsrate
- Geringere Betonstahlmenge – Ann.: Keine Biegezugbewehrung (längs) im Überbau
- Kaum Lehrgerüste notwendig, dafür Bereitstellung von Hubeinrichtung – Ann.: -90%

8.3.2. Spannstahl

Die neue Berechnung der **Spannstahlmenge** wurde auf zwei Arten geführt. Zuerst ergab eine Bemessung im Grenzzustand der Tragfähigkeit eine geringere durchschnittliche Spanngliedmenge als im ursprünglichen Entwurf. Die Bemessung im GZT ergibt jedoch *klaffende Fugen*, die es unbedingt zu verhindern gilt und ist folglich *falsch*! Eine zweite Berechnung mit dem (klassischen) Nachweis der Dekompression (keine Zugkräfte) ergab realistischere Werte, die die tatsächlichen Spannstahlmengen um 39% überstiegen. Die Grundlagen zur zweiten Berechnung entspringen der „Zweiten Berechnung der Vorspannung“.

8.4. Vergleich der Bauweisen

Ein Vergleich der beiden Kostenabschätzungen ergibt, dass die Fertigteilsegmentbauweise um über 1 Million CHF billiger ist, als die Herstellung „aus einem Guss“ (80%). Diese äusserst geringen Kosten sind allerdings mit Vorsicht zu geniessen. Um einen entsprechenden Kostenvorteil lukrieren zu können, müssen sämtlichen Rahmenbedingungen stimmen:

- Räumlichen Gegebenheiten lt. Kapitel 6
 - Bereitstellung der Vorfertigungsflächen
 - Ausreichend Raum für Hubmaschinen
- Entsprechendes Gerät zur Positionierung der Fertigteilsegmente

Kosteneinsparungen resultierend aus einer kürzeren Bauzeit sind **nicht** in Rechnung gestellt (Bereitstellungszeiten der Maschinen und Einsatzzeit der Baumannschaft). Einerseits ist das Brückenprojekt zu klein um tatsächlich *drastische* Verkürzungen in der Bauzeit zu erzielen, andererseits ist unklar, ob die Einrichtung einer Vorfabrikationshalle nicht zeitaufwendiger ist als die Herstellung des zehn Meter hohen Lehrgerüsts. Abgesehen davon müssen auch die eingehobenen Segmente regelmässig unterstellt werden, damit die Stützmomente und Torsionsbeanspruchungen während dem Bauablauf gering bleiben.

VERGLEICH DER BAUWEISEN					
Fertigteilesegmentbauweise - Konventionell (Lehrgerüst)					
Aufteilung auf die einzelnen Kapitel		Fertigteilesegmentbauweise		Konventionell - Lehrgerüst	
112	Prüfungen	36.400	0,9%	43.700	0,9%
113	Baustelleneinrichtung	437.200	10,6%	524.200	10,6%
114	Gerüste	0		0	
117	Abbrüche	45.000	1,1%	45.000	0,9%
131	Instandsetzung und Schutz von Betonbauten	0		0	
132	Bohren und Trennen von Beton und Mauerwerk	0		0	
162	Baugrubenabschlüsse und Aussteifungen	0		0	
164	Anker	0		0	
171	Pfähle / Spezialfundationen / Fundamentschächte	157.940	3,8%	157.940	3,2%
172	Abdichtungen für Bauwerke unter Terrain und Brücken	229.500	5,6%	229.500	4,6%
212	Baugrubenaushub und Erdbau	36.950	0,9%	36.950	0,7%
213	Wasserbau	0		0	
221	Fundationsschicht	20.000	0,5%	20.000	0,4%
222	Pflästerungen und Abschlüsse	0		0	
223	Belagsarbeiten	178.240	4,3%	178.330	3,6%
237	Kanalisationen und Entwässerungen	0		0	
241	Ortbetonbau	1.827.855	44,4%	2.328.950	47,2%
	Schalungen	312.030	7,6%		9,8%
	Aussparungen und Einlagen	31.800	0,8%		0,6%
	Bewehrungen	439.025	10,7%		15,6%
	Beton	1.045.000	25,4%		21,2%
	Nebenarbeiten Naturstein-Mauerwerke, Vormauerungen und Bekleidungen aus Naturstein	0			
244	Lager- und Fahrbahnübergänge für Brücken	68.000	1,7%	68.000	1,4%
246	Spannsysteme (Vorspannung)	1.023.300	24,9%	736.500	14,9%
247	Lehr-, Schutz und Montagegerüste	56.700	1,4%	567.000	11,5%
281	Fahrzeugrückhaltesysteme und Geländer	0		0	
611	Metallbauarbeiten	0		0	
	Zwischenbausumme	4.117.085	100%	4.936.070	100%
	Unvorhergesehenes in % der Zwischenbausumme	gl	10%	411.700	493.600
	Projekt und Bauleitung in % der Bausumme	gl	20%	905.800	1.085.900
	7.6 % Mehrwertsteuer auf Zwischenbausumme, Unvorhergesehenes, Projekt und Bauleitung		7,6%	413.000	495.200
	Gesamtbausumme	5.848.000		7.011.000	
		100%		120%	

VERGLEICH DER KOSTENANTEILE

Kostenschätzung (TBA-Gr) - Brühlwiler, Menn: "Stahlbetonbrücken" [13]

	Anteil (%) an Gesamtbaukosten		Kostenschätzung TBA- Gr, Anteil (%)	
Baustelleninstallation	8,0		10,6	
Unterbau	23,5		17,8	
<i>Foundationen</i>		18,0		10,4
<i>Pfeiler und Widerlager</i>		5,5		7,4
Überbau	54,5		62,1	
<i>Lehrgerüst, Schalung</i>		20,0		20,8
<i>Beton</i>		10,0		14,0
<i>Bewehrung</i>		13,5		12,0
<i>Spannstahl</i>		11,0		15,3
Ausbau	14,0		9,5	
	100,0		100,0	

Nebenrechnung:

Anteile Kosten Beton

Beton				0,217
Überbau	2300	0,63	0,63	0,14
Ausbau	230	0,06	0,06	0,01
Pfeiler	105	0,03	0,06	0,01
WL	120	0,03		
Fundament	450	0,12	0,16	0,03
Unterlagsbeton	120	0,03		
Pfähle	320	0,09	0,09	0,02
	3645	1,00		

Die Berechnungen zur Kostenschätzung liegen im ANHANG bei.

9. NUTZUNGSVEREINBARUNG



Tiefbauamt Graubünden
Uffizi da construcziun bassa dal Grischun
Ufficio tecnico dei Grigioni

Kontakt:

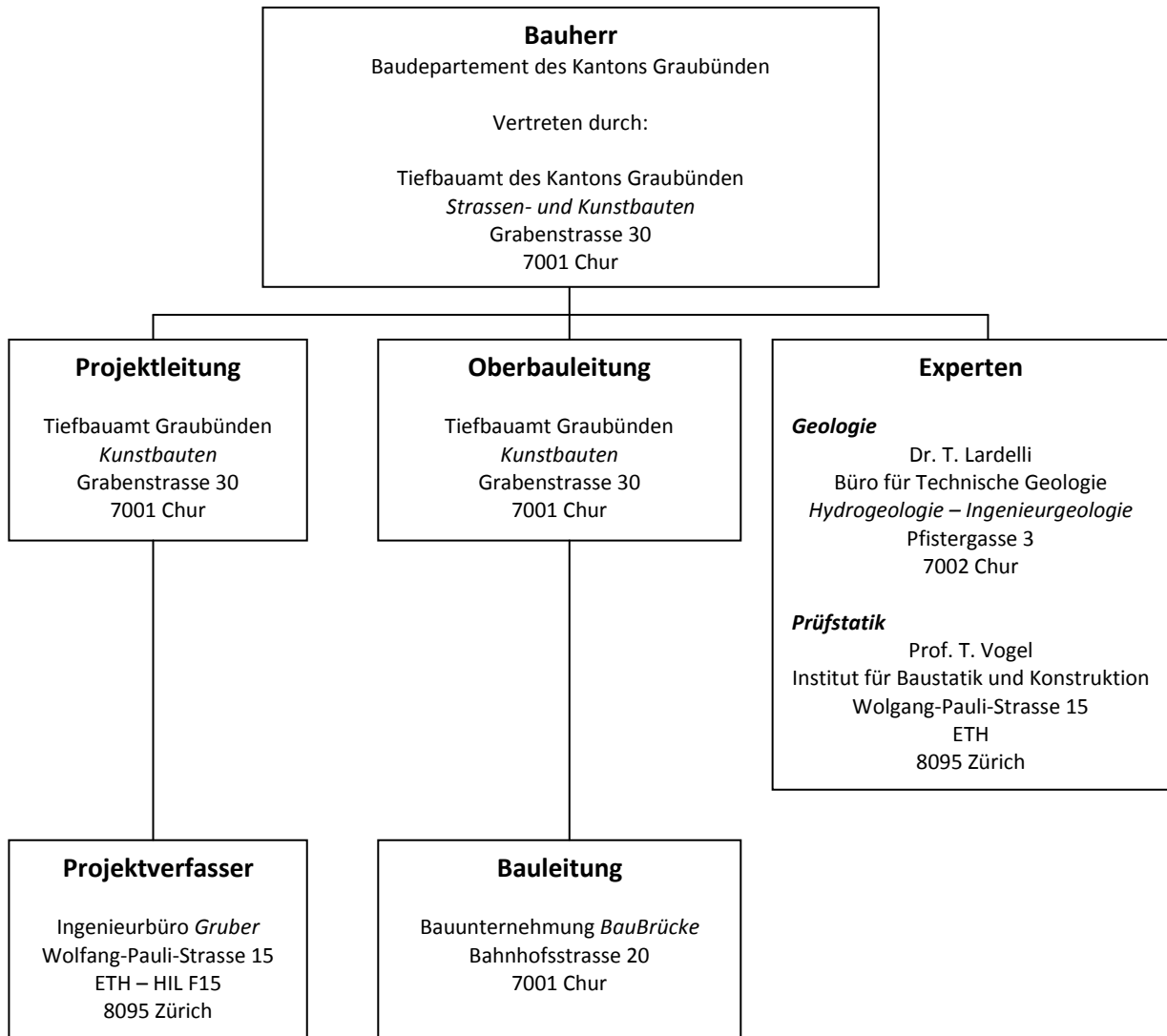
Tiefbauamt Graubünden
Grabenstrasse 30
7001 Chur

PROJEKT:

Kantonsstrasse: Lugnezerstrasse
Gemeinde: Ilanz
Objekt: *Neubau der Vorderrheinbrücke*
 Umfahrung Ilanz West
RMS-km: km0,030 – km0,300

9.1. Allgemein

Projektorganisation



Bauwerksbeschreibung

Im Zuge des Projektes „Umfahrung Ilanz West“ muss ein Brückenbauwerk errichtet werden:
Projekt – „Neubau der Vorderrheinbrücke“.

Strassenzug:	Lugnezerstrasse
Standort:	Gemeinde Ilanz 734'0050/181'730 bis ca. 734'550/181'500 700 Meter ü. M.
Nutzung:	Strassenbrücke, zweispurig
System:	7-Feld-Durchlaufträger

Fundation: Tieffundationen: km0,030 + km0,040 + km0,100 + WL Nord
Flachfundationen km0,145 + km0,190 + km0,235 + km0,270 + WL Süd

Abmessungen: Länge: 270 Meter
Breite: 8,60 Meter
Spannweite: 10 – 60 – 45 – 45 – 45 – 35 – 30 Meter
Fläche: 2320 m²

Geologie und Hydrologie

Das Projektgebiet ist in zwei grobe Bereiche unterteilt:

- Gebiet „California“ (Talboden)
- Gebiet: Hangfuss

Schichtaufbau:

„California“	„Hangfuss“
Junge Schotter (Kiessande)	Deckschicht (verschwemmte Seesedimente)
Seesedimente (Silt / Feinsand)	Junge Schotter (Kiessande)
Alter Schotter (Kiessande)	Seesedimente (Silt / Feinsand)

Das piezometrische Niveau der beiden Bereiche ist unterschiedlich. Im „California“ herrscht vorwiegend ein nichtdrückender, auf Niveau des Vorderrhein liegender, Grundwasserspiegel vor, wohingegen die geotechnischen Bohrungen im Bereich des Hangfusses auf tieferliegendes, drückendes Grundwasser stiessen.

Detaillierte Angaben sind dem Geotechnischen Bericht [1] zu entnehmen.

Projektgrundlagen

EN-Normen insbesondere Eurocode 1991-2, 1992-2

SIA-Norm: SIA 261

Richtlinien:

Bundesamt für Strassen (ASTRA): Projektierung und Ausführung von Kunstbauten der Nationalstrassen, 2005

Vorschriften:

Tiefbauamt Graubünden: „Besondere Bestimmungen Teil 2 (BB2)“, Ausgabe 2011

Tiefbauamt Graubünden Weisung für die Projektierung von Kunstbauten, 2008

Tiefbauamt Graubünden: Preiskostenvoranschlag (Vorlage), 2006

Tiefbauamt Graubünden: Umfahrung Ilanz: Geologisch – geotechnischer Bericht, 2002

9.2. Vorgesehene Nutzung

Geplante Nutzungsdauer

- | | |
|-----------------------------|-----------|
| • Tragkonstruktion | 100 Jahre |
| • Oberflächenbeschichtungen | 25 Jahre |
| • Abdichtung | 25 Jahre |
| • Belag | 25 Jahre |
| • Fahrbahnübergänge | 50 Jahre |
| • Lager | 50 Jahre |
| • Brückenentwässerung | 25 Jahre |
| • Geländer | 25 Jahre |

Vereinbarte Nutzung

Umfahrungsstrasse

Lichtraumprofil: 4.80m x 7.50m + Kurvenverbreiterung +je 1.00m

Benutzer: Strassenverkehr

keine landwirtschaftlichen Fahrzeuge, Sonderfahrzeuge

Sicherheitseinrichtungen

Zur Gewährleistungen eines ausreichenden Sicherheitsstandards sind folgende Massnahmen resp. bauliche Anlagen vorzusehen:

- *Zusätzliches Geländer* (niedrig) im den Bereichen „Steghöhe = 1,50m“ (siehe Querschnitte)
- *Beleuchtungseinrichtung*: zumindest Beleuchtung des anschliessenden „Kreisels“, eventuell Betriebsbeleuchtung entlang der Brücke
- *Glatteiswarnanlage*

9.3. Umfeld und Drittanforderungen

Landschaftbild

Im Tal auf der Rheinseite zur Lugneterstrasse hin liegen wenig bebaute Grünflächen, die als charakteristisches Landschaftselement zu erhalten sind. Ein möglichst grosszügiger Lichtraum unterhalb der Brücke in dem Bereich soll dazu beitragen, das Landschaftselement aufrecht zu erhalten. Ein möglichst filigranes und sich in die Region eingliederndes Konzept der Brücke ist hier erstrebenswert.

9.4. Bedürfnisse des Betriebs und der Unterhalts

Verformungen: Anforderungen gem. EC 1990 / bzw. SIA 260

Schutz des Betons und der Bewehrung: Mindestbewehrung für hohe Anforderungen, siehe Statik
Bewehrungsüberdeckung: 50mm
Hydrophobierung der Stege

Unterhalt der Entwässerungsleitungen: Reinigungsschächte

Entwässerung: gem. ASTRA – Richtlinie, 2008

Abdichtung: PBD, vollflächig verklebt

9.5. Besondere Vorgaben der Bauherrenschaft

- Es ist ein zertifizierter Beton nach den "Anforderungen Betonbau" des Tiefbauamtes zu verwenden.
- Der Schalungstyp ist den "Anforderungen Betonbau" des Tiefbauamtes zu entnehmen.
- Die Bauherrenschaft wünscht als Fahrbahnbelag einen Gussasphaltbelag.

9.6. Schutzziele und Risiken

- Die Möglichkeit eines Jahrhundertsneefalles wird von der Bauherrenschaft als Risiko in Kauf genommen. Die Bemessung hat den „*Lastfall Schnee*“ nicht im Besonderen zu berücksichtigen.

9.7. Unterschriften

Chur, am ____.:____.:_____	
Für die Bauherrenschaft:	Für den Projektverfasser:
.....
<i>Tiefbauamt Graubünden</i>	<i>Ingenieurbüro Gruber</i>
_____	_____

10. PROJEKTBASIS



Tiefbauamt Graubünden
Uffizi da construcziun bassa dal Grischun
Ufficio tecnico dei Grigioni

PROJEKT:

Kantonsstrasse: Lugnezerstrasse
Gemeinde: Ilanz, Kanton Graubünden
Objekt: *Neubau der Vorderrheinbrücke*
 Umfahrung Ilanz West
RMS-km: km0,030 – km0,300

Kontakt:

Tiefbauamt Graubünden
Grabenstrasse 30
7001 Chur

10.1. Allgemein

10.1.1. Grundlagen

Grundlage der vorliegenden Projektbasis bildet die Nutzungsvereinbarung vom 30.06.2011.

10.1.2. Angenommene Baugrundverhältnisse

Es wurden Ende Jahres 2001 vier Sondierbohrungen im Projektgebiet abgeteuft, deren Bohrprofile im *Geotechnischen Bericht* [1] dargestellt sind. Dieser Bericht bildet die Grundlage für das vorliegende Projekt.

Das Projektgebiet ist in zwei grobe Bereiche unterteilt:

- Gebiet „California“ (Talboden)
- Gebiet: Hangfuss

Schichtaufbau:

„California“	„Hangfuss“
Junge Schotter (Kiessande)	Deckschicht (verschwemmte Seesedimente)
Seesedimente (Silt / Feinsand)	Junge Schotter (Kiessande)
Alter Schotter (Kiessande)	Seesedimente (Silt / Feinsand)

Das piezometrische Niveau der beiden Bereiche ist unterschiedlich. Im „California“ herrscht vorwiegend ein nichtdrückender, auf Niveau des Vorderrhein liegender, Grundwasserspiegel vor, wohingegen die geotechnischen Bohrungen im Bereich des Hangfusses auf tieferliegendes, drückendes Grundwasser stiessen.

Detaillierte Angaben sind dem Geotechnischen Bericht [1] zu entnehmen.

10.1.3. Projektierungsgrundlagen, Vorschriften, Literatur

Projektierungsgrundlagen

- Situation, Längsschnitt M 1 : 500
- Geotechnischer Bericht, Büro für Technische Geologie AG, 200

Normen und Vorschriften

- Norm EN 1990 (Eurocode, Grundlagen)
- Norm EN 1991 (Eurocode, Lastannahmen)
- Norm EN 1992-1-1 (Eurocode, Stahlbetonbau)
- Norm EN 1992-2 (Eurocode, Stahlbetonbrücken)
- Norm SIA 261 (Einwirkungen auf Tragwerke → *Windlasten*)
- Vorschrift Tiefbauamt Graubünden: „Besondere Bestimmungen Teil 2 (BB2)“, Ausgabe 2011

- Richtlinie Bundesamt für Strassen (ASTRA): Projektierung und Ausführung von Kunstbauten der Nationalstrassen, 2005

Allgemeine Grundlagen

- **E. Brühlwiler, C. Menn:** Stahlbetonbrücken, 2003
- **Prof. T. Vogel:** Vorlesung Brückenbau (Skriptum), 2011
- **M. Laffranchi:** Zur Konzeption gekrümmter Brücken, ETH Zürich, 1999

10.1.4. Abgrenzung

Die Anschlussbauwerke sowohl im Norden (Kreisel, Anschluss Nationalstrasse) als auch im Süden (Fortsetzung und Anschluss) sind nicht im vorliegenden Projektes inkludiert. Das Projekt behandelt ausschliesslich den Neubau der 270 Meter langen Überbrückung (Projekt: „Neubau der Vorderrheinbrücke, Umfahrung Ilanz West“)

10.2. Tragwerkskonzept

10.2.1. Tragsystem

System: 7-Feld Durchlaufträger, parabolisch vorgespannt

Lagerung: WL Nord, monolithisch verbunden (integral)

WL Süd: Verschieblich, FÜG

Stütze km0,040: Betongelenk, Verschiebungsnullpunkt

Stützen km0,100 – km0,270: Gleitlager, Tangentiallagerung

(siehe auch Nutzungsvereinbarung)

10.2.2. Abmessungen

Länge: 270 Meter

Breite FB: 8,60 Meter, 2-spurig

Fläche: 2330m²

Spannweiten: 10 – 60 – 45 – 45 – 45 – 35 – 30

Fundamente: 10,0 x 5,0 x 1,5m

Abmessungen des Überbaus sind den Vorprojekt-Plänen zu entnehmen.

10.2.3. Foundationen

- WL Nord, km0,040, km 0,100: Tieffundation, Bohrpfähle D=1,00 – 1,20m

- Rest: Flachfundation lt. Vorprojekt, nach Rücksprache mit Bauherrn

10.2.4. Baustoffe

Überbau:

Beton: C35/45 XD3 XF2/XF4

Baustahl: BSt 550 (lt. Eurocode, Herstellerangaben siehe Vorprojekt)

Spannstahl: Stahlton System CONA (lt. Herstellerangaben, siehe Vorprojekt)

Abdichtung: PBD unter Gussaspalt

Unterbau:

Beton: C30/37

Baustahl: BSt 550 (lt. Eurocode, Herstellerangaben siehe Vorprojekt)

Spannstahl: Stahlton System CONA (lt. Herstellerangaben, siehe Vorprojekt)

10.2.5. Bauverfahren

- Baugrubenaushub der Widerlager, abgebösch
- Flachfundationen, Ausbub gebösch
- Tieffundationen, ev. Spundwände in Wassernähe vorsehen
- Überbau auf Lehrgerüst, Etappenweises Vorspannen

10.3. Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit, Dauerhaftigkeit

10.3.1. Tragsicherheit

Im Umfang eines Vorprojekten im Sinne der „Weisung für die Projektierung für Kunstbauten“ (Tiefbauamt Graubünden, 2008)

Ständige Einwirkungen

Einwirkungen	Massnahmen	Weiterbearbeitung	Annahmen für Tragwerksanalyse
<i>Eigenlasten</i>	Bemessung	Statische Berechnung	Raumlast Beton 25kN/m ³
<i>Auflasten</i>	Bemessung	Statische Berechnung	s.o.
<i>Vorspannung</i>	Bemessung	Statische Berechnung	Siehe Herstellerang.
<i>Baugrund Erdrücke</i>	Bemessung	Statische Berechnunge WL: Kippen, Gleiten	Baugrundverhältnisse siehe [1]
<i>Baustoffverhalten</i>	Keine speziellen Untersuchungen		

Veränderliche Einwirkungen

Leitgefahr	Massnahmen	Weiterbearbeitung	Annahmen für Tragwerksanalyse
Lastmodell 1	Bemessung nach EC	Statische Berechnung	nur LM1 (ohne Sonderlaststellungen, Sonderfahrzeuge)
Wind <i>Brückenüberbau</i>	Statische Bemessung	Statische Berechnung Lt. SIA 261	
Anprall auf Pfeiler	Bemessung Pf. 0,235	Statische Berechnung Th. II. O.	
Schnee	Keine Bemessung, lt. EC vernachlässigbar		
Brand	-		
Erdbeben	-		
Explosion	-		

10.3.2. Gebrauchstauglichkeit

Im Umfang eines Vorprojektes im Sinne der „Weisung für die Projektierung für Kunstbauten“ (Tiefbauamt Graubünden, 2008)

Anforderungen	Massnahmen	Weiterbearbeitung	Annahmen für Tragwerksanalyse
Durchbiegungen	Bemessung nach EC, Grenzen lt. SIA	Statische Berechnung	L / 500 (Aussehen) L / 700 (Komfort)
Dauerhaftigkeit	Bemessung nach EC, siehe Statik		
Entwässerung	Bemessung nach ASTRA Richtlinie		

10.4. Akzeptierte Risiken

- Unfall Sondertransport, Risiken: Vorderrhein, Ökologie Landwirtschaft
- Brand
- Erdbeben

10.5. Weitere projektrelevante Bedingungen

Weitere projektrelevante Bedingungen sind der Nutzungsvereinbarung (Kap. 9) zu entnehmen.

10.6. Unterschriften

Chur, am ____.:____.:_____

Projektverfasser:

Ingenieurbüro Gruber

STATISCHE BERECHNUNGEN

1. BEMESSUNG ÜBERBAU (GZT)

Im Anschluss an das jeweilige Kapitel befinden sich die zugehörigen **Pläne** und **Skizzen** (Statisches System, Lastaufstellung, Bewehrungsskizze, etc.)

1.1. Baustoffe

Überbau

- **Beton:** C35/45 (XD3 XF2/XF4)
- **Betonstahl:** BSt 550
- **Spannstahl:** Litzenspannsystem *Stahlton-CONA*

Unterbau

- **Beton:** C30/37
- **Betonstahl:** BSt 550
- **Spannstahl:** Litzenspannsystem *Stahlton-CONA*

1.2. Lastaufstellung

Um der Einarbeitung in die Schweizer SIA-Normen vorzubeugen, wurde gemeinsam mit Prof. Vogel vereinbart, das Tragwerk nach *Eurocode* zu bemessen. Wie sich herausstellte, sind kaum Unterschiede in den Normungskonzepten in Bezug auf das bearbeitete Projekt festzuhalten.

Verkehrslasten

Die Aufstellung der Verkehrslasten nach Schweizer „*SIA-Norm*“ folgt weitgehend derjenigen im „*EC*“ (oder umgekehrt). Vereinfachend wurde LM 1 angenommen, ohne Sonderlaststellungen (Menschenansammlungen, Schwerlasttransporte) zu untersuchen. Die Verkehrslasten beinhalten auch die Berücksichtigung horizontaler Kräfte im Kurvenverlauf (Zentrifugalkräfte).

Windlasten

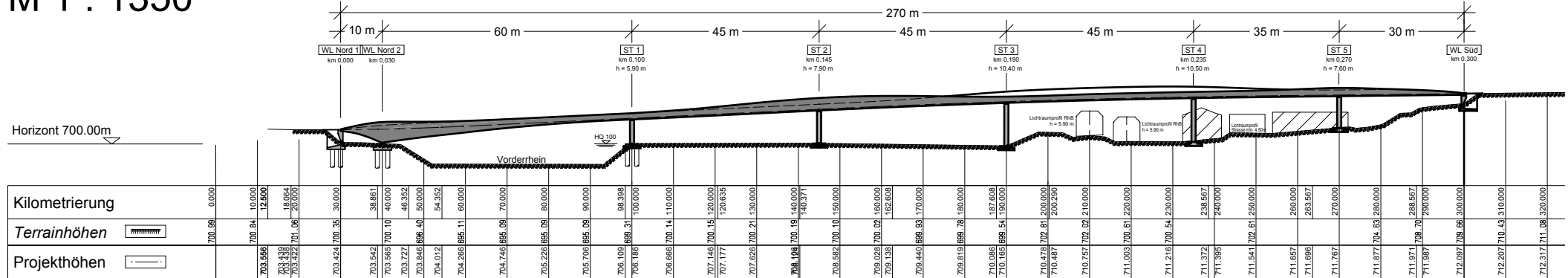
Aufgrund fehlender Daten lokaler Verhältnisse im „*Eurocode 1991*“ wurden die Windlasten nach den SIA-Normen ermittelt.

Schneelasten

Obwohl der Kunstbau auf über 1000 Meter Seehöhe liegt, wurden Schneelasten im Zuge der Vorbemessung vernachlässigt. Die anzusetzenden Lasten sind kleiner als jene des „*Lastmodells 1*“ wobei gleichzeitig angenommen wird, dass im Falle eines Bemessungsschneefalls kein Verkehr auf der Brücke stattfinden kann.

LASTAUFSTELLUNG

M 1 : 1350



Lastmodell 1 (LM1)
(EC 1991-2)

LF "max M"

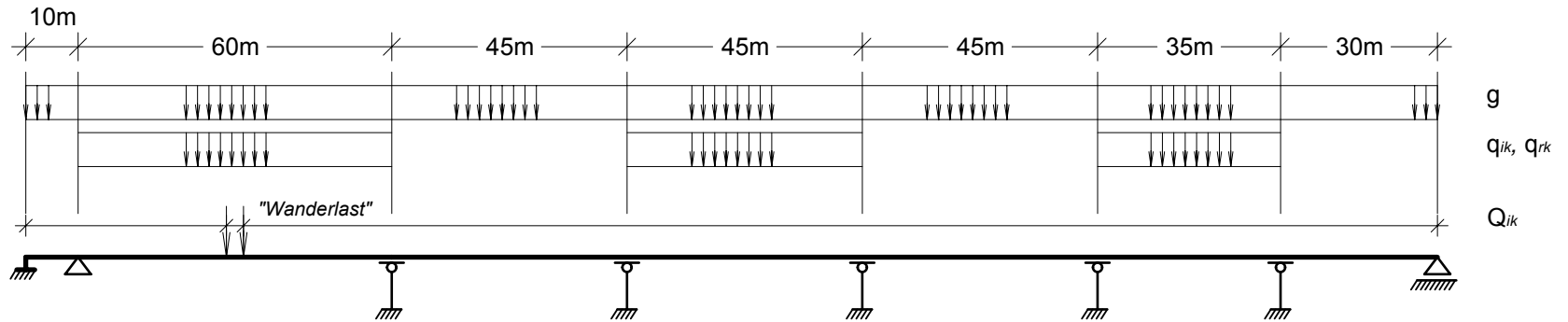
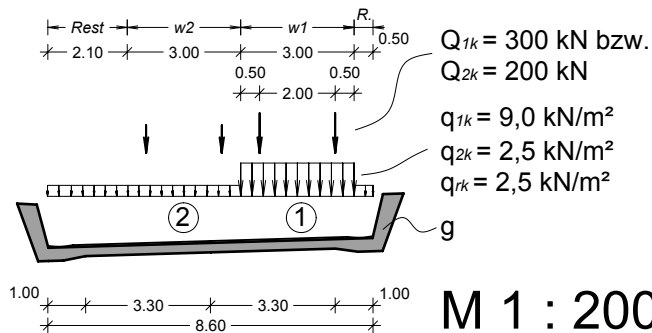


Tabelle 4.1:
2 rechnerische Fahrstreifen (6,0 m)
Restfläche = 2,60 m

Tabelle 4.2:
Achslast $Q_{1k} = 300$ kN
Achslast $Q_{2k} = 200$ kN
Gleichlast $q_{1k} = 9,0$ kN
Gleichlast $q_{2k} = 2,5$ kN
Gleichlast $q_{rk} = 2,5$ kN

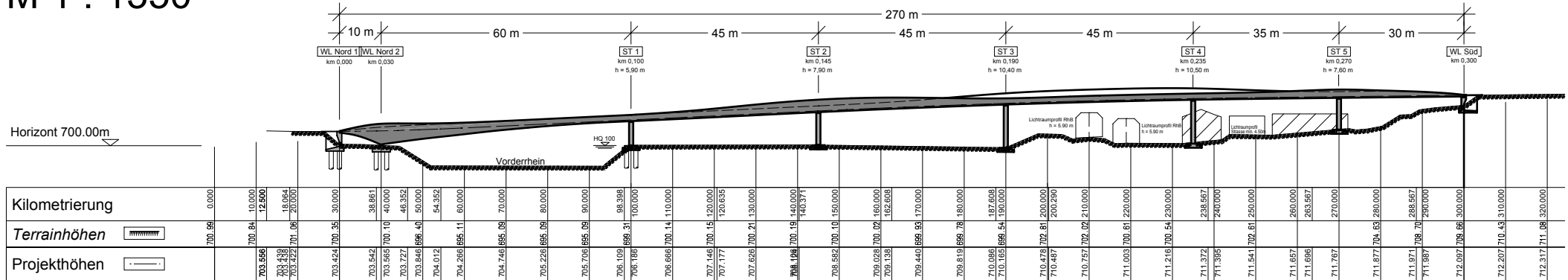


**Massgebende Lage der Wanderlast Q_{ik} +
feldweise Belastung q_{ik} :**
Siehe Einflusslinien bzw. CUBUS Lastfallgenerator

M 1 : 200

LASTAUFSTELLUNG

M 1 : 1350



Lastmodell 1 (LM1) (EC 1991-2)

LF "max Q"

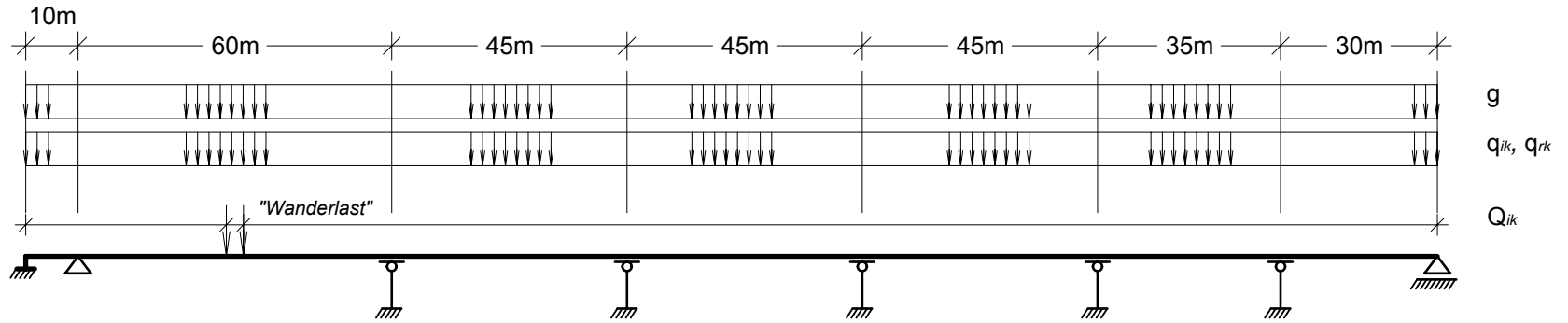
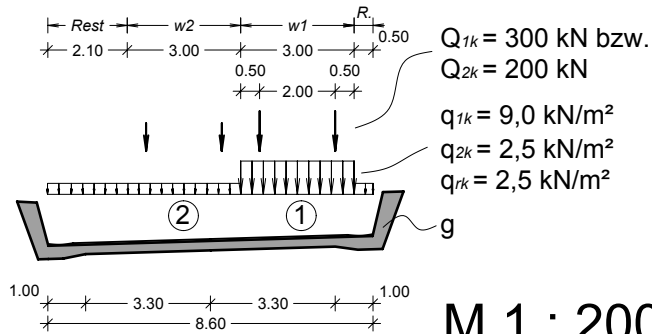


Tabelle 4.1:
2 rechnerische Fahrstreifen (6,0 m)
Restfläche = 2,60 m

Tabelle 4.2:
Achslast $Q_{1k} = 300$ kN bzw.
Achslast $Q_{2k} = 200$ kN
Gleichlast $q_{1k} = 9,0$ kN bzw.
Gleichlast $q_{2k} = 2,5$ kN
Gleichlast $q_{rk} = 2,5$ kN



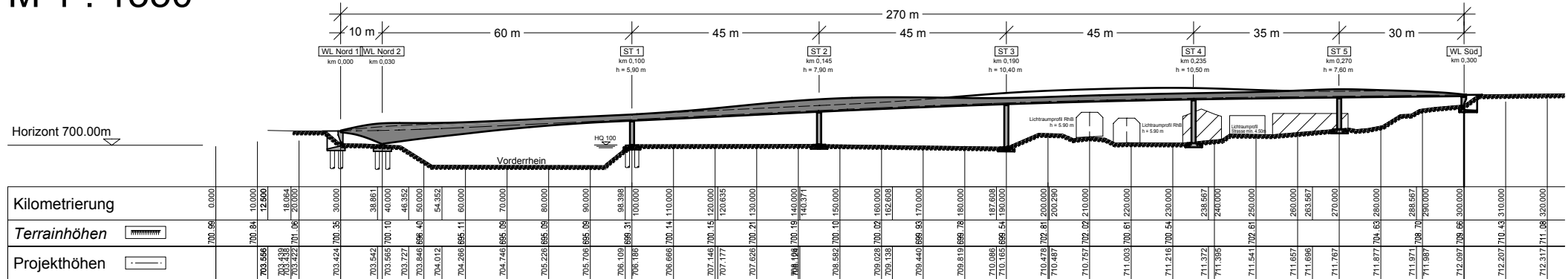
M 1 : 200

**Massgebende Lage der Wanderlast Q_{ik} +
feldweise Belastung q_{ik} :**
Siehe *Einflusslinien*

Rechnerischer Fahrstreifen "1" im
Abstand $d/2$ von seidl. Tragelement.
(siehe EC 2)

LASTAUFSTELLUNG

M 1 : 1350



Lastmodell 1 (LM1) (EC 1991-2)

LF "max T"

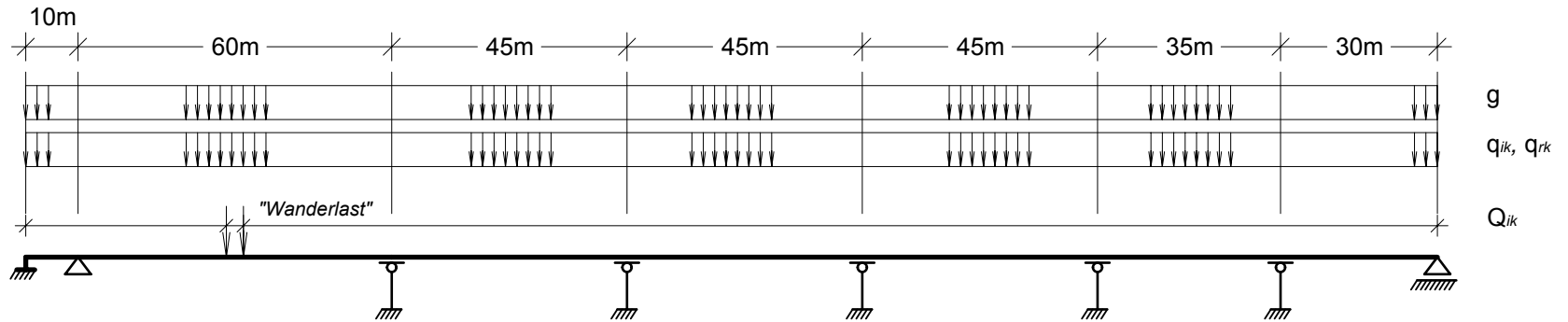
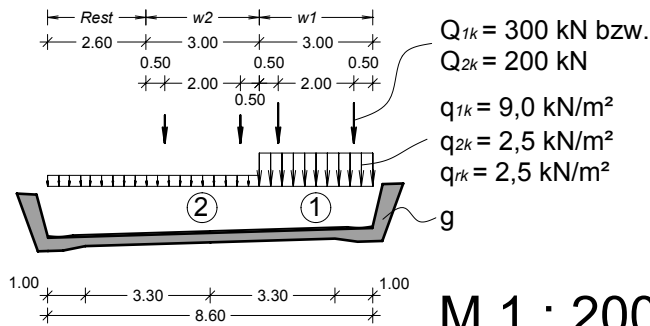


Tabelle 4.1:
2 rechnerische Fahrstreifen (6,0 m)
Restfläche = 2,60 m

Tabelle 4.2:
Achslast $Q_{1k} = 300$ kN bzw.
Achslast $Q_{2k} = 200$ kN
Gleichlast $q_{1k} = 9,0$ kN bzw.
Gleichlast $q_{2k} = 2,5$ kN
Gleichlast $q_{rk} = 2,5$ kN



M 1 : 200

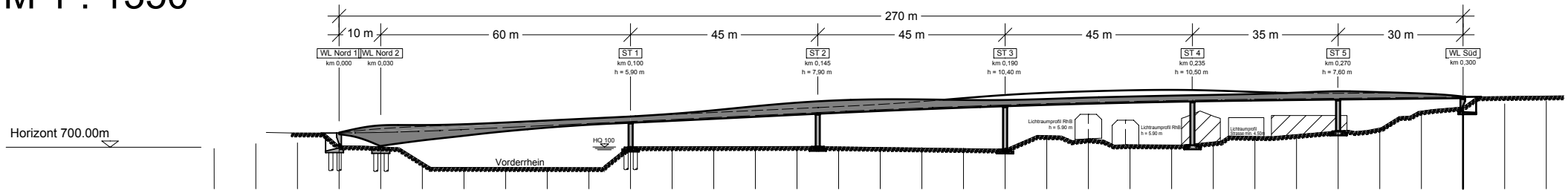
Massgebende Lage der Wanderlast Q:

Siehe Einflusslinien

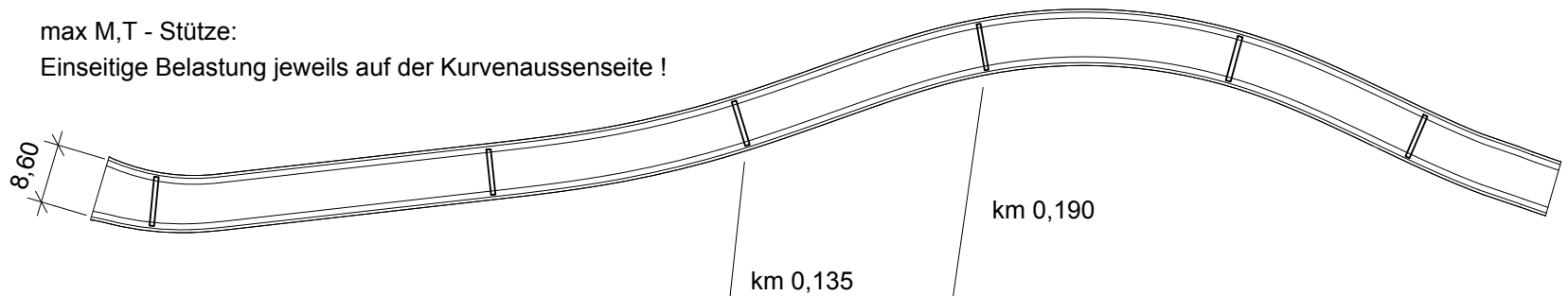
Rechnerischer Fahrstreifen "1" am Rand positioniert.
Einzellasten vereinfachend mittig positioniert.
Variiert in Längsrichtung - siehe "Grundriss LF max T"

LASTAUFSTELLUNG

M 1 : 1350

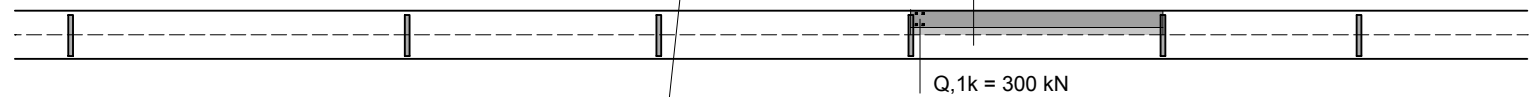


max M,T - Stütze:
Einseitige Belastung jeweils auf der Kurvenaussenseite !

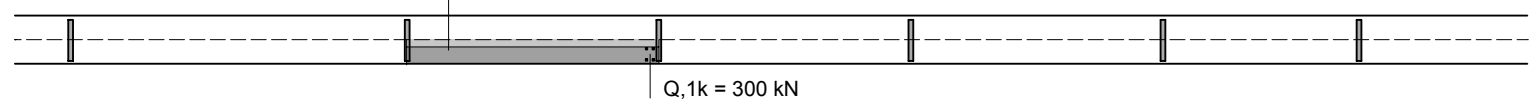


Beispiel: M,T - km 0,135 + M,T - km 0,190

max. M,T - km0,190

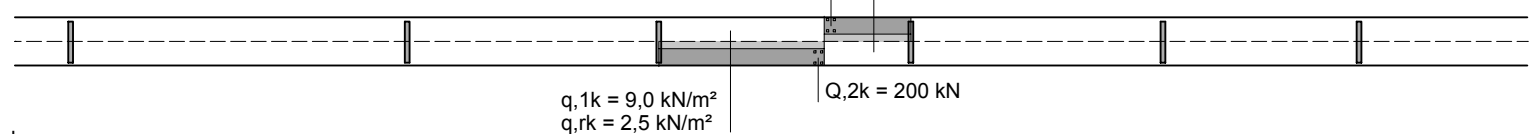


max. M,T - km0,135



Beispiel: Allgemein

max. M,T - km,x



Lastmodell 1 (LM1)
(EC 1991-2)

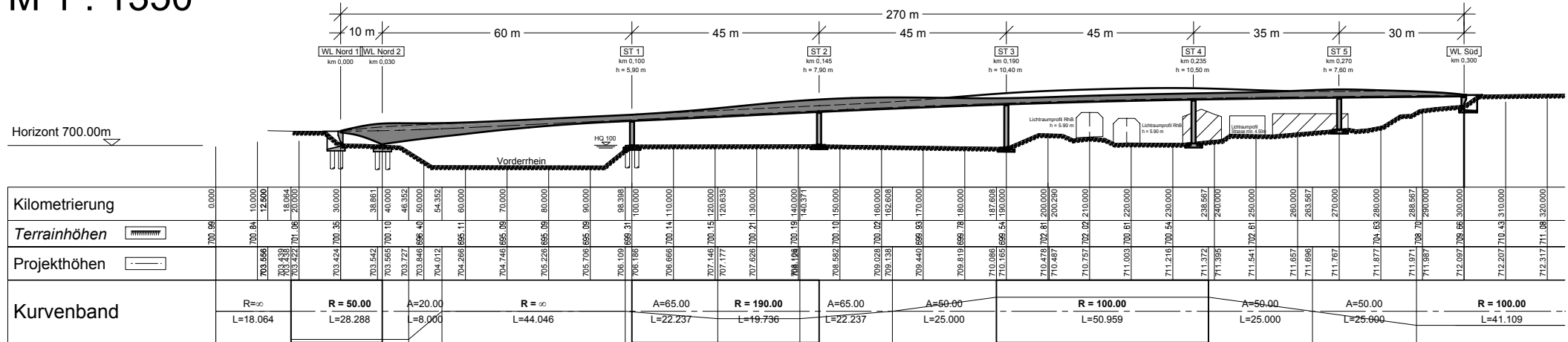
LF "max T"
LAGEPLAN

Tabelle 4.1:
2 rechnerische Fahrstreifen (6,0 m)
Restfläche = 2,60 m

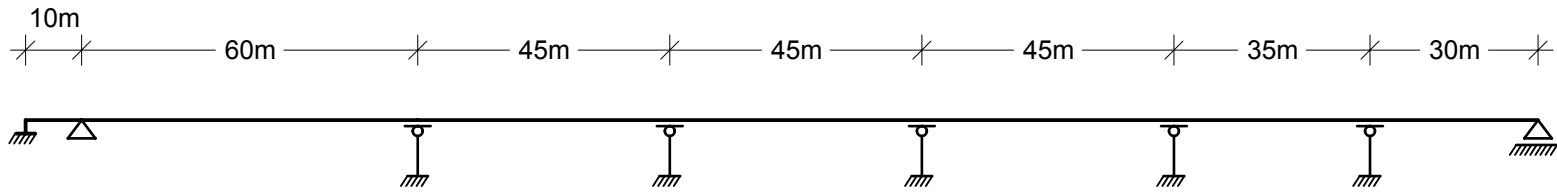
Tabelle 4.2:
Achslast $Q_{1k} = 300$ kN bzw.
Achslast $Q_{2k} = 200$ kN
Gleichlast $q_{1k} = 9,0$ kN bzw.
Gleichlast $q_{2k} = 2,5$ kN
Gleichlast $q_{rk} = 2,5$ kN

LASTAUFSTELLUNG

M 1 : 1350



Lastmodell 1 (LM1) (EC 1991-2)

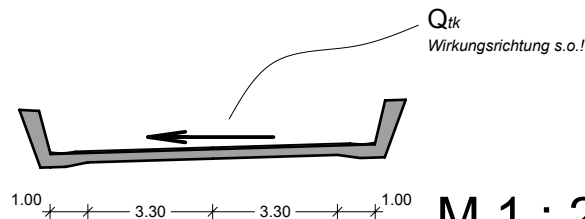


LF "Fliehkräfte H"



Tabelle 4.1:
2 rechnerische Fahrstreifen (6,0 m)
Restfläche = 2,60 m

Tabelle 4.2:
Achslast $Q_{1k} = 300$ kN bzw.
Achslast $Q_{2k} = 200$ kN
Gleichlast $q_{1k} = 9,0$ kN
Gleichlast $q_{2k} = 2,5$ kN
Gleichlast $q_{rk} = 2,5$ kN



M 1 : 200

$$Q_{tk} = 0,2 \times Q_v = \underline{200 \text{ kN}}$$

$Q_v =$ Gesamtlast aus den vertikalen Einzellasten der Doppelachsen des LM 1

$$Q_v = 2 \times 300\text{kN} + 2 \times 200\text{kN} = \underline{1000 \text{ kN}}$$

LASTAUFSTELLUNG

Aussergewöhnliche Einwirkungen

1

Anpralllasten an tragende Bauteile

(EC 1991-2: 4.7.3.4)

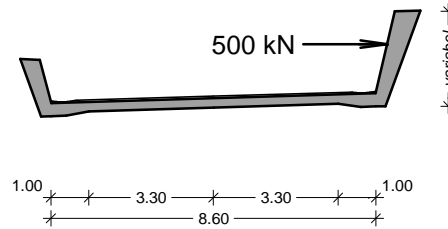
Diese Kräfte wirken nicht gleichzeitig mit anderen veränderlichen Einwirkungen.

2

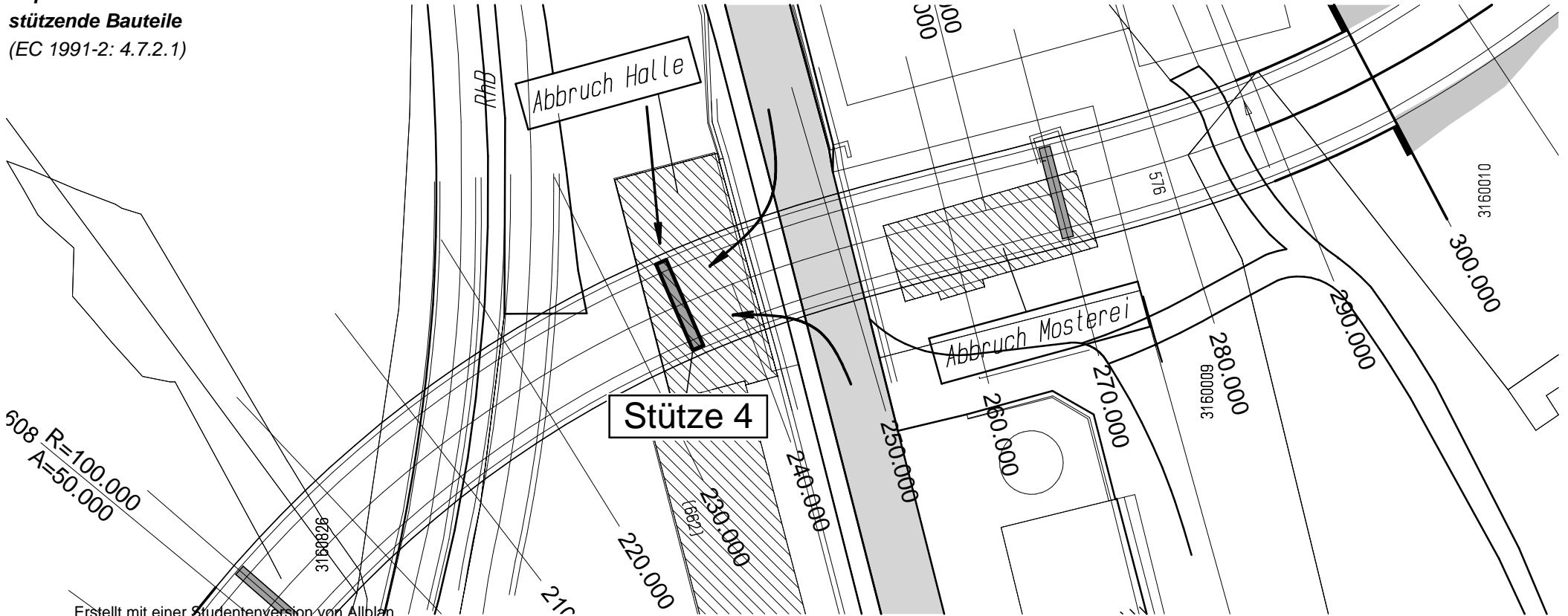
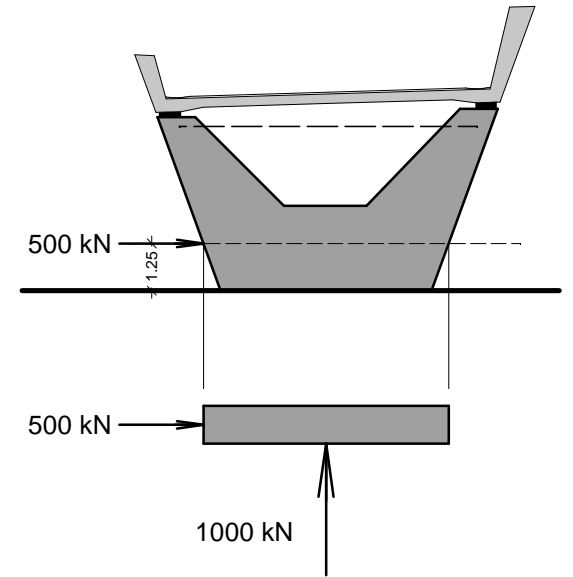
Anpralllasten auf Pfeiler und andere stützende Bauteile

(EC 1991-2: 4.7.2.1)

1

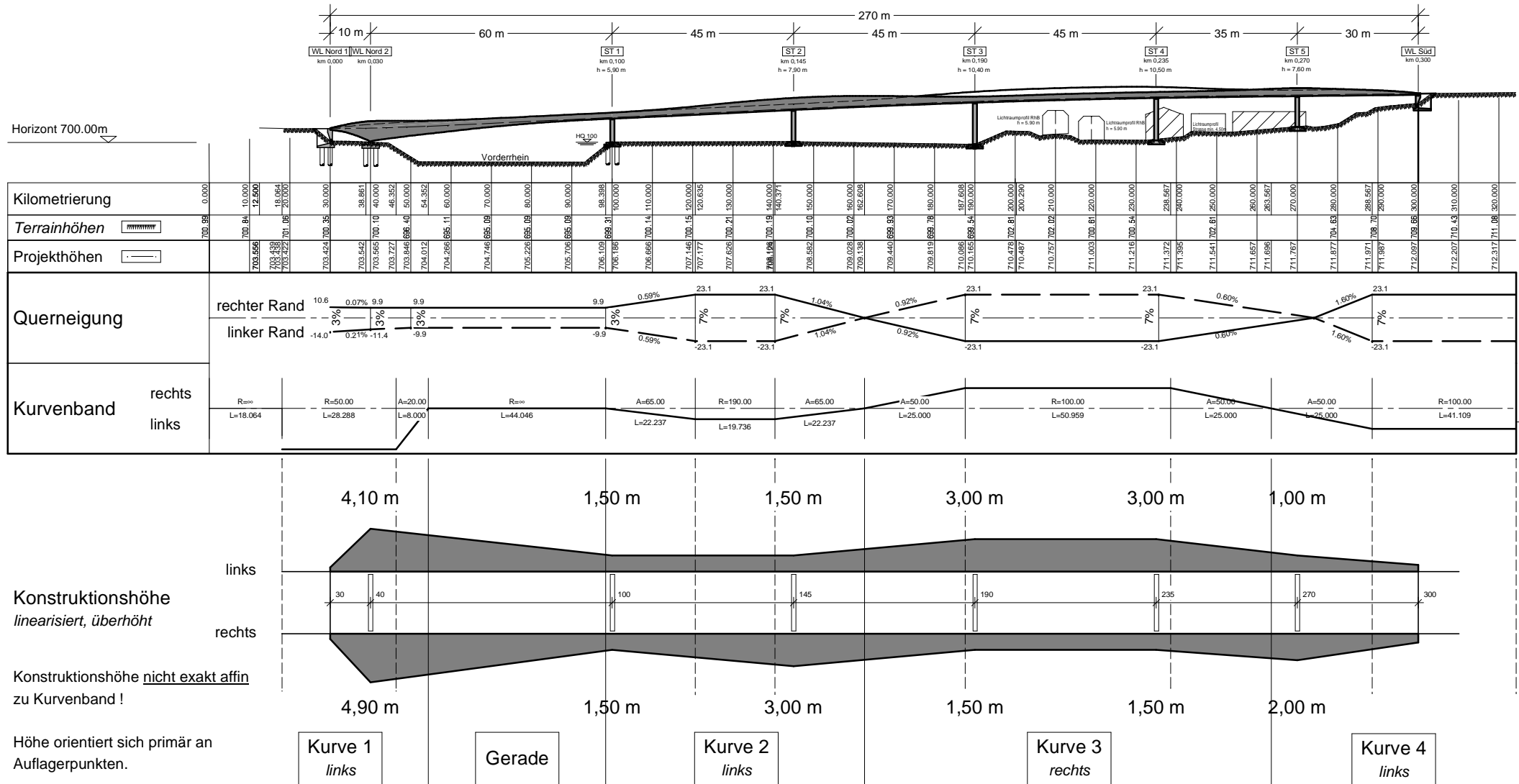


2



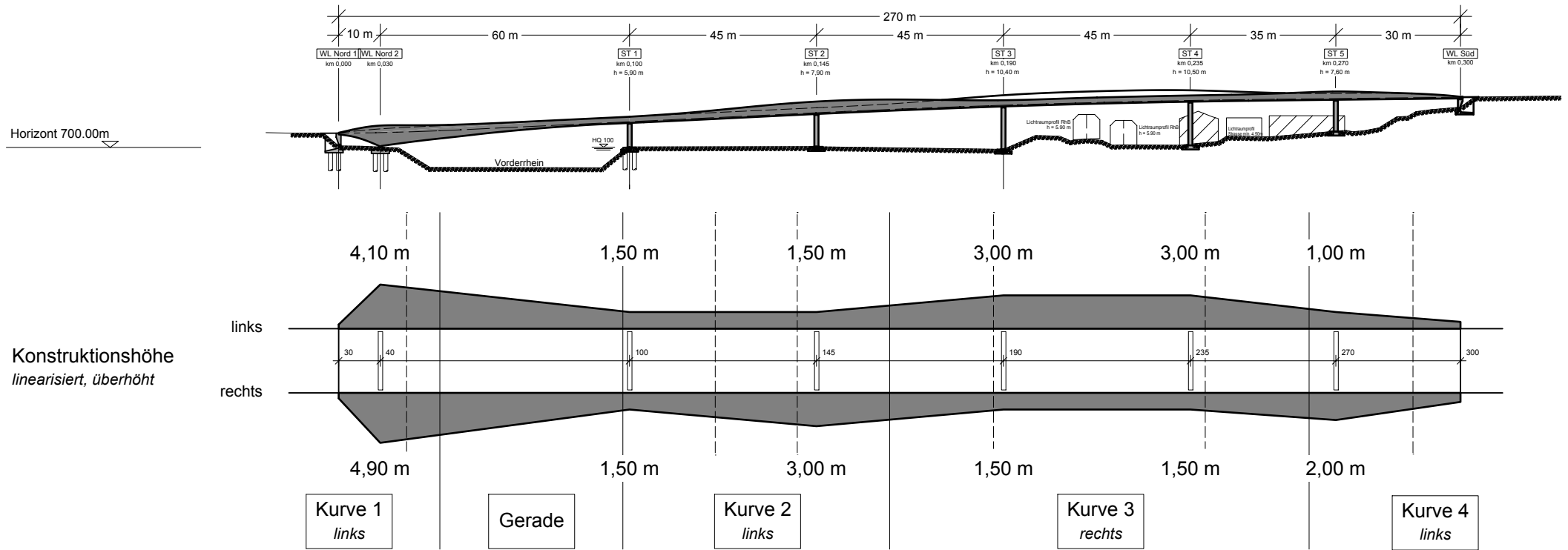
KONSTRUKTIONSHÖHE

Vergleich Kurvenband - Konstruktionshöhe

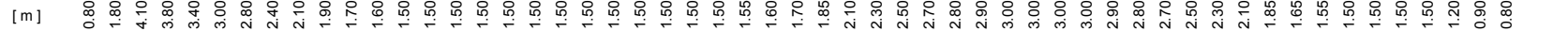


KONSTRUKTIONSHÖHE

Idealisiert für Anwendung von Stabstatikprogrammen



RStab - Konstruktionshöhe
linearisiert, überhöht



2 Extremwerte:

Fahrbahnplatte
gelenkig angeschlossen



Fahrbahnplatte
à 5m als Rahmen modelliert

1.3. Statisches System

Das System ist ein 270 Meter langer, 7-feldriger Durchlaufträger, dessen Bewegunnullpunkt im Bereich des Widerlagers Nord liegt. Der gesamte Träger ruht auf beweglichen Lagern, um zusätzliche Zwängungen möglichst zu vermeiden.



Abb. 24 - Statisches System

Dies entspricht den in der Fachliteratur angegebenen Möglichkeiten, für eine Brückenlänge von 300 Metern nur ein verschiebliches Element vorzusehen [13]. Das zweite Widerlager ist integral verankert.

1.4. Ermittlung der Schnittgrößen

Der zu modellierende Stab weist einen variablen Querschnitt auf. Desweiteren sind keine Symmetrieachsen vorhanden. Folgende Berechnungsprogramme kamen zur Anwendung:

- *Dlubal RStab*
- *Cubus Statik 6*

Beide Programme arbeiten *linear*. Das bedeutet, dass eine gewisse Anzahl einzelner Querschnitte modelliert werden muss, zwischen welchen der Querschnitt *linear* veränderlich ist (Unstetigkeitsstellen). Der Abstand dieser Querschnitte zueinander beträgt fünf Meter, woraus sich 54 zu programmierende Einzelquerschnitte ergeben.

Erste Modellierungen mit *RStab*

Die grundlegende Fragestellung ist, ob der Querschnitt in drei Teilquerschnitte (Steg links und Steg rechts, verbindende Fahrbahnplatte) geteilt, oder als zusammenhängende Fläche eingegeben wird. Die *Erste Modellierung* (Zeit bis zur zweiten Zwischenpräsentation) sah eine Teilung vor, um den Kraftfluss besser nachvollziehen zu können. Die beiden entstandenen Träger, bestehend aus 54 linear miteinander verbundenen Einzelquerschnitten, wurden durch Querstäbe miteinander verbunden. Die Querschnittsachse verläuft dabei stets durch den Schwerpunkt. Dies entspricht nicht dem statischen System, da somit auch die Querverbindung auf Höhe des Schwerpunktes angreift und nicht am Fusspunkt, wie es dem Trogquerschnitt entspricht.

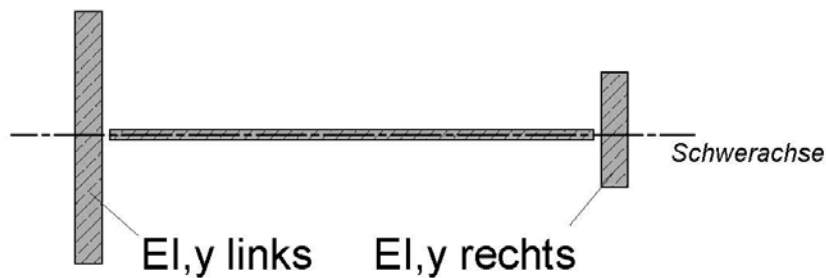


Abb. 25 - Funktionsweise RStab

Zu Anfang war nicht gewiss, ob die Fahrbahnplatte zwischen den beiden Stegen *biegesteif* oder *gelenkig* eingespannt ist. Es wurden beide Varianten untersucht und analysiert. Der Kraftfluss im biegesteifen System liess deutlich erkennen, dass der steifere Träger jeweils Kräfte „anzog“, und der weichere Träger entlastet wurde. Beim gelenkigen System waren die Lasten gleichmässig verteilt.

Beides ist jedoch grundsätzlich **falsch**, da die Annahme der Einzelquerschnitte unzulässig erscheint. Entscheidend ist, dass von keiner Einspannung der Fahrbahnplatte zwischen den beiden torsionsweichen Stegen ausgegangen werden darf. Abgesehen davon ist die strukturelle Programmierung nach *RStab* (Schwerpunktachse) viel zu **ungenau**, und bildet den Kraftverlauf zwischen Fahrbahnplatte und Stegen unpräzise ab!

Deshalb wurde nach der *Zweiten Zwischenpräsentation* eine von Grund auf neue Modellierung mit dem Programm *Statik 6* der Firma CUBUS, das im Vergleich zu *RStab* einige Vorteile aufweist, in Angriff genommen.

Zweite Modellierung: Statik 6

Mit den Erfahrungen der vergangenen Wochen wurden 54 *zusammenhängende Querschnitte* modelliert und anhand einer *Strukturlinie* eingegeben. Der entstandene Stab ist entlang eines (gleichbleibenden) Achspunktes ausgerichtet, und bildete somit die Realität hinreichend genau ab. Die Stege verlaufen, vereinfacht angenommen, vertikal.

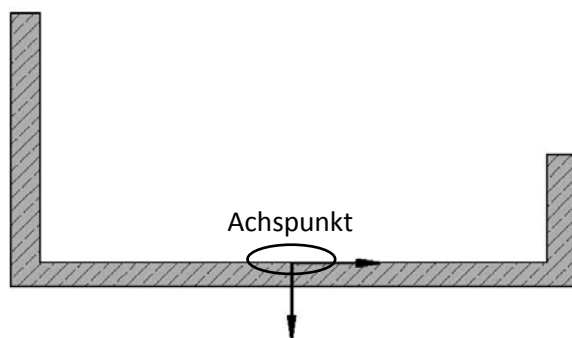


Abb. 26 – Funktion Statik 6

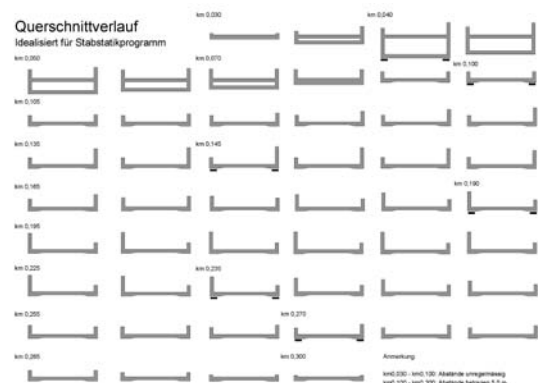


Abb. 27 - Querschnittsverlauf

Ein weiterer Vorteil ist die automatische Programmierung sämtlicher Lastfälle aus Verkehrslasten seitens der Software. Die Verteilung der Linienlasten „*q,ik*“ und der Einzellasten „*Q,ik*“ entspricht dem *Lastmodell 1* (EC 1991-2 bzw. SIA). Einziger Nachteil der neuen Modellierung

besteht darin, dass der Kraftfluss nicht mehr eindeutig nachvollziehbar ist. Die erhaltenen Schnittgrößen entsprechen jedoch qualitativ den erwarteten Verläufen.

In einem letzten Schritt wurde die variable Stärke der Stege eingegeben. Die zusätzliche Stegfläche durch $\Delta b, w$ bewirkt in den Feldern eine massive Einsparung der Druckbewehrung (siehe 1.6), und über den Stützen eine leichtere Einlage der Zulagen.

Abb. 28 - Variable Stegbreite

Nachtrag (zu „Ermittlung der Schnittgrößen“)

Das System verhält sich komplexer als in den Modellierungen des Vorprojekts gezeigt: Für ständige Lasten und gleichmässig verteilte Nutzlasten gilt die Fahrbahnplatte tatsächlich als „zwischen den Stegen gelenkig gelagert“, für Einzellasten jedoch (200kN bzw. 300kN, grosser Lastenteil!) könnte von einer Einspannung aufgrund der räumlichen Tragwirkung (Stabstruktur) ausgegangen werden. Die daraus folgenden Auswirkungen auf das Tragverhalten sind wahrscheinlich beträchtlich. Parallel zu der Bemessung als durchlaufender Stab in *CUBUS Statik 6* wäre eine zweite Programmierung des Überbaues im Sinne der „Ersten Modellierung“ (*Teilquerschnitte*) anzudenken, allerdings unter Eingabe eines „Achspunktes“ (wie bei der „Zweiten Modellierung“), der die konstante Lage der Unterkante gewährt. Der krasse Nachteil einer falschen Systemabbildung wie im Programm *RStab* entfällt somit und man wäre in der Lage das System je nach Last „biegesteif“ oder „gelenkig eingespannt“ zu berechnen.

Des weiteren wäre eine Bemessung des Überbau als „Faltwerk“ denkbar, wobei diesbezüglich die Zuhilfenahme eines FEM-Programmes ratsam wäre. Durch die Scheibenwirkung der Stege und die räumlichen Krümmungen, die sich aus dem Kurvenverlauf ergeben, könnte tatsächlich eine grössere „Systemsteifigkeit“ ermittelt werden als bei der Berechnung eines einzelnen durchlaufenden Stabes, der sich in seiner Eigenschaft als offener Querschnitt jeglicher Verdrillung freizügig „hingibt“.

1.5. Vorspannung

Die Vorspannung stellt den zentralen Bestandteil des Tragwerks dar. Da es sich um einen offenen Querschnitt handelt, der beachtlichen Krümmungen im Grundriss (Torsionskräften) ausgesetzt ist, wurde in erster Näherung eine *formtreue Vorspannung* angestrebt, um die Verwölbung des offenen Querschnittes infolge Torsion gering zu halten. Zu diesem komplexen Thema wurde an der ETH-Zürich unlängst eine Dissertation geschrieben, die massgebend zum Verständnis der Bemessung beitrug [8]. Unter Zuhilfenahme derselben Abhandlung wurden in weiterer Folge die, in den Stegen angreifenden, Ablenkkräfte zufolge horizontaler Krümmungen der Brückenachse berechnet.

Erste Bestimmung der Vorspannung: Formtreue Vorspannung

Um den Einwirkungen aus Biegung und Torsion gleichermaßen rückstellend entgegenzuwirken, wurden folgende Annahmen getroffen, die seitens der Vorspannung erfüllt werden müssen:

- ✓ **M,y**: Rückstellende negative Linienlast „u“ – betragsmässig der positiven Einwirkung „g“ entsprechend.
- ✓ **T**: Rückstellendes Kräftepaar, resultierend aus einer Differenz der negativen Linienlasten „u-links“ und „u-recht“.

Die Programmierung der Vorspannung in *Statik 6* erfolgt über die Eingabe von Polygonzügen mit horizontaler Exzentrizität zur Strukturlinie. Ein entscheidender Vorteil zum Programm *RStab*, welches die Eingabe einer Vorspannung nicht unterstützt. Allerdings sei angemerkt, dass ein Grossteil der für die Bemessung verwendeten Zeit für die Programmierung der Vorspannung in *CUBUS Statik 6* aufgewandt wurde. Unter Umständen wäre es zielführender gewesen Abschätzungen mit Handrechnungen durchzuführen, und im Sinne des Vorprojektes die Vorspannung bei der Bemessung im Tragfähigkeitszustand konventionell (als „starke Bewehrung“) zu berücksichtigen.

Wie sich im „prototypischen“ Bereich km0,190 – km0,235 (gekrümmtes Feld in Tragwerksmitte) zeigte, konnten die Einwirkungen aus ständigen Lasten beinahe zur Gänze aufgehoben werden (s.u.). Deshalb wurde mit der Programmierung der restlichen Felder begonnen, wobei keine Vorspannkräfte aufgebracht, sondern bereits tatsächliche Kabel-querschnitte gewählt wurden.

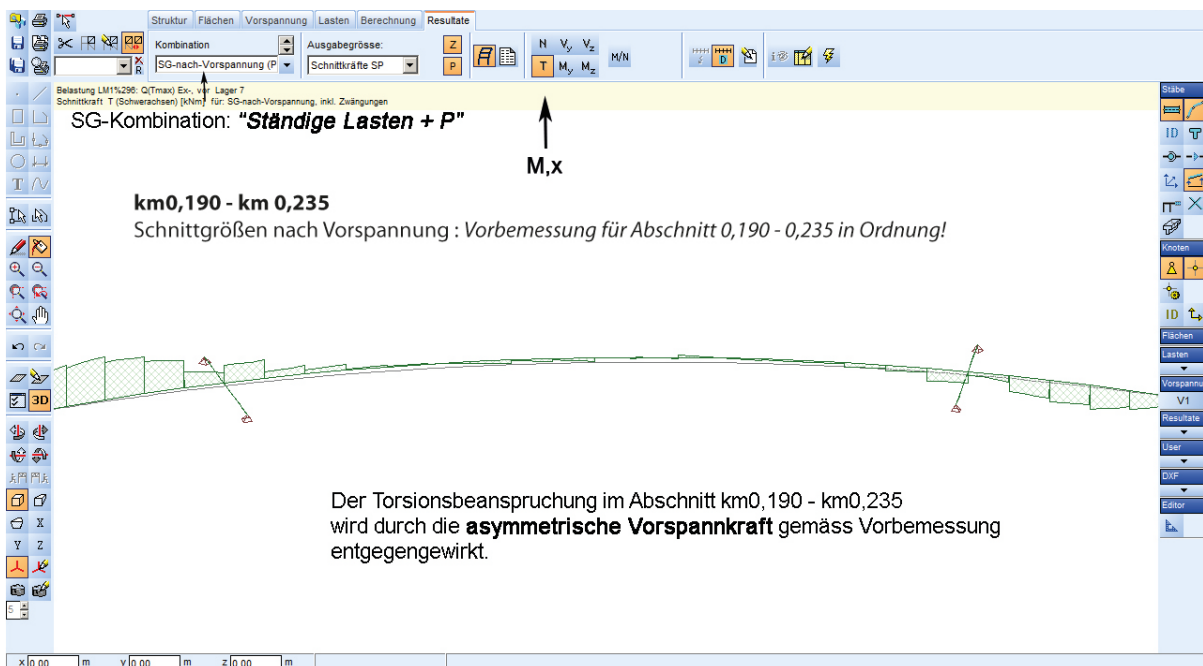


Abb. 29 - Formtreue Vorspannung

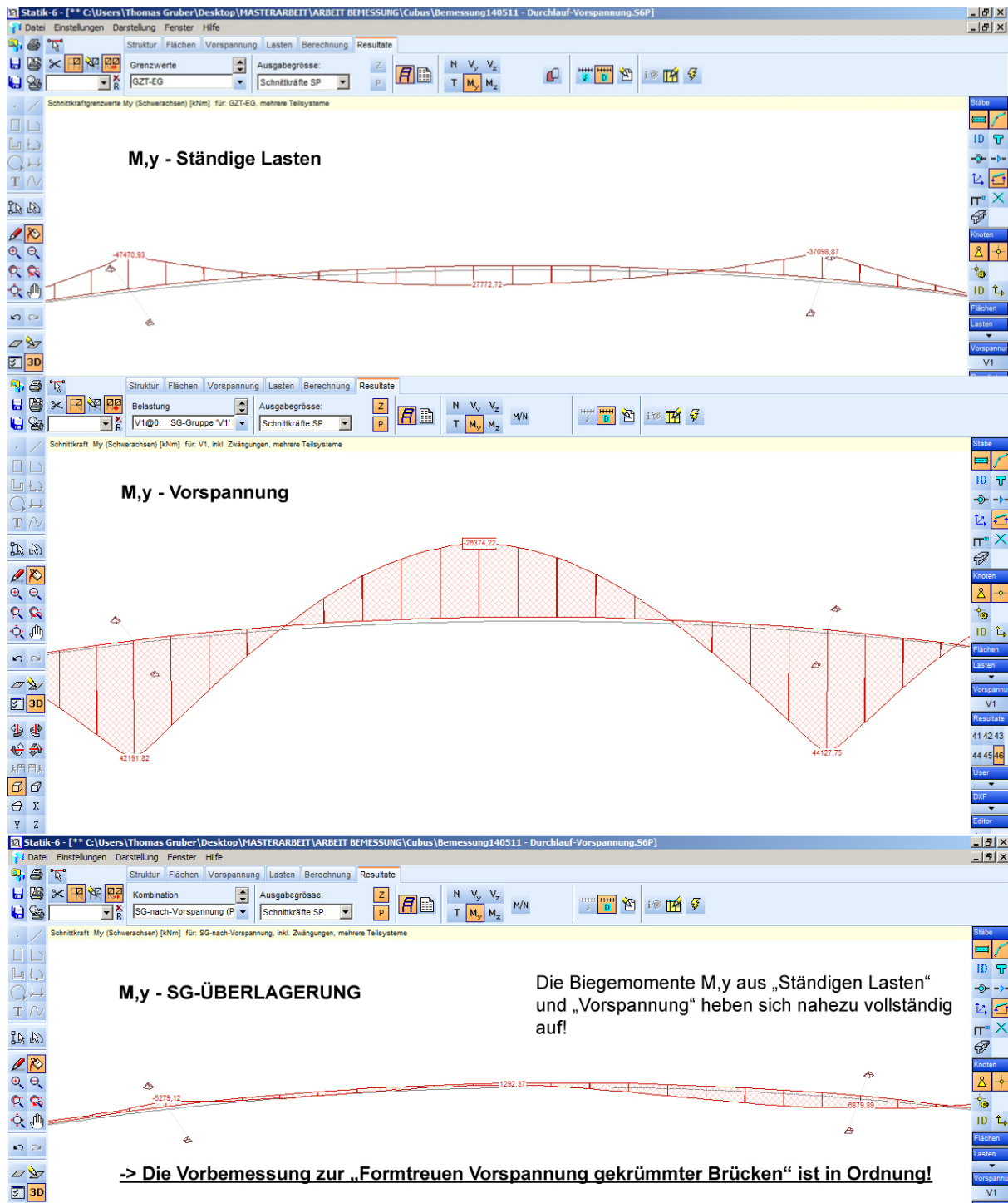


Abb. 30 - Formtreue Vorspannung (2)

Zweite Bestimmung der Vorspannkraft: Nachweis der Dekompression

Die Berechnung der Querschnitte mit den gewählten Spannstahlquerschnitten führte zum Ergebnis, dass sämtliche Felder überdrückt, und die Stützenbereiche zu schwach vorgespannt waren. Eine weitere Bestimmung der Vorspannkraft auf Basis der konventionellen Forderung, die Spannungen in der jeweiligen Zugzone gleich Null zu setzen, wurde durchgeführt.

Die Ermittlung der „neuen“ Vorspannkraft, und der Vergleich zur *formtreuen Abschätzung* brachte zu Tage, dass in den Feldern Reduktionen, und über den Stützen Zulagen an Spanngliedern vorgesehen werden mussten. Dies hatte eine massive Reduktion der erforderlichen schlaffen Bewehrungsmenge über den Stützen und eine geringfügige Abnahme in den Feldern zur Folge. Ein eindeutiger Zusammenhang ist überdies in der Umlagerung der Biegemomente zwischen den Feldquerschnitten km0,075 und der Voute in km0,040 zu beobachten. Die Steifigkeit der Voute (und somit die eingelegte Menge an Vorspannkabeln) wirkt sich sehr sensibel auf die benötigte schlaffe Bewehrung im schlanken Bereich der Stütze km0,100 aus. Hier ist grosse Vorsicht geboten, da sich der Querschnitt in diesem Bereich an der oberen Grenze der Schlankheit bewegt.

In einem weiteren Modellierungsschritt fand die mit der Höhe zunehmende Stegbreite Berücksichtigung. Dies hatte vor allem im „hohen“ Feldquerschnitt km0,215, aber auch im Feld km0,075 massive Auswirkungen auf die benötigte Druckbewehrung. Ein Vergleich der Berechnungen verdeutlicht die massive Einsparung an schlaffer Druckbewehrung in Folge der Zunahme der mittleren Druckzonenbreite.

BESTIMMUNG DER VORSPANNKRAFT

BEDINGUNG: Biegung und Normalkraft - lineare Stabstatik: σ_x (Zug) = 0

Spannungspunkt (Abstand "h" von Schwerpunkt) jeweils der zu Überdrückende [Stütze: oben, Feld: unten]

$$\sigma_x = \frac{N}{A} + \frac{M_z I_y + M_y I_{yz}}{I_y I_z - I_{yz}^2} y + \frac{M_y I_z + M_z I_{yz}}{I_y I_z - I_{yz}^2} z$$

	0,040 Stütze	0,075 Feld	0,100 Stütze	0,120 Feld	0,145 Stütze	0,170 Feld	0,190 Stütze	0,210 Feld	0,235 Stütze	0,255 Feld	0,270 Stütze	0,285 Feld
M,y (GTZ-EG) [MNm]	-236,347	36,112	-40,994	19,042	-53,105	17,024	-57,968	27,829	-35,811	6,720	-30,354	14,385
I,y [m ⁴]	25,1224	1,8889	0,5512	1,0151	2,8275	1,2453	2,0912	2,8275	2,0921	0,8927	0,9579	0,5512
I,z [m ⁴]	146,0072	91,2230	59,7872	65,2254	73,5304	69,0792	71,0423	73,5304	71,0425	64,9334	64,7514	59,7872
I,yz [m ⁴]	-4,8604	0,0000	0,0000	-1,5755	-5,4146	-0,6375	4,0638	5,4146	4,0638	0,5664	-1,4110	0,0000
A,x [m ²]	13,10	9,84	5,72	6,00	6,47	6,17	6,32	6,47	6,32	5,97	5,97	5,72
h [m]	3,07	-0,58	1,04	-0,52	2,34	-0,55	2,09	-0,66	2,09	-0,51	1,49	-0,46
e(*) [m]	2,52	-0,43	0,89	-0,37	1,44	-0,40	1,34	-0,51	1,34	-0,36	1,09	-0,31
σ_x (M,y) [MN/m ²]	29,07	11,09	77,35	10,13	51,16	7,55	65,18	7,56	40,25	3,86	48,78	12,00
N,p (M,y) [MN]	93,8	84,0	46,1	51,5	36,9	42,6	43,3	54,6	26,7	18,7	27,8	46,4
N,p (N) [MN]	380,8	109,1	442,4	60,8	331,0	46,6	411,9	48,9	254,4	23,0	291,2	68,7
N,p (M,y + N) [MN]	75,3	47,5	41,7	27,9	33,2	22,2	39,1	25,8	24,2	10,3	25,4	27,7
VERGLEICH	6	"Feld 6"	(6+5)/2	"Feld 5"	(5+4)/2	"Feld 4"	(4+3)/2	"Feld 3"	(3+2)/2	"Feld 2"	(2+1)/2	"Feld 1"
Formtreue Berech. [MN]	124,0	124,0	84,0	43,9	39,8	35,6	39,2	42,8	34,0	25,2	26,8	28,3
Differenz [MN]	48,7	76,5	42,2	16,0	6,6	13,4	0,1	17,0	9,8	14,9	1,3	0,6

FAZIT: → sämtliche Querschnitte in "Formtreuer Berechnung" überdrückt

(*) - e-Werte dort korrigiert wo durch Geometrie notwendig (Stützen mit asymmetrischem QS)!

Abb. 31 - Bestimmung der Vorspannkraft (Nachweis der Dekompression)

BESTIMMUNG DER VORSPANNKRAFT

Vergleich "Formtreue Berechnung" - "Nachweis der Dekompression"

Spannungspunkt (Abstand "h" von Schwerpunkt) jeweils der zu Überdrückende [Stütze: oben, Feld: unten]

	0,040 Stütze	0,075 Feld	0,100 Stütze	0,120 Feld	0,145 Stütze	0,170 Feld	0,190 Stütze	0,210 Feld	0,235 Stütze	0,255 Feld	0,270 Stütze	0,285 Feld
M,y (GTZ-EG) [MNm]	-236,347	36,112	-40,994	19,042	-53,105	17,024	-57,968	27,829	-35,811	6,720	-30,354	14,385
I,y [m ⁴]	25,1224	1,8889	0,5512	1,0151	2,8275	1,2453	2,0912	2,8275	2,0921	0,8927	0,9579	0,5512
I,z [m ⁴]	146,0072	91,2230	59,7872	65,2254	73,5304	69,0792	71,0423	73,5304	71,0425	64,9334	64,7514	59,7872
I,yz [m ⁴]	-4,8604	0,0000	0,0000	-1,5755	-5,4146	-0,6375	4,0638	5,4146	4,0638	0,5664	-1,4110	0,0000
A,x [m ²]	13,10	9,84	5,72	6,00	6,47	6,17	6,32	6,47	6,32	5,97	5,97	5,72
h [m]	3,07	-0,58	1,04	-0,52	2,34	-0,55	2,09	-0,66	2,09	-0,51	1,49	-0,46
e(*) [m]	2,52	-0,43	0,89	-0,37	1,44	-0,40	1,34	-0,51	1,34	-0,36	1,09	-0,31
σ,x (M,y) [MN/m ²]	29,07	11,09	77,35	10,13	51,16	7,55	65,18	7,56	40,25	3,86	48,78	12,00
N,p (M,y) [MN]	93,8	84,0	46,1	51,5	36,9	42,6	43,3	54,6	26,7	18,7	27,8	46,4
N,p (N) [MN]	380,8	109,1	442,4	60,8	331,0	46,6	411,9	48,9	254,4	23,0	291,2	68,7
N,p (M,y + N) [MN]	75,3	47,5	41,7	27,9	33,2	22,2	39,1	25,8	24,2	10,3	25,4	27,7
VERGLEICH	6	"Feld 6"	(6+5)/2	"Feld 5"	(5+4)/2	"Feld 4"	(4+3)/2	"Feld 3"	(3+2)/2	"Feld 2"	(2+1)/2	"Feld 1"
Formtreue Berech. [MN]	124,0	124,0	84,0	43,9	39,8	35,6	39,2	42,8	34,0	25,2	26,8	28,3
Differenz [MN]	48,7	76,5	42,2	16,0	6,6	13,4	0,1	17,0	9,8	14,9	1,3	0,6
N,p - Formtreue Berech.	98,2	24,6	26,4	28,1	26,4	24,6	27,8	31,0	22,1	13,1	16,1	19,0
Differenz zu "N,p (M,y + N)	22,9	-22,9	-15,4	0,2	-6,8	2,4	-11,3	5,2	-2,1	2,8	-9,4	-8,7

Reduktion! ?!?!* Zulage! Zulage! Zulage!

→ 3 oder mehr Spannkabel aus angrenzenden Feldern über Stütze führen, nicht nur jeweils eines!
→ Oder über Stütze zulegen!

Erfahrung aus der

Formtreuen Berechnung:

-) Felder überdrückt
-) Stützen stark bewehrt
-) Stütze 0,040 massiv überdrückt - reduzieren!

- weniger Vorspannung im Feld
- mehr Vorspannung über Stütze

"Differenzen" zeigen ähnliches Bild: Diff. über Stütze grösser, als im Feld

*J) Stimmt nicht mit Spannungen überein! → "M,y km0,075" durch Auswirkungen von starker Vorspannung bei Stütze 0,040 grösser als im Querschnitt (N*e) angenommen!
Vergleiche mit "Statik-6" - Ergebnissen; Systemeinwirkungen (variable Vorspannkraft, variables E) beachten! → keine Abminderung vorgenommen!

Abb. 32 - Vergleich der Vorspannkraft (Formtreue VS - Nachweis der Dekompression)

ÄNDERUNG DER VORSPANNKRAFT

"Formtreue Berechnung" → "Zweite Berechnung - Nachweise der Dekompression"

	0,040 Stütze	0,075 Feld	0,100 Stütze	0,120 Feld	0,145 Stütze	0,170 Feld	0,190 Stütze	0,210 Feld	0,235 Stütze	0,255 Feld	0,270 Stütze	0,285 Feld
M,y (GTZ-EG) [MNm]	-236,347	36,112	-40,994	19,042	-53,105	17,024	-57,968	27,829	-35,811	6,720	-30,354	14,385
I,y [m ⁴]	25,1224	1,8889	0,5512	1,0151	2,8275	1,2453	2,0912	2,8275	2,0921	0,8927	0,9579	0,5512
I,z [m ⁴]	146,0072	91,2230	59,7872	65,2254	73,5304	69,0792	71,0423	73,5304	71,0425	64,9334	64,7514	59,7872
I,yz [m ⁴]	-4,8604	0,0000	0,0000	-1,5755	-5,4146	-0,6375	4,0638	5,4146	4,0638	0,5664	-1,4110	0,0000
A,x [m ²]	13,10	9,84	5,72	6,00	6,47	6,17	6,32	6,47	6,32	5,97	5,97	5,72
h [m]	3,07	-0,58	1,04	-0,52	2,34	-0,55	2,09	-0,66	2,09	-0,51	1,49	-0,46
e(*) [m]	2,52	-0,43	0,89	-0,37	1,44	-0,40	1,34	-0,51	1,34	-0,36	1,09	-0,31
σ,x (M,y) [MN/m ²]	29,07	11,09	77,35	10,13	51,16	7,55	65,18	7,56	40,25	3,86	48,78	12,00
N,p (M,y) [MN]	93,8	84,0	46,1	51,5	36,9	42,6	43,3	54,6	26,7	18,7	27,8	46,4
N,p (N) [MN]	380,8	109,1	442,4	60,8	331,0	46,6	411,9	48,9	254,4	23,0	291,2	68,7
N,p (M,y + N) [MN]	75,3	47,5	41,7	27,9	33,2	22,2	39,1	25,8	24,2	10,3	25,4	27,7
VERGLEICH	6	"Feld 6"	(6+5)/2	"Feld 5"	(5+4)/2	"Feld 4"	(4+3)/2	"Feld 3"	(3+2)/2	"Feld 2"	(2+1)/2	"Feld 1"
Formtreue Berech. [MN]	124,0	124,0	84,0	43,9	39,8	35,6	39,2	42,8	34,0	25,2	26,8	28,3
Differenz [MN]	48,7	76,5	42,2	16,0	6,6	13,4	0,1	17,0	9,8	14,9	1,3	0,6
A,p - Formtreue Berech.	98,2	24,6	26,4	28,1	26,4	24,6	27,8	31,0	22,1	13,1	16,1	19,0
Differenz zu "N,p (M,y + N)	22,9	-22,9	-15,4	0,2	-6,8	2,4	-11,3	5,2	-2,1	2,8	-9,4	-8,7

Abb. 33 - Änderung der Vorspannkraft

SCHNITTGRÖSSEN + SPANNUNGEN

"Dritte Berechnung"

Spannungspunkt (Abstand "h" von Schwerpunkt) jeweils der zu Überdrückende [Stütze: oben, Feld: unten]

Schnittgrößen mit neuem A,p aus: "Änderung der Vorspannkraft"

		0,040	0,040	0,075	0,075	0,100	0,100	0,190	0,190	0,210	0,210
		Stütze (-)	Stütze (+)	Feld (+)	Feld (-)	Stütze (-)	Stütze (+)	Stütze (-)	Stütze (+)	Feld (+)	Feld (-)
M,y (GZT-EG)	[MNm]	-236,347		36,112		-40,994		-57,968	-57,968	27,829	27,829
M,y (GZT-LM1)	[MNm]	-69,000		16,000		-15,000		-23,600	-23,600	24,800	24,800
M,y (P)	[MNm]	193,400		-26,400		29,800		47,000	47,000	-26,500	-26,500
M,y (GZT)	[MNm]	-116,400		28,400		-26,200		-24,600	6,100	26,500	-6,500
N,p	[MN]	-78,800		-29,300		-48,500		-38,500	-38,500	-31,200	-31,200
I,y	[m ⁴]	25,1224	nicht massebend	1,8889	nicht massebend	0,5512	nicht massebend	2,0912	2,0912	2,8275	2,8275
I,z	[m ⁴]	146,0072		91,2230		59,7872		71,0423	71,0423	73,5304	73,5304
I,yz	[m ⁴]	-4,8604		0,0000		0,0000		4,0638	4,0638	5,4146	5,4146
A,x	[m ²]	13,10		9,84		5,72		6,32	6,32	6,47	6,47
h	[m]	3,07		-0,58		1,04		2,09	2,09	-0,66	-0,66
e(*)	[m]	2,52		-0,43		0,89		1,34	1,34	-0,51	-0,51
σ,x (GZT-EG)	[MN/m ²]	29,07		11,09		77,35		65,18	65,18	7,56	7,56
σ,x (GZT-LM1)	[MN/m ²]	8,49		4,91		28,30		26,54	26,54	6,74	6,74
σ,x (P)	[MN/m ²]	-23,79		-8,11		-56,23		-52,85	-52,85	-7,20	-7,20
σ,x (GZT)	[MN/m ²]	14,32		8,72		49,43		27,66	-6,86	7,20	-1,77
σ,x (N,p)	[MN/m ²]	-6,02	-2,98	-8,48	-6,09	-6,09	-4,82	-4,82			
Σ(σ,x) [EG+P+N,p]	[MN/m ²]	-0,73	0,00	12,64	6,24	6,24	-4,46	-4,46			
Σ(σ,x) [GZT+N,p]	[MN/m ²]	8,30	5,74	40,95	21,57	-12,95	2,38	-6,59			

Vergleich zu "Formtreu":

Σ(σ,x) [EG+P+N,p]	[MN/m ²]	-9,83	-1,36	16,91	8,53	-5,21
Σ(σ,x) [GZT+N,p]	[MN/m ²]	-1,04	3,18	54,28	26,10	1,74

Abb. 34 - Dritte Berechnung der Vorspannkraft unter Berücksichtigung der variablen Stegbreite

Zusammenfassung

Die ausführlichen Berechnungen zum Thema „Vorspannung“ zeigen, dass sehr sensibel mit der weichen Struktur des Trogquerschnittes umgegangen werden muss. Die Annahme einer formtreuen Vorspannung wäre prinzipiell möglich, hat sich jedoch im Zuge der ersten Bemessungen als überdimensioniert erwiesen. Anpassungen der Spannstahtmengen mit der zweiten Bemessung haben Grossteils positive Auswirkungen auf das Tragwerk.

Eine weitere Optimierung ist aus einer genaueren Eingabe der Vorspannkabel im Programm *Statik 6* zu erwarten. Es können keine Umlenkradien sondern nur Endtangente eingegeben werden. Vor allem die Querkraftbemessung könnte von einer exakten Eingabe der Umlenkradien über den Stützen profitieren.

1.6. Bemessung

Biegebemessung *längs*

Wie bereits im Kapitel „Vorspannung“ erwähnt, wurden insgesamt drei Bemessungen durchgeführt (s.o.):

- Erste Bemessung mit der *Formtreuen Vorspannung*,
- Zweite Bemessung mit dem *Nachweis der Dekompression*,
- Dritte Bemessung mit unter *Berücksichtigung der zunehmenden Stegbreite*.

Die eingelegten Spannstahlmengen, die Spanngliedführungen und die erforderliche schlaaffe Bewehrung sind der Statischen Bemessung und den Plänen zu entnehmen.

Biegebemessung *Fahrbahnplatte*

Die Fahrbahnplatte dient primär der Ableitung der vertikalen Verkehrslasten zu den Stegen, in denen sie *gelenkig eingespannt* ist. Die geringe Torsionssteifigkeit der Stege verhindert eine biegesteife Einspannung der Fahrbahnplatte. Um eine ausreichende Steifigkeit des Gesamtsystems und der Fahrbahnplatte an sich zu gewähren, wird ein Spannglied je Meter quer eingelegt.

Aufgrund des gekrümmten Strassenverlaufes entstehen überdies Ablenkkräfte in den Stegen, die allerdings nur einen geringen Einfluss auf die Biegebemessung haben (Querbiegung). Sie wurden nach [8] an der massgebenden Stelle km0,215 berechnet.

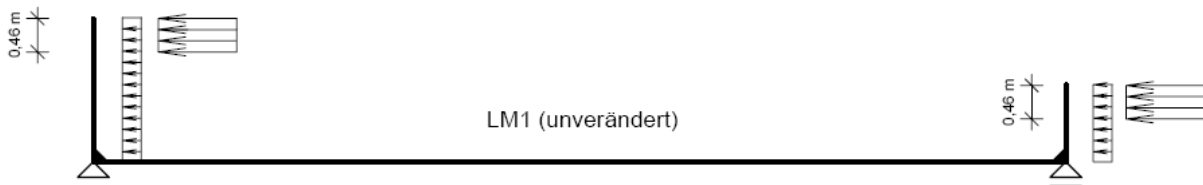
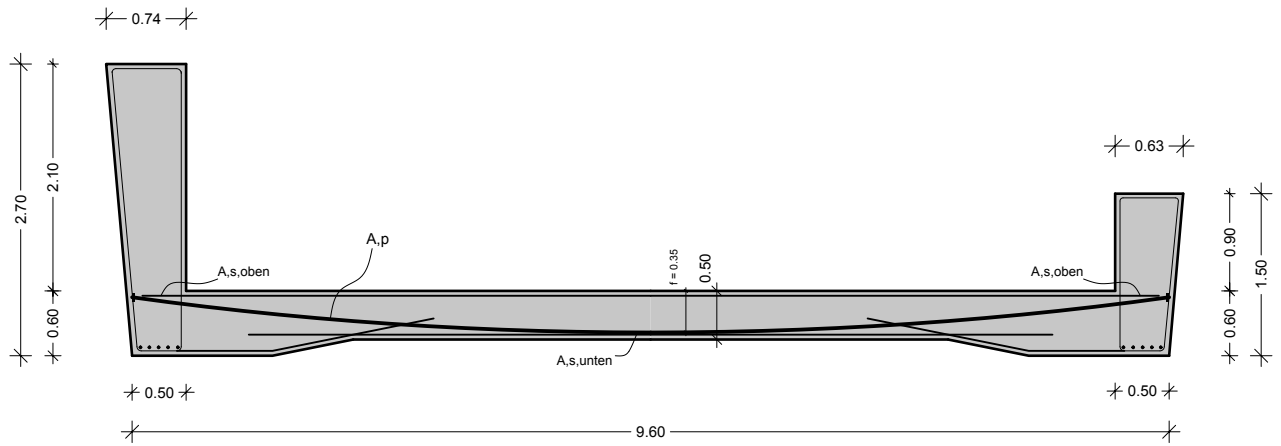


Abb. 35 - Umlenkkräfte

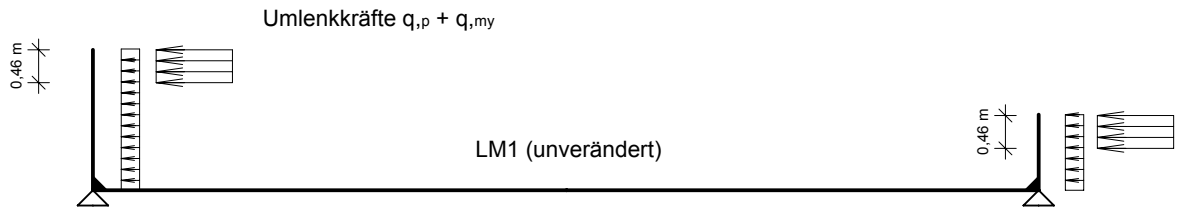
BEMESSUNG Fahrbahnplatte NEU (Umlenkkräfte)

Skizze Lastaufstellung, Bemessung "RStab"

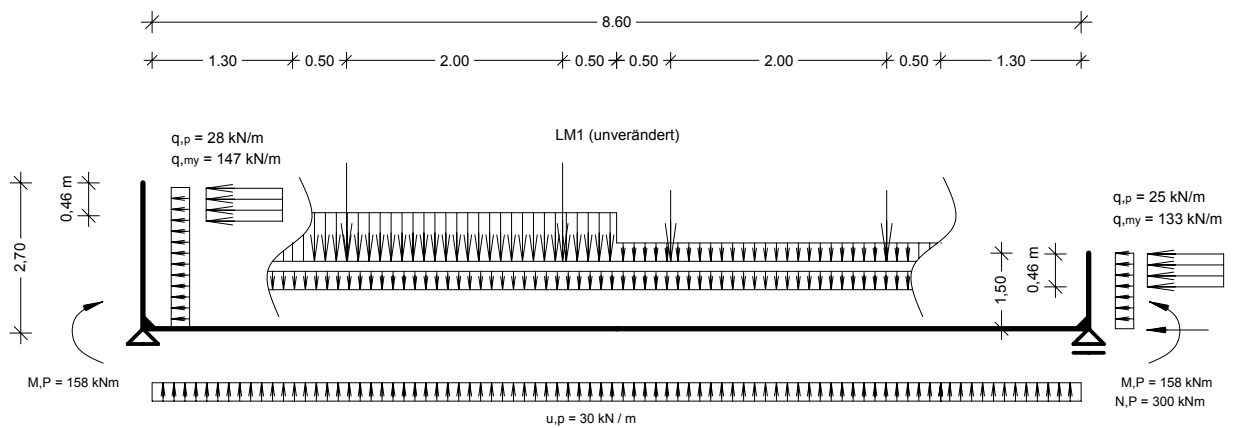
Geometrie:



Statisches System:



Modell Bemessung:



Querkraftbemessung

Einwirkungen aus Querkraft und Torsion wurden gleichermaßen auf beide Stege aufgeteilt. Die Torsion (im offenen Querschnitt) ist, dem Skriptum für Brückenbau [9] folgend, als Kräftepaar auf die Stege anzubringen.

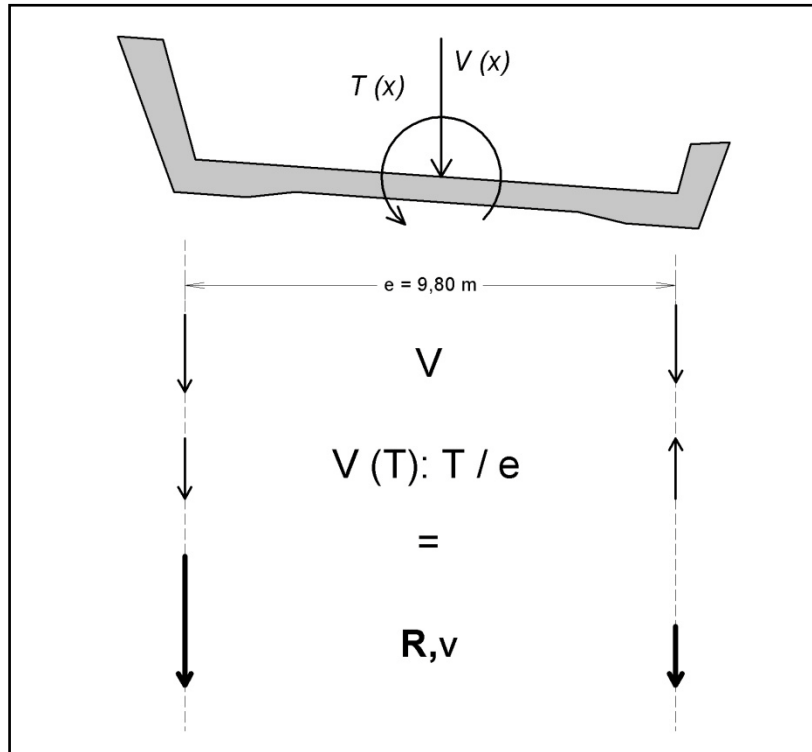


Abb. 37 - Torsion im offenen Querschnitt

Aufgrund der aufgetretenen Zwängungen infolge Vorspannung (s.u.) wurden zwei Bemessungen durchgeführt:

1. „Sichere“ Bemessung - max. V + max $V(T)$
2. „Realistische“ Bemessung über Stütze 0,190 – tatsächliche Kombinationen aus V + $V(T)$

Dabei sind zwei unterschiedliche Systeme zu unterscheiden: Einerseits der geschlossene Querschnitt (Voute) und andererseits der offene Trogquerschnitt im Überlandbereich. Im Zuge des Vorprojekts wurden die Nachweise an den jeweils massgebenden Stellen durchgeführt: **km0,040 und km0,190** (Verwindung des Querschnitts durch Vorspannung, s.u.).

Um die kleineren Stege im km0,190 zu entlasten, wurde eine Umlagerung der Torsionsmomente in Betracht gezogen, die jedoch keine positiven Auswirkungen hatte, da das System asymmetrisch ist und die Momente auf der gegenüberliegenden Feldseite wieder zu Lasten des kleineren Steges gehen (0,145 – 0,190).

Zwängungen zufolge Vorspannung:

Sehr auffällig sind die zusätzlichen Torsionsmomente zufolge Vorspannung (!), die sich im Bereich des Wendepunktes der Gradiente im Grundriss ergeben. Dieser befindet sich im Feld 0,145 – 0,190 in dem ausserdem die Steghöhen „wechseln“. Durch die Asymmetrie der Steifigkeiten und Steghöhen kommt zu einer erzwungenen Verdrillung des Querschnittes von respektablem Grössenordnung, die sich in der Querkraftbemessung sehr negativ auswirkte, da die niedrigeren Stege „plötzlich“ von grossen Querkräften betroffen waren. Mit einer speziellen Anordnung der Spannkabelstösse und Zulagen in diesem Abschnitt, könnte man den Zwängen eventuell entgegenwirken. Dies wurde im Vorprojekt nicht untersucht, da die zweite Querkraftbemessung („realistische Bemessung“) positiv ausfiel

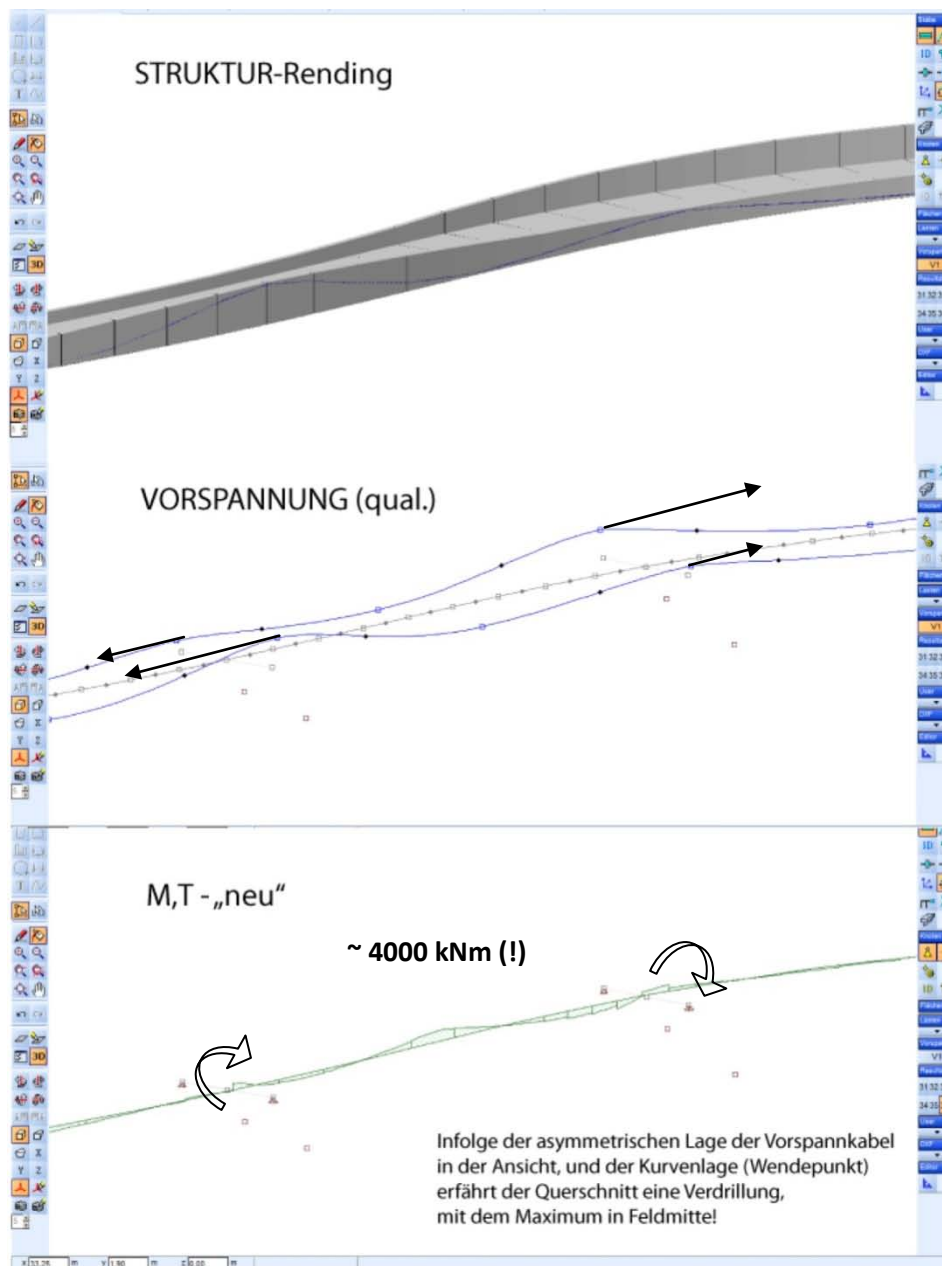
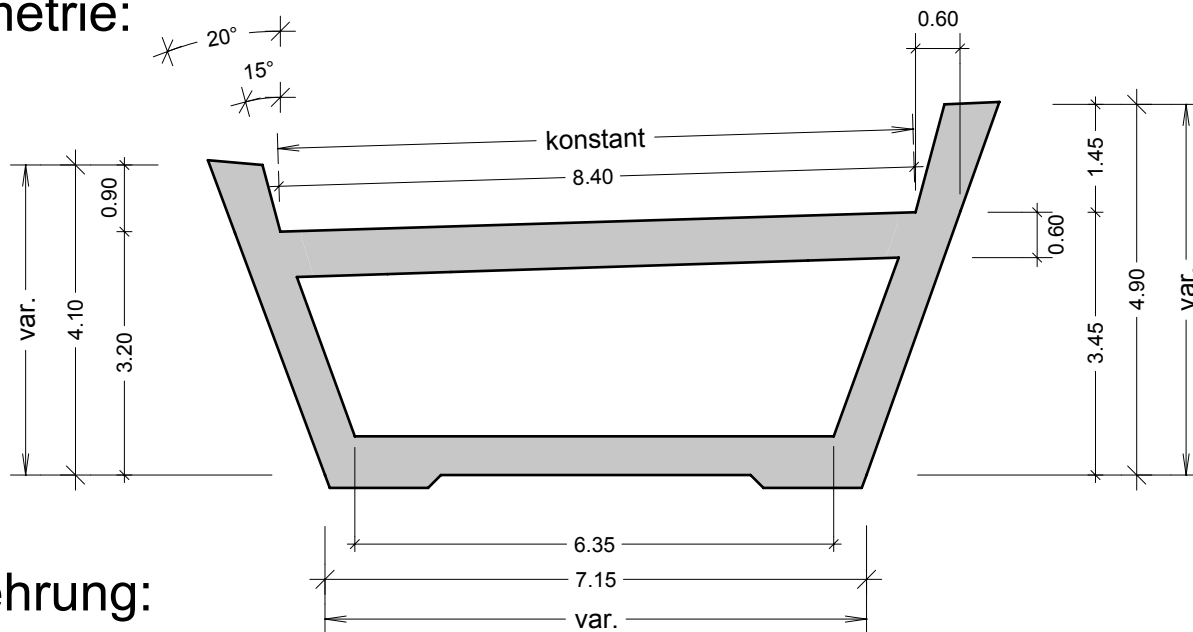


Abb. 38 - Zwängungen infolge Vorspannung

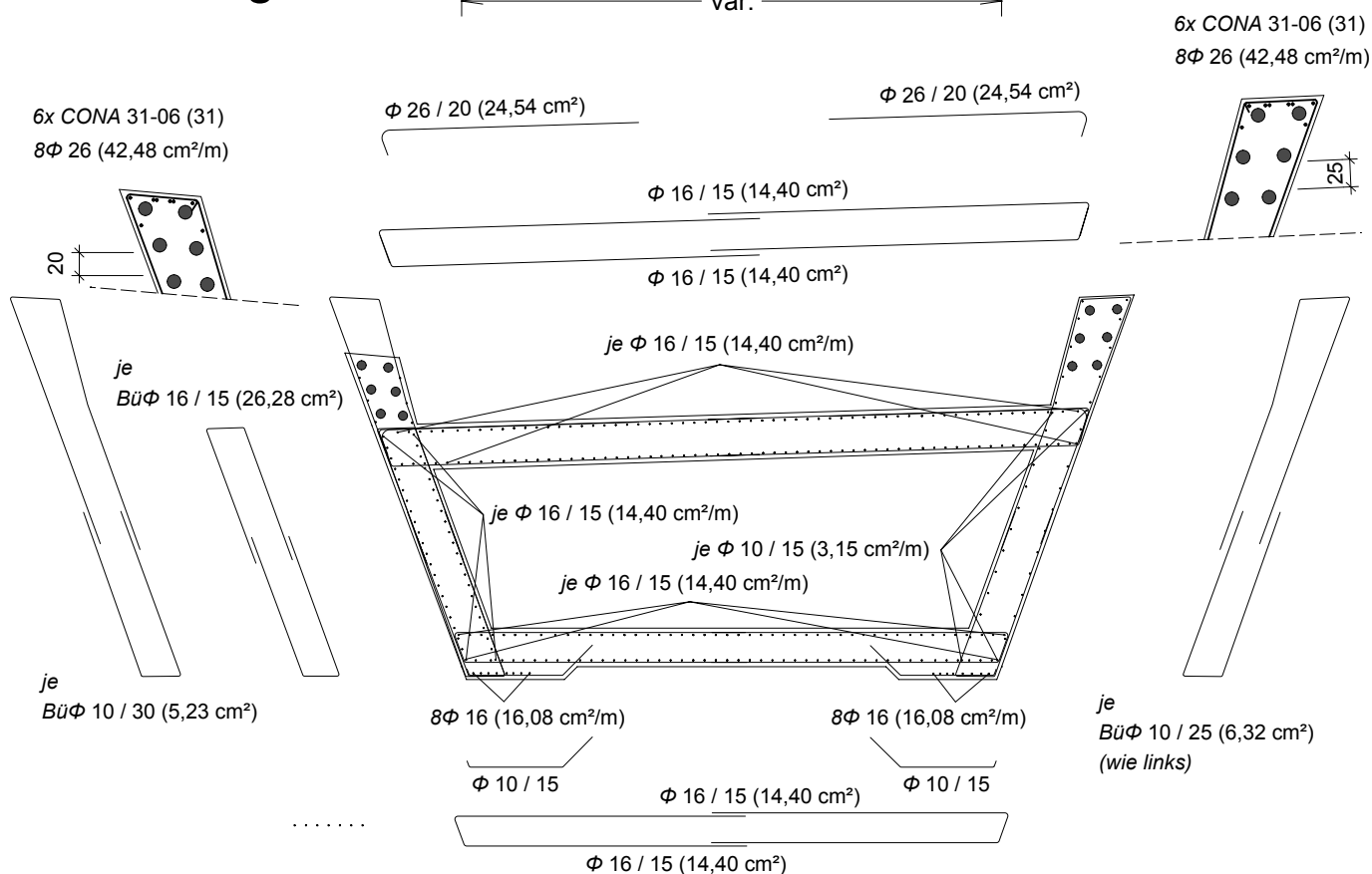
BEWEHRUNGSSKIZZE

Stütze km 0,040

Geometrie:



Bewehrung:



Asw (links) = **29,92 cm²/m**; Asw (rechts) = Asw,min = **5,02 cm²/m**

Asw (unten / oben) = **24,7 cm²/m**

(Asl (längs) = Asw)

As,unten (As,1 aus Feld 0,075) = **27,1 cm²**

As,oben = As,min = **78,3 cm²/m**

A_p = je 2x CONA 31-06; Zulage: je 4x CONA 31-06

Baustoffe:

Beton C 35/45 (XC3 XF2)

Baustahl Bst 550

Betondeckung:

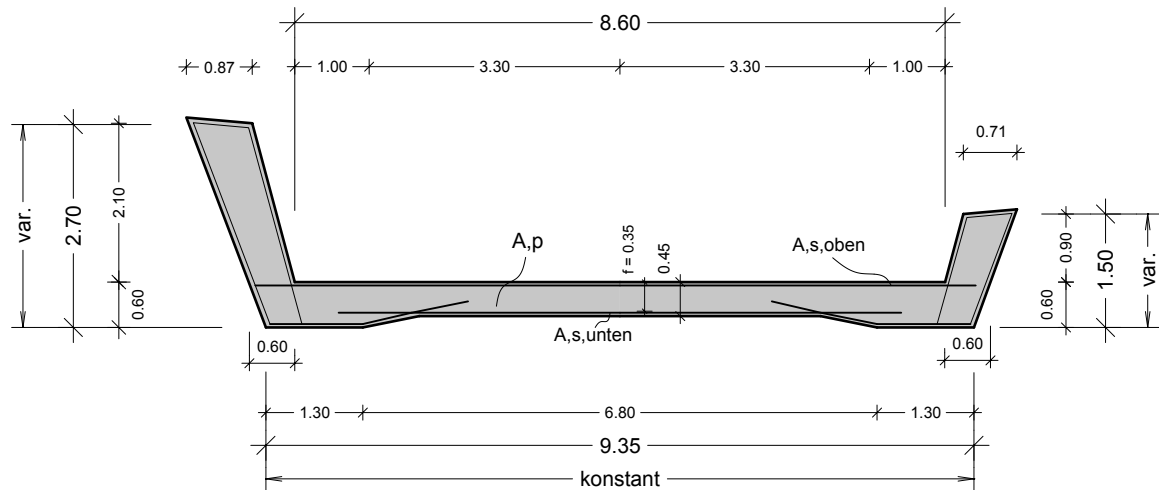
d₁ = 50 mm

BEWEHRUNGSSKIZZE

km 0,190

M 1 : 100

Geometrie:

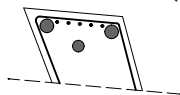


Bewehrung:

A,p:

2x CONA 31-06 (26)
Zulage 1x CONA 19-06 (17)

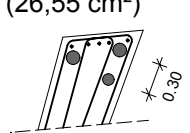
5 Φ 26 (26,55 cm²)



A,p:

2x CONA 31-06 (26)
Zulage 1x CONA 19-06 (17)

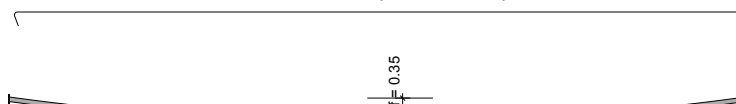
5 Φ 26 (26,55 cm²)



As,min:

Bü Φ 10 / 25 (6,28 cm²)

Φ 16 / 20 (10,05 cm²)



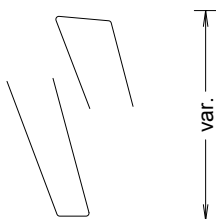
1 x CONA (4 - 06) /m

max. je

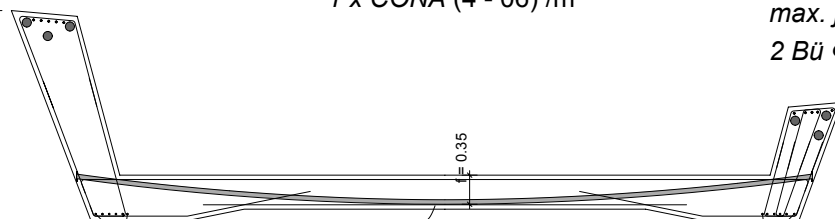
2 Bü Φ 26 / 12,5 (36,19 cm²)

As,min:

Bü Φ 10 / 25 (6,28 cm²)



var.



6 Φ 20 (18,85 cm²)

As,min aus Feld 0,215

6 Φ 20 (18,85 cm²)

As,min aus Feld 0,215

Φ 26 / 10 (53,10 cm²)

Φ 26 / 10 (53,10 cm²)

Φ 26 / 10 (53,10 cm²)

Asw (1) = Asw,min = 6,2 cm²/m; Asw (2) = max. 35,0 cm²/m

As,unten (As,1 aus Feld 0,215) = 33,5 cm²

As,oben = 51,0 cm²

A,p = je 2x CONA 31-06; Zulage: je 1x CONA 31-06

Erstellt mit einer Studentenversion von Allplan

Baustoffe:

Beton C 35/45 (XC3 XF2)

Baustahl Bst 550

Betondeckung:

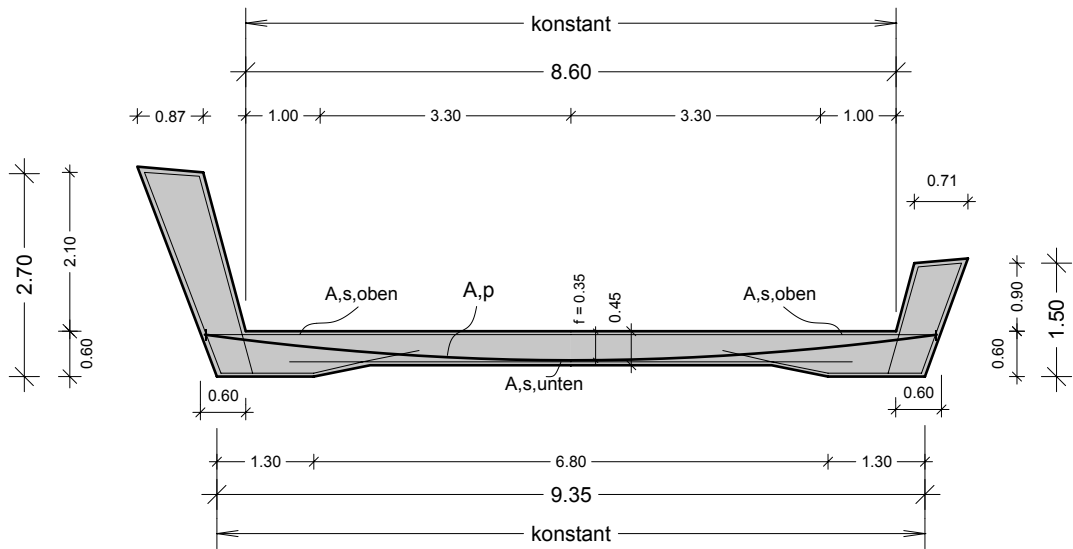
d,1 = 50 mm

BEWEHRUNGSSKIZZE

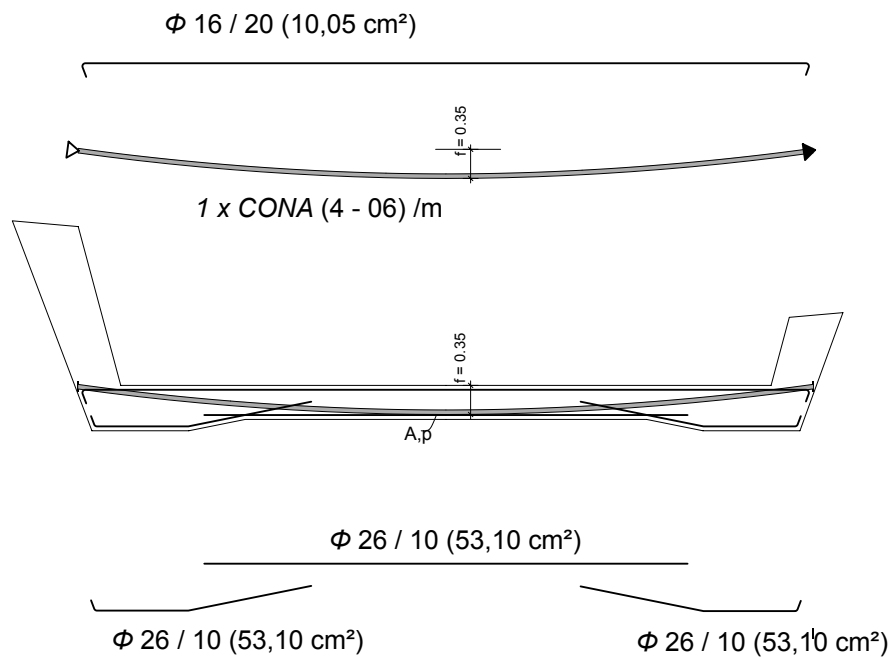
Fahrbahnplatte

M 1 : 100

Geometrie



Bewehrung



2. BEMESSUNG UNTERBAU (GZT)

2.1. Stützenbemessung

Allgemein

Für die Bemessung der Stützen wurde exemplarisch die höchste Stütze bei **km 0,190** modelliert und bemessen. Die *Statik 6* – Berechnungen liefern sämtliche Auflagerkräfte, die anschliessend per Hand zu massgebenden Kombinationen aufsummiert werden können.

Der Überbau ist verschieblich auf den Stützen des Überlandbereiches (km0,100 – WL Süd) gelagert, um zusätzliche Spannungen (und Verformungen) aus Kriechen und Schwinden möglichst zu minimieren. Sämtliche Stützen sind niedrig und mit leichtem Gerät gut erreichbar (< 12 Meter). Eine Auswechslung der Gleitlager sollte demnach einfach sein. Die Voute ist mittels eines Betongelenks am Fundament aufgelagert und bei km0,030 integral verankert. Zur Anwendung kommen Gleitlager der *Fa. Maurer* [10]. Horizontale Kräfte greifen nur an den rechten Auflagern an.

Zur Bemessung der Stütze wurde ein Fachwerkmodell erstellt und die Normalkräfte mit Hilfe „RStab“ auf einfache Weise berechnet. Die beiden Zugstreben werden um Risse zu vermeiden in weiterer Folge vorgespannt. Nur die beiden höchsten Stützen müssen kostenintensiv vorgespannt werden, die verbleibenden Stützen sind gedrungener und, ob der geringeren Höhe, weniger weit auskragend.

Lastfall „Aussergewöhnliche Einwirkungen“ – Pfeileranprall

Zur Bemessung des Lastfalles „Pfeileranprall“ wurde eine Berechnung für den „frontalen Anprall“ (1000kN in 1,25 Metern Höhe) geführt. Es wird davon ausgegangen, dass der „Queranprall“ (500 kN) aufgrund der Scheibenwirkung keine spürbare Auswirkungen auf den Pfeiler hat.

Die Bemessung ist im Sinne des Vorprojektes zu verstehen:

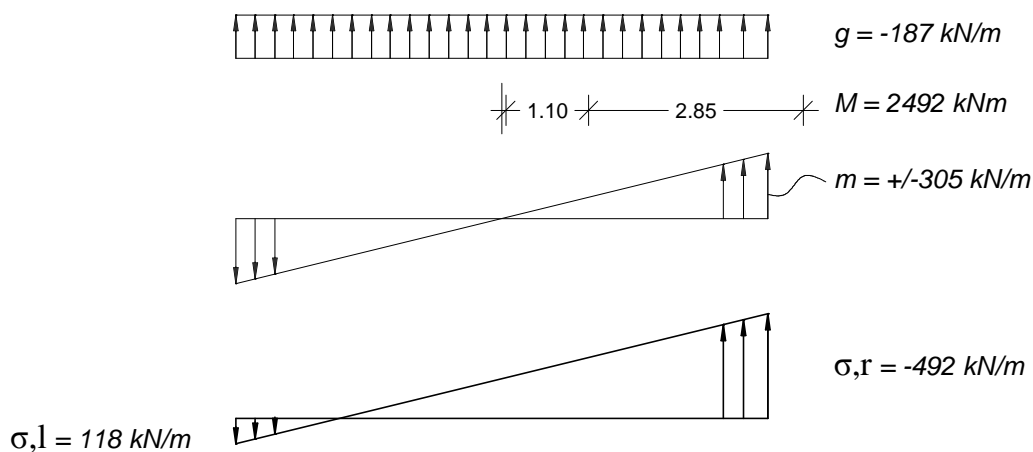
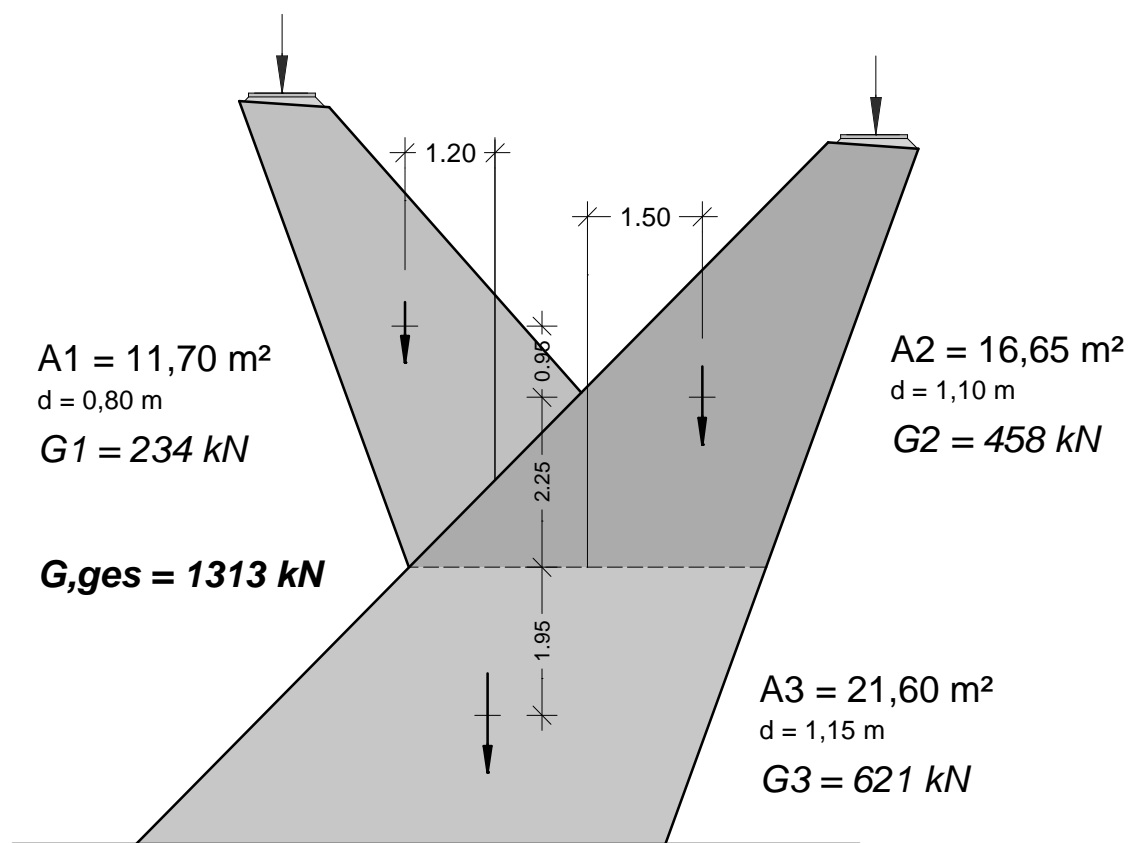
- Keine Berücksichtigung zusätzlicher Auswirkungen auf einen Nachweis Theorie II. Ordnung
- Rein elastischer Biegnachweis mit dem Resultat einer zusätzlich einzulegenden Bewehrung

Der Pfeiler weist vor allem im unteren Bereich (Anprallbereich, Einspannung) eine überdurchschnittliche Massivität auf. Die Biegebemessung ergibt sehr geringe notwendige Zulagen. Auswirkungen aus zusätzlichen Schiefstellungen (Th. II. O.) können unter Umständen zu einer Vervielfachung der Bewehrungsmenge führen, allerdings ist noch ausreichend Spielraum „nach oben hin“ vorhanden. Im Sinne des Vorprojektes ist deshalb gezeigt, dass ein frontaler Anprall keine „unverhältnismässigen Auswirkungen“ im Vergleich zur Einwirkung hat (Einsturz der Brücke).

STÜTZE km 0,190

M 1 : 100

Eigengewicht + Exzentrizitäten



> Vergleich mit Stützenbemessung im GZT:

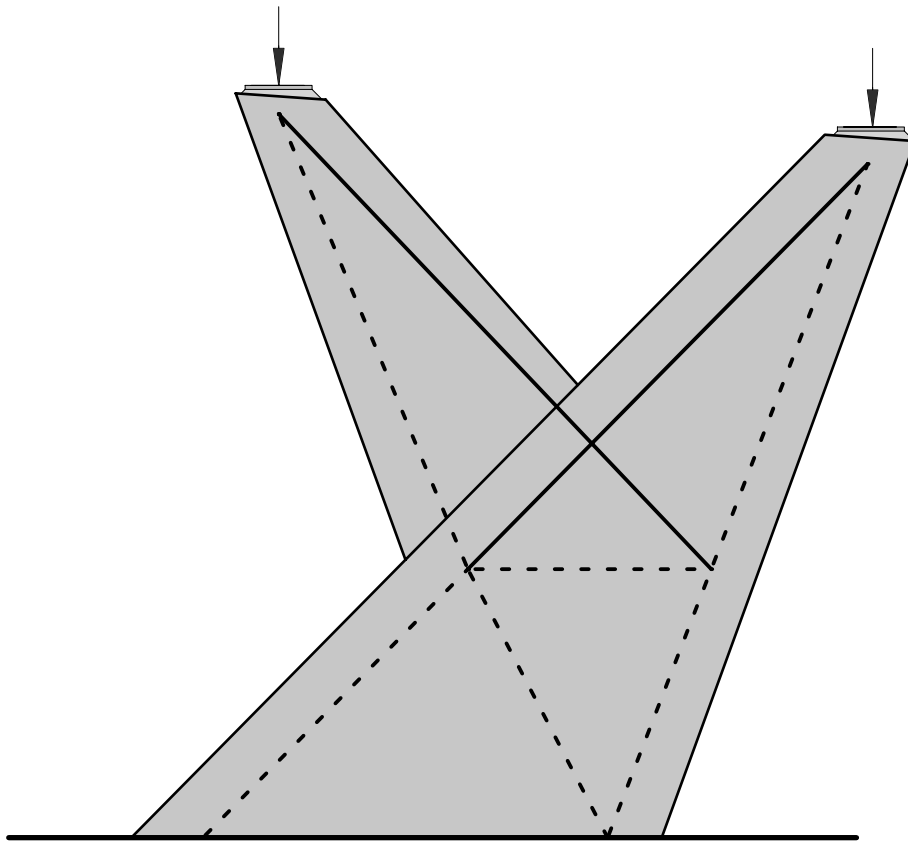
Resultierende Spannungen aus Eigengewicht bei Stützenbemessung im GZT vernachlässigbar!

NEUBAU Vorderrheinbrücke - Umfahrung Illanz West

STÜTZE km 0,190

M 1 : 100

Fachwerkmodell



--- Druckstab

— Zugstab

Erstellt mit einer Studentenversion von Allplan

RStab-Bemessungsprogramm

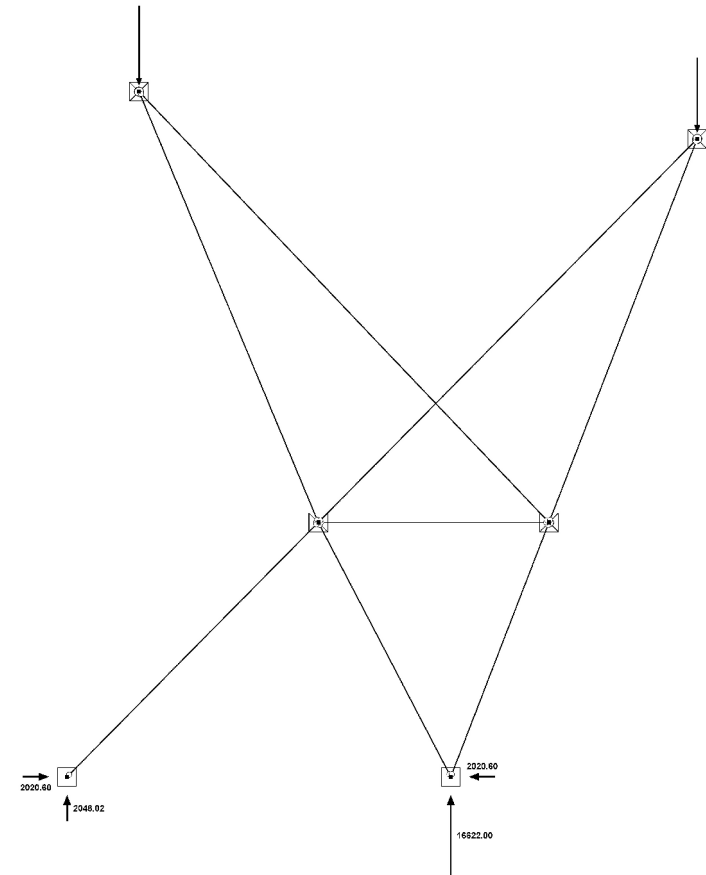
STÜTZENBEMESSUNG
km 0,190

STRUKTUR + BELASTUNG

LF 1 - BEMESSUNGSLAST

Auflagerreaktionen

Entgegen der Z-Richtung



Auflager: Verschieblich, in der Ebene gehalten

2.2. Fundamentbemessung

Der geotechnische Bericht [1] gibt detaillierten Aufschluss über die Bodenbeschaffenheit. Diejenigen Fundamente mit grösseren Auflasten in unmittelbarer Nähe zum Vorderrhein (km0,040 und km 0,100) werden tieffundiert. Im Bereich „California“ sind setzungsempfindliche Schichten zu erwarten, dennoch wurde beim Nachweis der Foundation bei km0,190 versucht, mit einem ausreichend starken Flachfundament ein Auslangen zu finden. Realistischerweise sollte man den Bauherren davon überzeugen, die im Vergleich zum Gesamtaufwand geringen Mehrkosten für eine durchgängige Pfahlfundierung im Sinne einer langlebigen Konstruktion in Kauf zu nehmen. Im Zuge dieses Projektes wird dem „spannenderen“ Nachweis eines starren Flachfundamentes der Vorzug gegeben.

Die bodenmechanischen Nachweise wurde nach den in der Literatur üblichen Verfahren geführt, wobei die gewählten Abmessungen ein „Starres Fundament“ ergeben [11]. Abmessungen und Bewehrung sind den Statischen Berechnungen und den Plänen zu entnehmen. Die Nachweise ergeben, dass ein Flachfundament zulässig ist, lassen jedoch bei den gewählten Abmessungen kaum Spielraum offen. Sollte ein genauere Nachweis ergeben, dass empfindliche Setzungsdifferenzen zu erwarten sind, oder die Gefahr eines Grundbruchs massgebend ist, könnte man folgende Massnahmen ergreifen, um den Kosten einer Tieffundierung dennoch vorzugreifen:

- Injizieren,
- Tiefenvibration,
- Vorbelasten (Konsolidation),
- Einfache, unbewehrte Pfähle setzen.

2.3. Widerlagerbemessung

Das zu bemessende „Widerlager Süd“ (WL Süd) befindet sich im Bereich des Hangfusses. Aufgrund der geringen Lasten ist es nicht notwendig in diesem Bereich tief zu fundieren, deshalb wird auch das, in tiefer liegenden Schichten gespannte, Grundwasser nicht zum Problem. Im Zuge der Bemessung wurde eine Wasserspiegelhöhe von 1,50 Metern über Fundamentunterkante angenommen, um stauendes Wasser, als Folge von starken Regenfällen oder Schmelzwasser im Frühling, zu simulieren.

Folgende Nachweise werden erfüllt:

- Stabilitätsnachweise *Gleiten*,
- Stabilitätsnachweise *Kippen*.

Die Bodenkennwerte sind dem Geotechnischen Bericht [1], Erddruckbeiwerte und sämtliche Formeln der Fachliteratur entnommen [11]. Auf der sicheren Seite liegend, wurde der passive Erddruck vernachlässigt.

BEWEHRUNGSSKIZZE

Stütze

A,s (1) = 49,8 cm²/m

A,s (2) = 48,0 cm²

(3) - (8) ... Druckstäbe

Vorspannung:

[1] ... 2x CONA 31-06 (20)

[2] ... 1x CONA 31-06 (20)

[3] ... 1x CONA 12-06 (12)

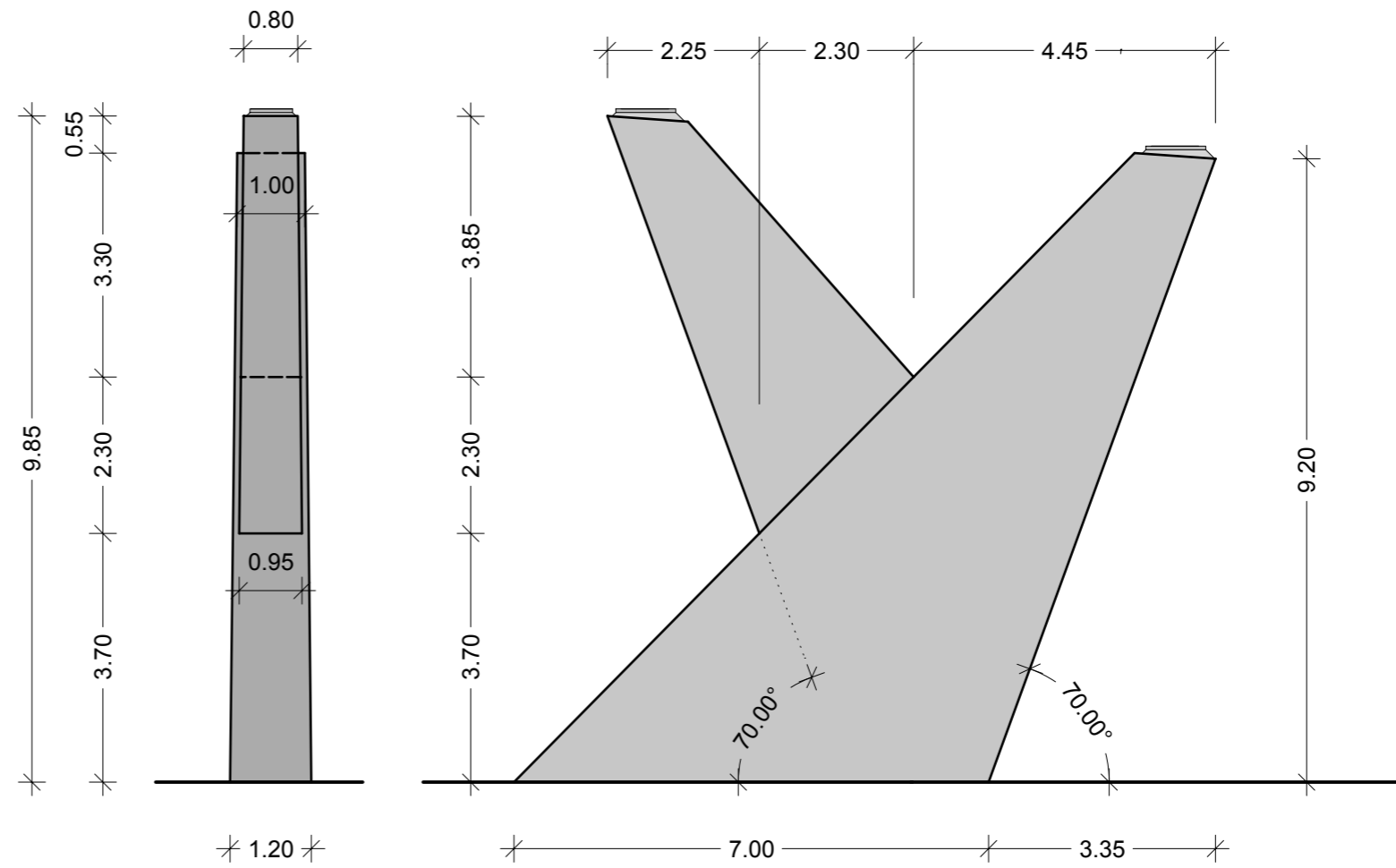
Baustoffe:

Beton C 30/37

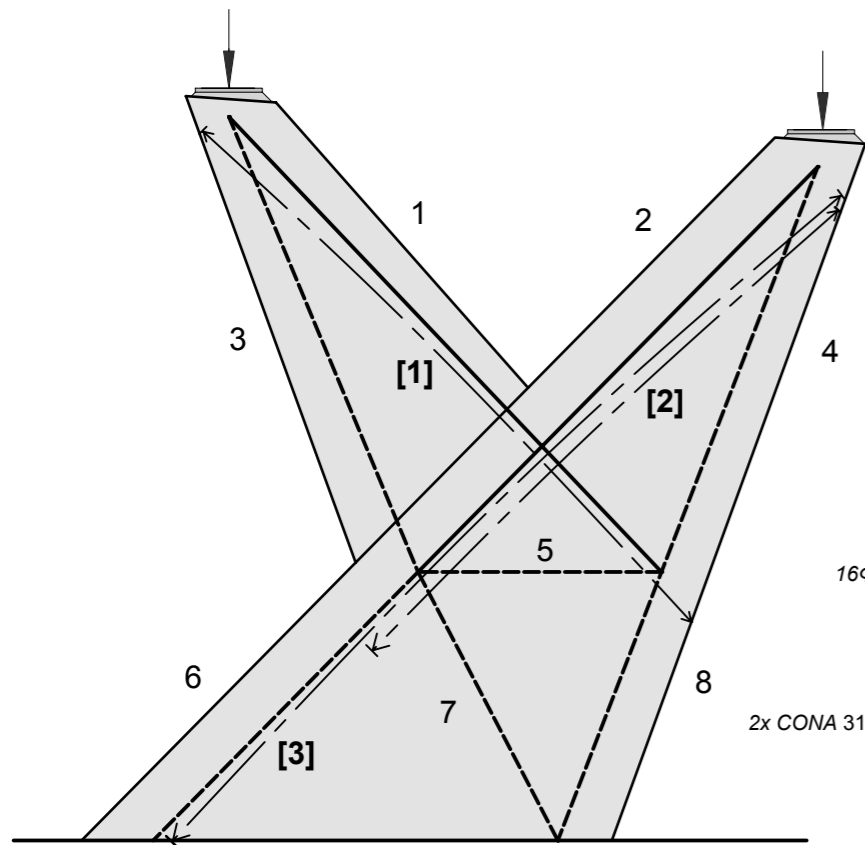
Baustahl Bst 550

Betondeckung:

d,1 = 50 mm



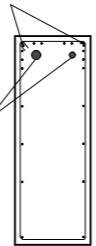
6x CONA 31-06 (31)



--- Druckstab
 — Zugstab
 ← - - - → Vorspannkabel

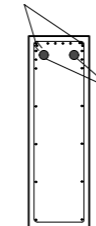
B - B

16Φ 20 (50,27 cm²/m)

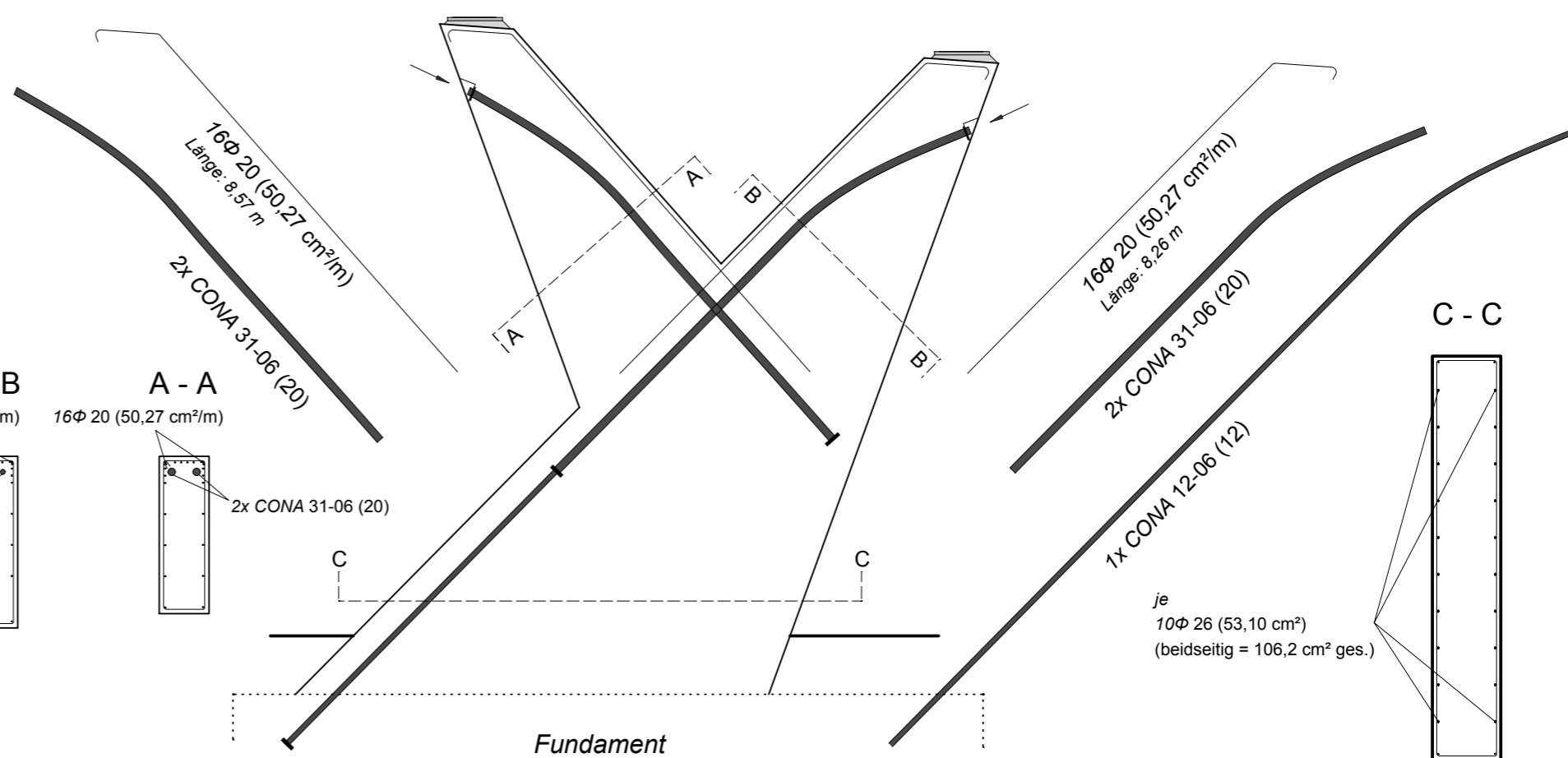


A - A

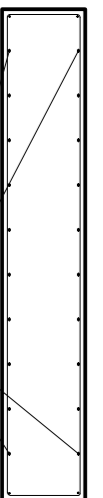
16Φ 20 (50,27 cm²/m)



2x CONA 31-06 (20)



C - C



Geometrie

BEWEHRUNGSSKIZZE

Fundament

M 1 : 100

Bewehrung:

A_s (längs) = 180,6 cm² = 36,0 cm²/m

A_s (quer) = 22,9 cm²

A_{s,w} (längs) = 109 cm² / m

Baustoffe:

Beton C 30/37

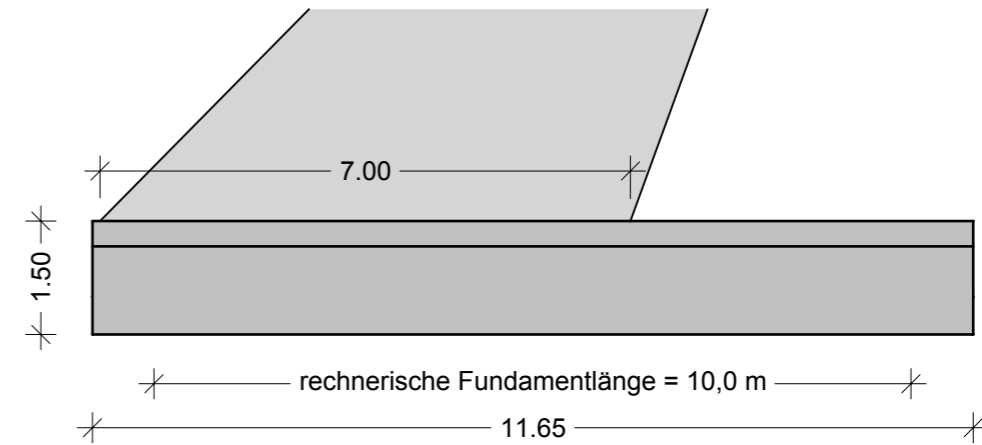
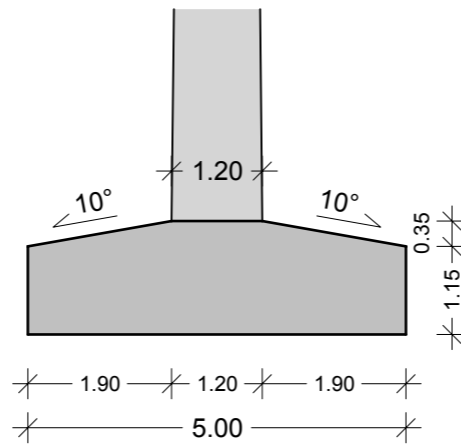
Baustahl Bst 550

Betondeckung:

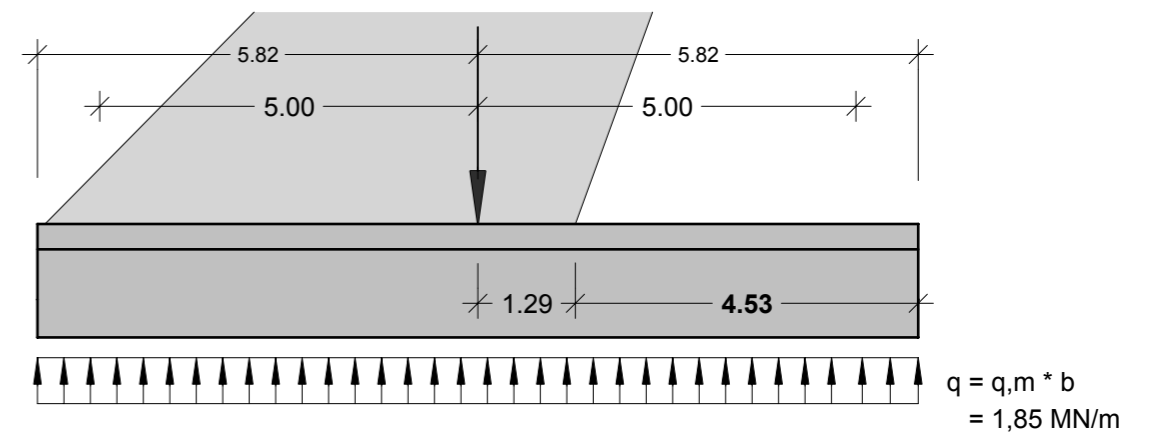
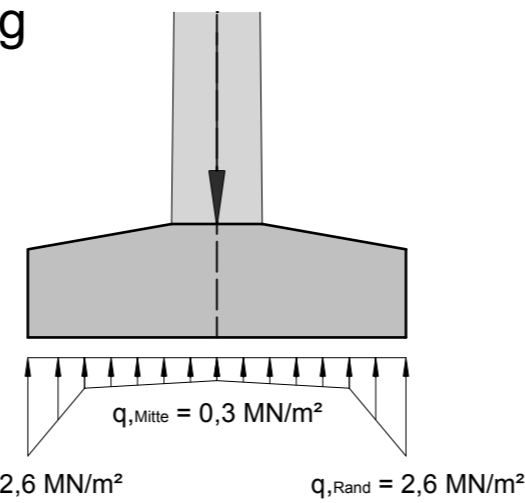
d₁ = 50 mm

Geometrie:

h: 1,50 m = min. Höhe f. Bemessung!



Belastung



Bewehrungsaufteilung:

LÄNGS:

A_s:

Grundnetz # 5,0 *
 Φ 26/20 (26,55 cm²/m) 26,55 cm²

Zulage:
 10Φ 26 (53,10 cm²/m) + 53,10 cm²
 = 185,85 cm²

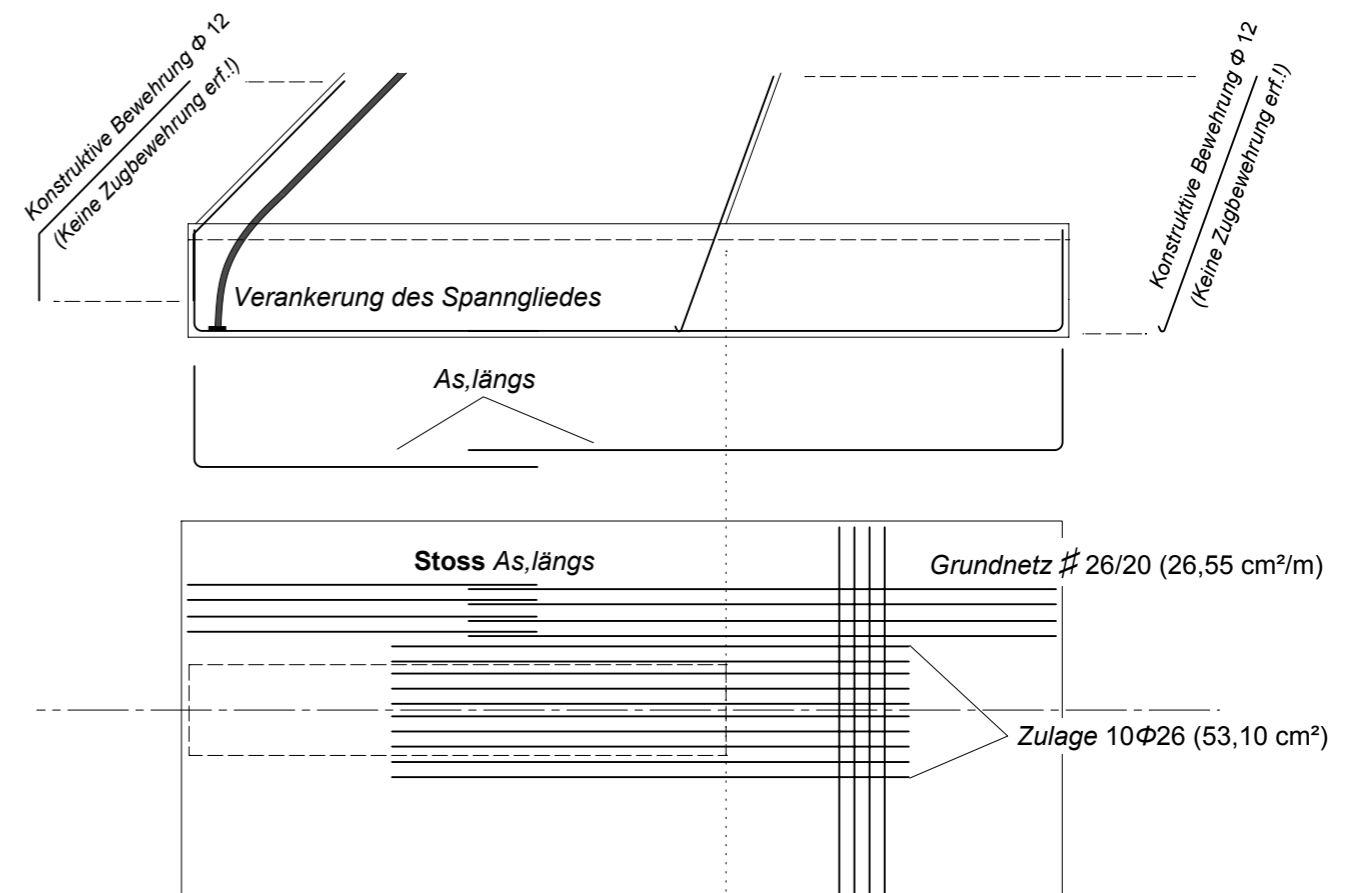
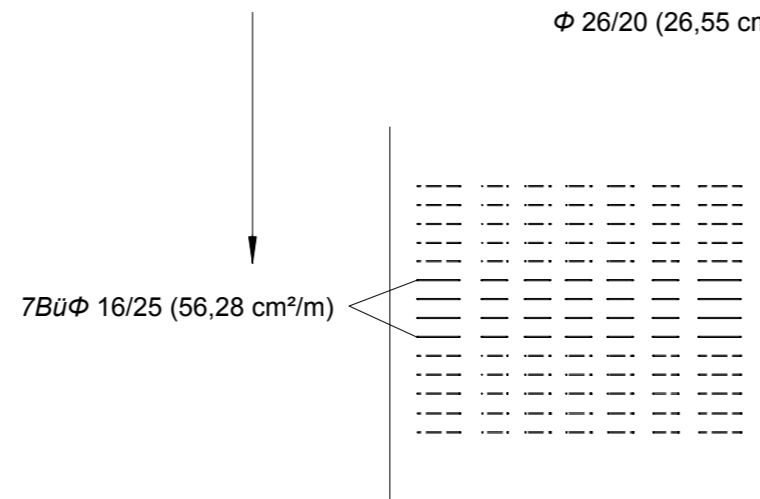
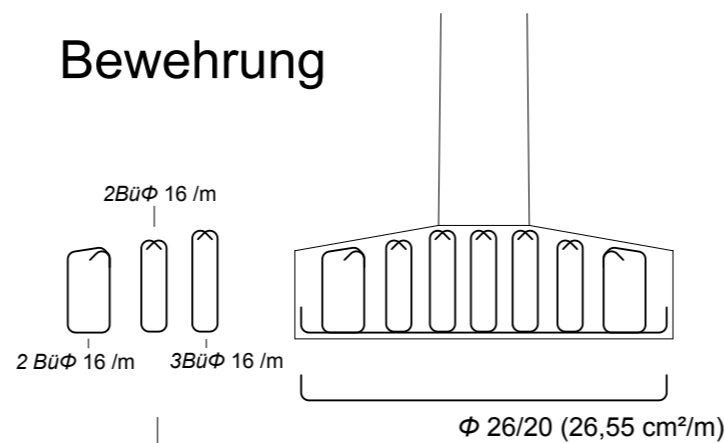
A_{s,w}:

7 BüΦ 16 / Breite (28,14cm²) 26,55 cm²
 / 25cm (längs) * 4
 = 112,56 cm²

QUER:

Grundnetz: (längs + quer)
 Φ 26/20 (26,55 cm²/m) = 26,55 cm²

Bewehrung

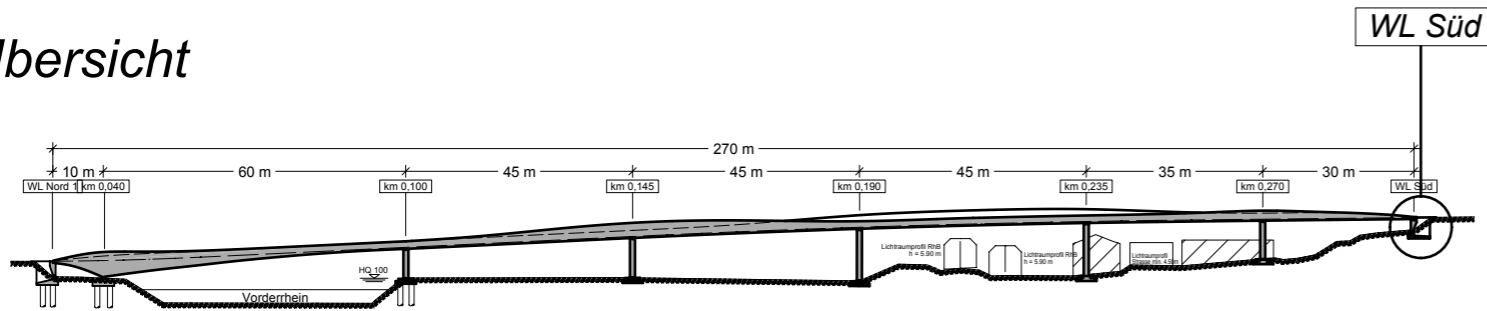


WIDERLAGER Süd

Konstruktionsskizze

M 1 : 100

Übersicht

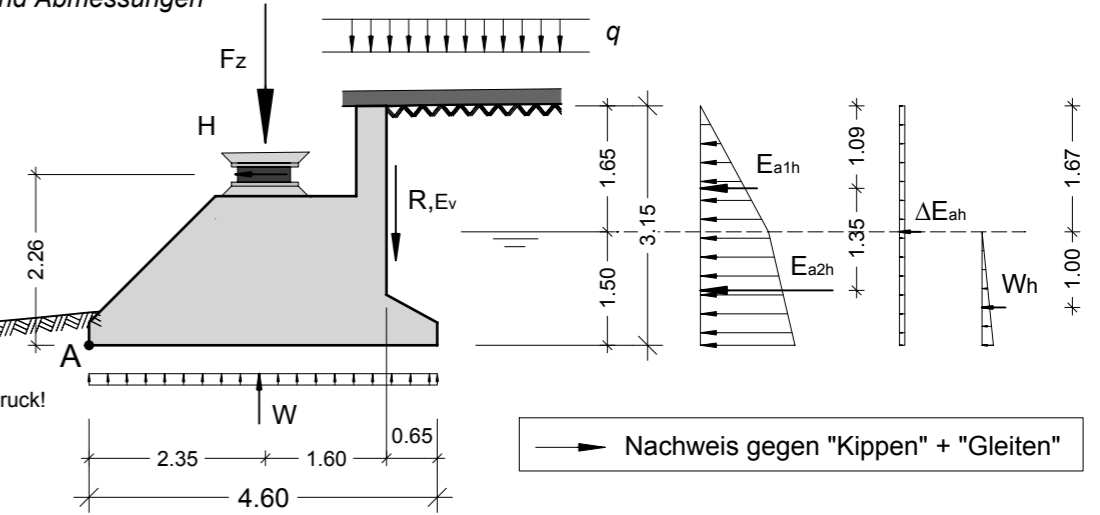


STATIK

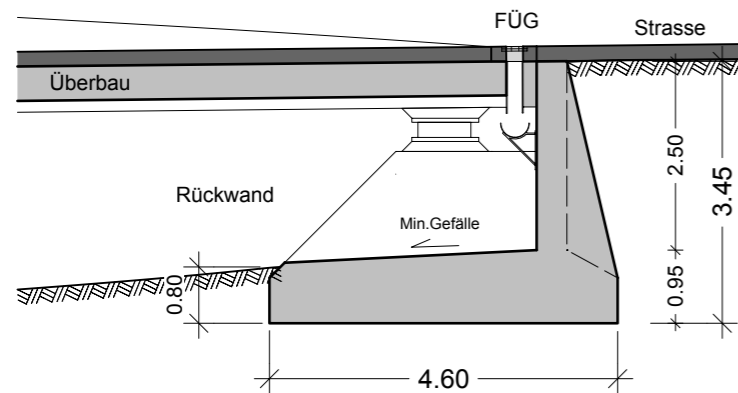
Lastannahmen und Abmessungen

- $F_z = 2,57 \text{ MN}$
- $H = 77 \text{ kN}$
- $R_{Ev} = 99 \text{ kN}$
- $W = 74 \text{ kN}$
- $E_{a1h} = 77 \text{ kN}$
- $E_{a2h} = 170 \text{ kN}$
- $\Delta E_{ah} = 24 \text{ kN}$
- $W_h = 12 \text{ kN}$

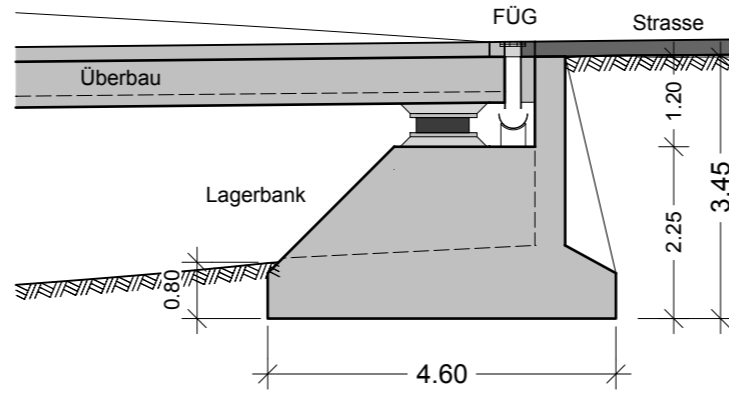
Annahme:
kein passiver Erddruck!



SCHNITT A - A

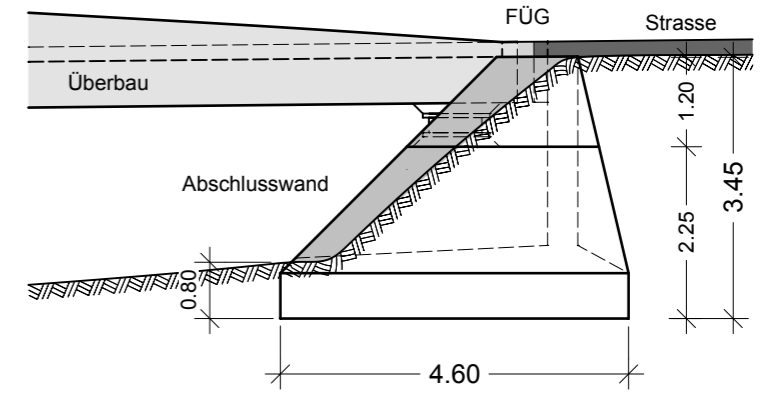


SCHNITT B - B

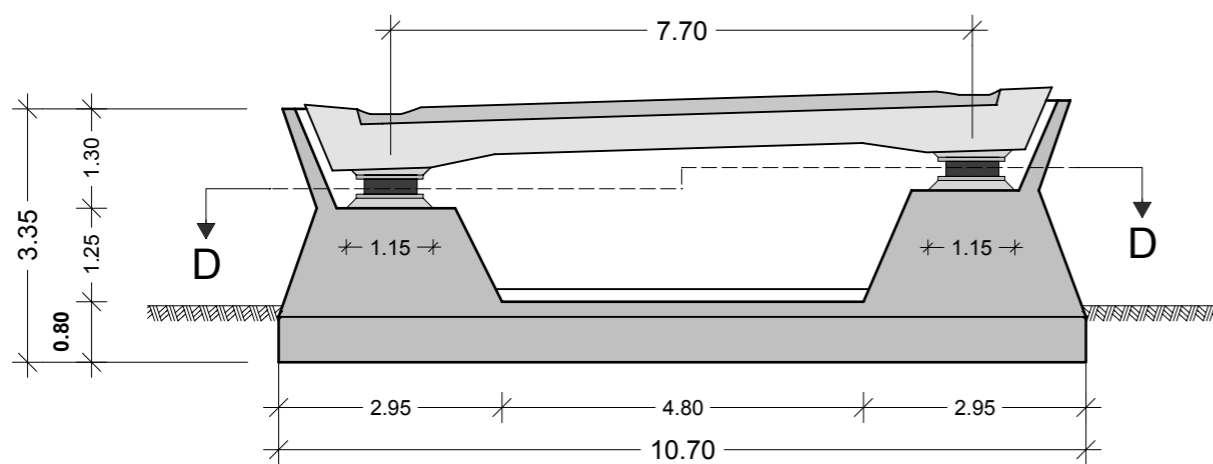


SCHNITT C - C

ANSICHT

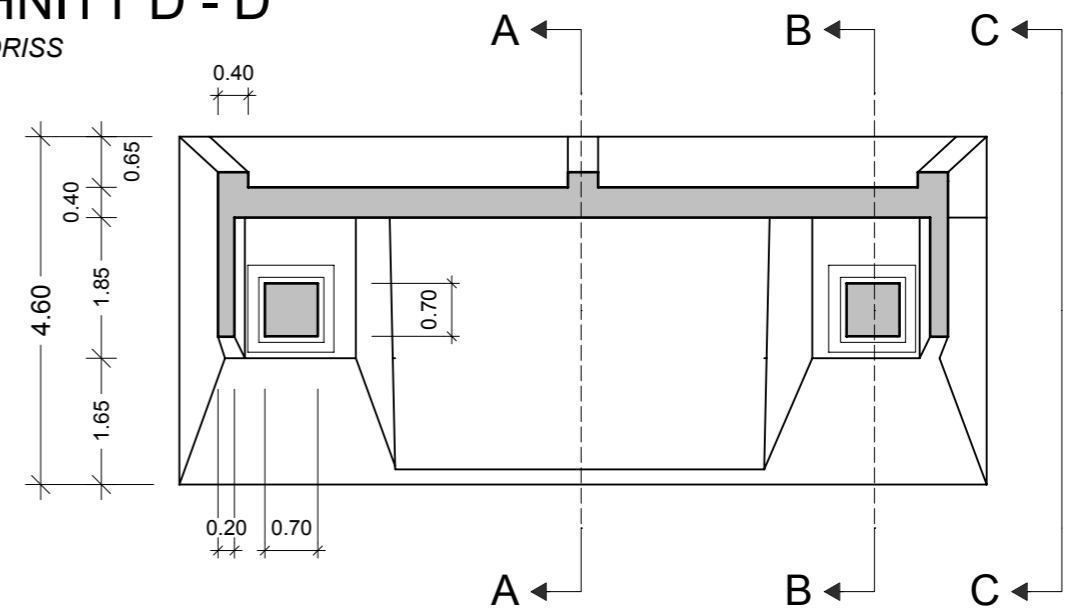


QUERSCHNITT



SCHNITT D - D

GRUNDRISS



3. GEBRAUCHSTAUGLICHKEIT (GZG)

3.1. Begrenzung der Rissbreiten

Die Vorspannung wurde unter dem „Nachweis der Dekompression“ geführt, deshalb wird davon ausgegangen, dass keine weiteren speziellen Nachweise zur Rissbreitenbegrenzung notwendig sind. Eine rissverteilende Anordnung der Bewehrung laut Norm (respektive Wahl der Durchmesser) wird grundsätzlich vorgeschlagen.

3.2. Begrenzung der Durchbiegungen

Allgemein

Zur Berechnung der Durchbiegungen werden zwei Einwirkungskombinationen untersucht:

- Häufige Einwirkungskombination – Leiteinwirkung: **LM1**, $\psi = 0,75$
- Quasi-ständige Einwirkungskombination – Leiteinwirkung: **ΔT** , $\psi = 0,5$

Der Eurocode verweist bei der Grenzwertfindung auf einen allgemeinen Absatz:

EC 1992-1-1: 4.7.1 (2) – „*Geeignete Grenzwerte für die Durchbiegungen sind in der Regel auf die Art des Tragwerks, des Ausbaus, etwaige leichte Trennwände oder Befestigungen sowie auf die Funktion des Tragwerks abzustimmen*“.

Deshalb werden im Folgenden die in der SIA Norm 260 empfohlenen Grenzwerte zur Betrachtung herangezogen:

- „**Komfort**“ → GZG Häufige Einwirkungskombination → **L / 500**,
- „**Aussehen**“ → GZG Quasi-Ständige Einwirkungskombination → **L / 700**.

Berechnungen

Die Berechnungen der Durchbiegungen wurden analog zu den Berechnungen im GZT mit dem Stabstatikprogramm „*Statik 6*“ geführt, und sind auf den folgenden Seiten dargestellt. Um einen gerissenen Querschnitt zu simulieren, werden die Durchbiegungen mit dem Faktor 2 multipliziert, der der halben Biegesteifigkeit EI_y entspricht. Allerdings waren die Feldquerschnitte sogar im Grenzzustand der Tragfähigkeit überdrückt. Durch die Zulagen an Spanngliedern über den Stützen kann man davon ausgehen, dass auch diese Bereiche bei der „häufigen Einwirkungskombination“ überdrückt sein werden. Der Faktor 2 stellt deshalb einen äussersten Grenzwert dar und wird deshalb beim Nachweis der Langzeiteinwirkungen (Kriechen) nicht in Rechnung gestellt.

Berücksichtigung des Langzeitverhaltens von Beton: *Kriechen*

Das Langzeitverhalten hat speziell auf den Trogquerschnitt einen massiven Einfluss, der durch die Berücksichtigung des Endkriechbeiwertes zum Ausdruck kommt. Dieser wurde nach Eurocode 1992-1-1: 3.1.4 – Bild 3.1 bestimmt.

Fazit

Es bestätigt sich die Vermutung, dass das Tragwerk im „Überlandbereich“ sehr weich ist, und äusserst sensibel auf vertikale Lasten reagiert. Durch die ungünstige feldweise Belastungsannahme des LM1 in der häufigen Einwirkungskombination, werden in drei Feldern die geforderten Grenzwerte überschritten. Eine Überhöhung der Schalung (vgl. „GZG-EG+P“) bewirkt in zwei Feldern eine klare Besserung der verbleibenden Durchbiegungen mit dem Resultat, dass nunmehr die hohen Grenzwertanforderungen von $L/700$ erfüllt werden. Das letzte (kürzeste) Feld weist allerdings trotz Überhöhung eine Durchbiegung von $L/300$ auf.

Berücksichtigt man Langzeiteinflüsse aus dem Kriechen des Betons unter der Annahme eines ungerissenen Zustandes (s.o.) und einer höhenangepassten Schalung, so wirkt sich die zusätzliche 1,5-fache Durchbiegung ($\varphi = 1,50$) infolge Eigengewicht („GZG-EG+P“) massgeblich auf die Verformungen aus. Im letzten Feld wird nur eine Durchbiegung von $L/535$ erreicht, was unter Beachtung der vorherigen Ergebnisse nicht weiter verwundern mag. Im zweiten Feld allerdings, wirkt sich die starke Vorspannung in einer negativen Durchbiegung aus – das Feld wölbt sich übermässig nach oben. Diese Beobachtung konnte bereits in den ersten Durchbiegungsberechnungen gemacht werden. Eine besondere Untersuchung der notwendigen Vorspannungsmenge sollte im Zuge genauerer Berechnungen angestellt werden.

QUELLENANGABEN UND VERWENDETE NORMEN

- [1] **Tiefbauamt Graubünden:** Umfahrung Ilanz: Geologisch – geotechnischer Bericht, 2002
- [2] **F. Leonhardt:** Brücken: Ästhetik und Gestaltung, 1994
- [3] **D. Bänziger:** Faszination Brücken, 01/2004
- [4] **D. J. Brown:** Brücken: Kühne Konstruktionen über Flüsse, Täler, Meere, 2007
- [5] **D. Bühler:** Brückenbau im 20. Jhd.: Gestaltung und Konstruktion, 2004
- [6] **L. Troyano:** Bridge Engineering: A Global Perspective, 2003
- [7] <http://com-share.com/Downloads/Bridge.pdf>,
http://www.ihb.de/fordaq/news/Holzbruecke_Holz-Beton-Verbund_Holztransport_18624.html
- [8] **M. Laffranchi:** Zur Konzeption gekrümmter Brücken, ETH Zürich, 1999
- [9] **Prof. T. Vogel:** Brückenbau (Skriptum), 2011
- [10] **Fa. Maurer Söhne,**
http://www.maurer-soehne.de/files/bauwerkschutzsysteme/pdf/de/prospekt/Prospekt_MAUERER_MSM-Gleitlager.pdf
- [11] **H. Lang, J. Huder, P. Amann, A. Puzrin:** Grundbau und Bodenmechanik, 2011
- [12] **A. Pauser:** Massivbrücken ganzheitlich betrachtet, 2002
- [13] **E. Brühlwiler, C. Menn:** Stahlbetonbrücken, 2003
- [14] **Bundesamt für Strassen (ASTRA):** 12004 Richtlinie: Konstruktive Einzelheiten von Brücken, 2008
- [15] **Tiefbauamt Graubünden:** Weisung für die Projektierung von Kunstbauten, 2008
- [16] **K. H. Holst:** Brücken aus Stahleton und Spannbeton, 1995
- [17] **Tiefbauamt Graubünden:** Preiskostenvoranschlag (Vorlage), 2006
- [18] **TU Dresden, Institut für Tragwerke und Baustoffe:** Brückenbaukosten in € je m² (Folie), 2002
- [19] **Statistik Austria:** Baukostenindex für den Brückenbau, 1990 – 2011
- [20] **Bundesamt für Strassen (ASTRA):** Richtlinie: Projektierung und Ausführung von Kunstbauten der Nationalstrassen, 2005
- [21] **Tiefbauamt Graubünden:** Vorschriften „Besondere Bestimmungen Teil 2 (BB2)“, Ausgabe 2011
- [22] **R. Schach, J. Otto:** Baustelleneinrichtung – Grundlagen, Planung, Praxishinweise, Vorschriften und Regeln, 2008
- [23] **Fa. Liebherr:** http://www.liebherr.com/CR/de-DE/products_cr.wfw/id-7630-0/measure-metric

Verwendete Normen

- Eurocode 1991-2: Einwirkungen auf Tragwerke – *Verkehrslasten auf Brücken*
 - *Mit Bezug auf Eurocode 1991-1*
- Eurocode 1992-2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken:
Betonbrücken- Bemessungs- und Konstruktionsregeln
 - *Mit Bezug auf Eurocode 1992-1-1*
- SIA 261 – Einwirkungen auf Tragwerke (*→ Windlasten, regionale Lasteinwirkungen*)
- Diverse Richtlinien und Vorschriften, ASTRA und Tiefbauamt Graubünden

ANHANG

ANHANG

Anhänge

Aufgabenstellung Master-Arbeit FS11, Prof. Thomas Vogel, 2011

Modellfotographien Entwurf „Hin und Her“

Statische Berechnungen

- Einwirkungen
 - Lasten Allgemein
 - Lastfall Wind
 - Lastfallkombinationen
- Dauerhaftigkeit, Baustoffe / Materialien
- Bemessung Überbau
 - Biegebemessung längs
 - Biegebemessung Fahrbahnplatte
 - Querkraft- /Torsionsbemessung
- Bemessung Unterbau
 - Stützenbemessung
 - Fundamentbemessung
 - Widerlagerbemessung
- Bemessungen im GZG
- Berechnungen zur Kostenschätzung

Projektpläne (Planfach)

Projektplan „Masterarbeit“ (A0)	div.
Bauablauf Lageplan	M 1:500
Bauablauf Randbedingungen	M 1:500
Entwässerungskonzept	M 1:500 / M 1:100

MASTER-ARBEIT FS 2011

28.02.11 – 04.07.11

Neubau der Vorderrheinbrücke, Umfahrung Ilanz West



*Ausschnitt aus dem Plan Nr.: 19.4493 der Lugnezstrasse, Rheinbrücke Ilanz West
(Quelle: Tiefbauamt Graubünden, Foto: www.fotocommunity.de)*

Bearbeiter:

Thomas Gruber

Betreuung:

Prof. Thomas Vogel / Georg Kocur

1 ALLGEMEINES

1.1 Zielsetzung

Ziel dieser Master-Arbeit ist der Entwurf der Vorderrheinbrücke, Umfahrung Illanz West. Der Schwerpunkt liegt einerseits bei einem gestalterisch überzeugenden Entwurf und andererseits in der statischen und konstruktiven Umsetzung der gewählten Variante. Der Detaillierungsgrad soll dem eines Vorprojekts entsprechen.

1.2 Vorweisungen

Begleitend zur Bearbeitung der Master-Arbeit finden regelmässig obligatorische Vorweisungen bei Prof. Thomas Vogel und dem Assistenten Georg Kocur statt. Die genauen Termine können dem Abschnitt 4 entnommen werden. Für jede Vorweisung ist ein Referat von etwa 5 Minuten vorzubereiten, in dem die Überlegungen und Arbeiten seit der letzten Vorweisung zusammengefasst vorgetragen werden. Der Kurzvortrag ist dabei durch Pläne, Skizzen usw. zu veranschaulichen.

1.3 Zwischen- und Schlusspräsentation

Die Zwischen- und die Schlusspräsentationen werden vor einem erweiterten Publikum durchgeführt. Ziel dieser Präsentationen ist es, dem Publikum einen verständlichen Einblick in die Problemstellung, die verwendeten Methoden und die daraus resultierenden Ergebnisse zu geben. Die Studierenden sollten selbst entscheiden, welches Präsentationsmittel für welchen Anlass am besten geeignet ist.

Als Zeitrahmen stehen den Studierenden 15 Minuten (Zwischenpräsentation) bzw. 20 Minuten (Schlusspräsentation) für das Vorstellen ihrer Arbeiten zur Verfügung. Im Anschluss daran wird eine Diskussion über den Vortrag geführt. Die Termine sind im Abschnitt 4 aufgeführt.

1.4 Abgabe

Die Schlussabgabe erfolgt am Montag, den 04.07.2011 bis 16.00 Uhr beim Assistenten (HIL E 34.2). Die Abgabe umfasst sämtliche unter Punkt 3 aufgeführten Dokumente und Arbeitsmaterialien.

1.5 Begehung

Eine offizielle Begehung des Projektperimeters findet in der Kalenderwoche 9 statt.

1.6 Betreuung

Die Master-Arbeit wird von Prof. Thomas Vogel geleitet, der bei den obligatorischen Vorweisungen und Präsentationen in der Regel anwesend sein wird. Ferner wird die Master-Arbeit von Georg Kocur betreut, der für weitere Fragen zur Verfügung steht.

1.7 Arbeitstechnik

Das vorliegende Projekt ist durch die einzelnen Studierenden selbstständig zu bearbeiten. Eine Ausnahme bildet das Anfertigen eines Geländemodells (siehe dazu Punkt 3.2).

1.8 Dokumentationen und Literatur

Die Verwendung problembezogener Fachliteratur wird empfohlen. Diese ist von den Studierenden selbstständig zu beschaffen.

Hilfestellung für das Erstellen von Postern und Technischen Berichten kann auf der Internetseite der Professur unter <http://www.ibk.ethz.ch/vo/downloads> gefunden werden.

2 PROJEKTANGABEN

2.1 Ausgangslage

Sowohl die Strasse nach Vals als auch diejenige nach Vrin führen heute mitten durch Ilanz und belasten dadurch den Dorfkern. Eine Umfahrungsstrasse sollte westlich von Ilanz von der Oberalpstrasse abzweigen und über Vorderrhein und Rhätische Bahn - Trasse den Gegenhang erreichen. Dazu ist eine ca. 260 m lange Brücke erforderlich, die den Rhein stützenfrei überqueren soll und deren Bauhöhe im Bereich der Rhätischen Bahn begrenzt ist.

2.2 Anforderungen an die neue Brücke / Randbedingungen

2.2.1 Allgemeines

Die Weisungen, Richtlinien und Normalien des Tiefbauamtes des Kantons Graubünden sind zu beachten.

2.2.2 Geometrie

Für den Entwurf der horizontalen sowie vertikalen Linienführung sind die Pläne: Situation 1:500 und Längenprofil 1:500 im Anhang verbindlich. Die gewählte horizontale und vertikale Linienführung ist normengemäss an die Achse der geplanten Umfahrungsstrasse anzuschliessen.

2.2.3 Geologie

Die vorhandenen geologischen Verhältnisse können dem Kurzbericht "Geologisch – geotechnischer Bericht Grundlagen" vom 8. März 2002 entnommen werden.

2.2.4 Werkleitungen / Entwässerung

Das Konzept für Werkleitungen und Brückenentwässerung soll in Eigenregie entwickelt werden.

2.2.5 Umwelt

Die Vorderrheinbrücke quert den Talboden des Rheins von Nord-West nach Süd-Ost und ist zwischen den beiden Anschlüssen der A19 von Flims und der Lugnezerstrasse eingebunden. Im Tal auf der Rheinseite zur Lugnezerstrasse hin liegen wenig bebaute Grünflächen, die als charakteristisches Landschaftselement zu erhalten sind. Ein möglichst grosszügiger Lichtraum unterhalb der Brücke in dem Bereich soll dazu beitragen, das Landschaftselement aufrecht zu erhalten. Ein möglichst filigranes und sich in die Region eingliederndes Konzept der Brücke ist hier erstrebenswert.

2.3 Vorgaben für die Master-Arbeit

Der Einsatz von Statiksoftware ist möglich. Computerberechnungen sind übersichtlich und nachvollziehbar zu dokumentieren. Die Resultate sind durch überschlägige Handrechnungen auf Plausibilität zu prüfen.

Die Weisungen für die Projektierung von Kunstbauten und Projektierungsgrundlagen können im Internet unter

www.astra.admin.ch und

<http://www.gr.ch/DE/institutionen/verwaltung/bvfd/tba/dokumentation/tba-infos/Seiten/tba-infos.aspx>

abgerufen werden. Die auf der Internetseite des Kantons Graubünden vorhandenen Vorlagen für Projektdokumente (Nutzungsvereinbarung, Projektbasis, Technischer Bericht etc.) sind als Vorschläge aufzufassen und können für die Master-Arbeit verwendet werden. In jedem Fall sind sie aber individuell anzupassen! Weiterhin gelten die Bestimmungen in den Tragwerksnormen des SIA.

3 AUFGABENSTELLUNG

Das Vorgehen bei der Bearbeitung der Master-Arbeit lässt sich in folgende Schritte gliedern:

3.1 Vorbereitung

- Projektierungsprogramm: Planung der eigenen Arbeitskapazität
Konzept, Methodik und Vorgehen
Kritische Wege (z.B. Modell, Pläne)
- Grundlagenbeschaffung: Bereitstellung von Arbeitsinstrumenten
Bedürfnis an Zusatzinformationen
- Referenzobjekte: Sammlung von Informationen über ähnliche Brücken
Vergleich der Randbedingungen und der Lösungen

3.2 Entwurf und Variantenstudium

- Gemeinsames Anfertigen eines Geländemodells
- Variantenstudium mit Skizzen, Arbeitsmodellen, Visualisierungen, ...
- Ausarbeiten von mindestens drei Varianten
- Beurteilung und Bewertung der Varianten
- Empfehlung einer Variante zur Weiterbearbeitung
- Zusammenfassung des Variantenstudiums (Kapitel des Technischen Berichts)

Der Variantenentscheid wird in der Zwischenpräsentation vom 31.03.2011 gefällt.

3.3 Vorprojekt

3.3.1 Technischer Bericht

Im Technischen Bericht soll das Wesentliche des Projektes kurz umschrieben werden. Der Inhalt ist folgendermassen zu gliedern:

- Zusammenfassung
- Einleitung
- Grundlagen
- Kurze Zusammenfassung des Variantenstudiums
- Beschrieb des Gesamtkonzeptes (Randbedingungen, Begründung für die Wahl des Konzeptes, ...)
- Beschrieb des Bauwerkes (Gestaltung, konstruktive Ausbildung, Wahl der Materialien, Besonderheiten, für die weitere Projektierung erforderliche Abklärungen, Zusammenfassung der statischen Vorbemessung, ...)
- Beschrieb des Bauvorgangs
- Massenauszug und Kostenschätzung
- Zusammenfassung und Resultate der Spezialaufgabe (siehe auch Punkt 3.4)

- Projektbasis und Nutzungsvereinbarung
- Quellenangabe der verwendeten Unterlagen (inkl. Autographien, Musterlösungen etc.)
- Gesprächs- bzw. Telefonnotizen von ausserhalb der Betreuung der Master-Arbeit getätigten Abklärungen
- Zitier – Knigge, Über den Umgang mit fremdem Gedankengut siehe http://www.ethz.ch/students/exams/plagiarism_s_de.pdf
- Eigenständigkeitserklärung siehe http://www.ethz.ch/faculty/exams/plagiarism/confirmation_de.pdf

3.3.2 Projektpläne

Auf den Projektplänen sind die wichtigsten Abmessungen und die gewählten Materialien darzustellen. Die Umgebung sollte soweit dargestellt werden, wie es für die Interpretation der Pläne oder die Bedeutung des Projekts erforderlich ist. Folgende Pläne sind auf jeden Fall anzufertigen:

- Situation 1:500, Längsschnitt 1:500 (Längenprofil)
- Ansichten und ev. Visualisierungen, Skizzen, Modellfotos, ...
- Schnitte 1:50, Details in zweckmässigem Massstab
- Bei Vorspannung → Vorspannschema und Spanngliedgeometrie 1:500 (ev. überhöht)

Alle Pläne sind mit einem Titelblatt zu versehen und auf das Format A4 zu falten.

3.3.3 Statische Berechnungen (Vorprojekt)

Enthalten unter anderem:

- Beschreibung und grafische Darstellung der statischen Modelle.
- Ermittlung der Einwirkungen und grafische Darstellung der Schnittkräfte.
- Nachweise, dass das Bauwerk mit den gewählten Abmessungen und vernünftigem Materialaufwand realisierbar ist, insbesondere dass Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit erfüllt sind.
- Eventuelle Computerberechnungen (CUBUS, Excel etc.) sind **übersichtlich zu dokumentieren und zu kommentieren**.
- Nachweis der Realisierbarkeit unter den gegebenen Randbedingungen.

⇒ Alle elektronisch erstellten Berechnungen sind auf einem geeigneten Datenträger abzuspeichern und abzugeben. Ein Dateiverzeichnis soll die Übersicht für die Betreuer vereinfachen.

3.3.4 Poster

- Mit einem Poster im Format A0 soll ein Überblick über das gesamte Projekt vermittelt werden. Richtlinien zur Gestaltung können unter <http://www.ibk.ethz.ch/vo/downloads/rlposter.pdf> gefunden werden.
- Eine verbindliche Vorlage hierzu wird von der Assistenz unter http://www.ibk.ethz.ch/vo/downloads/Vorlage_Poster.ppt zur Verfügung gestellt.

3.4 Spezialaufgabe

- Jeder Studierende verfasst die Aufgabenstellungen für zwei Spezialaufgaben, die er/sie im Rahmen der Master-Arbeit gerne bearbeiten möchte. Das Thema kann frei gewählt werden, der Zusammenhang mit dem Thema der Master-Arbeit muss aber dargelegt werden.

- Die ausformulierten Aufgabenstellungen sind am 10.05.2011 einzureichen.
- Die definitive Aufgabenstellung wird den Studierenden in der Vorweisung vom 28.05.2011 bekanntgegeben.

4 PROGRAMM

Datum	Zeit	Ort	Was
Mo 28.02.11	08:30 – 09:00	HIL E 33.1	Ausgabe
KW 9 nach Vereinb.	13:00 – 18:00	Illanz	Begehung
Fr 18.03.11	08:30 – 11:30 30' pro Stud.	HIL E 33.1	1. Vorweisung ¹⁾
Do 31.03.11	10:00 – 12:15 20' pro Stud.	HIL E 36.1	1. Zwischenpräsentation ²⁾
Do 21.04.11	08:30 – 11:30 30' pro Stud.	HIL E 33.1	2. Vorweisung ¹⁾
Di 10.05.11	14:45 – 17:00 20' pro Stud.	HIL E 36.1	2. Zwischenpräsentation ²⁾
Fr 27.05.11	08:30 – 11:30 30' pro Stud.	HIL E 33.1	3. Vorweisung ¹⁾
Mo 20.06.11	08:30 – 11:30 30' pro Stud.	HIL E 33.1	4. Vorweisung ¹⁾
Mi 29.06.11	14:00 – 16:45 25' pro Stud.	HIL E 36.1	Schlusspräsentation ²⁾ & Apéro
Mo 04.07.11	16:00	HIL E 34.2	Abgabe

¹⁾ Reihenfolge für die Vorweisungen: Michel Hinder (08:30 – 09:00), Thomas Gruber (09:00 – 09:30), 30 Min. Pause, Christian Steiner (10:00 – 10:30), Remo Vetter (10:30 – 11:00), Stefan Wassmer (11:00 – 11:30)

²⁾ Die definitive Reihenfolge für die Zwischen- sowie Schlusspräsentation(en) wird im Laufe des FS 2011 bekannt gegeben

5 BEILAGEN AUF CD-ROM

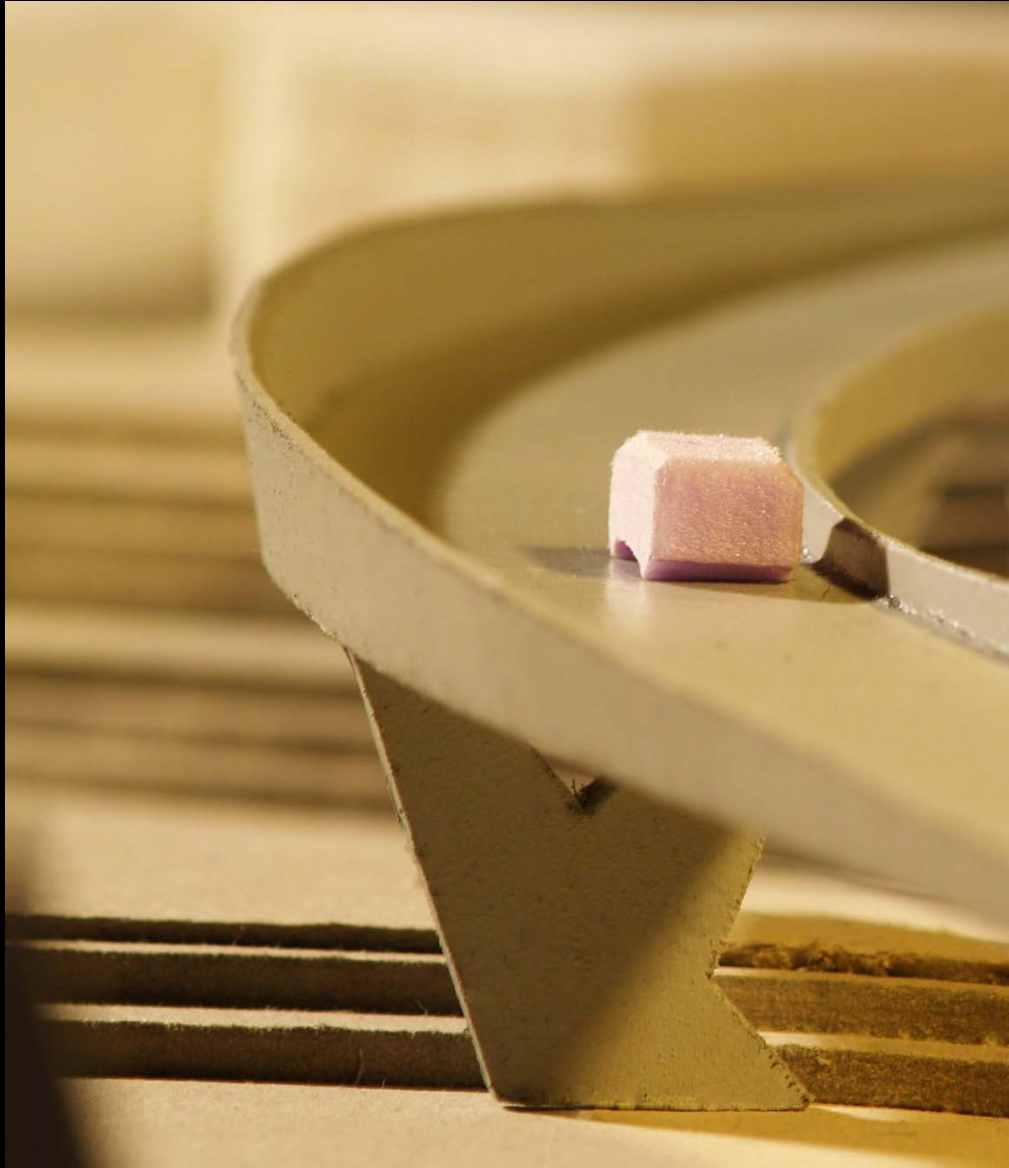
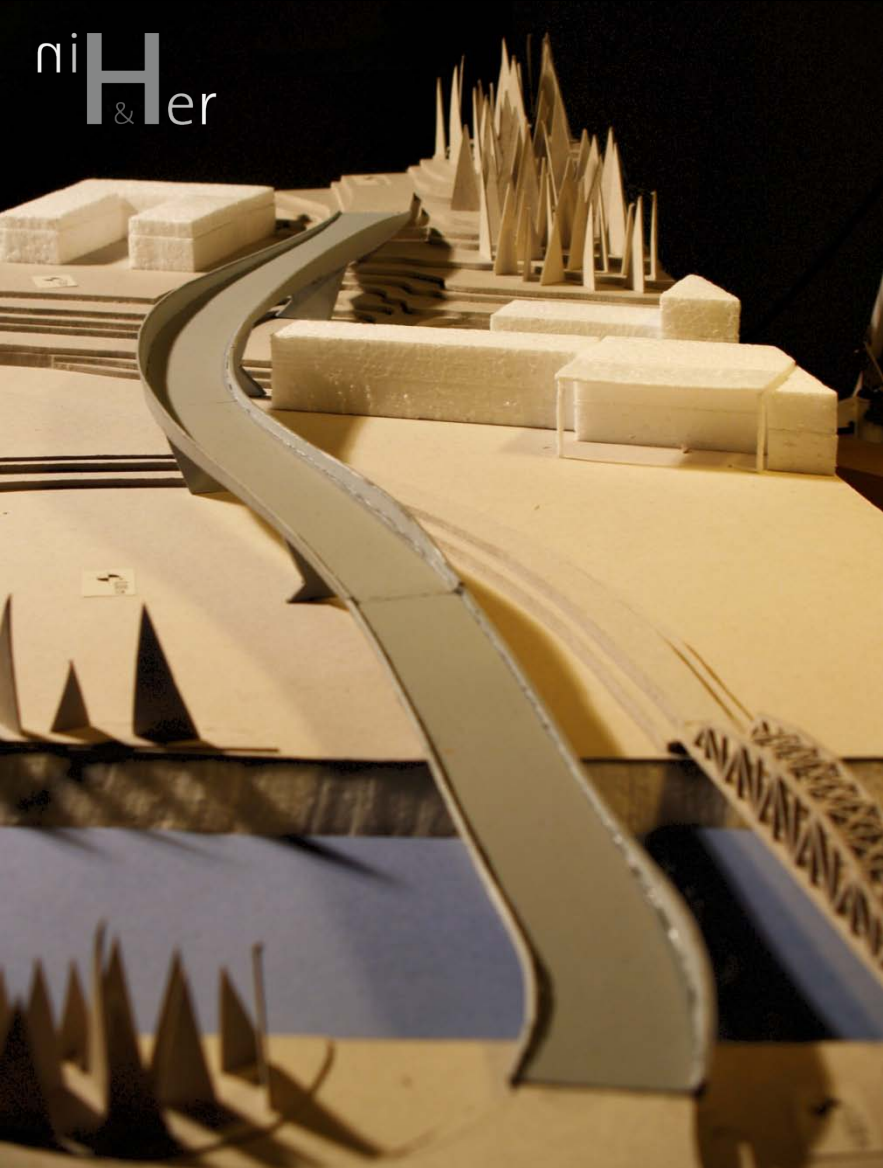
- Pläne Lugnezstrasse, Rheinbrücke Illanz West:
 - o Situation 1:500., Plan Nr.: 19.4493 (DWG-Format)
 - o Längenprofil 1:500 / 500, Plan Nr.: 19.4493. (DWG-Format)
- *Geologisch – geotechnischer Bericht*, Büro für Technische Geologie AG, Dr. T. Lardelli, Chur, 08.03.2002, Auftrag Nr.: 4778.

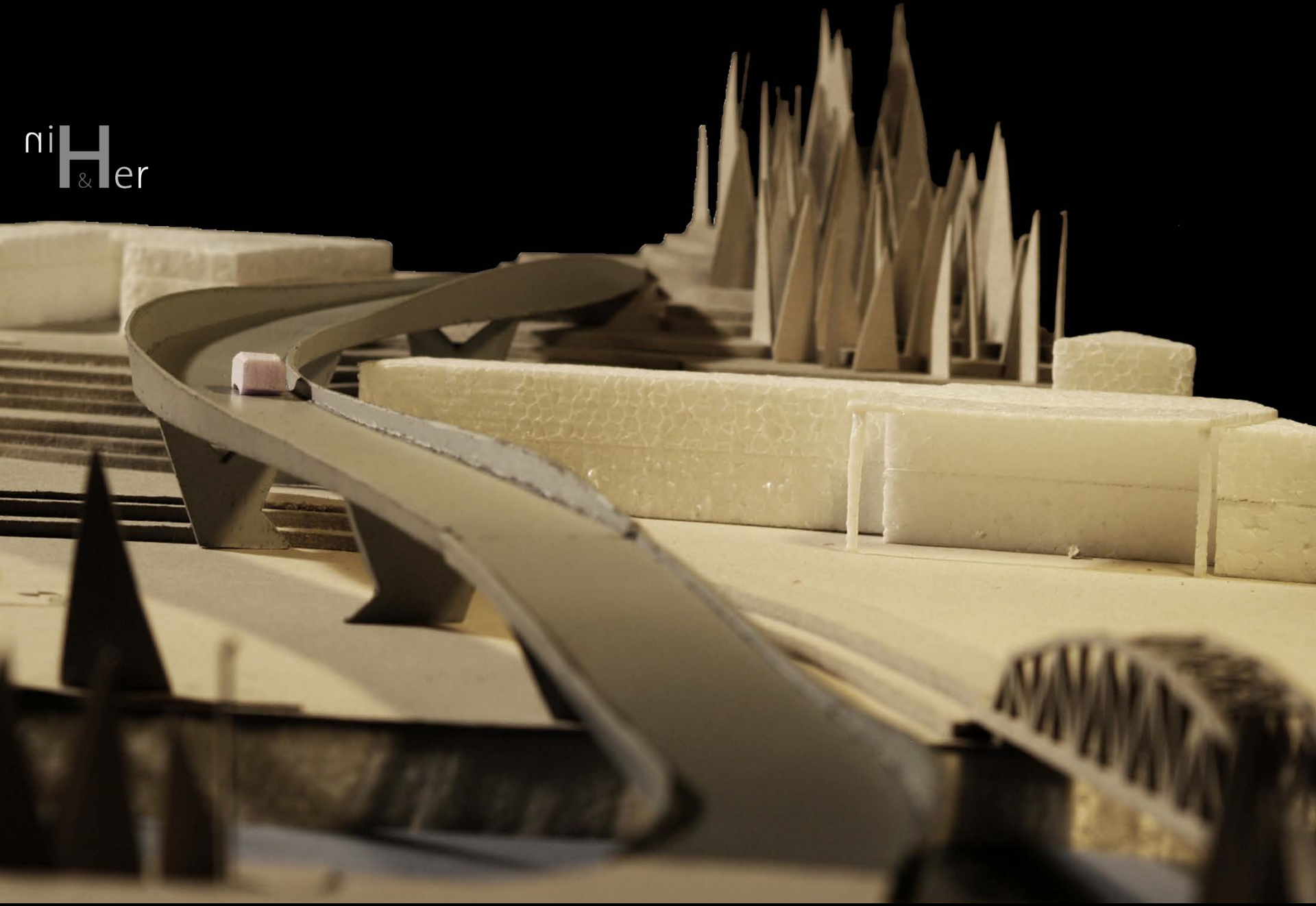
n i H & H er

MASTER-ARBEIT FS2011

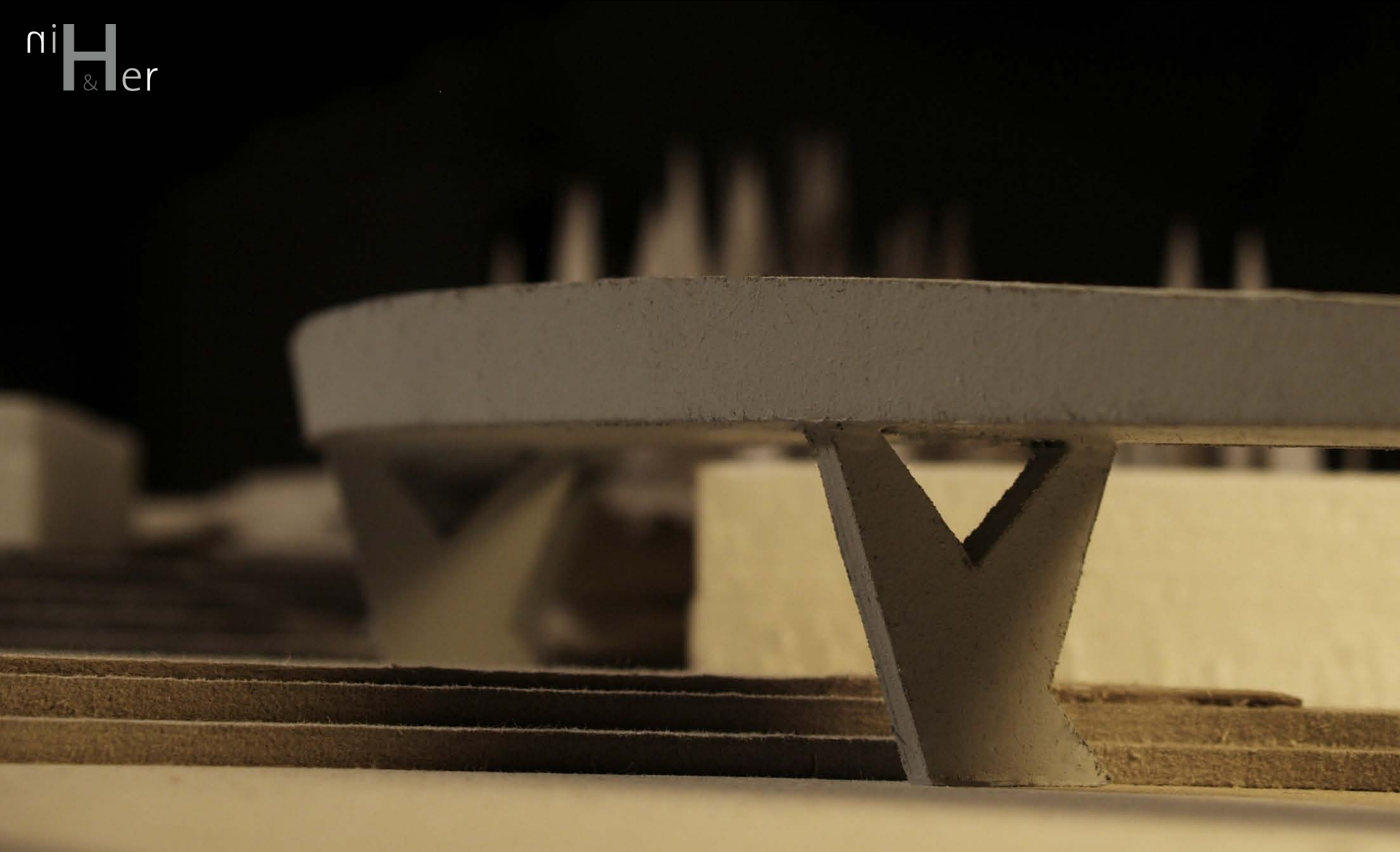
Thomas Gruber

niH
&er

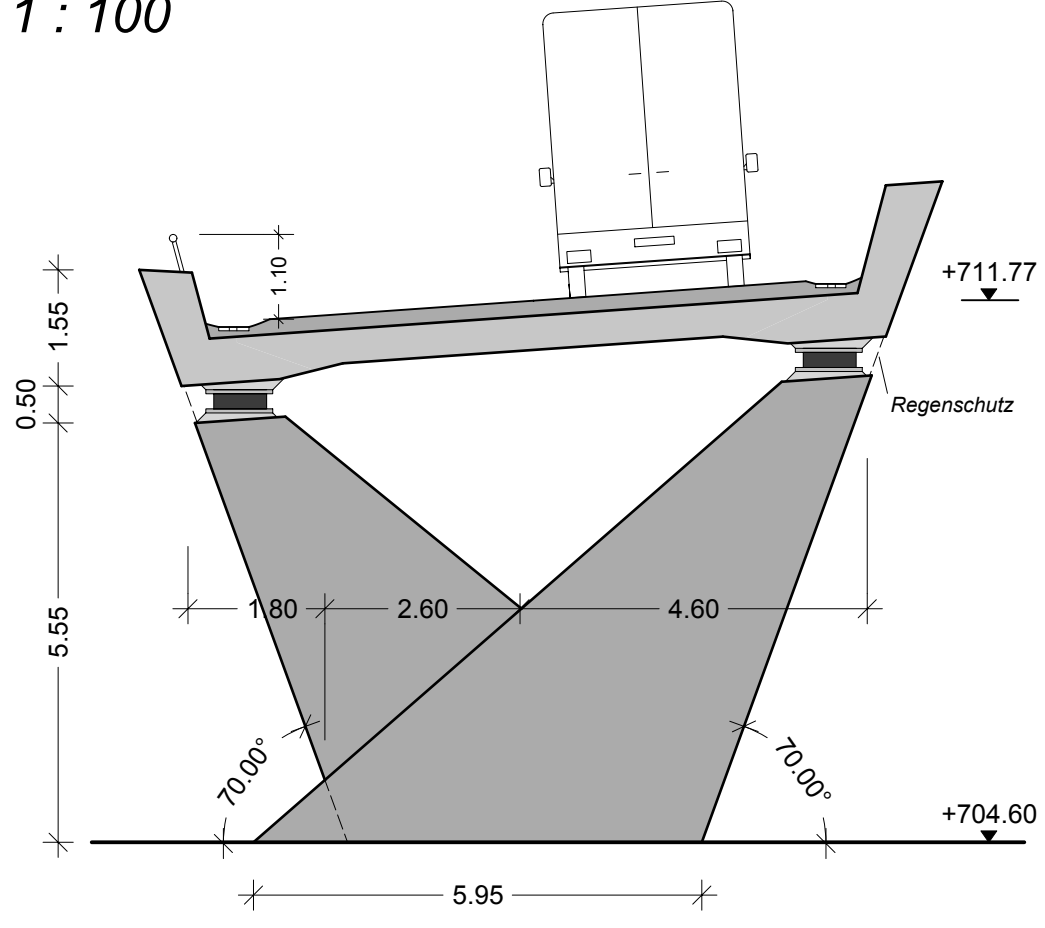




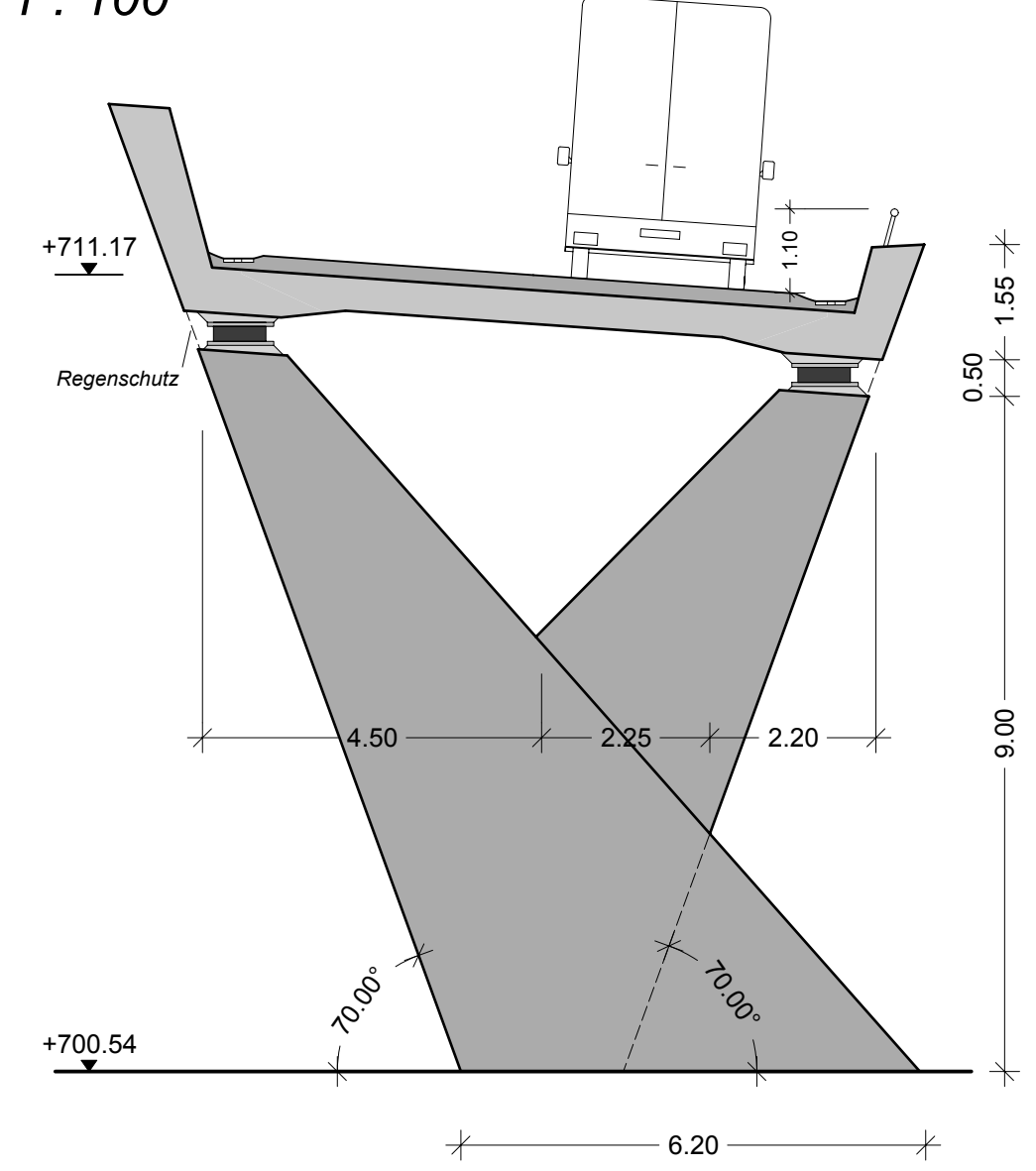




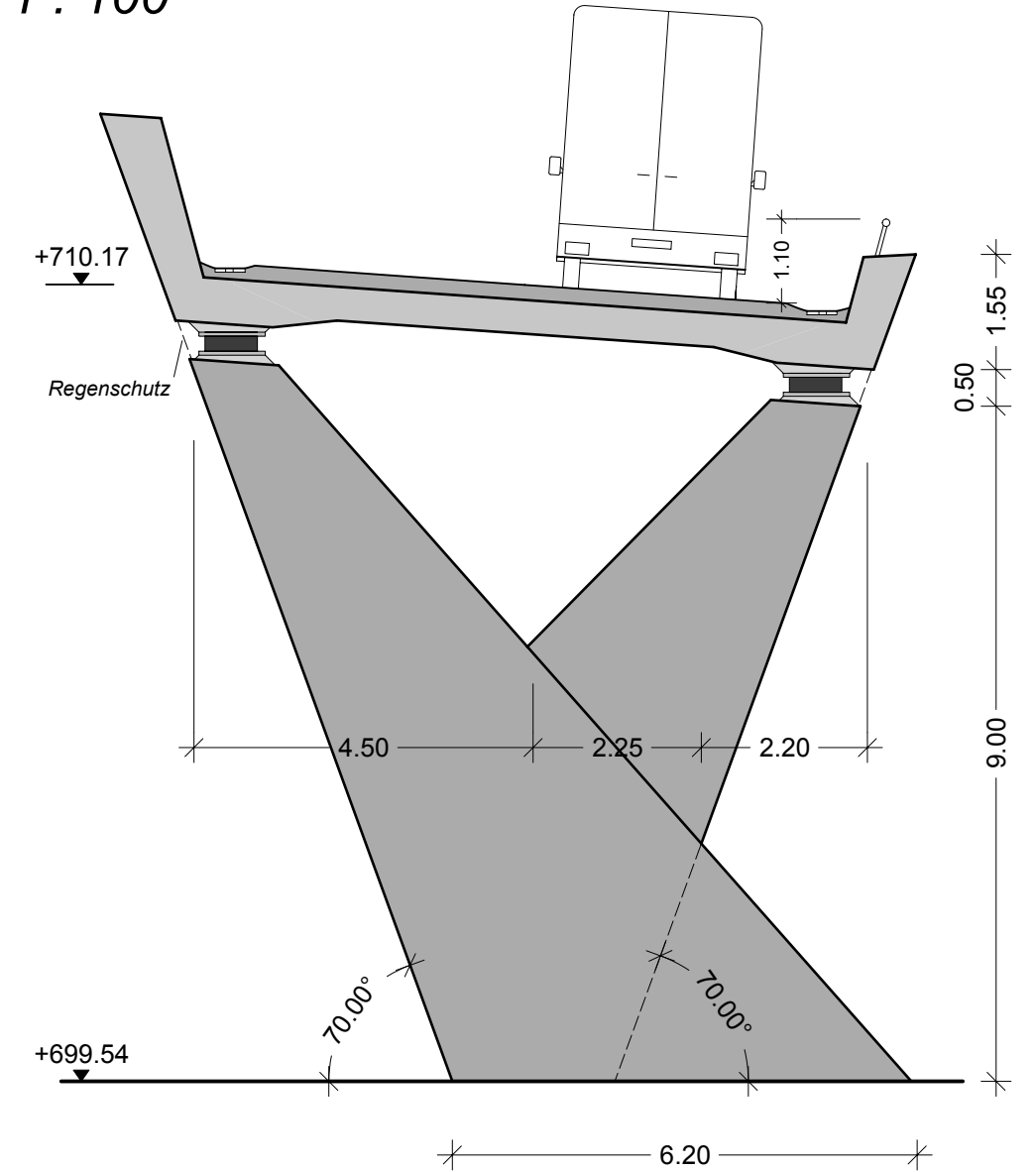
STÜTZE km0,270
M 1 : 100



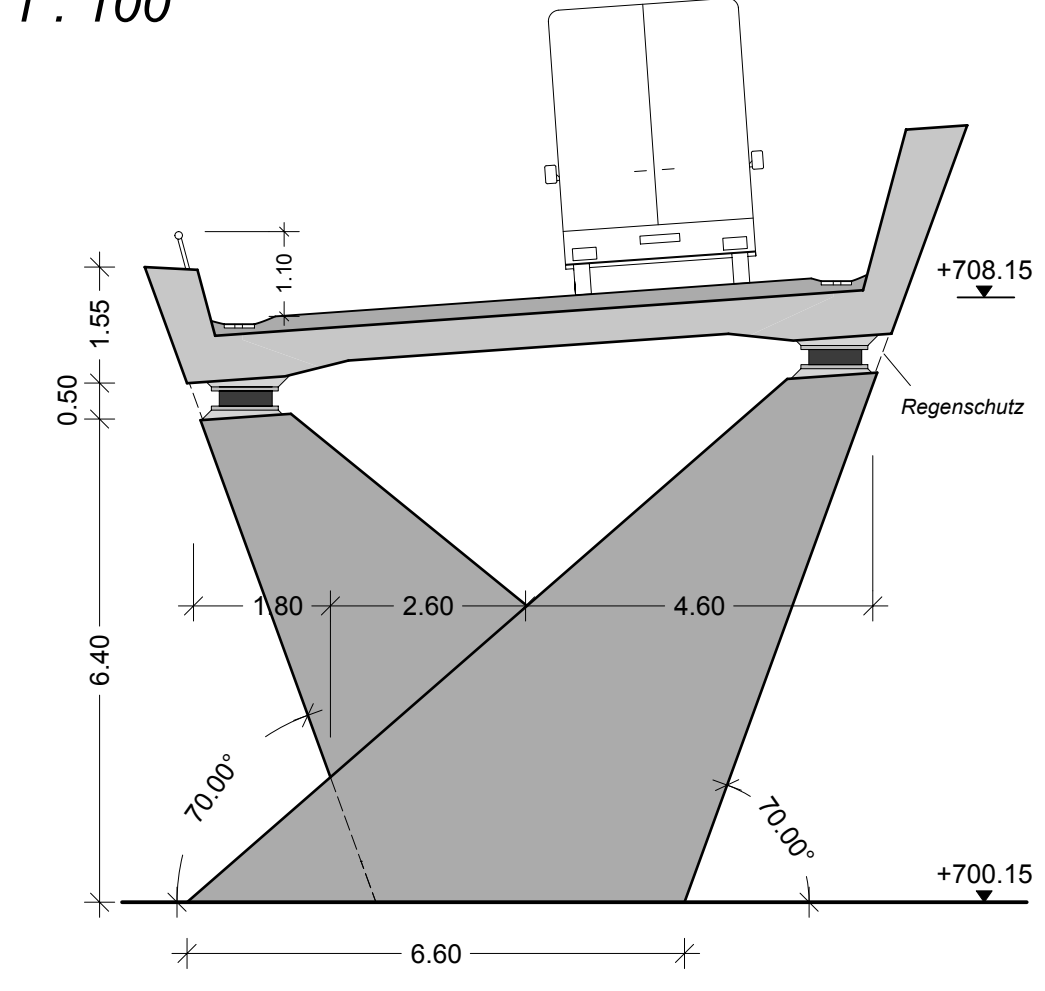
STÜTZE km0,235
M 1 : 100



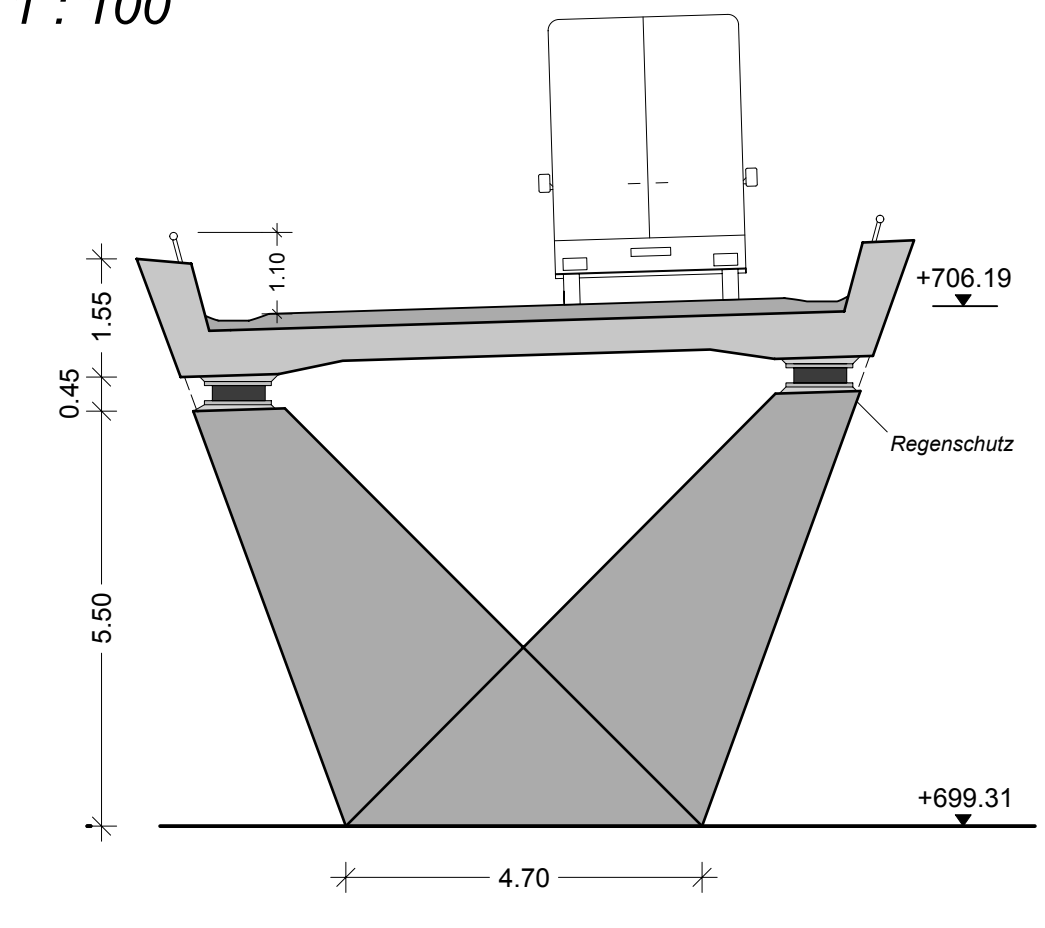
STÜTZE km0,190
M 1 : 100



STÜTZE km0,145
M 1 : 100

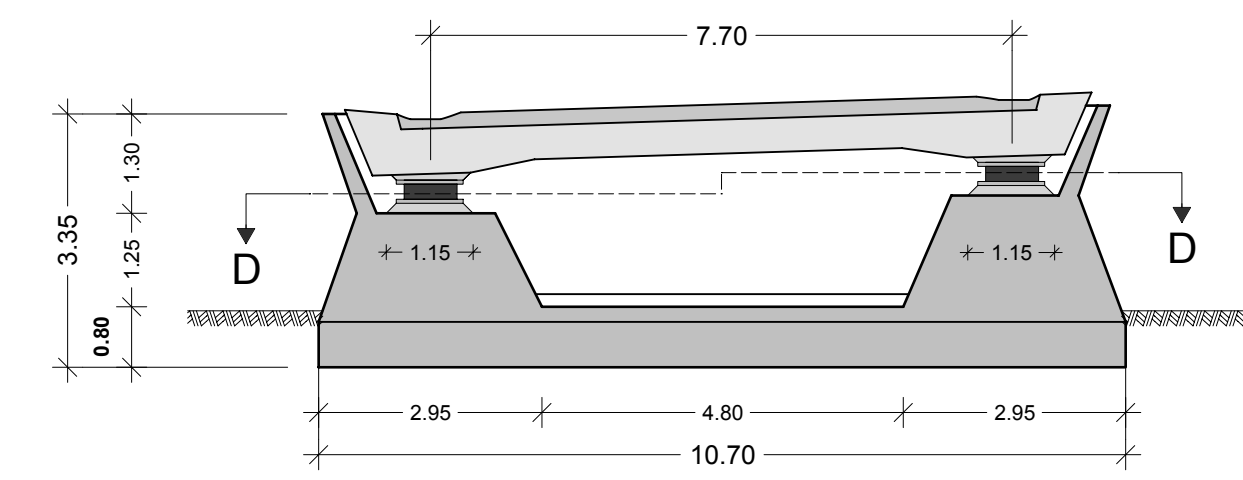


STÜTZE km0,100
M 1 : 100



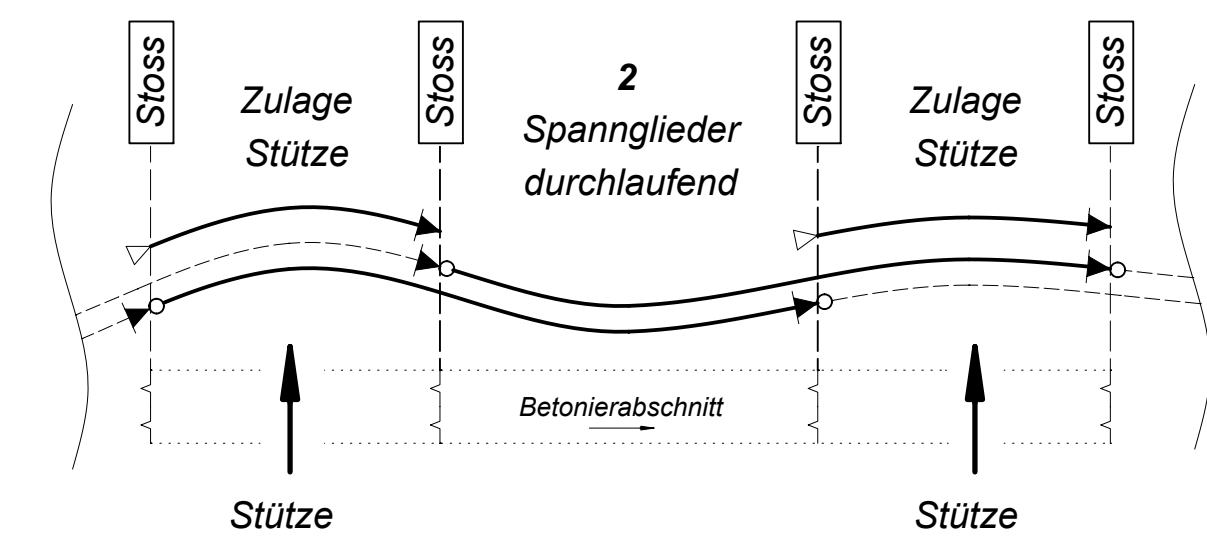
WIDERLAGER SÜD
M 1 : 100

QUERSCHNITT

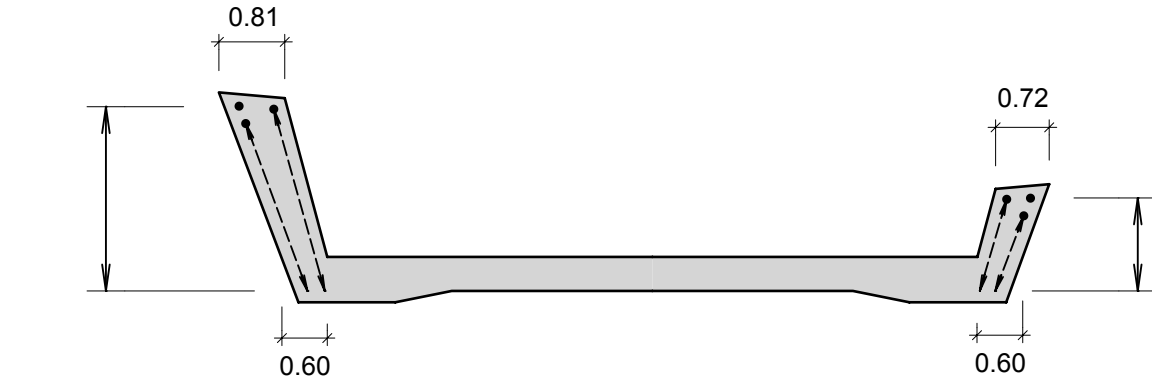


SPANNGLIEDFÜHRUNG
M 1 : 500

Fugen / Stösse

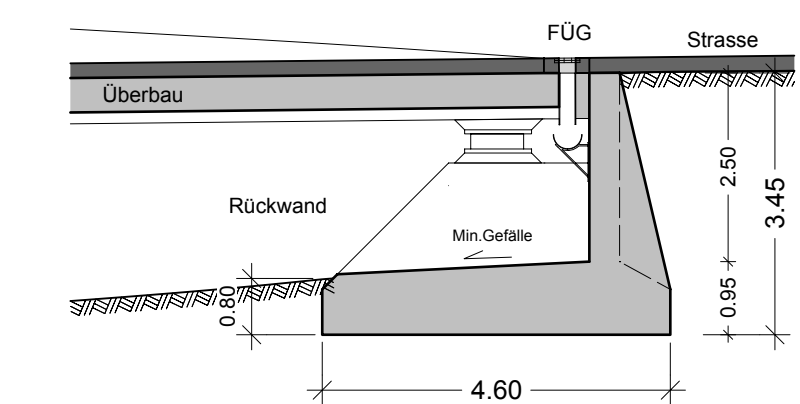


Verlauf im Querschnitt

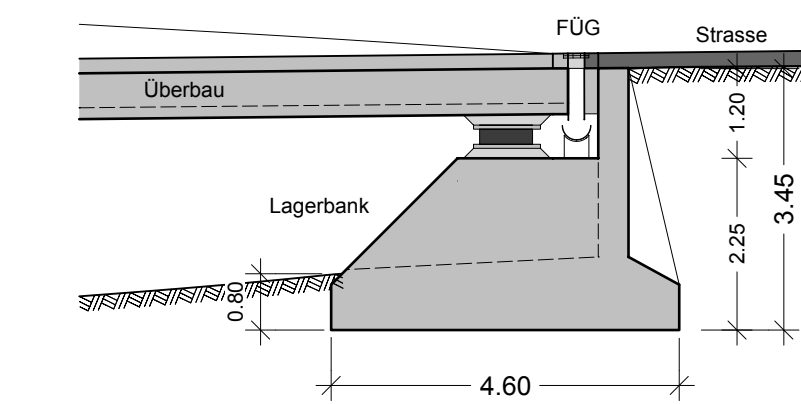


NEUBAU VORDERRHEINBRÜCKE - UMFABRUNG ILANZ WEST

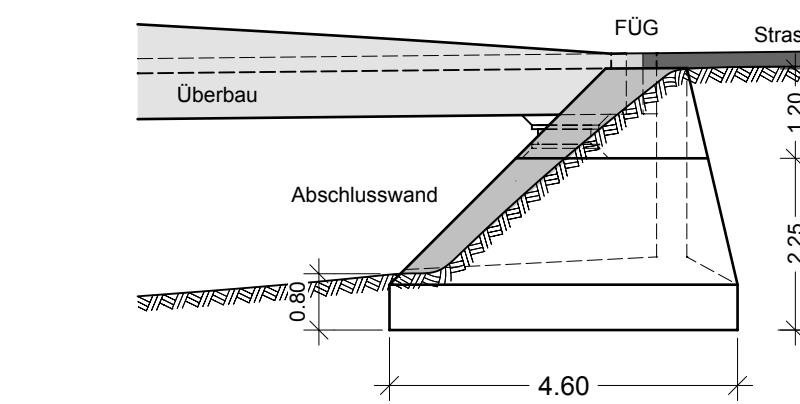
SCHNITT A - A



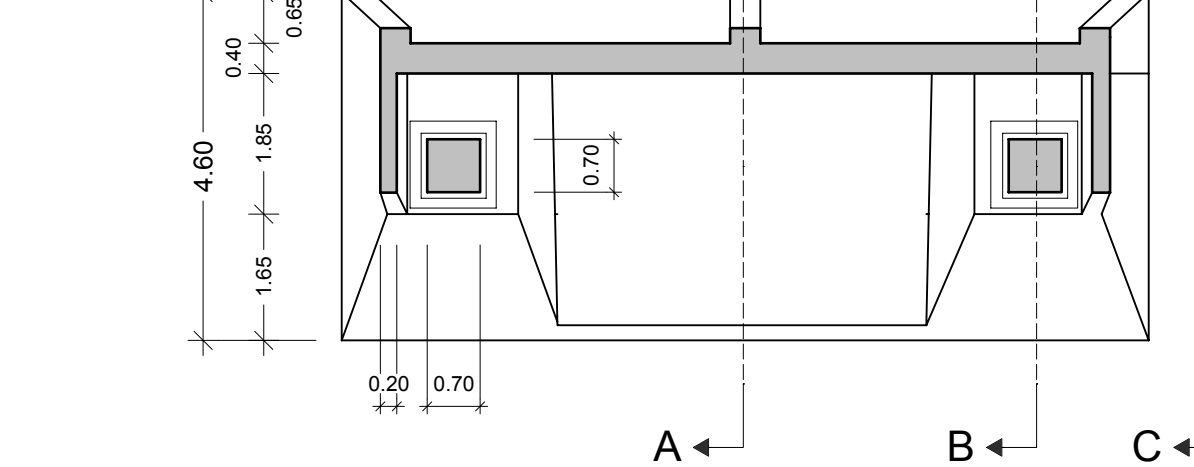
SCHNITT B - B



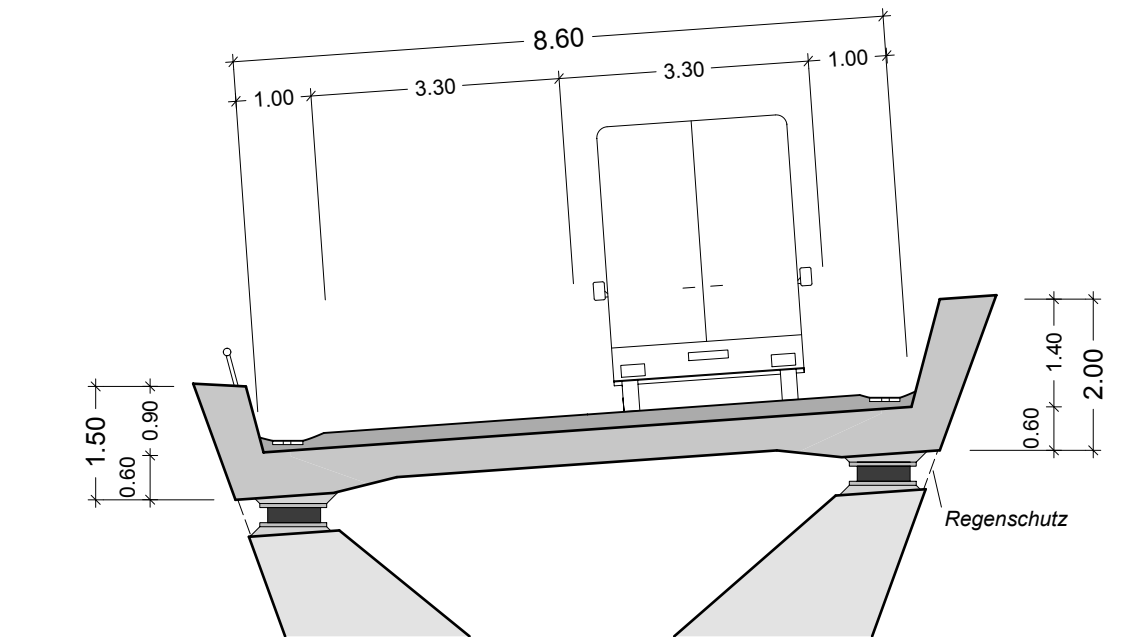
SCHNITT C - C
ANSICHT



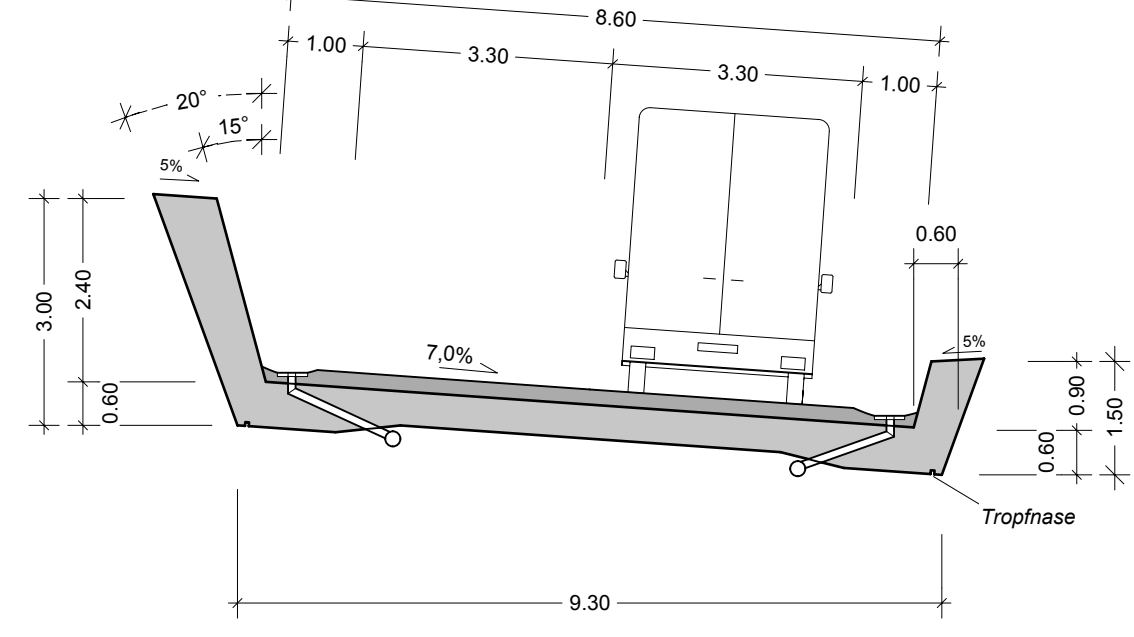
SCHNITT D - D
GRUNDRISS



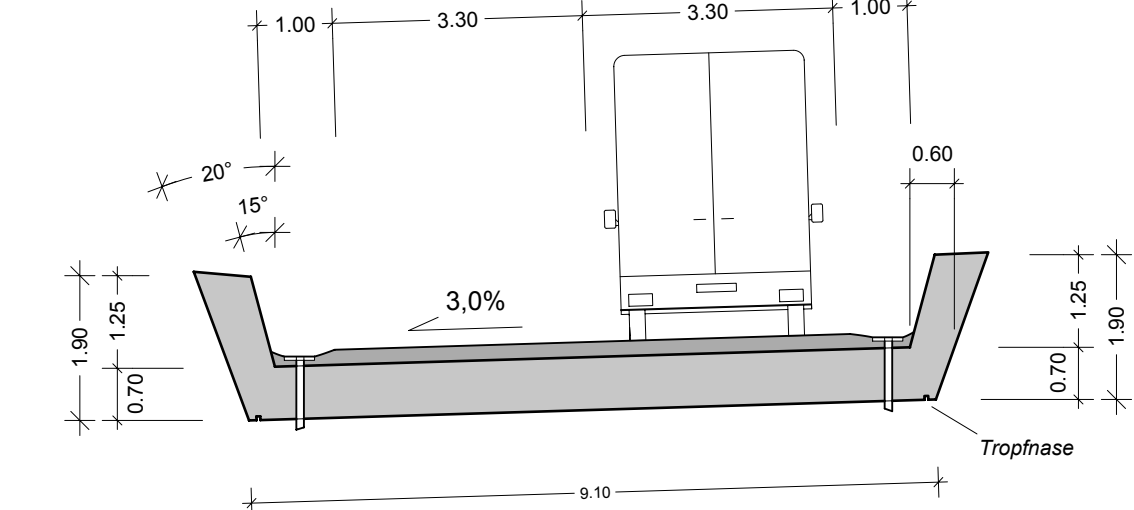
QUERSCHNITT km0,270
M 1 : 100



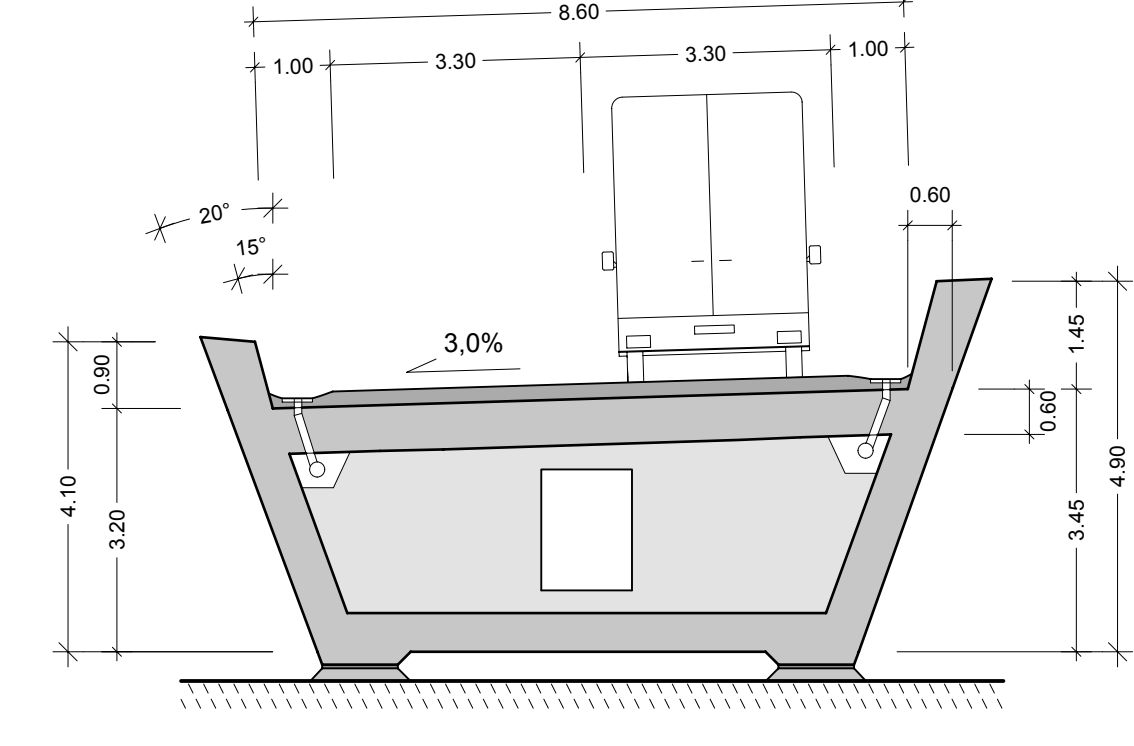
QUERSCHNITT km0,215
M 1 : 100



QUERSCHNITT km0,075
M 1 : 100



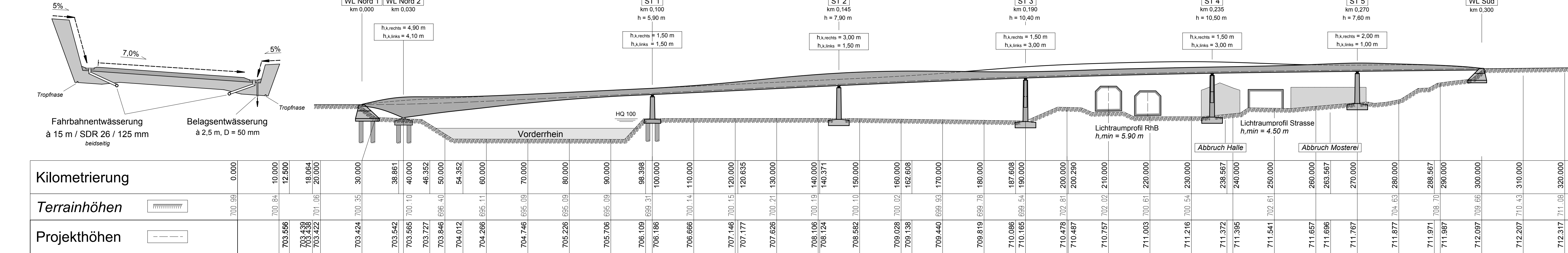
QUERSCHNITT km0,040
M 1 : 100



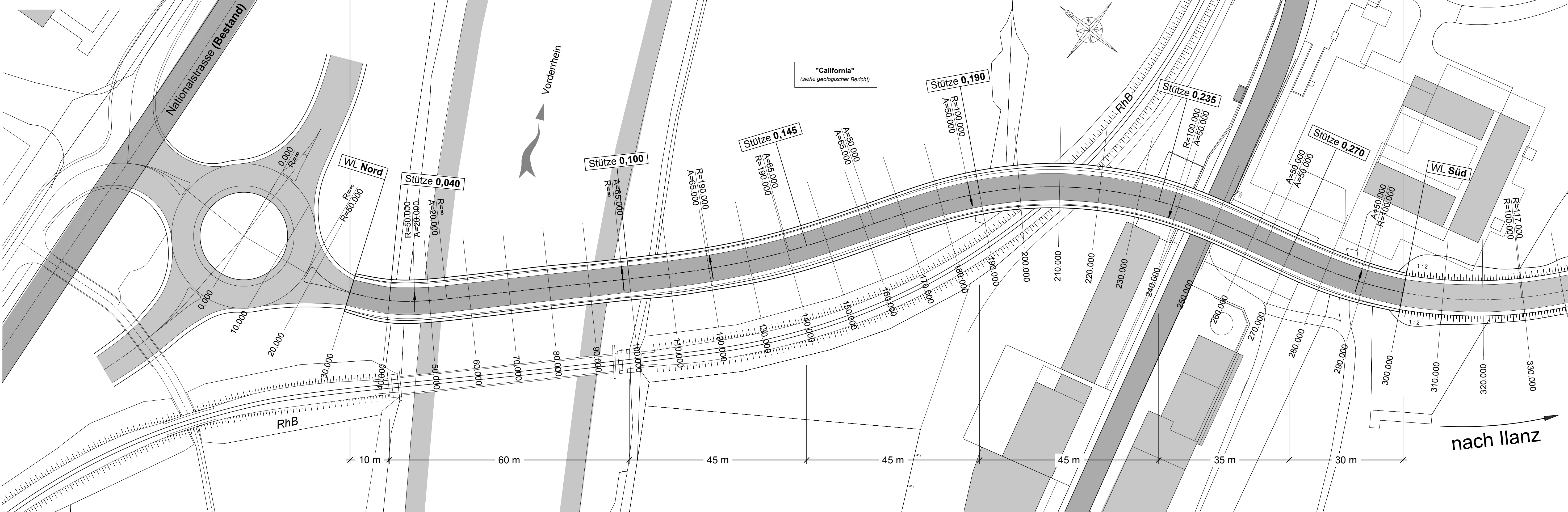
STATISCHES SYSTEM



LÄNGSSCHNITT
M 1 : 500



LAGEPLAN
M 1 : 500



MASTERARBEIT - SS-11

Projekt: Master-Arbeit SS-11, Neubau der Vorderrheinbrücke - Umfahrung Ilanz West
 Bauherr: Kanton Graubünden
 Prüfung: Prof. Thomas VOGEL
 Eidgenössische Technische Hochschule
 Betreuung: Georg KOCUR
 Entwurf / Tragwerksplanung: Thomas GRUBER

Baustoffe:
 Überbau: Beton: C35/45 XD3 XF2XF4
 Unterbau: Beton: C30/37 XF2XF4
 Baustahl: BSt 550
 Baustahl: BSt 550
 Spannstahl: Staniton System CONA
 Spannstahl: Staniton System CONA

Planinhalt:
 Lageplan M 1 : 500
 Längsschnitt M 1 : 500
 Statisches System M 1 : 500
 Spanngliederführung M 1 : 500
 Widerlager Süd M 1 : 100
 Stützen 0,100 - 0,270 M 1 : 100
 Querschnitte M 1 : 100

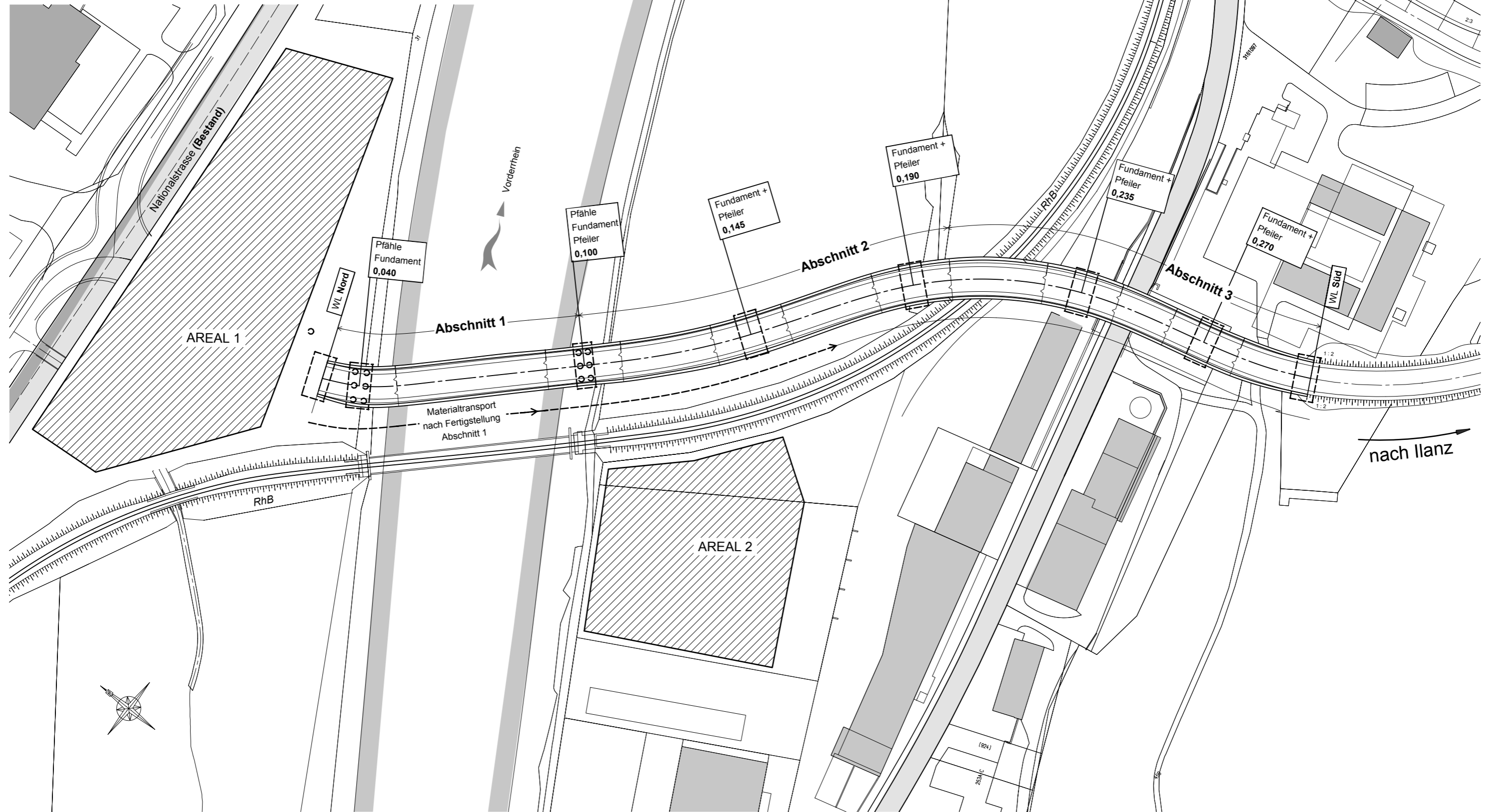
Form: A0
 Massstab: 1:100 / 1:500
 Datum: 23. Juni 2011
 Bearbeiter: TG
 Unterschrift: TG

Projekt Nr.: 2011-01
 Plan Nr.: 01
 Blatt: 01

BAUABLAUF

Lageplan

M 1 : 500



BAUABLAUF Lageplan

Randbedingungen

