

# **Verbundprojekt SKRIBT**

## **Schutz kritischer Brücken und Tunnel im Zuge von Straßen**

**Teilvorhaben:**

**Wirksame Schutzmaßnahmen  
und Bauwerksentwurf**



**Schlussbericht**

Gefördert durch:

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Berlin

Projekträger:

VDI Technologiezentrum GmbH, Düsseldorf

Projektausführung:

Schüßler-Plan Ingenieurgesellschaft mbH, Sankt-Franziskus-Straße 148, 40470 Düsseldorf

**Inhalt**

<b>1</b>	<b>Aufgabenstellung / Zielsetzung .....</b>	<b>4</b>	<b>8.4.2</b>	<b>Brücken-Unterbauten .....</b>	<b>22</b>
<b>2</b>	<b>Vorhabendurchführung .....</b>	<b>4</b>	<b>8.4.3</b>	<b>Tunnel.....</b>	<b>23</b>
<b>3</b>	<b>Ablauf des Vorhabens .....</b>	<b>5</b>	<b>8.5</b>	<b>Untersuchung der relevanten Bauteile .....</b>	<b>25</b>
<b>4</b>	<b>Status Quo .....</b>	<b>5</b>	<b>8.5.1</b>	<b>Allgemeines .....</b>	<b>25</b>
<b>5</b>	<b>Ist-Maßnahmen.....</b>	<b>6</b>	<b>8.5.2</b>	<b>Definition von Schädigungsgraden und –kategorien .....</b>	<b>25</b>
<b>5.1</b>	<b>Brücken .....</b>	<b>6</b>	<b>8.6</b>	<b>Ergebnis Schrägseilbrücke.....</b>	<b>27</b>
<b>5.1.1</b>	<b>Bauwerksprüfung .....</b>	<b>6</b>	<b>8.6.1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>27</b>
<b>5.1.2</b>	<b>Bauwerksmanagementsystem (BMS) .....</b>	<b>7</b>	<b>8.6.2</b>	<b>Stand der Forschung .....</b>	<b>27</b>
<b>5.2</b>	<b>Tunnel.....</b>	<b>9</b>	<b>8.6.3</b>	<b>Beschreibung der untersuchten Schrägseilbrücke .....</b>	<b>28</b>
<b>5.2.1</b>	<b>Bauwerksprüfung .....</b>	<b>9</b>	<b>8.6.4</b>	<b>Statische Voruntersuchung .....</b>	<b>29</b>
<b>5.2.2</b>	<b>Bauwerks-Management-System (BMS) .....</b>	<b>9</b>	<b>8.6.5</b>	<b>Dynamische Berechnung .....</b>	<b>30</b>
<b>6</b>	<b>Kategorisierung.....</b>	<b>9</b>	<b>8.6.6</b>	<b>Untersuchung zur Resttragfähigkeit.....</b>	<b>32</b>
<b>6.1</b>	<b>Brücke .....</b>	<b>9</b>	<b>8.6.7</b>	<b>Resttragfähigkeit unter Berücksichtigung des Seildurchhangs.....</b>	<b>33</b>
<b>6.2</b>	<b>Tunnel.....</b>	<b>12</b>	<b>8.6.8</b>	<b>Lokale Untersuchungen .....</b>	<b>35</b>
<b>7</b>	<b>Zusatzmaßnahmen.....</b>	<b>14</b>	<b>8.6.9</b>	<b>Analyse des Pylons .....</b>	<b>37</b>
<b>7.1</b>	<b>Bautechnische Zusatzmaßnahmen Brücken .....</b>	<b>14</b>	<b>8.6.10</b>	<b>Fazit .....</b>	<b>40</b>
<b>7.2</b>	<b>Bautechnische Zusatzmaßnahmen Tunnel.....</b>	<b>14</b>	<b>8.7</b>	<b>Ergebnis Rechteckttunnel .....</b>	<b>41</b>
<b>8</b>	<b>Ohne-Fall .....</b>	<b>14</b>	<b>8.7.1</b>	<b>Explosionsszenarien .....</b>	<b>41</b>
<b>8.1</b>	<b>Festlegung relevanter Szenarien.....</b>	<b>14</b>	<b>8.7.2</b>	<b>Ausgewählte Systeme .....</b>	<b>41</b>
<b>8.1.1</b>	<b>Randbedingungen.....</b>	<b>14</b>	<b>8.7.3</b>	<b>Berechnungsbeispiel – Regelquerschnitt in offener Bauweise.....</b>	<b>42</b>
<b>8.1.2</b>	<b>Auswahl der maßgebenden Szenarien.....</b>	<b>15</b>	<b>8.7.4</b>	<b>Hinweis zur Verallgemeinerung der Ergebnisse .....</b>	<b>46</b>
<b>8.2</b>	<b>Schwachstellenanalyse und Darstellung in Tabellenform.....</b>	<b>17</b>	<b>8.7.5</b>	<b>Grenzen der Anwendung von Berechnungen mit statischer Ersatzlast .....</b>	<b>46</b>
<b>8.3</b>	<b>Initialereignis Explosion .....</b>	<b>18</b>	<b>8.7.6</b>	<b>Strukturdynamische Vergleichsberechnung .....</b>	<b>47</b>
<b>8.3.1</b>	<b>Allgemeine Erkenntnisse zu explosionsartigen Einwirkungen.....</b>	<b>18</b>	<b>8.7.7</b>	<b>Fazit .....</b>	<b>48</b>
<b>8.3.2</b>	<b>Festlegung der Untersuchungsbasis für Tunnel .....</b>	<b>18</b>	<b>8.8</b>	<b>Ergebnisdarstellung .....</b>	<b>49</b>
<b>8.3.3</b>	<b>Ermittlung der relevanten Bauteile... ..</b>	<b>20</b>	<b>9</b>	<b>Mit-Fall.....</b>	<b>50</b>
<b>8.4</b>	<b>Auswahl typischer Abmessungen....</b>	<b>21</b>	<b>9.1</b>	<b>Allgemeines zur Maßnahmenauswahl .....</b>	<b>50</b>
<b>8.4.1</b>	<b>Brücken-Überbauten.....</b>	<b>21</b>			

9.2	Darstellung der ausgewählten Maßnahmen.....	50	Konstruktionsteile.....	84
9.2.1	Brücke .....	50	11.2.8 Sonstige Ausstattung und Einrichtungen .....	85
9.2.2	Tunnel.....	55	11.2.9 Herstellung, Bauzeit.....	85
9.3	Fortschreibung der Ausmaßdarstellung .....	60	11.2.10 Kosten .....	85
9.4	Wiederherstellungskosten .....	60	11.2.11 Schlussfolgerung .....	86
9.4.1	Ermittlung der Ausfallzeiten.....	60	11.3 Mit-Fall Nachrüstung .....	86
9.4.2	Berechnung der Wiederherstellungskosten .....	66	11.3.1 Allgemeines .....	86
9.5	Wirksamkeits-Kosten-Analyse.....	74	11.3.2 Umsetzbare Maßnahmen.....	86
9.6	Identifizierungsverfahren .....	74	11.3.3 Unterbauten .....	86
10	Gesamtübersicht.....	77	11.3.4 Überbau.....	87
11	Demonstration Bautechnik Brücke .....	77	11.3.5 Entwässerung.....	87
11.1	Ohne-Fall.....	77	11.3.6 Absturzsicherung, Schutzeinrichtung.....	87
11.1.1	Allgemeines .....	77	11.3.7 Zugänglichkeit der Konstruktionsteile.....	87
11.1.2	Bodenverhältnisse .....	78	11.3.8 Sonstige Ausstattung und Einrichtungen .....	87
11.1.3	Unterbauten .....	78	11.3.9 Herstellung, Bauzeit.....	88
11.1.4	Überbau .....	78	11.3.10 Kosten .....	88
11.1.5	Entwässerung .....	80	11.3.11 Schlussfolgerung .....	88
11.1.6	Absturzsicherung, Schutzeinrichtungen.....	81	11.4 Zusammenfassung - Fazit.....	88
11.1.7	Zugänglichkeit der Konstruktionsteile.....	81	12 Zielerreichung .....	89
11.1.8	Sonstige Ausstattung und Einrichtungen .....	81	13 Mittelverwendung.....	89
11.1.9	Herstellung, Bauzeit.....	81	13.1 Arbeitsaufwand .....	89
11.1.10	Kosten .....	82	13.2 Mittelverbrauch .....	90
11.2	Mit-Fall Neubau.....	82	14 Ergebnisverwertung.....	90
11.2.1	Allgemeines .....	82	15 Externe Vorhabensergebnisse.....	91
11.2.2	Umsetzbare Maßnahmen .....	82	16 Veröffentlichungen.....	91
11.2.3	Unterbauten .....	83	17 Literatur.....	93
11.2.4	Überbau .....	83	18 Anhang.....	95
11.2.5	Entwässerung .....	84		
11.2.6	Absturzsicherung, Schutzeinrichtungen.....	84		
11.2.7	Zugänglichkeit der			

## 1 Aufgabenstellung / Zielsetzung

Brücken- und Tunnelbauwerke stellen wichtige Elemente im Straßennetz dar, die auf Grund ihrer geografisch und topografisch bedingten Flaschenhalsfunktion innerhalb des Straßennetzes besonders gefährdete Elemente darstellen. Dem Schutz dieser Bauwerke im Hinblick auf zunehmende Bedrohungen durch Terrorakte, aber auch Gefährdungen durch Unfallereignisse sowie klimatische Veränderungen, kommt eine zentrale Bedeutung zu.

Der Ausfall einzelner Bauwerke kann, je nach Lage im Straßennetz, einen massiven und beträchtlichen volkswirtschaftlichen Schaden nach sich ziehen.

Das Ziel des Verbund-Projektes SKRIBT ist, für Brücken- und Tunnelbauwerke im Zuge von Straßen die möglichen Gefährdungen durch aktuelle und künftige Bedrohungsszenarien festzustellen und wirksame Schutzmaßnahmen dafür zu erarbeiten. Im Ergebnis soll die Verletzbarkeit der lebenswichtigen Straßeninfrastrukturen sowie deren Nutzer verringert werden.

Das Ziel des Teilvorhabens ist, für kritische Brücken und Tunnel anhand der zum Teil parallel durchgeführten Teilprojekte des Verbundprojektes wirksame Schutzmaßnahmen aufzubereiten und für Zielgruppen zu formulieren. Erwartet werden Erkenntnisse, die in die Weiterentwicklung technischer Regelwerke (z. B. DIN, ZTV) einfließen sollen. Darüber hinaus ist vorgesehen, z. B. Vorgehensbeschreibungen speziellen Zielgruppen an die Hand zu geben und Handlungsempfehlungen zu erarbeiten.

Zur Demonstration der Praxistauglichkeit werden die bautechnischen Schutzmaßnahmen anhand eines Bauwerksentwurfes untersucht und einer technischen und monetären Bewertung unterzogen.

Die Teilvorhaben-Bearbeitung stellt Bausteine zum Verbund-Projekt zur Verfügung. Hieraus folgt eine enge und intensive Zusammenarbeit mit den übrigen Projektpartnern. Diese sind:

Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt),  
Konsortialführer

Bundesamt für Bevölkerungsschutz und  
Katastrophenhilfe (BBK)

Fraunhofer Gesellschaft  
Ernst-Mach-Institut (EMI)

Hochtief PPP Solutions GmbH (Hochtief)

Planung Transport Verkehr AG (PTV)

Lehrstuhl für Tunnelbau, Leitungsbau und Baubetrieb (TLB), Ruhr-Universität Bochum

Siemens AG

Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren (ILEK), Universität Stuttgart

Lehrstuhl für Psychologie I, Universität Würzburg.

## 2 Vorhabendurchführung

Die interdisziplinäre Bearbeitung des Projektes SKRIBT wurde in logisch aufeinander aufbauende Arbeitspakete (AP) strukturiert, die im Überblick in der Abbildung 1 dargestellt sind.

Das Arbeitspaket 1 (AP 1) stellt anhand einer umfassenden Analyse die maßgeblichen Bedrohungen für alle weiteren Untersuchungen bereit. Es werden die resultierenden Gefährdungen für die Brücken- und Tunnelbauwerke, deren Nutzer und die Betriebs- und Rettungsdienste identifiziert und relevante Szenarien (Brand, Explosion, Kontamination, Naturereignisse und mechanische Ereignisse) formuliert.

Das parallel zu AP 1 bearbeitete Arbeitspaket 2 (AP 2) analysiert theoretisch und praktisch mögliche Schutzmaßnahmen zunächst ungeachtet deren Einsatz-Reifegrad. Im Ergebnis werden Kataloge für Brücken und Tunnel mit bautechnischen, betriebs-/sicherheitstechnischen sowie organisatorischen Maßnahmen bereitgestellt.

Das auf AP 1 und AP 2 aufbauende Arbeitspaket 3 (AP 3) arbeitet die Kriterien für kritische Bauwerke heraus. Es werden die Einwirkungen aus den relevanten Szenarien (AP 1) auf typisierte Bauwerke betrachtet und deren Schädigung / Widerstandsverhalten ermittelt. Im Ergebnis ergibt sich aus der Sensitivitätsbetrachtung der „Ohne-Fall“, d.h. die Schädigungsausmaßermittlung ohne die möglichen Gegenmaßnahmen, als Basis für die folgenden APs.

Das Arbeitspaket 4 (AP 4) ermittelt die Wirksamkeit der in AP 2 formulierten Maßnahmen. Dabei werden nur die nach derzeitigem Erkenntnisstand auch realisierungsfähigen vertieft betrachtet. Die Untersuchungen liefern den „Mit-Fall“, d. h. das veränderte Schädigungsausmaß unter Berücksichtigung der jeweiligen Maßnahme.

Darüber hinaus erfolgt in AP 4 die Betrachtung der volkswirtschaftlichen Folgekosten einer Bauwerksschädigung sowie eine Nutzen-Kosten-Betrachtung.

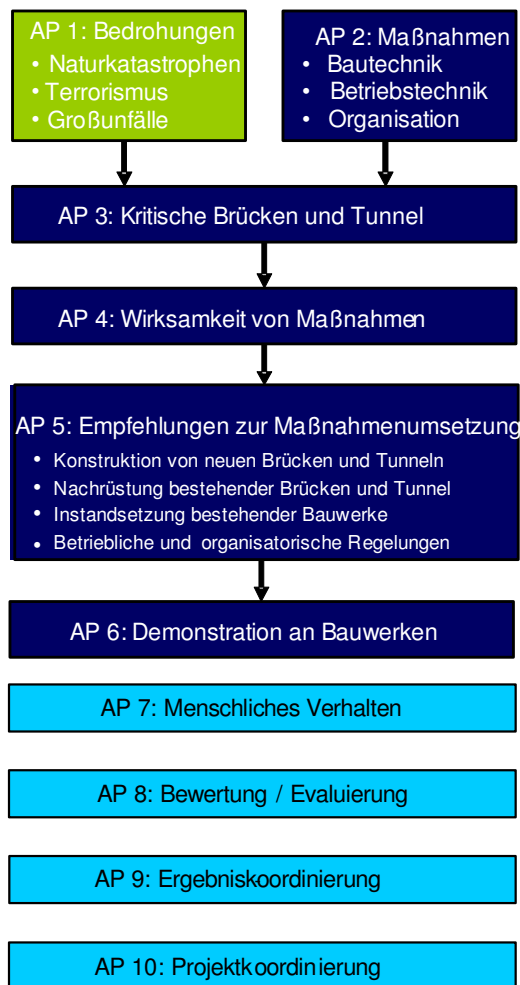


Abbildung 1: Struktur des SKRIBT-Projekts

Das Arbeitspaket 5 stellt die Zusammenführung der beiden AP 3 und AP 4 dar und formuliert als Resümee Empfehlungen für die Maßnahmenumsetzung getrennt für Brücken- und Tunnelbauwerke. Diese Empfehlungen werden dabei getrennt für die Zielgruppen

- Eigentümer
  - Betreiber und Operatoren
  - Rettungs- und Einsatzdienste
  - Nutzer
- dargestellt.

Das AP 6 demonstriert an ausgewählten Beispielen die Maßnahmenumsetzung. Die AP 7 bis 10 unterstützen als sog. Querschnittsarbeitspakete die Bearbeitung.

Schüler-Plan ist im Rahmen des Verbundprojektes in die Arbeitspakete AP2, AP3, AP4, AP5 und AP6 eingebunden.

### 3 Ablauf des Vorhabens

Das Verbundprojekt wurde am 12.3.2008 begonnen und analog der zum Projektbeginn entwickelten Ablaufplanung durchgeführt. Infolge der Ge-

gebenheiten aus der Projektbearbeitung wurde eine Fristverlängerung beantragt und genehmigt, so dass das Projekt gemäß Anhang 1 bis zum 31.7.2011 abgeschlossen werden konnte.

Am 3.11.2009 fand ein Meilenstein-Termin mit dem Projektträger VDI Technologiezentrum GmbH, Düsseldorf, beim Projektpartner Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe BBK in Bonn statt, auf dem der erreichte Projekt-Zwischenstand im Einzelnen vorgestellt wurde.

## 4 Status Quo

In Deutschland existiert ein gewisses Sicherheitsniveau, das bereits durch Konstruktionsvorgaben der Bauwerke, durch sicherheitstechnische Anforderungen an die Auslegung und den Betrieb der Bauwerke sowie durch betriebsorganisatorische Vorgaben gewährleistet wird.

Diese bestehenden Vorgaben stellen die Basis für die Untersuchungen im Rahmen des SKRIBT-Projektes dar. Insbesondere im Bereich der Verkehrssicherheit der Tunnelbauwerke (Safety) hat es in Deutschland bzw. in Europa aufgrund der Tunnelunglücke in den Jahren 1999-2001 einen regelrechten Entwicklungsschub gegeben, der zu weit reichenden Maßnahmen sowohl betriebstechnischer als auch konstruktiver Art geführt hat. Diese Basis des Sicherheitsniveaus ist im Detail in [1] dargestellt, um darauf aufbauend solche neuen Schutzmaßnahmen erarbeiten zu können, die bislang nicht zu den Regelausführungen zählen und den Bedrohungsszenarien gerecht werden können.

Eine wesentliche Bearbeitungsgrundlage stellt der derzeitige Bestand an Brücken- und Tunnelbauwerken auf Bundesfernstraßen dar. Hierbei wird sowohl nach Bauwerksfunktion und -größe als auch nach der Bauweise unterschieden.

Im Ergebnis spiegelt der Bestand die Gesamtheit der möglichen Baukonstruktionen wider.

Ebenfalls in [1] ist die aktuelle Regelwerkslage auf nationaler wie auf internationaler Ebene wiedergegeben. Den aufgeführten Normen, Richtlinien und Leitfäden ist gemein, dass sie den Schutz von Bauwerken, beispielsweise durch Bemessungsvorgaben oder technische Anforderungen, thematisieren. Für den nationalen Bereich ist die Auflistung zum aktuellen Zeitpunkt nahezu vollständig abgebildet. Die Betrachtung internationaler Vorgaben beschränkt sich ohne Anspruch auf Vollständigkeit auf den angelsächsischen Sprachraum. Richtlinien der Europäischen Union mit dem Ziel, diese in nationale Bestimmungen umzusetzen, sind, soweit thematisch von Interesse, ebenfalls aufgeführt.

Zusammenfassend werden abschließend in [1] auf der Grundlage der nationalen Regelwerke und

dem derzeitigen Stand der Technik Erläuterungen des heutigen „Ist-Zustandes“ gegeben.

Der Gesamtzusammenhang ergibt sich aus Abbildung 2.

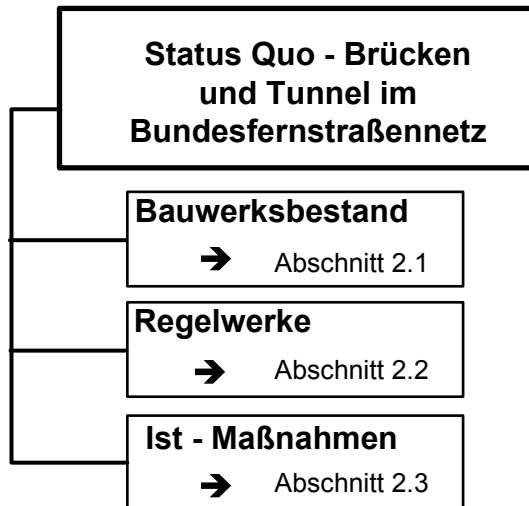


Abbildung 2: Übersicht Status Quo nach [1]

Bei der Vorhabendurchführung wurden keine bestehenden Schutzrechte berührt. Bei der Recherche wurden die üblichen Quellen, wie z. B. Vorschriften-Datenbanken oder das Internet, herangezogen.

## 5 Ist-Maßnahmen

### 5.1 Brücken

#### 5.1.1 Bauwerksprüfung

Alle Brücken und sonstigen Ingenieurbauwerke werden in Deutschland zum Funktionserhalt in regelmäßigen Abständen auf Schäden hin geprüft. In der DIN 1076 [2] ist die Bauwerksüberprüfung im Hinblick auf die Standsicherheit, Verkehrssicherheit sowie die Dauerhaftigkeit geregelt. Durch die regelmäßigen Prüfungen sollen eingetretene Mängel und Schäden rechtzeitig erkannt, bewertet und geeignete Maßnahmen zur Behebung so zügig ergriffen werden, dass keine größeren Schäden entstehen.

Die Grundlage für die Bauwerksprüfungen ist im Wesentlichen das Bauwerksbuch, welches mit dem Neubau einer Brücke angelegt wird und die wichtigsten Bauwerksdaten enthält. Alle 3 Jahre erfolgt eine so genannte Einfache Prüfung und alle 6 Jahre ist die so genannte Hauptprüfung durchzuführen. Bei Unfällen oder sonstigen unvorhergesehenen Ereignissen erfolgt eine Sonderprüfung.

Zur Vereinheitlichung der Bauwerksprüfung und deren Auswertung ist die RI-EBW-PRÜF [3] bundesweit eingeführt. Sie regelt, welche Angaben zu Schäden und Mängeln erforderlich sind. Ferner werden vom Bauwerksprüfer Empfehlungen zur Bauwerkserhaltung abverlangt und er hat eine Schadensbewertung vorzunehmen.

Verbindlich wird in der EBW-PRÜF auch der Einsatz bzw. die Verwendung des EDV-Paketes SIB-Bauwerke [4] (Abbildung 3) festgelegt.



Abbildung 3: Übersicht SIB-Bauwerke

Mit diesem IT-Werkzeug werden

- die Bauwerksbücher einheitlich erstellt,
- die Schäden einheitlich erfasst,
- die Mängel und empfohlenen Erhaltungsmaßnahmen verschlüsselt
- für die geprüfte Brücke eine individuelle Zustandskote errechnet,
- Auswerte- und Verwaltungsmodule für die übergeordnete Bauwerksverwaltung zur Verfügung gestellt und
- alle Bauwerksdaten und Prüfergebnisse kompatibel für übergeordnete Systeme bereitgestellt.

Zur Verwaltung der ca. 9500 km Bundesautobahnen, Bundes- und Landstraßen ist in Deutschland die Straßeninformationsbank als Basisinformationssystem für straßenbezogene Daten eingeführt. Mit den gespeicherten Daten werden die Prozesse der Straßen- und Verkehrsplanung, das Unterhaltungsmanagement, die Straßenunterhaltung und der Straßenbau gesteuert sowie verwaltungsrechtliche Fragestellungen beantwortet.

Für Ingenieurbauwerke im Zuge o. g. Straßen besteht das Teilsystem Bauwerksdaten, das in der Anweisung Straßeninformationsbank Bauwerksdaten [5] umrissen ist. In Abbildung 4 ist die Einbettung in die globale Struktur skizziert.

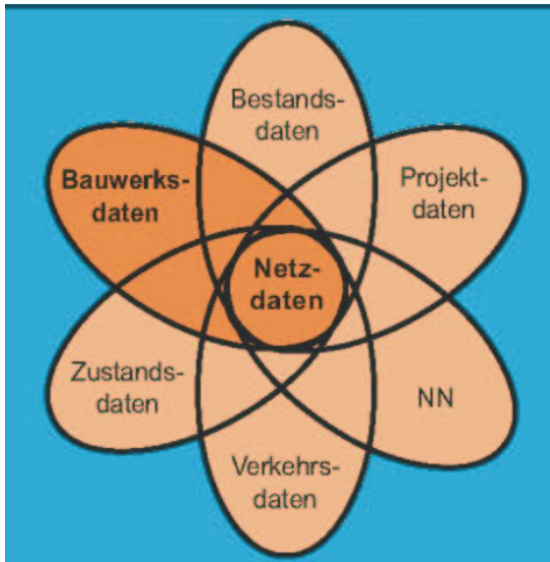


Abbildung 4: ASB-ING

Weitere Teilsysteme der Straßeninformationsbank sind

- Bestandsdaten
- Ausstattungsdaten
- Verkehrsdaten
- Zustandsdaten (Straßen)
- Projektdaten
- Sonstige Infrastruktur
- Umweltbelange

Mit den Informationen, die nach ASB-ING gespeichert sind / werden, erhalten die Straßenbauverwaltungen des Bundes und der Länder alle Informationen zum Bestand und zum aktuellen Zustand der Ingenieurbauwerke, die als Grundlage für haushalts-, bau- und verkehrstechnische Entscheidungen benötigt werden. Um dies sicherzustellen, werden die Konstruktions- (Bauwerksbuch) und Zustandsdaten der Bauwerke (Bauwerksprüfung) bundeseinheitlich erfasst und verwaltet. Dies geschieht nach einem festgelegten Ordnungssystem, so dass datenbankmäßige Anforderungen sichergestellt sind.

Die Ergebnisse der Bauwerksprüfungen nach der RI-EBW-PRÜF werden als Gesamtheit ständig aktuell vorgehalten und permanent aktualisiert. Mit dem System sind IT-gestützt auf einfache Art und Weise Auswertungen nach verschiedensten Anforderungen möglich. Ein wesentliches Ziel nach ASB-ING ist aber die Bereitstellung der

Bauwerksdaten (Konstruktions- und Zustandsdaten) als Grundlage für ein Bauwerksmanagement-System.

### 5.1.2 Bauwerksmanagementsystem (BMS)

Seit Anfang 1998 befindet sich ein Bauwerksmanagementsystem im Aufbau. Dieses ist in Stufen zeitlich gestaffelt und innerhalb der Bearbeitungsstufen modular konzipiert [6], [7], [8], [9]. Die wesentlichen Ziele des BMS sind

- die Schaffung eines aktuellen bundesweiten Überblicks über den Bauwerksbestand,
- Aussagen über den bundesweiten Finanzbedarf für die Bauwerksunterhaltung zu erhalten und
- Strategien, langfristige Ziele sowie Rahmenbedingungen für die Erhaltungspraxis zu formulieren (optimierte Erhaltungsplanung).

Der dazu erforderliche Aufbau auf der Objekt- sowie der Netzebene ist in Abbildung 5 dargestellt.

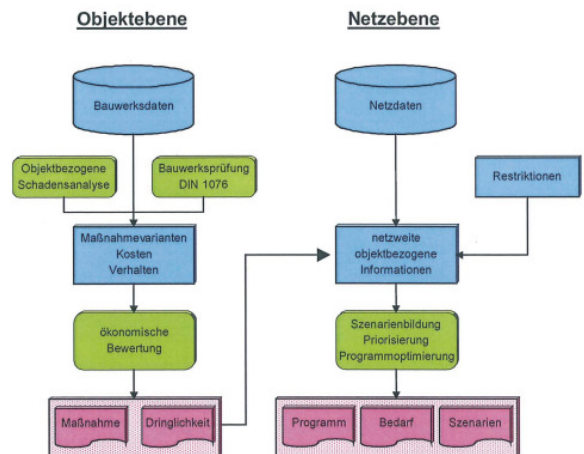


Abbildung 5: Aufbau Bauwerksmanagementsystem [7]

Die Bearbeitungsstufen 0 bis 3 des BMS – d. h. von den Grundlagen bis zur Bewertung auf der Netzebene – sind bislang fertig gestellt, die Stufe 4 – die IT-Realisierung – steht noch aus [8].

Im Bearbeitungsmodul 4 (vgl. Abbildung 6) wurde ein Maßnahmenkatalog entwickelt und die Verknüpfung von Maßnahmen zu Schäden erarbeitet.

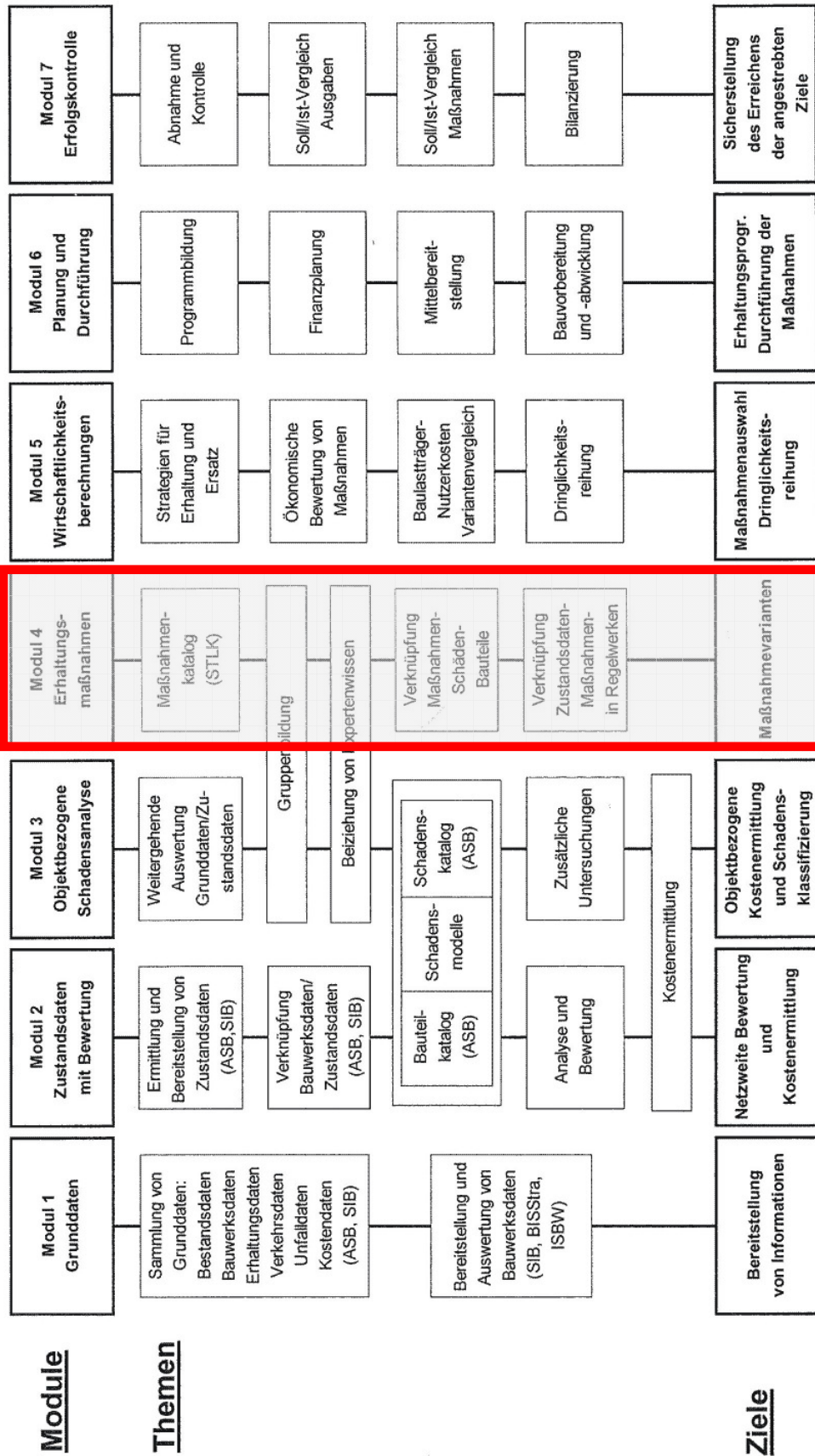


Abbildung 6: BMS-Module nach [7]



Der Maßnahmenkatalog orientiert sich in seinem Aufbau an die Schadensbeispiele nach RI-EBW-PRÜF. Inhaltlich beziehen sich die in [9] dargestellten Maßnahmen im Wesentlichen auf die Instand-

setzung von Oberflächen und schadhafter Bauteile, Verstärkungen und Ersatzmaßnahmen. Die Gliederung für Brücken und Tunnel ist in Abbildung 7 ersichtlich.

<b>1</b>	<b>Überbau</b>	<b>2</b>	<b>Unterbau / Stützbauwerke</b>
<b>1.1</b>	<b>Stahlbeton- / Spannbetonüberbau</b>	<b>2.1</b>	<b>Betonunterbau und -stützbauwerke</b>
1.1.1	Betoninstandsetzung	2.1.1	Betoninstandsetzung
1.1.2	Risseinstandsetzung	2.1.2	Risseinstandsetzung
1.1.3	Verstärkung	2.1.3	Verstärkung
1.1.4	Ersatz	<b>2.2</b>	<b>Stahlunterbau und -stützenbauwerke</b>
<b>1.2</b>	<b>Stahlüberbau</b>	2.2.1	Korrosionsschutzarbeiten
1.2.1	Korrosionsschutzarbeiten	2.2.2	Instandsetzung
1.2.2	Instandsetzung	2.2.3	Verstärkung
1.2.3	Verstärkung	<b>2.3</b>	<b>Mauerwerksunterbau und -stützenbauwerke</b>
1.2.4	Ersatz	2.3.1	Instandsetzung
<b>1.3</b>	<b>Verbundüberbau</b>	2.3.2	Verstärkung
1.3.1	Betongurt	<b>3</b>	<b>Tunnel / Trogbauwerke</b>
1.3.1.1	Betoninstandsetzung	<b>3.1</b>	<b>Betoninstandsetzung</b>
1.3.1.2	Risseinstandsetzung	<b>3.2</b>	<b>Risseinstandsetzung</b>
1.3.1.3	Verstärkung	<b>3.3</b>	<b>Verstärkung</b>
1.3.1.4	Ersatz	<b>4</b>	<b>Vorspannung</b>
1.3.2	Stahlgurt	<b>4.1</b>	<b>Instandsetzung</b>
1.3.2.1	Korrosionsschutzarbeiten	<b>4.2</b>	<b>Ersatz</b>
1.3.2.2	Instandsetzung	<b>5</b>	<b>Gründung, Böschung und Gelände</b>
1.3.2.3	Verstärkung	<b>5.1</b>	<b>Instandsetzung</b>
1.3.2.4	Ersatz	<b>6</b>	<b>Brückenseile und -Kabel</b>
<b>1.4</b>	<b>Mauerwerksüberbau</b>	<b>6.1</b>	<b>Instandsetzung</b>
1.4.1	Instandsetzung	<b>6.2</b>	<b>Ersatz</b>
1.4.2	Verstärkung		
1.4.3	Ersatz		

Abbildung 7: Gliederung BMS-Maßnahmenkatalog für Brücken / Tunnel

## 5.2 Tunnel

### 5.2.1 Bauwerksprüfung

Für Tunnelbauwerke im Zuge von Straßen gelten die gleichen Prüfvorschriften wie für Brücken. Die Ausführungen unter Ziffer 5.1.1 gelten auch für Tunnelbauwerke.

### 5.2.2 Bauwerks-Management-System (BMS)

Hierzu siehe Ziffer 5.1.2.

## 6 Kategorisierung

Für die zu entwickelnden Maßnahmen ist es notwendig, die Vielzahl bestehender und künftiger Bauwerke in repräsentative Kategorien für Brücken und Tunnel zu bündeln.

Dazu wurde zunächst eine möglichst umfassende Kategorisierung anhand von Bestandsinformationen durchgeführt. Im Kontext mit den Ergebnissen des AP 1 war im Rahmen des AP 3 anschließend die Vielzahl der Kategorien auf die maßgebenden zu aggregieren.

### 6.1 Brücke

Im Rahmen des Vorhabens wurden neben den Neubauten auch bestehende Bauwerke im Hinblick auf mögliche Gefährdungen und zu ergreifende Maßnahmen betrachtet. Da der gesamte Bauwerksbestand nach ASB-ING [5] datentechnisch erfasst ist und künftige Bauwerke ebenso

nach ASB-ING erfasst werden, wurde die Kategorisierung der Brücken anhand der vorhandenen Strukturen und Informationen vorgenommen und auf die Gliederung nach ASB-ING bzw. RI-EBW-PRÜF zurückgegriffen.

Mit dieser grundsätzlichen Strukturierung ist es im Weiteren auch möglich, gezielt in der Datenbank ASB-ING nach bestimmten Bauwerkskategorien zu suchen und gezielt gefährdete Bauwerke ausfindig zu machen.

Nach ASB-ING und RI-EBW-PRÜF ist die Gliederungsstruktur 4-stufig aufgebaut. Entsprechend dem Datenbank-Hintergrund sind alle Begriffe starr vorgegeben und in dem Programm SIB-Bauwerke [4] abgebildet.

#### Stufe 1

Die Stufe 1 gibt die Bauwerksart wieder. Dies sind Brücken in den verschiedensten Bauarten, die für die Kategorisierung hinsichtlich ihrer Relevanz gefiltert werden. Da mit den feststehenden Brückenarten nicht definiert ist, ob es sich um ein Bauwerk mit in Längsrichtung getrennten Überbauten handelt, wird diese Information ergänzend aufgenommen. Indirekt liegt die Information getrennter Überbauten nach ASB-ING über der Anzahl der Felder und der Anzahl der Überbauten vor.

Anhand der Brückenauswahl nach SIB wurden die in Abbildung 8 gekennzeichneten Arten gewählt.

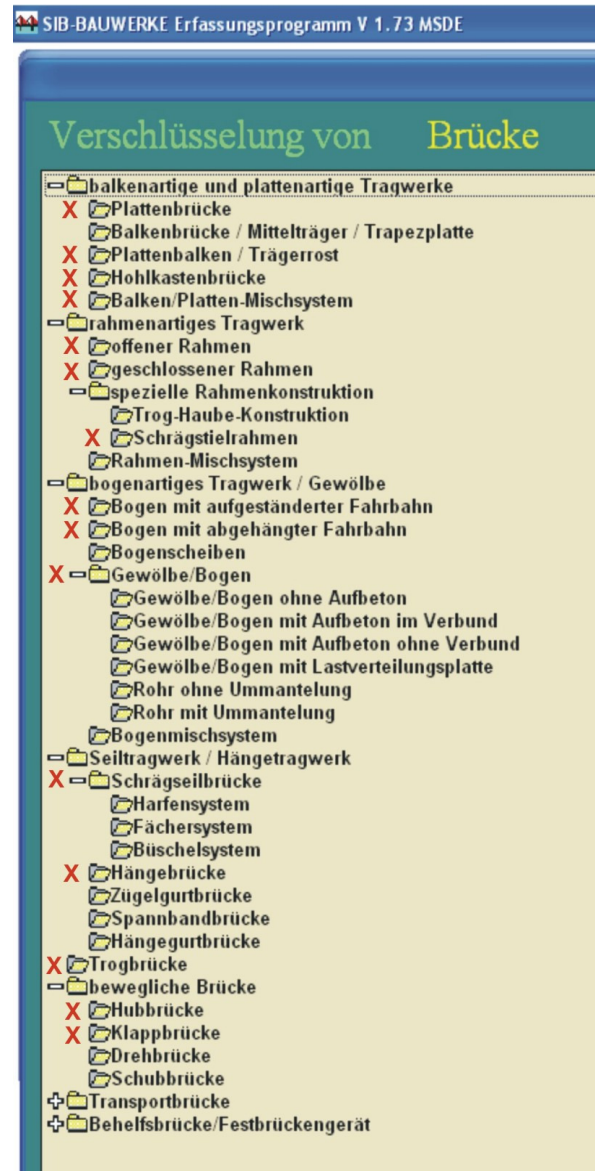


Abbildung 8: Brückenarten

Stufe 2

In der Stufe 2 wurden die Hauptbauteile der in Stufe 1 herausgearbeiteten Brücken betrachtet. Entsprechend SIB wurden für das Hauptbauteil Überbau die in Abbildung 9 gekennzeichneten Typen ergänzt und Angaben zum statischen Längssystem entsprechend Abbildung 10 für die Kategorisierung ausgewählt.

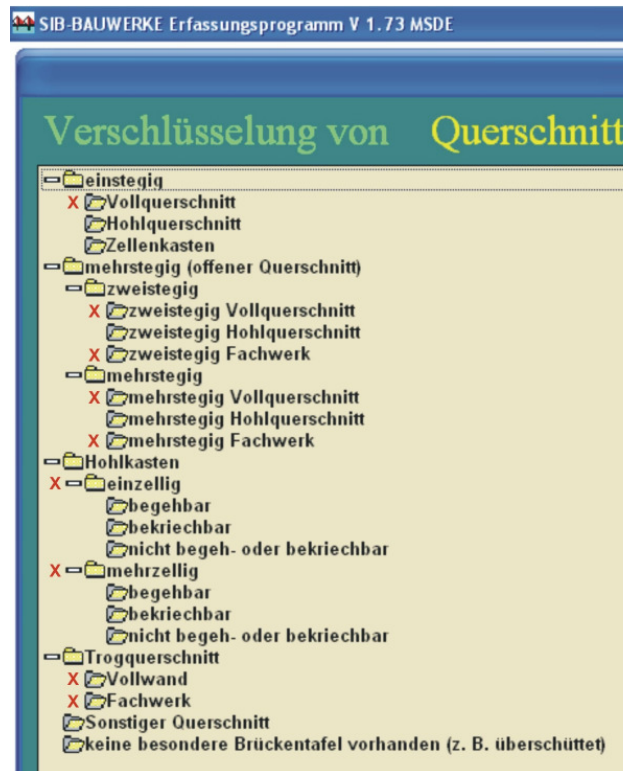


Abbildung 9: Überbau-Bauteile

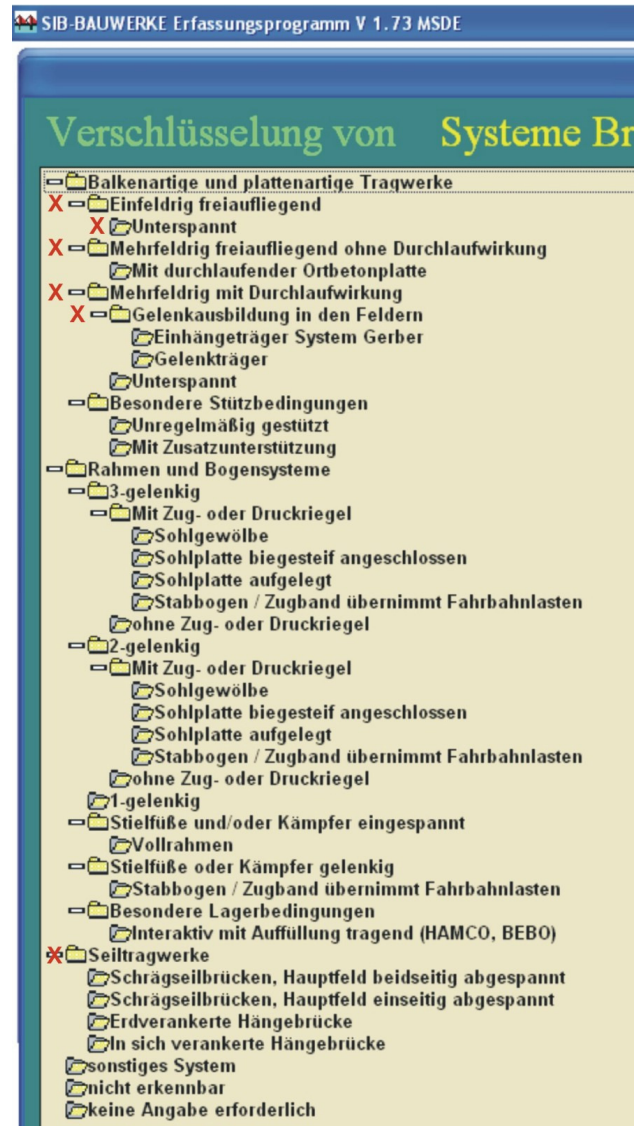


Abbildung 10: Statisches Längssystem

Analog zum Überbau wurden die Typen für das Hauptbauteil Unterbau anhand der Möglichkeiten nach SIB selektiert. Die Auswahl ist in Abbildung 11 ersichtlich.

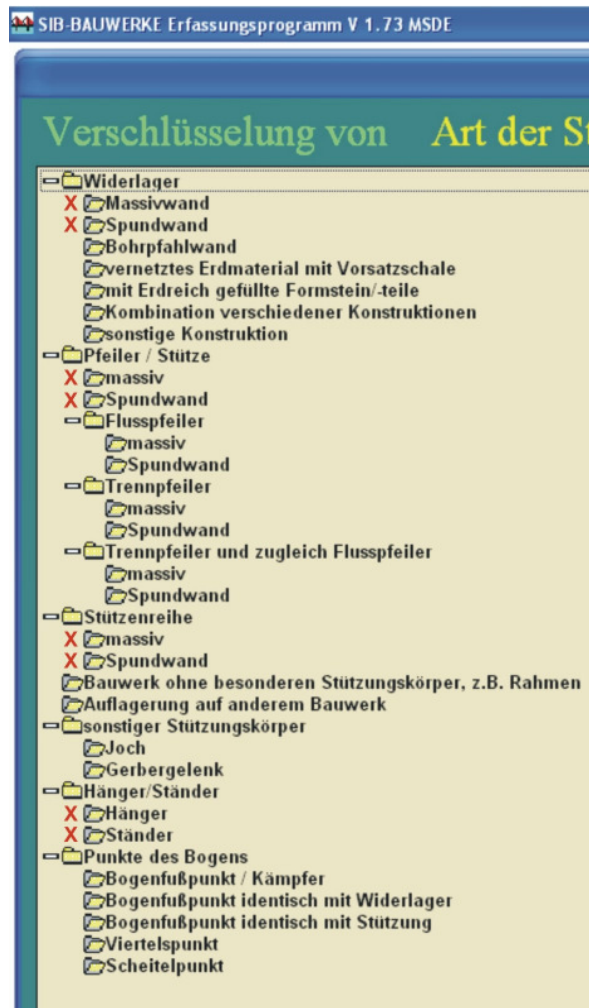


Abbildung 11: Unterbau-Bauteile

### Stufe 3

In der Stufe 3 wurden die Konstruktionsteile, die von Bedeutung sind, festgelegt. Aus dem Katalog nach SIB wurden für die Konstruktionsteile

- Vorspannung
- Gründung
- Brückenseil / -kabel
- Lager und
- Ausstattung

nur die Elemente ausgewählt, die im Kontext mit den übrigen Stufen bedeutsam sind.

### Stufe 4

In der Stufe 4 erfolgte die Hauptbaustoffzuordnung für den Überbau. Entsprechend den üblichen Brückenbaustoffen ergab sich aus den Möglichkeiten nach SIB die in Abbildung 12 vorgenommene Auswahl für die Kategorisierung.

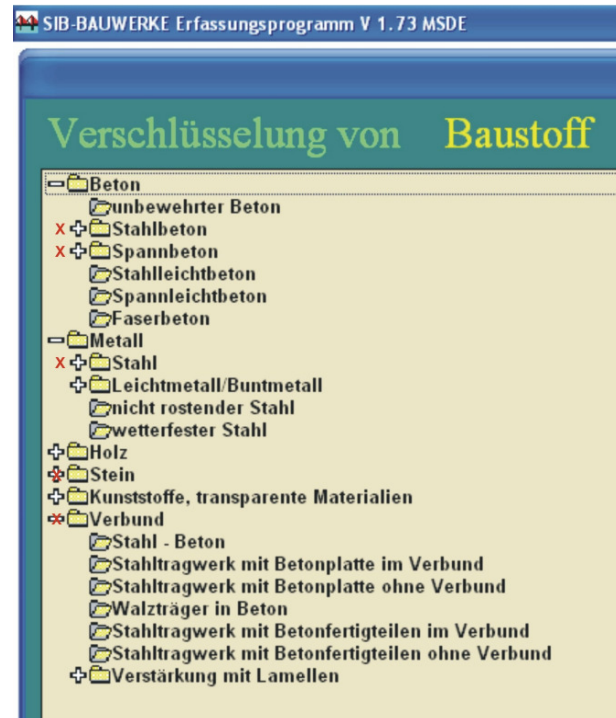


Abbildung 12: Hauptbaustoffe

Zur Klassifizierung der grundsätzlich für Maßnahmen in Betracht kommenden Brückentypen wurden die Elemente der obigen 4. Gliederungsstufen logisch miteinander verknüpft. Das Ergebnis sind die in Anhang 2 dargestellten, von der Bauwerksart bis zum Baustoff durchgängig definierten Brückentypen, die hinsichtlich denkbarer Szenarien und möglicher Schutzmaßnahmen untersuchungsrelevant sein können.

## 6.2 Tunnel

Wie bei den Brücken wurde die 4-stufige Gliederungsstruktur entsprechend dem Datenbank-Aufbau nach ASB-ING [5] für die Kategorisierung der Tunnel herangezogen.

### Stufe 1

Die erste Gliederungsstufe umfasst nach ASB-ING die Bauwerksart, im zu betrachtenden Fall die Straßentunnel.

Mit den starren Auswahlmöglichkeiten nach SIB [4] ist im Hinblick auf die nach Maßnahmen ausgerichtete Kategorisierung keine zielführende Definition möglich. Es wurde daher eine Ergänzung um die Tunnelbauweise für die 1. Gliederungsstufe gewählt.

Da auch damit keine befriedigende Struktur erreicht werden konnte, wurde neben der Tunnelbauweise noch die Information einröhrige oder zweiröhrige Tunnelanlage und die Zulassung des Tunnels für gefährliche Güter ergänzt. Alle dazu erforderlichen Informationen lieferte ebenfalls die ASB-ING-Datenbank.

In Abbildung 13 ist anhand der nach SIB auswählbaren Tunnelanlagen die für die Kategorisierung herangezogenen Typen dargestellt. Abbildung 14 stellt die ausgewählten Tunnelbauweisen dar.

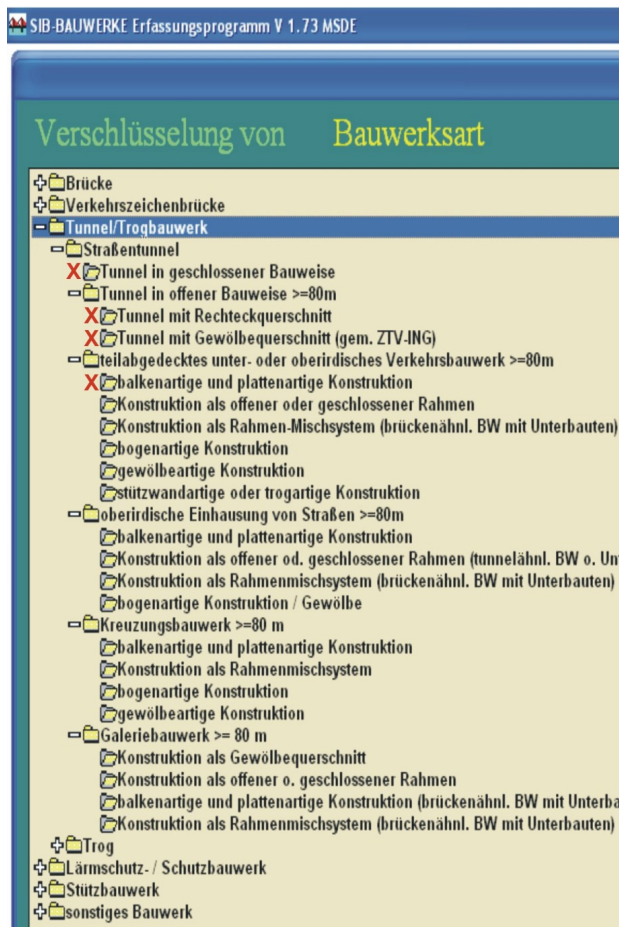


Abbildung 13: Tunnelarten

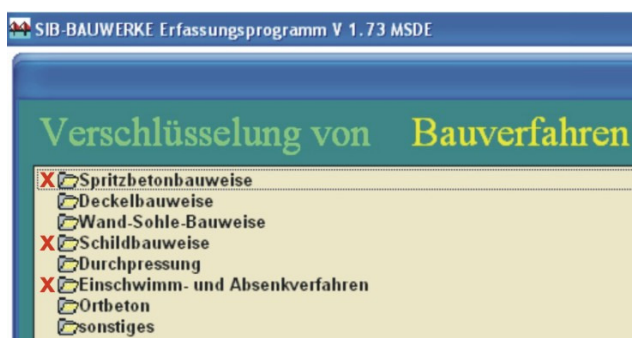


Abbildung 14: Bauweisen (Bauverfahren)

Für die Kategorisierung sind ergänzend zur oben bei den Bauweisen dargestellten Stufe 1 die Gliederungsstufen 2 bis 4 nach ASB-ING einzubeziehen und analog den Brücken auszuwerten.

### Stufe 2

Die Stufe 2 umfasst die Hauptbauteile. Bei Tunnelbauwerken besteht im Gegensatz zu den Brückenbauwerken das Problem, dass nach

ASB-ING dazu nur ein geringerer Detaillierungsgrad abgebildet wird.

Um aber auch für die Tunnelbauwerke existierende festgelegte Datenbank-Begriffe heranziehen zu können, wurde im Weiteren und für die Folgestufen auf die Gliederungsstruktur der RI-EBW-PRÜF [3] zurückgegriffen, die ebenfalls im Programmsystem SIB-Bauwerke abgebildet ist.

Die für die Kategorisierung herangezogenen Hauptbauteile sind in Abbildung 15 dargestellt. Ergänzt wurde die Hauptbauteilliste noch um bislang nicht berücksichtigte Elemente. Dies sind Betriebsgebäude, Lüftergebäude und Fluchtwege Querstollen, Fluchtstollen.

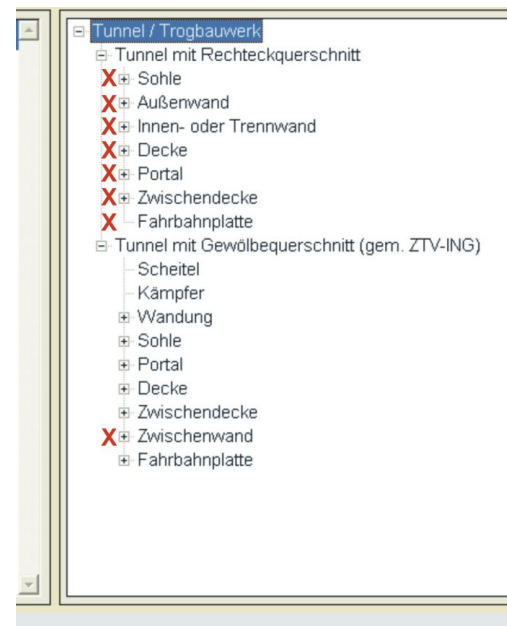


Abbildung 15: Tunnel-Bauteile

### Stufe 3

Die Stufe 3 umfasst die Konstruktionsteile. Für die Tunnelbauwerke sind lediglich die Ausstattungselemente von Bedeutung. Ergänzt wurden die vorgegebenen Elemente um die Brandschutzverkleidung, die nach ASB-ING erfasst wurde.

### Stufe 4

Die Stufe 4 beschreibt die Hauptbaustoffe. Für die Tunnelbauwerke wurden die Elemente Beton, Stahlbeton und Tübbings für die Kategorisierung gewählt.

Die grundsätzlich für Maßnahmen in Betracht kommenden Tunneltypen sind anhand obiger Auswahl in den 4 Stufen logisch miteinander verknüpft und in Anhang 3 zusammengestellt. Die dort definierten Tunneltypen sind hinsichtlich denkbarer Szenarien und möglicher Schutzmaßnahmen im Weiteren untersuchungsrelevant.

## 7 Zusatzmaßnahmen

Das Ziel einer jeden hier aufgeführten Zusatzmaßnahme soll sein, die Sicherheit von Bauwerk und Nutzer gegenüber Naturgefahren, Terrorismus oder Großunfällen nachhaltig zu verbessern.

Die Bewertung der vorgeschlagenen Zusatzmaßnahmen, beispielsweise bezogen auf ihre Wirksamkeit, ihre Wirtschaftlichkeit oder die generelle Frage der technischen Umsetzbarkeit und die gegenseitige Beeinflussung der Maßnahmen untereinander erfolgt zu einem späteren Zeitpunkt und ist folgenden Arbeitspaketen zugeordnet.

Die Zusatzmaßnahmen gliedern sich in die Schwerpunkte Bautechnik, Betriebstechnik sowie den organisatorischen Betrieb von Brücken- und Tunnelbauwerken. Sie dienen sowohl zur Anpassung des Sicherheitsniveaus bestehender Bauwerke als auch bei der Konzeption neuer Brücken- oder Tunnelbauwerke.

Die im Anhang 4 und 5 katalogartig dargestellten Zusatzmaßnahmen weisen eine einheitliche und klar gegliederte Struktur auf, wobei zunächst nach Bauwerkstyp – Brücke oder Tunnel – unterschieden wird. Die drei neben dem Bauwerkstyp angedeuteten Registersymbole geben Aufschluss darüber, ob es sich bei der vorgeschlagenen Maßnahme um eine bautechnische oder eine betriebstechnische Zusatzmaßnahme handelt.

Die Klassifizierung der Maßnahmen nach der Entfaltung ihrer Wirksamkeit vor, während oder nach Eintritt eines Ereignisses orientiert sich am Regelkreis des Katastrophenmanagement.

### 7.1 Bautechnische Zusatzmaßnahmen Brücken

Generell kann die Sicherheit eines Brückenbauwerks durch die Materialwahl, das Entwurfskonzept, die Größe der angesetzten Einwirkungen oder auch durch die Implementierung spezieller technischer Vorrichtungen beeinflusst werden. Bei der Entwicklung bautechnischer Zusatzmaßnahmen zum Schutz von Bauwerk und Nutzer sind grundsätzlich die folgenden Ansätze möglich:

- Einsatz innovativer Materialien: mikrobewehrter Hochleistungsbeton, brandresistenter Beton, Dämpferbeton
- Verhinderung eines Bauwerkskollapses durch neuartige Entwurfskonzepte: Schaffung alternativer Lastpfade, Segmentierung des Tragwerks
- Überprüfung der Einwirkungen auf ein Bauwerk, insbesondere Sturm, Hochwasser, Erdbeben, Fahrzeuganprall, Explosion

- Spezielle technische Vorrichtungen: Anprallschutz, Opferbauteile, Brandschutzvorkehrungen, Terrorschutzvorrichtungen.

Die entwickelten Vorschläge zu den Brücken sind im Anhang 6 abgebildet.

### 7.2 Bautechnische Zusatzmaßnahmen Tunnel

Für die bautechnischen Zusatzmaßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit bei Tunneln sind drei Schwerpunkte verfolgenswert:

- Modifizierung der Baustoffe – dies betrifft insbesondere den Beton – im Hinblick auf Dauerhaftigkeit, Duktilität, Festigkeit, Oberflächenbeschaffenheit und Wartungsfreundlichkeit
- Anpassung der Designvorgaben an geänderte Rahmenbedingungen wie höhere Brandlast, höhere Bemessungswasserstände, Erdbebenlasten, Ausfallbemessung und Redundanz
- Verbesserung des Entwurfs im Bezug auf kompakte Bauweisen, Zweischaligkeit, Sicherung von Einbauteilen und Fluchtwegkonzepte.

Die Vorschläge zu den Tunnelbauwerken enthält Anhang 7.

## 8 Ohne-Fall

### 8.1 Festlegung relevanter Szenarien

Für alle Untersuchungen in den Arbeitspaketen wird der derzeitige Vorschriftenstand als Ausgangsbasis zu Grunde gelegt. Dies bedeutet, dass die in SKRIBT untersuchten relevanten Szenarien Einwirkungen hervorrufen, die oberhalb des derzeit gültigen Normenniveaus liegen.

Bei den Bauwerken wird bei den durchgeführten Untersuchungen unterstellt, dass sie entsprechend den derzeit gültigen Normen berechnet und konstruiert wurden.

Bei älteren Bauwerken, die nicht nach heutigen Vorschriften hergestellt wurden, können sich ungünstigere Verhältnisse als nachfolgend dargestellt ergeben. Bei diesen Bauwerken ist bei Bedarf in jedem Einzelfall eine Untersuchung der Konsequenzen aus den behandelten relevanten Szenarien durchzuführen. Dabei sind die im Weiteren vorgestellten Erkenntnisse und Vorgehensweisen zu beachten bzw. zu berücksichtigen.

#### 8.1.1 Randbedingungen

Die in der Gesamtheit in [10] entwickelten Szenarien stellen die komplette Palette der Gefähr-

dungsmöglichkeiten für Bauwerke, Nutzer sowie Verkehr und Umfeld dar.

Für die Bearbeitung des Ohne-Falles lassen sich die Szenarien zu so genannten Initialereignissen bündeln, die für die spezifischen Betrachtungen gleiche oder ähnliche Auswirkungen haben.

Diese Initialereignisse stellen jeweils die Grundlage für die parallel durchgeführte Bearbeitung der Projektpartner dar und stellen sicher, dass für alle Bearbeiter das gleiche Ausgangsereignis verwandt wird.

Für die spezifischen Betrachtungen sind aber nur solche Szenarien von Bedeutung, die für das Bauwerk bzw. die Konstruktion Schädigungspotentiale besitzen. Eine Unterscheidung in relevante und nicht relevante Szenarien erfolgt in Abschnitt 8.1.2, wobei die Initialereignisse weitergehend gefiltert und eine auswirkungsorientierte Clusterung vorgenommen wurde.

Ebenfalls sind einzelne Szenarien, wie z. B. Fahrzeuganprall, bereits in bestehenden Regelwerken enthalten und werden jetzt schon statisch-konstruktiv beim Bauwerksentwurf berücksichtigt (DIN-Fachbericht 101).

Bei Bestandsbauwerken älteren Herstelldatums können eventuell andere Verhältnisse oder Abweichungen vorliegen (z. B. Abweichungen von der Richtlinie für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln, RABT 2006). Hierdurch können möglicherweise weitergehende Auswirkungen entstehen.

### 8.1.2 Auswahl der maßgebenden Szenarien

Die Initialereignisse gliedern sich in die Ereignisarten Brand, Explosion, Kontamination, Naturereignisse (Überflutung, Wind, Erdbeben), mechanische Einwirkungen (Unfall, Kollision) und Sonstige.

Im Hinblick auf die Auswirkungen auf die Bauwerkskonstruktion sind einige Initialereignisse ohne Bedeutung. Durch sie wird die Konstruktion hinsichtlich der Standsicherheit, Verkehrssicherheit und Gebrauchstauglichkeit nicht beeinträchtigt.

Weiterhin bedürfen nicht alle Szenarien für die Findung geeigneter Schutzmaßnahmen einer vertieften Betrachtung. Es erfolgt daher zunächst eine Vorselektion der nicht relevanten sowie der nicht vertieft zu betrachtenden Szenarien.

#### 8.1.2.1 Brand

Die drei Initialereignisse Kontinuierlicher Lachenbrand, Spontaner Lachen- und Freistrahlenbrand mit resultierender Brandbeanspruchung

erzeugen unter Umständen unterschiedliche oder vollkommen identische Einwirkungsintensitäten. Für die Bemessung von Bauteilen gegen eine Brandeinwirkung ist es nicht zwingend entscheidend, welchen Auslöser das jeweilige Szenario besitzt, sondern welchen Verlauf das Ereignis nimmt und ob die Entwicklung der Temperatur und die Dauer der Einwirkung des Ereignisses auf die Konstruktion zu einem aus statischer Sicht kritischen Zustand führen. Die zugehörigen Untersuchungen wurden im Weiteren vom Projektpartner BASt durchgeführt.

#### 8.1.2.2 Explosion

Die für die Ereignisart Explosion aufgezeigten Initialereignisse wurden für die Bauwerksbetrachtung auf die relevanten Größen zurückgeführt. Dies bedeutet im Ergebnis, dass nur die durch TNT hervorgerufenen Spreng-Explosionsereignisse als Kernszenario Explosion betrachtet werden, da sie neben der Druckwelle wie beim BLEVE auch unmittelbare Sprengauswirkungen an der Tunnelkonstruktion verursachen können.

Die mit TNT hervorgerufenen Druckverhältnisse liegen über denen eines BLEVE, so dass dieser nicht, sondern nur die Spreng-Explosionsereignisse vertieft betrachtet wurden.

#### 8.1.2.3 Kontamination

Die Ereignisart Kontamination (chemisch, biologisch und radioaktiv) hat auf die Tunnelkonstruktion keine statischen Einflüsse. Durch sie werden die Standsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit (hier aus statischer Sicht formuliert) nicht beeinflusst.

Die Verkehrssicherheit im Hinblick auf die Konstruktion wird ebenfalls nicht verändert.

Der Tunnel muss im Falle einer Kontamination umfangreich dekontaminiert werden. Hier werden unter Umständen auch bauliche Maßnahmen notwendig, die jedoch aufgrund der Heterogenität des Ereignisses zum jetzigen Zeitpunkt nicht quantifiziert werden können. Die Kontamination wird daher bei der Bauwerksbetrachtung nicht weiter berücksichtigt.

#### 8.1.2.4 Überflutung

Bei Brücken treten Überflutungen infolge Naturkatastrophen oder Unfällen (Dammbruch) auf. Da große Unterschiede infolge der speziellen Topographie des Umfeldes unter Berücksichtigung der betroffenen Brückenkonstruktion vorliegen, ist klar, dass eine verallgemeinerte Standort-unabhängige Betrachtung nicht sinnvoll ist. Aus diesem Grund wurde dieses Szenario im Rahmen des Projektes nicht weiter betrachtet.

Die Ereignisart Überflutung hat bei einem Tun-

nel zwei mögliche Ursachen. Es handelt sich einerseits um die Folge eines Schadensereignisses innerhalb des Bauwerks und hat mittelbaren Charakter (Beispiel: Einbruch von Wasser im Anschluss an eine Detonation im Tunnel mit Hüllenbruch). Andererseits existieren unmittelbare Ursachen, die einen Wasserzutritt über die Portale infolge Hochwasser nach sich ziehen, beispielsweise durch ein Versagen der Deichlinie in Gewässernähe oder Starkregenfälle.

In beiden Fällen ist das Fluten eines Tunnels nur bis zu dem Druckniveau des äußeren Wasserstandes / Grundwasserstandes möglich.

Hieraus folgt, dass sich beim Fluten der äußere Wasserdruck, der in die Tunnelbemessung eingegangen ist, bis auf Null reduziert und somit nur noch Erddruckbeanspruchungen für die Tunnelschale vorliegen.

Durch die veränderte Belastungssituation reduzieren sich die Schnittkräfte im Querschnitt. Dies kann bemessungstechnisch berücksichtigt werden und führt mit Berücksichtigung der reduzierten Sicherheiten für eine außergewöhnliche Lastsituation normalerweise zu keinen statischen Problemen.

Ungünstigstenfalls leidet temporär die Fugendichtigkeit bei einer Tübbingauskleidung bei diesem Szenario, die sich aber bei Entfall des Wasser-Innendruckes wieder einstellt.

Der unmittelbare Wasserzutritt über die Portale ist nur bei Querung von Wasserläufen oder Senkenlagen ein denkbare Szenario. In diesem Falle sind die Portale und deren vorgelagerte Rampenstrecken hochwasserfrei geplant.

Bei Naturkatastrophen (Sturmfluten, Starkregenereignissen) kann sich aber das vorhandene Schutzniveau (Deichhöhe) als zu gering herausstellen und das Szenario eintreten.

Vor diesem Hintergrund werden die mittelbaren Überflutungsfälle, die z. B. in Folge eines Explosionsereignisses entstehen, nur im Sachzusammenhang mit dem Ursprungsereignis betrachtet. Die unmittelbare Überflutung, z. B. in Folge eines Hochwassers oder eines Deichbruchs, bedarf keiner weiteren vertieften konstruktiven Untersuchung.

#### 8.1.2.5 Wind

Für Brückenkonstruktionen ist die Belastung aus Wind in den anzuwendenden Regelwerken geregelt. Darüber hinaus gehende Beanspruchungen wurden vom Projektpartner ILEK differenzierter betrachtet.

Für die Tunnelkonstruktion ist die Belastung aus Wind keine verfolgenswerte Größe und ist statisch daher nicht zu berücksichtigen.

Lediglich für Ausstattungsgegenstände ist eine

Windbelastung relevant und statisch konstruktiv entsprechend den gültigen Vorschriften zu berücksichtigen.

Windlasterrhöhungen gegenüber dem derzeitigen Vorschriftenniveau liegen infolge geänderter Umweltbedingungen nicht vor, so dass dieses Szenario nicht weiter bei den Tunnelbauwerken betrachtet wird.

#### 8.1.2.6 Erdbeben

Entsprechend den derzeit gültigen Vorschriften (DIN-Fachbericht) ist für Brücken die Nachweispflicht übergeordnet nicht geregelt. Da aber in Deutschland erdbebengefährdete Zonen existieren, wurden für diese Gebiete spezielle Länder-/Regierungsbezirksregelungen erlassen. Gemäß dieser ergänzenden Regelungen sind die Brückenbauwerke nachzuweisen. Hierbei wird auf die Regelung in DIN 4149:2005 Bezug genommen.

Wie Beispiele aus dem Ausland, insbesondere Japan, zeigen, sind Tunnel bei Erdbeben eher nicht gefährdet und werden hinsichtlich ihrer Standsicherheit nicht maßgeblich beeinträchtigt.

Ungeachtet dessen werden z. B. in Südwestdeutschland auf Verlangen von einzelnen Bezirksregierungen Tunnelbauwerke für Erdbebenbeanspruchungen berechnet. Im Hinblick auf die bestehenden Regelungen für die relevanten Gebiete werden Erdbebenszenarien im Rahmen dieses Projektes nicht weiter betrachtet.

Wünschenswert wäre für die Praxis, dass die derzeit lokal geregelten Verfahren bundeseinheitlich z. B. im DIN-Fachbericht verankert würden.

#### 8.1.2.7 Lawinen / Massenbewegungen

Lawinen oder sonstige Massenbewegungen haben bei Tunneln nur Einfluss auf die Portalzonen. Bei einem Lawinenabgang werden diese ungünstigenfalls verschlossen und die Nutzung unterbunden.

Für das Bauwerk selbst ergeben sich aus dem Szenario keine Konsequenzen, so dass dieses Szenario im Weiteren bei den Tunnelbauwerken ebenfalls nicht betrachtet wurde. Lawinen und Massenbewegungen sind Bedrohungen, die bei Brücken kaum rechnerisch erfasst werden können.

Es wurde an dieser Stelle unterstellt, dass Lawinengebiete bekannt sind. Wenn im Einzelfall ein Brückenbauwerk in einem lawinengefährdeten Bereich existieren oder geplant werden sollte, sind besondere geologische Methoden zur weitergehenden Situationsklärung im Einzelfall anzuwenden.



Es ist ersichtlich, dass es sich bei der Szenarienkonstellation um eher seltene Einzelfälle handelt, die im Rahmen dieser Untersuchung bei den Brücken nicht weiter betrachtet wurden.

**8.1.2.8 Zusammenfassung**

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass nachfolgend nur die Szenarien Brand und Explosion bei der Bauwerkskonstruktion vertieft betrachtet werden.


**8.2 Schwachstellenanalyse und Darstellung in Tabellenform**

Basis für alle weitergehenden Untersuchungen ist eine Analyse möglicher Schwachstellen in Abhängigkeit von der Konstruktion bzw. Bauweise der Brücke oder des Tunnels. Hierzu wurden alle möglichen Konstruktionen und Bauweisen für Brücken- und Tunnelbauwerke im deutschen Fernstraßennetz untersucht.

Aufgrund der unterschiedlichen Konstruktionsprinzipien, die bei diesen Bauwerkstypen angewandt werden, besitzen je Bauweise verschiedene Bauteile eine neuralgische Funktion. Diese neuralgische Funktion wird dadurch dokumentiert, dass das gesamte Bauwerk unter dem Aspekt der Nutzer-Sicherheit in seiner Gebrauchstauglichkeit eingeschränkt ist oder gar seine Standsicherheit gefährdet sein könnte, würde dieses spezifische Bauteil durch eine extreme Einwirkung in seiner strukturellen Integrität deutlich geschädigt oder gar vollständig zerstört werden.

Im Rahmen des SKRIBT-Projektes wurden die verschiedenen Bauwerkstypen auf eben solche Bauteile hin untersucht und die Ergebnisse dieser Untersuchung in einer Tabelle zusammengestellt. Im Hinblick auf die sensiblen Inhalte ist nachfolgend der grundsätzliche Aufbau wiedergegeben. Abbildung 16 stellt die Brücken- und Abbildung 17 die Tunnelbauteile dar.

**Arbeitspaket 3:**  
**Untersuchungsrelevanten Bauteile Brücken**




für: **Kernszenario Explosion**

Nr.	Stufe 1 Brücke	Stufe 2a Hauptbauteil Überbau/ Unterbau	Stufe 2b Stat.System	Stufe 4 Hauptbaustoff	Kommentar	SP
						Ergebnis
1.1	Plattenbrücke einzügig	Überbau Vollquerschnitt einsteigig				
1.1.1		ja:	Einfeldrig freiauflegend	Stahlbeton / Spannbeton	Bei geringer Stützweite Ausführung in Stahlbeton, bei größerer Stützweite in Spannbeton.	maßgebend

Abbildung 16

**Arbeitspaket 3:**  
**Untersuchungsrelevante Bauteile Tunnel**



für: **Kernszenario Explosion**

Nr.	Stufe 1 Tunnel	Stufe 1a Bauverfahren	Stufe 2 Hauptbauteil	Kommentar	SP
					Ergebnis
3.2	Tunnel in offener Bauweise mit Rechteckquerschnitt zweiröhrig	Normalbauweise	Sohle		
3.2.1	ja:	ja:	ja:	Die Sohle ist durch den Straßenaufbau überlagert. Bei älteren Bauwerken ist nur ein dünner Fahrbahnaufbau (8 - 16 cm) vorhanden. Sohle ist Indiz für schlechte Geologie bzw. Grundwasser	maßgebend
3.2.2			nein: Außenwand	Gefährdung aus dem Fahrraum, Baustoffabhängigkeit Beton, Stahl/Glas. Eine aufgelöste Außenwand stellt einen Sonderfall dar, der in Analogie zur aufgelösten Wand im Mittelstreifen eines teilabgedeckten Bauwerkes (sh. 6.1.3) betrachtet werden kann.	maßgebend

Abbildung 17

### 8.3 Initialereignis Explosion

#### 8.3.1 Allgemeine Erkenntnisse zu explosionsartigen Einwirkungen

Bei einer Explosion wird in kürzester Zeit eine große Menge an Energie freigesetzt. Diese freigesetzte Energie breitet sich in Form einer Stoßwelle aus. Trifft solch eine Stoßwelle auf ein Bauteil, gibt es an der Front der Struktur einen Drucksprung, eine Diskontinuität, mit anschließender Belastungsphase.

Die Beschreibung der so genannten Blast-Belastung ist unabhängig von der Art der Struktur, auf die sie wirkt. Diese Belastung kann mit einem idealisierten Druck-Zeit-Verlauf  $p(t)$  dargestellt werden.

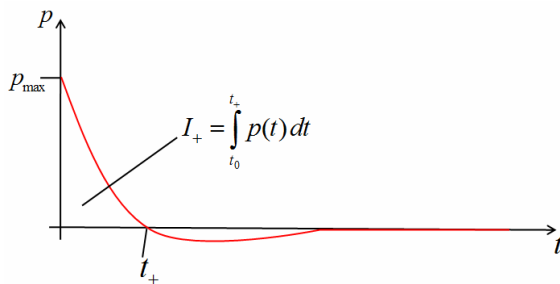


Abbildung 18: Idealisierter Druck-Zeit-Verlauf einer Blast-Belastung

Der Druck-Zeit-Verlauf wie in Abbildung 18 wird durch folgende Parameter charakterisiert:

- $p_{\max}$ , der Spitzenüberdruck der Belastung
- $t_+$ , Belastungsdauer der positiven Überdruckphase
- $I_+$ , der flächenspezifische Impuls der Belastung, der als Integral der Belastungsfunktion definiert ist.

Nach der positiven Überdruckphase, wie in Abbildung 18 zu sehen ist, folgt eine negative Sog-Belastung, die jedoch in vielen Parametrisierungen vernachlässigt wird.

Die Masse der Sprengladung und der Abstand zwischen Ladung und Bauteil sind entscheidend, wie groß die charakteristischen Parameter einer Belastungsfunktion ausfallen.

Bei Innenraumdetonationen tritt eine kombinierte Beanspruchung ein, die auf einer kurzzeitig einwirkenden Schockbelastung (Mikrosekunden) beruht und auf einem nachfolgenden, lang anhaltenden Gasdruck (Millisekunden). Diesen Zusammenhang zeigt Abbildung 19 beispielhaft.

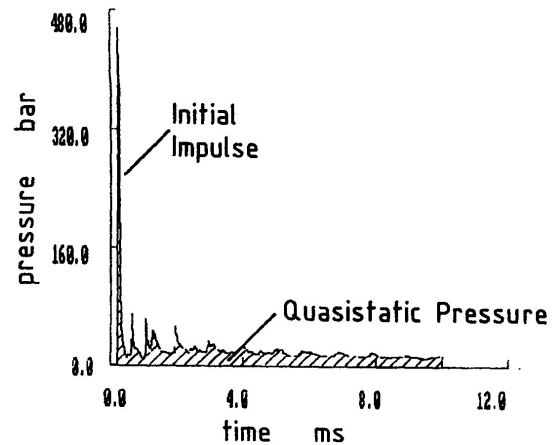


Abbildung 19: Beispiel für einen Druck-Zeit-Verlauf bei der Innenraumdetonation

Bei sehr lang gestreckten Volumina, wie z. B. Tunneln, gibt es eine Vielzahl von zeitlich verzögerten Drucküberlagerungen, die entsprechend verlaufen, siehe Abbildung 20. Dadurch kommt es zu einer längeren quasi-statischen Belastung. Die Dauer dieser quasi-statischen Belastung hängt von Verbindungs- und Belüftungsöffnungen zu anderen Räumen sowie der Geometrie der Tunnel ab.

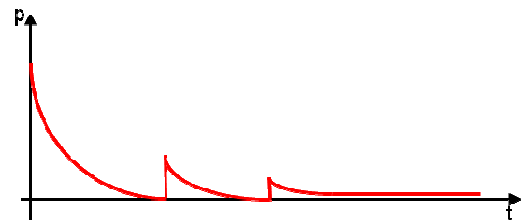


Abbildung 20: Druck-Zeit-Verlauf einer Detonation im Tunnel

Auf die weitere Darstellung der belastungsbeeinflussenden Größen kann an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden.

#### 8.3.2 Festlegung der Untersuchungsbasis für Tunnel

##### 8.3.2.1 Allgemeines

Die Analysen zur Bauteilschädigung des Fraunhofer Ernst-Mach-Instituts führen, je nach Szenario, zu erheblichen lokalen Zerstörungsgraden. Weiterhin treten durch die Explosion kurzzeitig hohe Spitzendrücke auf, die von den flankierenden Tunneloberflächen wieder reflektiert werden und zu einer zeitlich unmittelbar anschließenden Gasdruckphase führen.

Die Ordinaten der aus diesem transienten Druck resultierenden statischen Ersatzdrücke errei-

chen teilweise sehr hohe Werte. Die hohen Spitzendrücke mit der entsprechenden lokalen Schädigung (Schockbelastung) bei Brücken-Außenbauteilen oder die Kombination aus lokaler Schädigung und innerem Druck bei Tunneln kann die Standsicherheit des gesamten Bauwerks gefährden.

Für die Tunnel wurde exemplarisch eine numerische Simulation durchgeführt, um eine Grundlage für die Ableitung der Zerstörungsgrade für allgemeine Tunnelbauwerke zu schaffen und eine geeignete Methodik für eine individuelle Berechnung zu entwickeln und aufzuzeigen. Die Untersuchung erfolgte an einem einzelligen Tunnel mit Regelquerschnitt in offener Bauweise.

**8.3.2.2 Methodik**

Ein durchgängiges Bemessungskonzept für außergewöhnliche Belastungen, bei denen ein lokaler Schaden als unvermeidbar toleriert werden muss, ist in internationalen Regelwerken bislang nicht enthalten. Die US-amerikanische Empfehlung NISTIR7396 [11] gibt einen ersten systematischen Ansatz, der auf zahlreichen renommierten Veröffentlichungen der vergangenen Jahre basiert (Autoren u.a. Starossek, Bontempi, Hinman). Ziel ist die Vermeidung eines progressiven, unverhältnismäßigen Bauwerkskollaps. Das Bemessungskonzept kann in drei Phasen unterteilt werden (Abbildung 21).

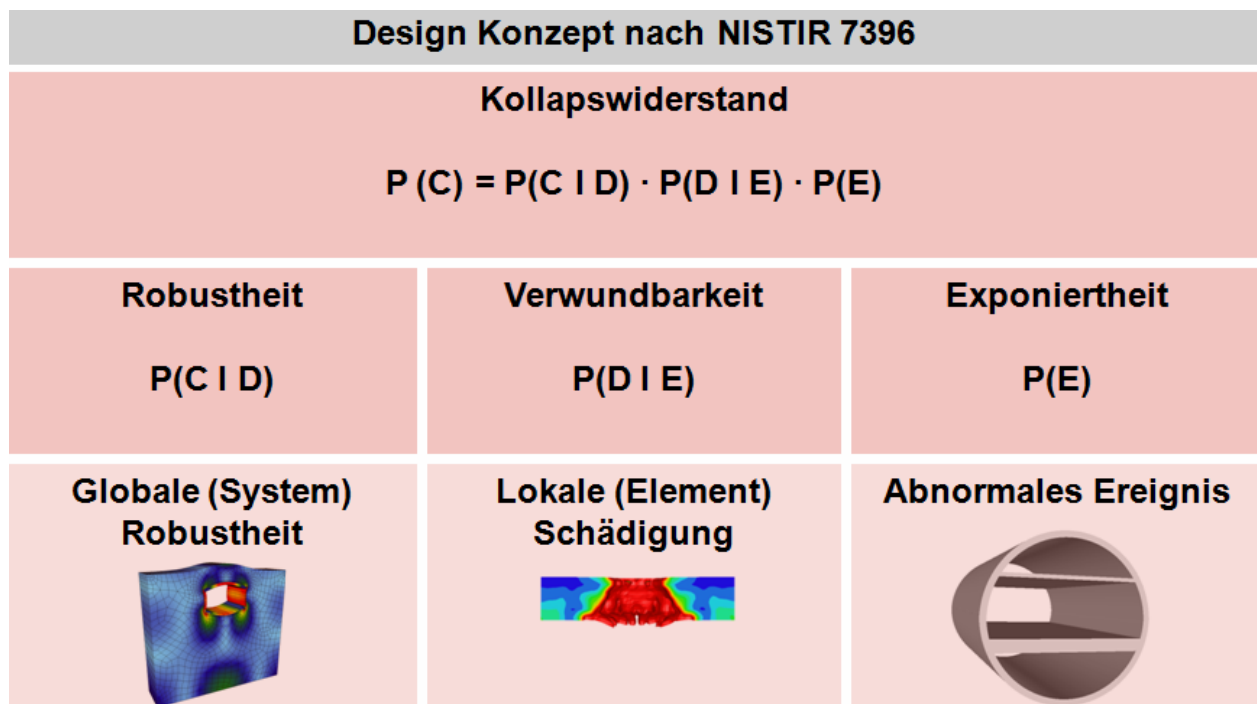


Abbildung 21: Eingangsgroßen zur Bemessung gegen unverhältnismäßigen Bauwerkskollaps bei außergewöhnlichen Extremereignissen und lokaler Schädigung von Bauelementen

Mit der Robustheitsbemessung sind alle Zustände erfasst, die einen progressiven bzw. unverhältnismäßigen Kollaps des Gesamtbauwerks bewirken können und durch einen lokal begrenzten Schaden ausgelöst werden. Als Berechnungsverfahren sind vor allem nichtlineare Finite Elemente Simulationen geeignet, die das Materialverhalten von Stahlbeton und Baugrund möglichst realitätsnah erfassen.

Die Bauteilschädigung wird im System durch eine verringerte Steifigkeit und Festigkeit abgebildet. Gleichzeitig wird der Innendruck statisch (mit Hilfe der statischen Ersatzlast) oder strukturdynamisch aufgebracht. Für eine strukturdynamische Berechnung steht eine bilineare Last-Zeit-Funktion zur Verfügung, die den transienten Innendruck hinreichend genau abbildet. Hierzu wurden exemplarische Vergleichsrechnungen durchgeführt.

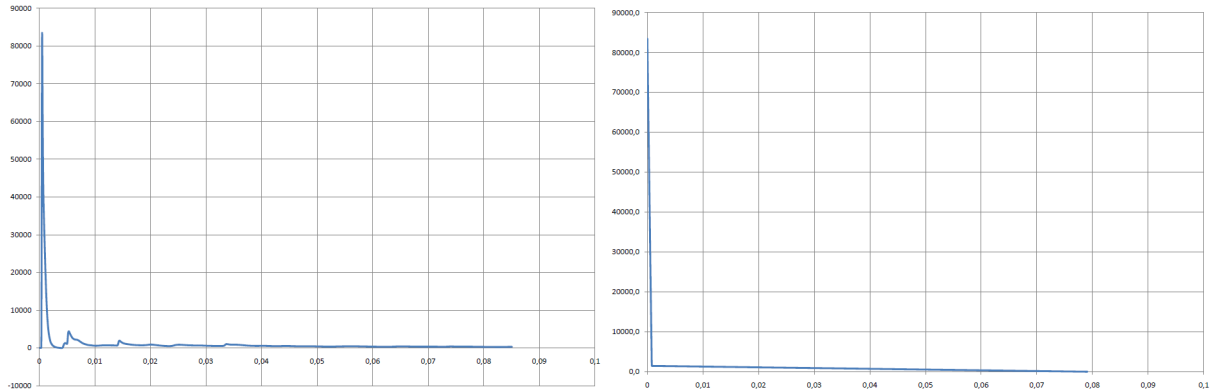


Abbildung 22: Instationäre und bilineare Druck-Zeit-Verläufe

Die am konkreten Beispiel verglichene Maximalverformung der instationären und bilinearen Berechnung liegen ausreichend eng zusammen (Abbildung 22).

Als Berechnungsverfahren eignet sich insbesondere das Traglastverfahren, bei dem eine Leitvariable schrittweise bis auf den Nennwert gesteigert wird. Das Traglastverfahren berücksichtigt bei dieser sukzessiven Steigerung die Lastumlagerungspotentiale im Bauwerk. Es erlaubt weiterhin die Leitvariable weiter zu steigern, bis die einwirkenden Lasten nicht mehr aufgenommen werden können. An diesem Punkt ist die Kapazitätsgrenze des Bauwerks erreicht (globaler Bruchzustand).

Mit Stand Dezember 2010 lassen sich diese Berechnungen in der notwendigen Exaktheit jedoch nur für zwei verschiedene Bauwerkstypen, die Absenktunnel und Tunnel in offener Bauweise, durchführen.

### 8.3.2.3 Kapazitätsfaktor

Mit dem zuvor beschriebenen Traglastverfahren kann die Kapazitätsgrenze eines Bauwerks rechnerisch ermittelt und als Maß für die Robustheit des Bauwerks gegen globales Versagen angesetzt werden. Mit der Einführung eines skalaren Kapazitätsfaktors  $\gamma$  wird die Robustheit quantitativ erfasst.

$$E_d = E \left\{ \sum \gamma_{G_{k,j}} \cdot G_{k,j} + \gamma \cdot A_d + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum \psi_{2,j} \cdot Q_{k,j} \right\} \leq R_d$$

Die Einführung eines Kapazitätsfaktors  $\gamma$  entspricht der Vorgehensweise bei den Brückenbauwerken mit dem Unterschied, dass die dort gewählte Leitvariable „Verkehrslast“ für Tunnelbauwerke nicht zielführend eingesetzt werden kann. Mit der skalaren Steigerung der Verkehrslast ist die Traglastgrenze nicht ermittelbar, da es nicht zu einem Versagen kommt.

Bei Tunnelbauwerken stellt der Innendruck eine sinnvolle Leitgröße dar, die mit dem skalaren Kapazitätsfaktor beaufschlagt werden kann. Grund dafür ist der über die Tunnellänge verän-

derliche (vom Detonationsort zu beiden Seiten hin abklingende) Innendruck. Mit der skalaren Variation der Druckordinaten kann (unter Voraussetzung der Ähnlichkeit der Druckverläufe über die Tunnellänge) die Länge ermittelt werden, die im konkreten Ereignisfall versagt. Die Eingangsdaten des EMI können damit herangezogen werden, um die Versagenslänge zu bestimmen (siehe hierzu auch Berechnungsbeispiel Kapitel 8.7.3).

### 8.3.3 Ermittlung der relevanten Bauteile

Die Grundlage für die Ermittlung der relevanten Bauteile, die einer vertieften weiteren Betrachtung unterzogen werden, bildet die Bauteilkategorisierung entsprechend Kapitel 6.

Dort und im zugehörigen Anhang 2 und 3 sind die Bauteile in repräsentative Kategorien gebündelt. Aus diesen, im Hinblick auf alle möglichen Szenarien geclusterten Bauteilen, interessieren für das Szenario Explosion im Rahmen der Bearbeitung nur diejenigen, die statisch-konstruktive Folgen haben können.

Bezogen auf die reine Baukonstruktion bestehen konstruktive Affinitäten, die für die speziellen Betrachtungen genutzt werden können. Eine weitere Bündelung in für das Szenario Explosion relevante Bauteile ist hierdurch möglich.

Ein Beispiel hierzu sind mehrzügige Brückentypen (getrennte Überbauten je Richtungsfahrbahn), die konstruktiv den einzügigen (ein gemeinsamer Überbau für beide Richtungsfahrbahnen) entsprechen und demgemäß nicht speziell betrachtet werden brauchen.

Ein weiteres Beispiel sind einröhrige Gegenverkehrstunnel in geschlossener Bauweise, die konstruktiv weitgehend einer Einzelröhre eines zweiröhrigen Richtungsverkehrstunnels entsprechen und demgemäß nicht speziell betrachtet werden brauchen. Es genügt die Untersuchung des Richtungsverkehrstunnels. Die gewonnenen Ergebnisse sind im Rückschluss uneinge-

schränkt für den Gegenverkehrstunnel gültig.

Alle Konstruktionsteile, die gemäß der Kategorisierung der (Tunnel-) Ausstattung zuzurechnen sind (Notrufeinrichtung, Schutz- und Brandschutzeinrichtungen, Videoüberwachung, Signalanlagen, Brandschutzverkleidung) werden nicht weiter betrachtet. Sie haben keinen Einfluss auf das statisch-konstruktive Verhalten des Bauwerkes bei Explosionen und werden infolge der Detonationswirkung als zumindest teilweise zerstört und damit wirkungslos betrachtet.

Ausgeklammert und nicht weitergehend betrachtet werden nach hochbaulichen Kriterien ausgebildete Bauteile wie Betriebs- und Lüftergebäude. Dieses sind in der Mehrzahl separat vom Tunnel positionierte Gebäude, deren Beschädigung eher Konsequenzen für die betriebstechnische Ausstattung im Tunnel, nicht aber für die eigentliche Tunnelkonstruktion (Tragwerk) zur Folge hat.

Die für das Szenario Explosion letztendlich relevanten Bauteile sind im Hinblick auf sicherheits-

relevante Aspekte an dieser Stelle nicht publikationsfähig.

### 8.4 Auswahl typischer Abmessungen

Brücken und Tunnel werden in der überwiegenden Mehrzahl, abhängig von den Anforderungen und Randbedingungen, nach ähnlichen Konstruktionsprinzipien ausgebildet. Dies führt dazu, dass die Brückenüber- und unterbauten sowie die Tunnelgeometrie, abgeleitet aus den Lichtraumanforderungen des Verkehrsweges, typspezifisch nahezu gleich sind.

#### 8.4.1 Brücken-Überbauten

Für die Brücken-Überbauten wurden die typischen Bauteilabmessungen abhängig vom Brückentyp und vom Baustoff zusammen mit dem Projektpartner ILEK für die sprengtechnischen Untersuchungen des EMI aufbereitet. Für die massiven Überbautypen ergeben sich die in Abbildung 23 dargestellten typischen Abmessungen.

Brückentyp		L	K <sub>H</sub>	Skizze
Vollplatte	Stahlbeton	Bis 18m	$\frac{L}{18} - \frac{L}{13}$	
	Spannbe- ton	Bis 30m	$\frac{L}{30}$	
Plattenbalken	2-stegig	20-50m	$\frac{L}{20}$	
	mehrstegig	20-50m	$\frac{L}{20}$	
Hohlkasten	Spannbe- ton	30-240m	$\frac{L}{20} - \frac{L}{13}$	

Abbildung 23: Typische Brückenquerschnitte

Für die exponierten Bauwerkstypen Schrägseil- und Hängebrücken ergeben sich die typischen Abmessungen der Seile aus der Abbildung 24:

Brücke	Baujahr	Brückentyp	Spannweite	Seildurchmesser
Rügenbrücke Stralsund	2007	Schrägseilbrücke	198m	170mm
Flughafenbrücke Düsseldorf	2002	Schrägseilbrücke	288m	115mm
Köhlbrandbrücke Hamburg	1974	Schrägseilbrücke	325m	54-104mm
Rheinbrücke Wesel	2009	Schrägseilbrücke	335m	100-110mm
Fleher Brücke Düsseldorf	1979	Schrägseilbrücke	368m	95-111mm
Friedrich-Ebert-Brücke	1954 / 2003	Hängebrücke	285m	365mm
Rodenkirchener Autobahnbrücke	1941 / 1995	Hängebrücke	378m	500mm
Rheinbrücke Emmerich	1965	Hängebrücke	500m	450mm

Abbildung 24: Seildurchmesser für deutsche Brückenbauwerke

### 8.4.2 Brücken-Unterbauten

Für die Untersuchungen im Zusammenhang mit Explosionsszenarien werden stellvertretend für die Gesamtheit aller Brückenbauwerke im Zuge von Straßen die in der Abbildung 25 dargestellten typischen Bauteilabmessungen für die Unterbauten zugrunde gelegt.

Bauteil	Dicke h [m]	Bewehrungsgehalt [kg/m <sup>3</sup> ]
Massivwiderlager	1,0 – 3,0	80 – 100
Spundwand- Widerlager - Auflagerholm - Spundwand	0,7 – 1,0 0,010 – 0,018	80 – 100 ---
Pfeiler/-reihe	0,7 – 2,5	150 – 250
Pfeilerscheibe	0,6 – 1,5	100 – 150

Abbildung 25: Übersicht typische Unterbauabmessungen

**8.4.3 Tunnel**

Abhängig von den im Einzelfall zu berücksichtigenden geologischen Gegebenheiten und statischen Bedingungen ergibt sich eine Bandbreite von Bauteildicken, die die Mehrheit der Tunnelbauwerke abdeckt.

Die Untergrenze der Bauteildicken ergibt sich im Regelfall aus konstruktiven Randbedingungen

sowie den Mindestanforderungen der ZTV-ING [12] Teil 5.

Für die Untersuchungen im Zusammenhang mit Explosionsszenarien werden stellvertretend für die Gesamtheit aller Tunnelbauwerke im Zuge von Straßen die in der Abbildung 26 dargestellten typischen Bauteilabmessungen festgelegt.

Tunnel in	Bauteil	Dicke h [m]	Bewehrungsgehalt [kg/m³]
geschl. Bauweise (Spritzbetonbauweise)	Wandung gebettet - Spritzbeton	0,20 – 0,35	ca. 30 – 50
	- Innenschale	0,35 – 0,50	ca. 50 – 100
	Zwischendecke (Lüftungskalotte)	0,30	ca. 100
	Zwischenwand zu seitlichem Rettungsweg	0,35	ca. 100
geschl. Bauweise (Schildbauweise)	Wandung gebettet - Tübbings, Ringspaltverpressung	0,35 - 0,50 0,10-0,20	ca. 70 – 130 unbewehrt
	Ringfugen gekoppelt		
	Zwischendecke (Lüftungskalotte) alternativ Stahl/Leichtbauweise	0,30 ---	ca. 100 ---
	Anprallwand (mit Außenkante der Krümmung folgend)	0,35 – 0,70	ca. 70 – 100
offene Bauweise	Sohle gebettet	1,00 – 1,20 (1,50)	ca. 100 – 130
	Außenwand hinterfüllt / gebettet	0,80 – 1,00	ca. 100 – 130
	Innenwand	0,80 – 1,00	ca. 100 – 130
	Decke	1,20 – 1,50 (2,00)	ca. 100 – 130
	Zwischendecke (befahren, Doppelstocktunnel)	0,80 – 1,00	ca. 100 – 130

Abbildung 26: Übersicht typischer Bauteilabmessungen

Für das Szenario Explosion sind bei Tunneln die Fugen zwischen den Bauwerksblöcken von besonderer Bedeutung. Diese stellen in jedweder Hinsicht eine Schwachstelle dar. Typische Fugenausbildungen sind in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt.

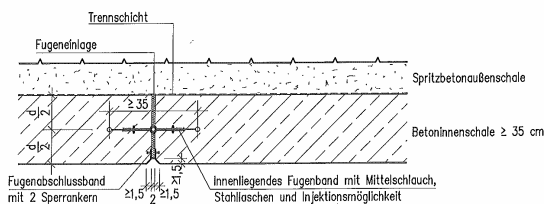


Abbildung 27: Raumbfuge, Tunnel geschlossene Bauweise (Spritzbetonbauweise)

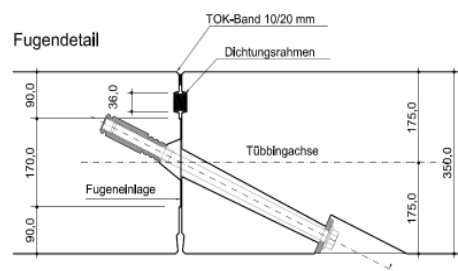


Abbildung 28: Tübbingfuge, Tunnel geschlossene Bauweise (Schildbauweise)

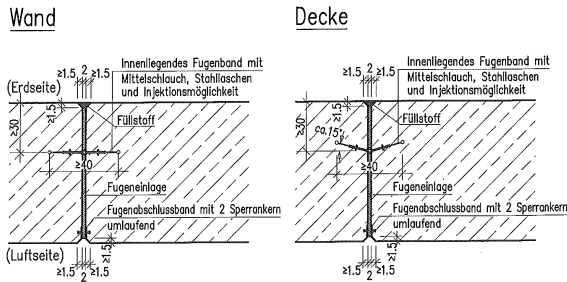


Abbildung 29: Raumfuge Wand / Decke, Tunnel offene Bauweise

Eine Sonderform der Raumfuge wird bei Einschwimm- / Absenktunneln (E/A-Tunnel) ausgeführt. Bei ihnen sichert eine Quetsch-Dichtung (GINA-Profil) als äußere Dichtungsebene den Fugenspalt im Bauzustand zwischen den abgesenkten Tunnelröhren ab. Die Quetschung des Profils erfolgt durch den äußeren Wasserdruck auf der fugenabliegenden Stirnseite des zuletzt eingeschwommenen Tunnелеlementes.

Zusätzlich werden die Raumfugen auf der Innenseite mit Omega-Bändern, die an eine Stahlkonstruktion im Fugenbereich angeklemt werden, gesichert. Ein Beispiel für eine typische Fugenkonstruktion zeigen Abbildung 30 und Abbildung 31.

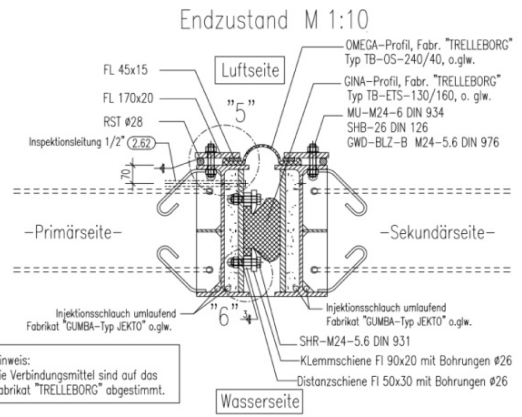


Abbildung 31: Raumfuge E/A-Tunnel Detail

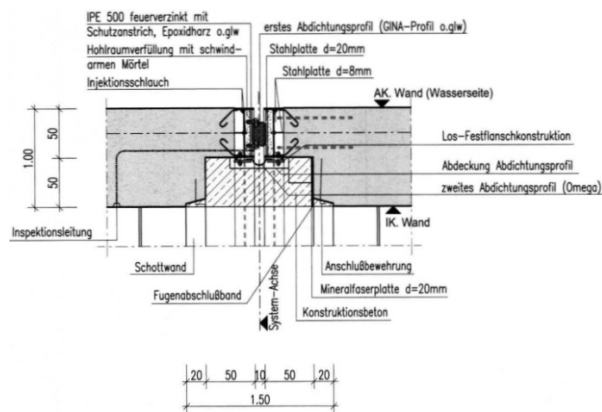


Abbildung 30: Raumfuge E/A-Tunnel



## 8.5 Untersuchung der relevanten Bauteile

### 8.5.1 Allgemeines

Für die Untersuchung der relevanten Bauteile, die zur Schädigung einer Brücke oder eines Tunnels führen, werden in einem ersten Schritt für die spätere Beurteilung der Schadensauswirkung die erforderlichen Schadensklassen definiert. In Anlehnung an existierende Definitionen erfolgt eine Unterteilung in 5 Stufen oder Kategorien vom praktisch ungeschädigten bis zum völlig zerstörten Bauwerk.

Für die Bauteiluntersuchung werden die szenarienspezifischen Beanspruchungsgrößen (Einwirkung, Belastung) festgelegt. Dabei wird auf vorhandenen Kenntnissen, neuen Berechnungen sowie Versuchen aufgebaut.

Als weitere Eingangsgröße für die Untersuchungen werden anschließend die zu betrachtenden Systeme mit den jeweiligen repräsentativen Abmessungen festgelegt.

Mit dieser Ausgangslage erfolgen Untersuchungen in Form von Berechnungen sowie Versuche zur Validierung. Bei den Explosionsszenarien sind ergänzende Grundsatzbetrachtungen anzustellen, um zu statischen Ersatzlasten bei Hohlkästen oder Tunneln zu gelangen.

Anhand der Untersuchungen zeigt sich das szenarienbezogene Schadensausmaß auf der Bauteil- und Bauwerksebene. Damit erfolgt die Einstufung in eine Schadensklasse. Zum jeweiligen Schaden kann auch das zu erwartende Ausmaß auf die Konstruktion, z. B. in Tunnellängsrichtung, angegeben werden.

### 8.5.2 Definition von Schädigungsgraden und –kategorien

Zur Beurteilung der durch ein Szenario hervorgerufenen Schädigung an einem Brücken- oder Tunnelbauwerk ist eine Skalierung unerlässlich.

Die Analyse bestehender Vorschriften zeigt hierzu zwei unterschiedliche Vorgehensweisen.

Die eine Art der Schadensbeschreibung und –klassifizierung fußt auf der DIN 1076 [2], der Vorschrift für die regelmäßige Bauwerksprüfung.

Zur Vereinheitlichung der Schadensdarstellung und –beschreibung wurde die RI-EBW-PRÜF [3] eingeführt. Die aus der normalen Nutzung resultierenden Schäden werden dort katalogartig beschrieben und elektronisch mit dem Programmsystem SIB-Bauwerke [4] in eine Zustandsnote getrennt für die Standsicherheit, Verkehrssicher-

heit und Gebrauchstauglichkeit übersetzt. Die vom Anwender anzugebende Schadensschwere ist in 5 Stufen (0 – 4) einzuordnen, die alle allgemeingültig inhaltlich beschrieben sind.

Die Beschreibungen sind sehr übersichtlich und orientieren sich vornehmlich an der entstandenen Beeinträchtigung oder, anders ausgedrückt, am Schadensausmaß. Abgebildet werden neben der Bauteil- auch die Bauwerksebene. Mathematische Algorithmen müssen nicht herangezogen werden.

Die Definition des Schädigungsgrades bzw. der –kategorie entsprechend den Regularien für die Bauwerksprüfung ist ausschließlich schadensorientiert.

Im Gegensatz dazu verfolgt die DIN EN 1991 – 1 – 7 : 2007, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teile 1 – 7: Allgemeine Einwirkungen – Außergewöhnliche Einwirkungen, [13] einen anderen Ansatz zur Schadensdarstellung.

Dort werden im Zusammenhang mit außergewöhnlichen Belastungen (teilweise identisch mit den in SKRIBT untersuchten Szenarien) risikoorientierte Schadensstufungen vorgeschlagen. Entsprechend der allgemeinen Definition, dass Risiko = Wahrscheinlichkeit x Schaden (-sgröße) ist, stellt der Eurocodeansatz im Prinzip eine Erweiterung des Vorgehens nach der RI-EBW-PRÜF dar. Es wird die (Aufretens-) Wahrscheinlichkeit zusätzlich zum Schadensausmaß berücksichtigt.

Zur Schadenskategorisierung empfiehlt der EC1 im Anhang B eine Risikoanalyse. Diese ist zweistufig konzipiert. Die Stufe 1 umfasst die qualitative (beschreibende) Risikoanalyse.

„Wenn ein Versagen zahlenmäßig ausgedrückt werden kann, dann darf nach [13] das Risiko als mathematische Erwartung der Schadensfolge eines unerwünschten Ereignisses ausgedrückt werden.“ Diese quantitative (rechnerische) Stufe 2 wird mit probabilistischen Berechnungen unteretzt und mit Wahrscheinlichkeiten ausgedrückt. Bei der Beschreibung der Schadensfolge zielt der EC 1 nur auf das Bauwerk und nicht auf Bauteile ab.

Speziell für die Explosionsszenarien besteht noch eine weitere Schadensklassifizierung. Basierend auf den Schädigungsparametern bei Detonationen im Nahbereich werden 5 Klassen vorgeschlagen, die verbal die jeweiligen Strukturschädigungen nur auf Bauteilebene beschreiben.

Alle oben dargestellten Klassifizierungen lassen sich zur Deckung bringen und sind in Abbildung 32 mit den vorgeschlagenen Schadensstufen für SKRIBT dargestellt.

SKIBT-Schadensstufe	Bauteilebene				Bauwerksebene				
	Quelle: Ernst-Mach-Institut			Quelle: RLEBW-Prüf		Quelle: DIN EN 1991-1-7			
	Kategorie	Definition	Beschreibung	Bewertung	Beschreibung	Schadensfolge	Wahrscheinlichkeit	Beschreibung	
1	1	Geringer Schaden	Feine Rissbildung	0	Bauteil nahezu unbeschädigt; kein Einfluß auf Standsicherheit; kein Einfluß auf Verkehrssicherheit; kein Einfluß auf Dauerhaftigkeit; Schadensbeseitigung im Rahmen regulärer Bauwerksunterhaltung.	Bauwerk unbeschädigt; kein Einfluß auf Standsicherheit; kein Einfluß auf Verkehrssicherheit; kein Einfluß auf Dauerhaftigkeit	Sehr niedrig	>0,1	Geringfügiger lokaler Schaden
2	2	Leichter Schaden	Kraterbildung Vorderseite, Abplatzung bis Bewehrung Rückseite	1	Bauteil leicht beschädigt; Standsicherheit des Bauteils beeinträchtigt, Beeinträchtigung liegt <b>deutlich</b> im Rahmen zulässiger Toleranzen, (Klärungsbedarf, ob die Schädigung lt. EMI dies noch erfüllt oder bereits darüber liegt.) geringer Einfluß auf Verkehrssicherheit/Verkehrssicherheit gegeben, lokale Baustelle ohne nennenswerte Verkehrsbehinderung. Dauerhaftigkeit Bauteil beeinträchtigt, Folgeschaden anderer Bauteile nicht zu erwarten. Schadensbeseitigung im Rahmen regulärer Bauwerksunterhaltung	Bauwerk nahezu unbeschädigt; kein Einfluß auf Standsicherheit; geringer Einfluß auf Verkehrssicherheit/Verkehrssicherheit gegeben; langfristig nur geringer Einfluß auf Dauerhaftigkeit, Schadensausbreitung nicht zu erwarten	Niedrig	0,01	Lokaler Schaden
3	3	Mittlerer Schaden	Sprengkrater Vorderseite, Teilzertrümmerung bis gewisse Bauteiltiefe, starke Abplatzung Rückseite	2	Bauteil beschädigt; Standsicherheit des Bauteils beeinträchtigt, Beeinträchtigung liegt <b>nicht</b> im Rahmen zulässiger Toleranzen bzw. im Einzelfall darüber, (Klärungsbedarf, ob die Schädigung lt. EMI dies noch erfüllt oder bereits darüber liegt.) geringfügige Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit/Verkehrssicherheit noch gegeben, Warnhinweise erforderlich, Baustelle mit geringer Verkehrsbehinderung. Dauerhaftigkeit Bauteil beeinträchtigt, Folgeschaden anderer Bauteile nicht auszuschließen Schadensbeseitigung mittelfristig erforderlich	Bauwerk leicht beschädigt, geringer Einfluß auf Standsicherheit; geringfügige Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit/Verkehrssicherheit noch gegeben, Warnhinweise erforderlich; langfristig Beeinträchtigung der Dauerhaftigkeit, Schadensausbreitung nicht auszuschließen	Mittel	0,001	Teilversagen des Tragwerks. Total- oder Teileinsturz Tragwerk unwahrscheinlich. Geringe Möglichkeit von Personenschäden und Nutzungsausfall.
4	4	Schwerer Schaden	Kein Durchbruch, örtlich durchgehende Bauteilzertrümmerung, Beton wird durch Bewehrung gehalten	3	Bauteil stark beschädigt; Standsicherheit des Bauteils beeinträchtigt, Beeinträchtigung übersteigt zulässige Toleranzen; Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit, Warnhinweise kurzfristig erforderlich, Baustelle mit Verkehrsbehinderung; Dauerhaftigkeit Bauteil beeinträchtigt, Folgeschaden anderer Bauteile zu erwarten; kurzfristige Schadensbeseitigung erforderlich	Bauwerk beschädigt; Beeinträchtigung der Standsicherheit; Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit, Warnhinweise kurzfristig erforderlich; mittelfristig Beeinträchtigung der Dauerhaftigkeit, Schadensausbreitung ist zu erwarten; Umgehende Nutzungseinschränkung erforderlich	Hoch	0,0001	Versagen von Teilen des Tragwerks mit großer Möglichkeit eines Teileinsturzes. Möglichkeit von Personenschäden und Nutzungsausfall.
5	5	Durchbruch	Durchgehendes Sprengloch mit verbogener/ gestrichelter Bewehrung	4	Bauteil zerstört Standsicherheit des Bauteils nicht mehr gegeben; Verkehrssicherheit nicht mehr gegeben, Warnhinweise sofort erforderlich, Baustelle mit starker Verkehrsbehinderung; Dauerhaftigkeit Bauteil nicht mehr gegeben, Folgeschaden an anderen Bauteilen tritt ein; sofortige Schadensbeseitigung erforderlich	Bauwerk stark beschädigt/ zerstört; Standsicherheit nicht mehr gegeben; Verkehrssicherheit nicht mehr gegeben, Warnhinweise sofort erforderlich; Dauerhaftigkeit nicht mehr gegeben, Schadensausbreitung tritt ein; Umgehende Nutzungseinschränkung, Erneuerung/ Instandsetzung einleiten	Schwer	0,00001	Plötzliches Versagen des Tragwerks. Große Möglichkeit von Personenverlusten und -schäden.

Abbildung 32: Schadensstufen, Zusammenfassung verschiedener Quellen

## 8.6 Ergebnis Schrägseilbrücke

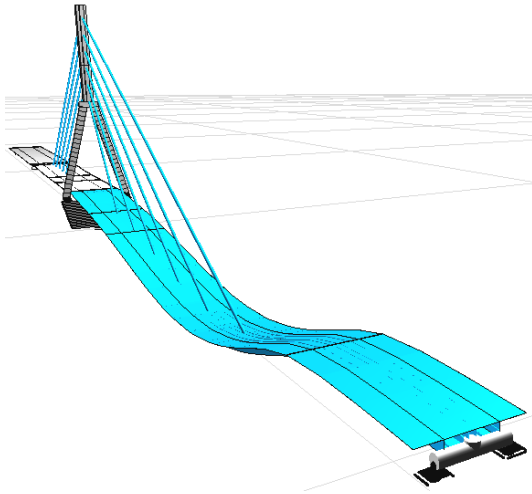


Abbildung 33: Tragwerksmodell der in [14] untersuchten Schrägseilbrücke

### 8.6.1 Einleitung

Die Seile einer Schrägseilbrücke sind aufgrund ihrer leichten Zugänglichkeit und ihrer geringen Querschnittsgröße als potentiell kritische Elemente des Tragwerks anzusehen. Besonders durch ihre leichte Zugänglichkeit sind sie gegenüber Einwirkungen infolge eines Verkehrsunfalls mit Brandfolge oder vorsätzliche Einwirkungen wie z. B. einem Terroranschlag ungeschützt. Im Falle einer Explosion an neuralgischen Stellen kann es zum plötzlichen Versagen einzelner oder mehrerer Seilgruppen kommen. Das Versagen wird durch einen lokalen Schaden initiiert und breitet sich über mehrere nacheinander betroffene Elemente aus. Das Ereignis selbst ist, verglichen mit dem entstandenen Schaden, relativ gering. Daher wird in diesem Zusammenhang auch von einem unverhältnismäßigen Kollaps gesprochen.

Die Art und Weise, wie ein Tragwerk kollabiert, unterscheidet sich je nach Tragwerksform und statischem System. In dieser Hinsicht kann man unterschiedliche Kollapsformen verschiedenen Tragwerksformen zuordnen. Bei Schrägseilbrücken wird in diesem Zusammenhang von einem reiverschlussartigen Kollaps gesprochen.

Beim reiverschlussartigen Kollaps wird das Versagen durch den plötzlichen, initialen Bruch eines oder mehrerer Seile ausgelöst und führt zur Erhöhung der Belastung des gesamten Tragwerks. Der Seilbruch erfolgt unverzögert und übt eine impulsartige dynamische Stoeinwirkung aus. Es findet eine Verlagerung der Kräfte innerhalb der

verbleibenden Tragwerkselemente statt. Besonders die Nachbarseile erfahren eine deutliche Zunahme der Zugbelastung und sind somit am höchsten reigefährdet. Ist die Traglast der Nachbarseile erreicht, kommt es zum Bruch und das Versagen breitet sich reiverschlussartig aus.

### 8.6.2 Stand der Forschung

Es existieren eine Reihe von Richtlinien und Entwurfsnormen für Gebäude, die die Unterbindung des fortschreitenden Versagens bzw. der Kollapsprogression anstreben. Eine derartige Regelung gibt es allgemein für den Brückenbau bisher nicht. Eine einzige Ausnahme bildet die PTI-Richtlinie (Post-Tensioning Institute), die aber nur für den Entwurf von Schrägseilbrücken von Bedeutung sind.

Nach den Forderungen der PTI-Richtlinie [15] darf der Bruch eines einzigen Seils einer Schrägseilbrücke nicht zum Einsturz führen. Dafür ist ein festgelegter Lastfall „Seilbruch“ (loss of cable) mit der dazugehörigen Einwirkungskombination, die mit den entsprechenden Teilsicherheitsbeiwerten zu versehen ist, nachzuweisen. Der Nachweis ist für jedes einzelne Seil nacheinander durchzuführen. Um die impulsartige dynamische Einwirkung, die durch den plötzlichen Seilbruch entsteht, zu berücksichtigen, wird statt einer dynamischen Berechnung eine quasi-statische Berechnung mit einem dynamischen Vergrößerungsfaktor von 2,0 empfohlen [15].

Die Anwendung der PTI-Empfehlungen auf Schrägseilbrücken, die in den letzten Jahren in den USA entstanden sind, hat gezeigt, dass der Lastfall „Seilbruch“ mit der Berücksichtigung der empfohlenen quasi-statischen Berechnung mit einem dynamischen Vergrößerungsfaktor von 2,0 maßgebend für die Bemessung des Brückenträgers wird. Dies führt andererseits zur höheren Baukosten. Daher wird zurzeit über eine Änderung der PTI-Empfehlungen in der anstehenden 5. Auflage diskutiert. Sie sieht vor, im Zusammenhang mit der quasi-statischen Berechnung die Verwendung dynamischer Vergrößerungsfaktoren zuzulassen, die in einer dynamisch nichtlinearen Berechnung ermittelt werden. Allerdings darf ein Mindestwert von 1,5 nicht unterschritten werden. Die dynamischen Vergrößerungsfaktoren (DVF) lassen sich durch den Vergleich der statischen und dynamischen Tragwerksantwort im intakten und geschädigten Zustand errechnen.

$$DVF = \frac{S_{dyn} - S_0}{S_{stat} - S_0} \quad (1)$$

$DVF$	Dynamischer Vergrößerungsfaktor
$S_0$	Statische Tragwerksantwort im intakten Zustand
$S_{stat}$	Statische Tragwerksantwort im geschädigten Zustand „Seilbruch“
$S_{dyn}$	Dynamische Tragwerksantwort im geschädigten Zustand „Seilbruch“

### 8.6.3 Beschreibung der untersuchten Schrägseilbrücke

Das Tragwerk ist als eine einhüftige Schrägseilbrücke konstruiert und besteht aus einer Vorlandbrücke, einem Pylon und einer Strombrücke.

Das Hauptfeld im Strombereich schließt sich an das Randfeld an. Die Überbauten von Strom- und Vorlandbrücke sind biegesteif miteinander gekoppelt und weisen äußerlich einheitliche Abmessungen auf. Die Koppelung befindet sich aus statischen Gründen 12 m vor dem Pylon in Richtung der Vorlandbrücke. Die Koppelung der Einzelspannglieder ist in engen Abständen entlang der Querschnittskontur angeordnet. Die Bauhöhe des Brückenträgers beträgt einheitlich 3,75 m bzw. 3,77 m.

Die Vorlandbrücke ist als Durchlaufträger mit 6 Feldern in Spannbetonweise konstruiert, wobei die Einzelstützweiten ca. 53 m und 5 x ca. 64 m betragen. Der Überbau ist im Regelbereich, den seilüberspannten Bereich und den Bereich der Koppelstelle unterteilt. Der Querschnitt ist im Regelbereich als zweizelliger Hohlkasten und vom Seileinleitungsbereich bis zur Koppelungsstelle als dreizelliger Hohlkasten ausgeführt. Der Hohlkasten hat eine Breite von ca. 14 m. Die Breite der beidseitig auskragenden Kragarme beträgt jeweils ca. 7 m. Die Kragarme sind durch Fertigteildruckstreben in Abständen von ca. 4 m abgestützt.

Die Strombrücke besitzt eine Stützweite von ca. 335 m und schließt sich an das Randfeld an, dessen Stützweite ca. 62 m beträgt. Der als orthotrope Fahrbahnplatte ausgebildete Überbau besteht vollständig aus Stahl S355J2G3 und besitzt einen dreizelligen Hohlkastenquerschnitt. Die mittlere Zelle dient zur Einleitung der Seilkräfte. Dabei wurde aus konstruktiven Gründen die dreizellige Querschnittsform auch außerhalb des Seileinleitungsbereiches beibehalten. Die Kragarme des Hohlkastens wurden analog zur Vorlandbrücke durch Schrägstreben aus Stahl abgestützt. Der Hohlkasten ist in den gleichen Abständen durch Querrahmen bzw. Querschotte ausgesteift. Zusätzlich erfolgt die Aussteifung des Querschnitts in Längsrichtung über Steifen aus Trapezblech bzw. Profilstahl (Längsrippen). Jeweils vor und hinter den Seileinleitungen sind verstärkte Querrahmen angebracht, um die Kräfte aus dem unmittelbaren Lasteinleitungsbereich der mittleren Stege auf die äußeren Stege zu verteilen.

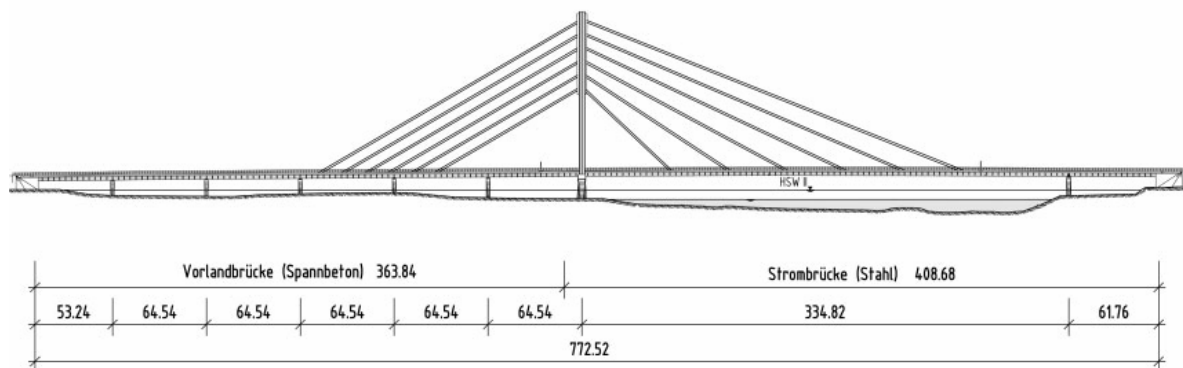


Abbildung 34: Seitenansicht der untersuchten Schrägseilbrücke

Die Schrägseile sind in der Ebene der Bauwerksachse im Mittelstreifen angeordnet. Die Seilanordnung von insgesamt 2 x 6 Seilgruppen besteht jeweils aus 6 Seilen. Dabei sind zwei Seile nebeneinander und drei Seile übereinander angeordnet. Die Neigung der Seile variiert zwischen ca. 1:1 und 1:2,5.

Überbauseitig sind die Schrägseile mit einem

Spannanker versehen. Der Spannanker besteht aus einem Ankerblock mit verstellbarer Ringmutter. Pylonseitig sind die Seile fest verankert. Um kritische Biegebeanspruchungen an den Seilköpfen zu vermeiden und ebenfalls eine hohe Dauerhaftigkeit der Seile zu gewährleisten, sind unmittelbar vor den Seilköpfen, sowohl im Fahrbahndeck als auch im Pylon, Seildämpfungstraversen angeordnet.

Der Pylon ist in einen unteren zweiteiligen Abschnitt mit einer Höhe von ca. 52 m und in einen oberen einteiligen Abschnitt mit einer Höhe von ca. 61 m unterteilt. Damit weist der Pylon die Form eines A-Pylons mit aufgesetztem Verankerungsstiel (umgekehrtes Ypsilon) auf. Die beiden Schrägteile des Pylons besitzen einen rechteckigen Hohlkastenquerschnitt aus hochfestem Beton. Der lotrechte obere Teil des Pylons ist als Verbundquerschnitt aus Baustahl S355J2G3 und hochfestem Beton ausgeführt. Der Verbund zwischen Stahl und Beton erfolgt durch Kopfbolzendübel als Verankerungsmittel. Die Ausführung in Verbundbauweise stellt hinsichtlich der statischen und konstruktiven Überlegungen eine Besonderheit dar. Aufgrund der hohen Beanspruchung im Seileinleitungsbereich ist der mittlere Bereich des Querschnitts als Stahlkasten konstruiert. Durch den Stahlbetonquerschnitt wird zusätzlich die Steifigkeit des Verbundquerschnitts zur Aufnahme von Druckkraftbeanspruchungen erhöht.

#### 8.6.4 Statische Voruntersuchung

Im Rahmen einer statischen Voruntersuchung wurde das Tragverhalten der Schrägseilbrücke nach dem Ereignis (post-incident) des plötzlichen Seilgruppenausfalls untersucht. Die Beanspruchung des Systems wurde in einer außergewöhnlichen Lastkombination  $LK_{dyn}$  nach DIN FB 101 [16] zusammengefasst. Da zu diesem Zeitpunkt der Regelverkehr noch ungehindert fließt und neben den ständigen Lasten die größte Beanspruchung des Systems darstellt, wurde die Verkehrslast als die führende veränderliche Last in der Kombination berücksichtigt. Die Belastung aus Wind ist gemäß DIN FB 101 [16], die für Wind einen Kombinationsbeiwert  $\psi_2=0$  vorsieht, nicht angesetzt.

$$LK_{dyn} = (G + VS + VSS) + 0,75Q_{TS} + 0,4Q_{UDL} + 0,5T$$

Die Seile wurden für die Lastkombination  $LK_{12}$  im Grenzzustand der Tragfähigkeit bemessen. Daher werden die entsprechenden Zustandsgrößen (Schnittgrößen und Verformungen) aus  $LK_{12}$ , die in diesem Zusammenhang als relevantes Bemessungsniveau bezeichnet werden, zur Beurteilung der Ergebnisse herangezogen. Die Lastkombination  $LK_{12}$  ist folgendermaßen definiert:

$$LK_{12} = 1,35(G + VSS) + 1,5p + 0,45W + ds + 0,5T + VS$$

$G$  Eigengewicht, ständige Lasten

$VSS$  Vorspannung der Seile

$VS$  Interne und externe Vorspannung

$p$  Verkehrslast

$T$  Temperatur

$ds$  Setzung

$W$  Wind

Simuliert man das Versagen einzelner Seilgruppen, beginnend von der äußeren Seilgruppe S1 bis S6, steigt die Durchbiegung  $U_{max}$  und erreicht das Maximum bei Seilgruppenausfall S3. Danach sinkt die Kurve und nähert sich bei Seilgruppenausfall S6 dem Ausgangswert. Die grafische Darstellung der Ergebnisse in Abbildung 35 verdeutlicht die Zunahme der Durchbiegung des Brückenträgers infolge des jeweiligen Seilausfalls.

Betrachtet man den Verlauf der Veränderung der Normalkräfte einzelner Seilgruppen infolge des plötzlichen Seilgruppenausfalls, ist festzustellen, dass die Nachbarseilgruppen der ausfallenden Seilgruppe die höchste Beanspruchung erfahren

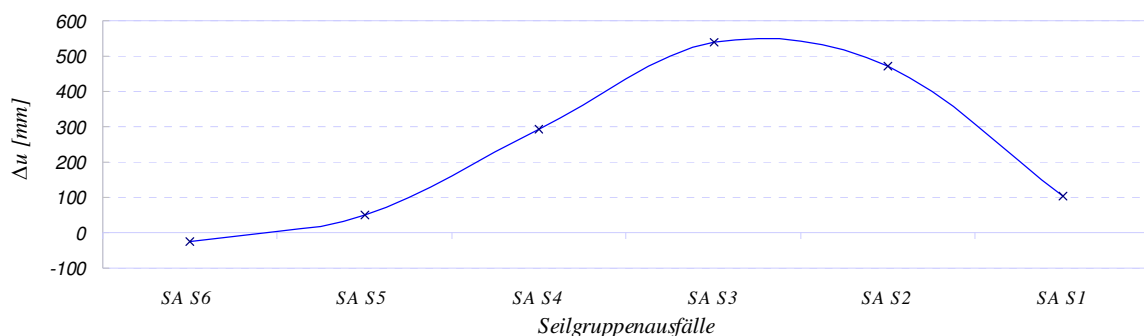


Abbildung 35: Differenzwert der maximalen Durchbiegung des Brückenträgers in Bezug auf das intakte System

## 8.6.5 Dynamische Berechnung

Die Ermittlung der Tragwerksantwort für das Ereignis (incident) des plötzlichen Seilgruppenausfalls, die eine dynamische Beanspruchung des Systems darstellt, erfordert eine möglichst realitätsnahe Simulation des Geschehens.

### 8.6.5.1 Simulation

Die Simulation des Seilgruppenausfalls wurde daher unter Anwendung des direkten Zeitschrittintegrationsverfahrens durchgeführt. Für die dynamische Berechnung wurde dabei ein linear elastisches Materialverhalten angenommen. Die numerische Analyse erfolgte anhand einer räumlichen FE-Modellierung des Systems, wobei zur Erfassung der Steifigkeiten des Tragwerks nur Stabelemente verwendet wurden. Die Schrägseile wurden zunächst als Zugstabelemente modelliert.

Da eine Überlagerung bei Seilen unzulässig ist, ist ein Ansatz für die maßgebende Verkehrslast zu wählen, da die dynamische Berechnung nur für eine Lastkombination möglich ist. Die Verkehrsgleichlast  $Q_{UDL}$  wurde für den ungünstigsten Fall über dem gesamten Strombereich mit einem Kombinationsbeiwert von 0,4 angenommen. Die Wahl für den örtlichen Ansatz der Verkehrslast QTS (Tandem System) richtet sich nach der ausfallenden Seilgruppe und wird somit direkt an den Seilangriffsstellen mit einem Kombinationsbeiwert von 0,75 angesetzt.

$$LK_{dyn} = (G + VS + VSS) + 0,75Q_{TS} + 0,4Q_{UDL} + 0,5T$$

Zuerst wurde in einer statischen Vorberechnung die Tragwerksantwort am intakten System ermittelt. Anschließend wurde für die Ermittlung der dynamischen Tragwerksantwort  $S_{dyn}$  die ausfallende Seilgruppe durch eine äquivalente Ersatzlast korrespondierend zu der jeweiligen Seilkraft in gleicher Wirkungsrichtung ersetzt. Der äquivalenten Ersatzlast wurde eine Last-Zeit-Funktion zugewiesen, die in Abbildung 36 dargestellt ist. Dabei ist die Massenträgheit des Systems durch eine exakte Massenbelegung der finiten Elemente explizit berücksichtigt.

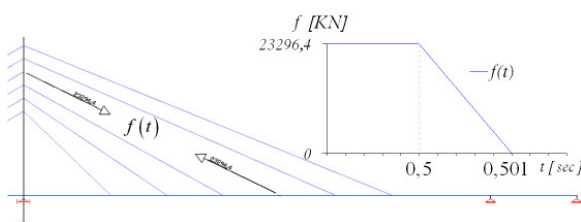


Abbildung 36: Idealierte Last-Zeit-Funktion der ausfallenden Seilgruppe

Die Lastkombination  $LK_{dyn}$ , aus der im System Massen erzeugt werden, stellt sowohl den dynamischen Lastfall als auch die statische Anfangsbedingung  $S_0$  der dynamischen Berechnung dar. Dies bedeutet, dass am Anfang der dynamischen Berechnung alle Zustandsgrößen  $S_0$  (Schnittgrößen und Verformungen) aus der statischen Berechnung von  $LK_{dyn}$ , die dem Zustand des intakten Systems entspricht, übernommen werden.

Die dynamische Berechnung beginnt am belasteten und verformten System. Die statisch äquivalente Ersatzlast der ausfallenden Seilgruppe ist bis zu 0,5 Sekunden aktiviert. Der Seilgruppenausfall tritt innerhalb einer Millisekunde ein, d. h. bei Zeitschritt 0,501 Sekunden ist die Seilkraft gleich Null.

### 8.6.5.2 Ergebnisse

Der plötzliche Seilgruppenausfall bewirkt eine Impulsbelastung des Resttragwerks. Die Impulsbelastung wirkt an den beiden Seilangriffsstellen, d. h. sowohl am Pylon als auch am Brückenträger, gleichzeitig. Sie ist zeitabhängig, denn die Wirkungskdauer der Impulsbelastung liegt im Sekundenbereich. Das Tragwerk reagiert, indem es versucht, durch die Umlagerung der plötzlich auftretenden Belastungen einen neuen Gleichgewichtszustand zu finden. Da das System in dem minimalen Zeitbereich nicht in der Lage ist, eine derartige Stoßbelastung umzulagern, fängt es an, bis zum Erreichen des neuen Gleichgewichtszustands zu schwingen. Schwingungen kennzeichnen die Schwankungen von physikalischen und geometrischen Größen eines Systems. Verliert ein System aufgrund einer Störung (z.B. Stoßbelastung) sein Gleichgewicht, sind die Veränderungen der physikalischen und geometrischen Größen  $S_i$  die Folge. Dabei werden gleichzeitig rücktreibende Kräfte im System aktiviert, die das System in Richtung des Anfangszustands zwingen. Berücksichtigt man diese Dämpfungswirkung des Systems in der numerischen Berechnung, nehmen die Schwingungen kontinuierlich ab bis sie vollständig abgeklungen sind (Abbildung 37).

Da der Einfluss der Dämpfung für die Ermittlung der maximalen und minimalen, dynamischen Tragwerksantwort gering ist, wird die dynamische Berechnung am ungedämpften System durchgeführt.

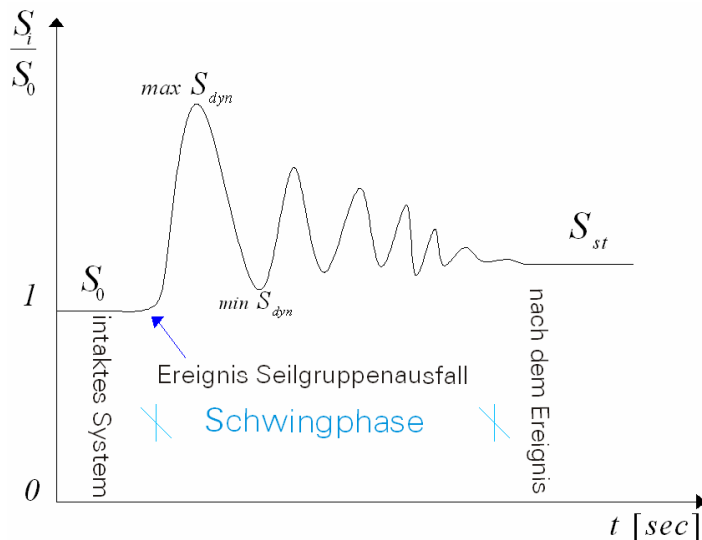


Abbildung 37: Darstellung des Verlaufs einer exemplarischen Schnittgröße bei einer dynamischen Berechnung am gedämpften System

Der zeitliche Verlauf der Normalkraft der Nachbarseilgruppe S2 für den Seilgruppenausfall S3, dargestellt in Abbildung 38, zeigt einen konstanten Verlauf bis zum plötzlichen Seilgruppenausfall. Dieser entspricht der statischen Anfangsbedingung des intakten Systems. Fällt die Seilgruppe S3 aus, erfährt der Brückenträger eine plötzliche

Impulsbelastung, die von den verbliebenen Seilgruppen aufgenommen werden muss. Dadurch nimmt die Zugbelastung in den intakten Seilgruppen schlagartig zu und sinkt wieder nach Erreichen eines maximalen Wertes  $\max N_{dyn}$  auf einen minimalen Wert  $\min N_{dyn}$ , der immer noch höher liegt als der statische Anfangswert.

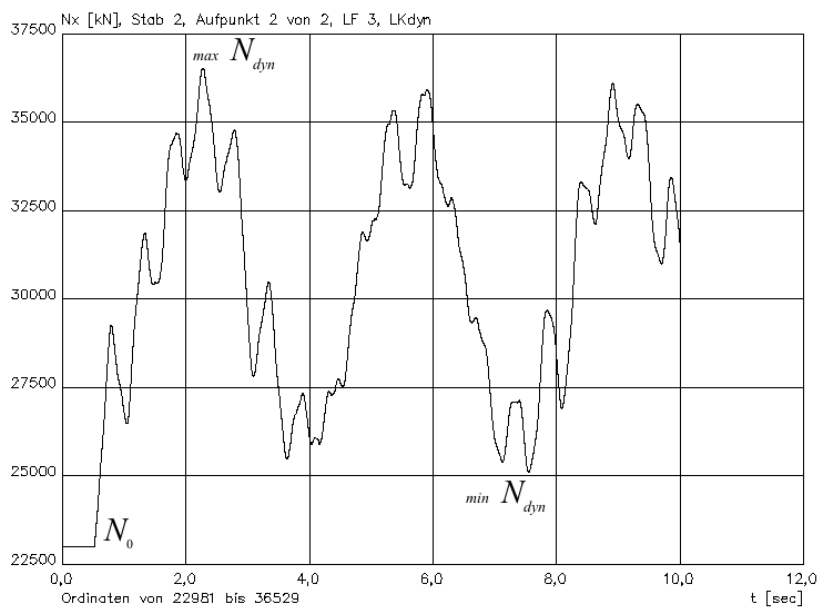


Abbildung 38: Normalkraftverlauf der Nachbarseilgruppe S2 im Zeitbereich für den Seilgruppenausfall S3

Um die Tragwerksantwort  $S_{st}$ , die gewissermaßen dem Zustand nach dem Abklingen der Schwingungen entspricht, festzustellen, wurde eine statische Berechnung ohne die statisch äquivalente Ersatzlast durchgeführt. Dies setzt voraus, dass das Tragwerk infolge der dynamischen Beanspruchung des Systems keinen globalen und lokalen

Schaden genommen hat. Wenn ein Versagen aufgetreten ist, kann nur im Rahmen einer dynamisch nichtlinearen Berechnung festgestellt werden. Bei einer linear dynamischen Berechnung kann nur im Nachhinein aufgrund der ermittelten Spannungen geprüft werden, ob ein Versagen vorliegt oder nicht. Am Gesamtsystem sind aber

nur linear elastische Berechnungen durchführbar, so dass die nichtlineare Berechnung auf die Querschnittsebene beschränkt ist. Die Seilgruppe, die die höchste Beanspruchung erfährt, wird bis knapp unterhalb des Bemessungsniveaus  $LK_{12}$  ausgenutzt.

Die Betrachtung der Vertikalverschiebung des Überbaus bei einem Seilgruppenausfall über die Schwingphase liefert nur sehr geringe Abweichungen zwischen dem Ausgangszustand am intakten System und der maximalen dynamischen Einsenkung.

### 8.6.6 Untersuchung zur Resttragfähigkeit

Zur Ermittlung der Resttragfähigkeit des Gesamttragwerks wurde die Schädigung des Tragwerks sowohl im lokalen als auch im globalen System untersucht. Dabei wurde das Augenmerk besonders auf die Plastifizierung des Querschnitts gerichtet. Zunächst ist durch den Vergleich dynamischer Schnittgrößen mit denen aus der Lastkombination  $LK_{12}$  festzustellen, inwieweit eine erhöhte Beanspruchung des Systems vorliegt. Ist dies der Fall, werden die betroffenen Querschnitte nach DIN 18800 [17] und DIN FB 101 [16] nachgewiesen. Ist der Nachweis nicht zu erbringen, ist im Rahmen einer Spannungsanalyse zu untersuchen, inwieweit eine Teilplastifizierung des Querschnitts vorliegt. Bei einer Vollplastifizierung kann an der betroffenen Stelle kein Gelenk nach dem

Prinzip der Fließgelenktheorie angenommen werden, da nach den geltenden Normen für die Querschnitte der Klasse 3 nur die elastische Tragfähigkeit angesetzt werden darf.

#### 8.6.6.1 Einfacher Seilgruppenausfall

Ein reiverschlussartiges Versagen der Seilgruppen bedeutet einen totalen Kollaps der Schrägseilbrücke. Daher ist für die Untersuchungen wichtig, diesen Fall auszuschließen. Die Seilgruppen sind ausschließlich auf Zug beansprucht. Aufgrund der identischen Querschnittswerte der Seilgruppen kann der Tragfähigkeitsnachweis direkt auf die ermittelten Seilkräfte bezogen werden. Für den Widerstand der Seile wird die Streckgrenze des Materials ohne Berücksichtigung des Teilsicherheitsbeiwertes herangezogen.

Die höchste Beanspruchung einer Nachbarseilgruppe bei Seilgruppenausfall erreicht etwa 45 % der vorhandenen Seil-Tragfähigkeitsgrenze. Damit ist nachgewiesen, dass das plötzliche Versagen einzelner Seilgruppen kein reiverschlussartiges Versagen mehrerer Seile zur Folge hat.

Im Weiteren wurde durch eine weitergehende Untersuchung der maßgebenden Seilausfälle geprüft, ob in diesen Fällen ein Versagen des Brückenträgers auftreten kann und wie groß die Resttragfähigkeit des Tragwerks ist.

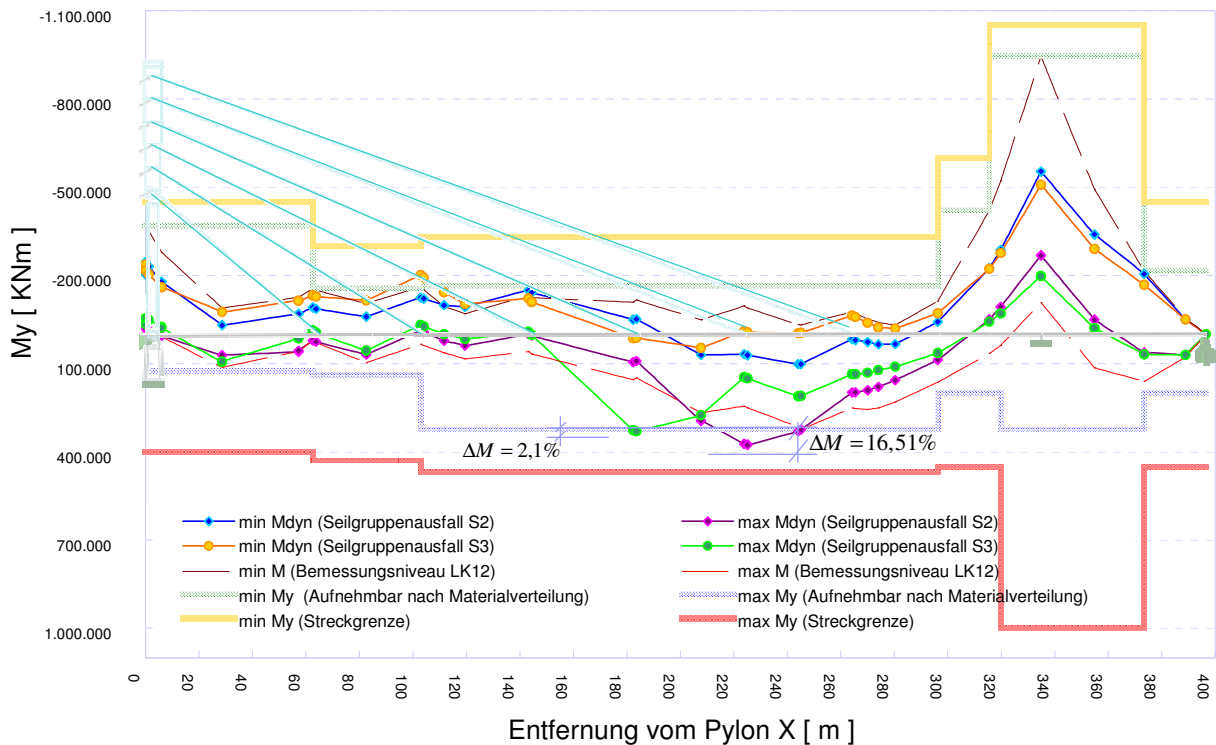


Abbildung 39: Vergleich der Biegebeanspruchung des Überbaus mit dem Referenzzustand  $LK_{12}$  und der Streckgrenze (Grenztragfähigkeit)



Aus den Ergebnissen geht hervor, dass sich die Biegebeanspruchung des Überbaus bei Seilgruppenausfällen in Bezug auf die maximale Biegebeanspruchung aus  $LK_{12}$  zwischen 2,1 % und 16,51 % erhöht (Abbildung 39). Es wurde ergänzend untersucht, ob infolge der erhöhten Beanspruchung ein Spannungsversagen im lokalen Bereich auftreten kann. Für die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit gelten die Bestimmungen von DIN 18800 [17] und DIN FB 103 [18].

Der Stahlhohlkastenquerschnitt ist mit einer Schlankheit des Steges von 0,66 als ein Querschnitt der Klasse 3 einzustufen. Laut Definition in DIN FB 103 können Querschnitte der Klasse 3 beim Erreichen der Streckgrenze in der ungünstigsten Querschnittsfaser infolge Druckbeanspruchung ihre plastischen Reserven wegen des örtlichen Beulens nicht ausnutzen.

Entsprechend den durchgeführten Berechnungen liegen die maximalen Spannungen im Zuggurt und im Druckgurt unterhalb der Streckgrenze von  $35,5 \text{ kN/cm}^2$ . Der Ausnutzungsgrad des Querschnitts infolge der Druckbeanspruchung aus dem Längssystem beträgt dabei 67 %. Für den Nachweis des Druckgurts müssen die Spannungen aus dem Längssystem mit denen aus dem Quersystem ungünstig überlagert werden.

Die resultierenden Druckspannungen am oberen Querschnittsrand und am 300 mm darunter liegenden unteren Querschnittsrand der Längsrippen betragen ungünstigst ca.  $32,3 \text{ kN/m}^2$ , entsprechend dem Bemessungswert  $35,5 / 1,1 = 32,3 \text{ kN/cm}^2$ . Damit ist eine ausreichende Biegetragfähigkeit des Überbaus bei einem Teilveragen vorhanden.

Ein Spannungsversagen kann ebenfalls infolge der Querkraftbeanspruchung vorkommen. Die geringfügige Erhöhung der Querkraft im Bereich der Nachbarseilgruppe hat keine wesentliche Zunahme der Schubspannungen im Querschnitt zur Folge und ist unkritisch.

Die Berechnungen zeigen, dass für den Spannungsnachweis des Stahlüberbaus nicht der Zuggurt, sondern der Druckgurt maßgebend wird. Bei druckbeanspruchten Bauelementen besteht zusätzlich die Gefahr, dass ein Stabilitätsproblem auftreten kann.

Um diese Frage zu beantworten, wurde ein Segment des Druckgurts mit vier Längsrippen an einem vom Hauptssystem getrennten Modell lokal untersucht. Da der Stahlhohlkastenquerschnitt durch die in einem Regelabstand von ca. 4 m angeordneten Querrahmen bzw. Querschotte versteift ist, wird auch nur ein Segment dieser Länge betrachtet. Die Normalkraftbeanspruchung

der Längsrippen lässt sich aus der ermittelten Spannungsverteilung im Querschnitt abbilden.

Der Biegeknicknachweis führt zur geringfügigen Überschreitung der Bemessungswerte, was aber unbedenklich ist.

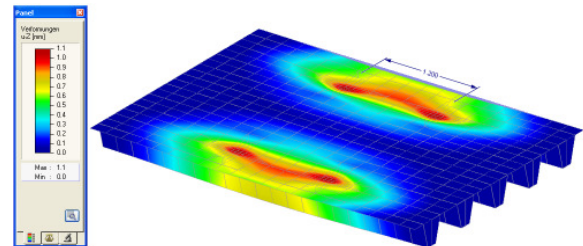


Abbildung 40: Vertikalverformung der Längsrippen infolge Tandemlast

### 8.6.6.2 Zweifacher Seilgruppenausfall

Aus dem einfachen Seilausfall resultiert kein Brückenkollaps. Es wurde daher eine vergrößerte Schädigung in Form eines Seilausfalls zweier benachbarter Seilgruppen untersucht.

Aus den Ergebnissen geht hervor, dass bei einem zweifachen Seilgruppenausfall ein Versagen weiterer Seilgruppen ausgeschlossen werden kann. Dies resultiert aus der sehr hohen Tragreserve, die Seile üblicherweise besitzen. Durch den gleichzeitigen Ausfall von zwei Seilgruppen verliert der Überbau aber plötzlich auf einer Länge von ca. 120 m seine Stützungen. Er erfährt eine erhöhte Biegebeanspruchung, die einerseits durch die Belastungen und andererseits durch den plötzlichen Impuls und die dadurch ausgelöste Schwingung hervorgerufen wird.

Die Beanspruchungen des Überbaus führen zu einer deutlichen Überschreitung der Tragfähigkeitsgrenze mit einer Plastifizierung des Druckgurtes. Hieraus folgt das Versagen des Überbau-Längssystems.

### 8.6.7 Resttragfähigkeit unter Berücksichtigung des Seildurchhangs

Die bisher dargestellten dynamischen Berechnungen basieren auf der Modellierung der Seilgruppen als Zugstab. Um das nichtlineare Tragverhalten der Seile, das von dem Verformungsmodul und Durchhang der Seile abhängig ist, zu berücksichtigen, werden für die Modellierung der Schrägseilgruppen im FE-Modell dreiknotige Seilelemente implementiert. Das implementierte Seilelement beruht auf einem quadratisch isoparametrischen Ansatz für Geometrie und Verschiebungen. Mit diesem Elementansatz wird die Erfassung großer Verformungen und eines linear veränderlichen Verlaufs der Seilkräfte ermöglicht. Dabei wird ein linear-elastisches Materialverhalten vorausgesetzt. Das nichtlineare Gleichungs-

system wird durch eine Newton-Raphson-Iteration gelöst [19].

Die linear dynamische Berechnung erfolgte mit Hilfe der direkten Zeitschrittintegration, wobei für die Seilelemente in jedem Zeitschritt eine nichtlineare Gleichgewichtsiteration durchgeführt wird, welche auch die Seilträgheitskräfte berücksichtigt.

Führt man eine lineare Berechnung nach [19] mit einem Tragwerksmodell durch, das auch Seilelemente enthält, wird die Berechnung nur in Bezug auf die diskretisierten Seilelemente nach Theorie 3. Ordnung durchgeführt. Dabei ist zu erwähnen, dass bei der linear dynamischen Berechnung lediglich das geometrisch nichtlineare Tragverhalten infolge Seildurchhang und Trägheitseffekte iterativ berücksichtigt wird. Der vom Anwender vorgegebene E-Modul bleibt aber während der gesamten Berechnung konstant.

Die durchgeführte dynamische Berechnung mit den veränderten Seilsteifigkeiten und den genauen Seilvorspannungen basiert auf den vorlaufend durchgeführten Berechnungen mit dem Zugstabmodell.

### 8.6.7.1 Ergebnisse

Die Berechnungsergebnisse bestätigen die Ergebnisse des Zugstabmodells und weisen eine qualitativ vergleichbare Größe auf. Die Abweichungen betragen bei den Seilkräften lediglich 2 bis 7 %.

Betrachtet man die Biegebeanspruchung des Überbaus, ist ebenfalls ein qualitativ vergleichbarer Verlauf festzustellen. Allerdings reduziert sich die Biegebeanspruchung bei Seilgruppenausfall um ca. 10 % (siehe Abbildung 41).

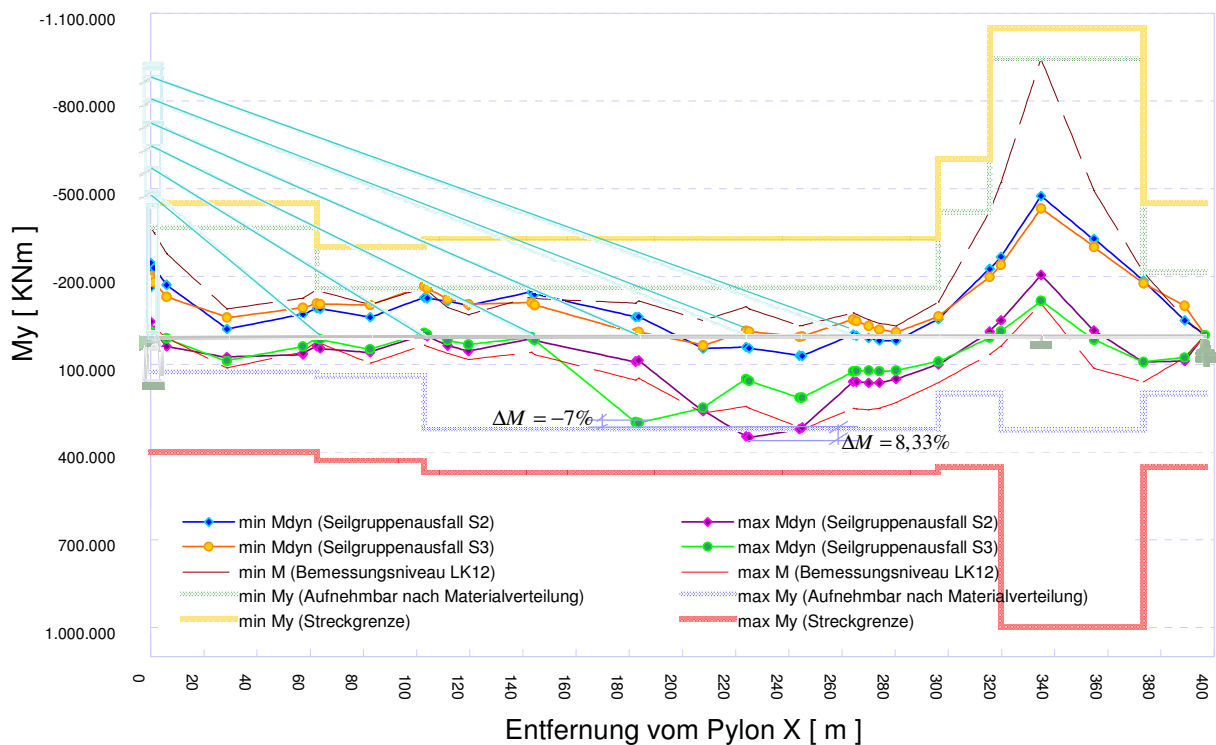


Abbildung 41: Vergleich der Biegebeanspruchung des Überbau mit dem Referenzzustand LK12 und der Streckgrenze (Grenztragfähigkeit)

Vergleicht man den Verlauf der Verformung des Brückenträgers, lässt sich gleichfalls eine qualitative Ähnlichkeit in Bezug auf das Zugstabmodell feststellen. Im Vergleich zum Zugstabmodell verringern sich die Verformungen bei Seilgruppenausfall um ca. 15 %.

## 8.6.8 Lokale Untersuchungen

### 8.6.8.1 Ergebnisse

Unter Hinweis auf die sensiblen Inhalte der durchgeführten Untersuchungen werden nachfolgend nur die publizierbaren Fakten wiedergegeben.

Durch Explosionseinwirkungen können Teile des Überbau-Tragwerks zerstört werden. Diese Fehlbereiche im Tragwerk führen je nach Größe zu Beanspruchungserhöhungen nicht unerheblichen Ausmaßes.

Für verschiedene Bereiche und Explosionsgrößen wurden vom EMI Fehlflächen definiert, die im Rahmen lokaler Betrachtungen eingeflossen sind. In den jeweiligen lokalen Systemen wurden die zuvor am Globalsystem ermittelten Schnittgrößen berücksichtigt. Zusammengefasst ergibt sich bei kleinen und mittleren Explosionsereignissen eine Erhöhung der Spannungen im Querschnitt, die aber nicht zur Überschreitung der plastischen Tragfähigkeit führen.

### 8.6.8.2 Bewertung der Tragfähigkeit des Brückenquerschnitts

Das Heranziehen des charakteristischen Werts der Streckgrenze (plastische Tragfähigkeit) für den Stahlhohlkastenquerschnitt des Brückenträgers ist zulässig, da bei einer außergewöhnlichen Bemessungssituation, wie es in diesem Falle vorliegt, eine realistische Abschätzung der Tragreserve gefragt ist. Für den verwendeten Stahl wird im Allgemeinen eine Streckgrenze von 35,5 kN/cm<sup>2</sup> angesetzt. Dieser Wert ist eine statistische und keine deterministische Kenngröße der Spannungs-Dehnungs-Linie, die auf empirische Untersuchungen des Materials zurückzuführen sind.

Die Ergebnisse der empirischen Untersuchung sind als statistische Größen in einer Streuungskurve darstellbar. Aus diesen Daten kann die Wahrscheinlichkeit des Auftretens bestimmter Werte für die Streckgrenze errechnet werden. Die angegebenen Kennwerte der Materialwiderstände entsprechen dem 0,05-Quantil dieser Kurve. Dies bedeutet, dass nur bei 5 % der produzierten Stähle die Fließgrenze unterhalb des Kennwertes liegen. Bei 95 % der Stähle liegt die tatsächliche Fließgrenze oberhalb des angegebenen Kennwertes.

Der Stahlhohlkastenquerschnitt der untersuchten Schrägseilbrücke ist als ein Querschnitt der Klasse 3 einzustufen. Die Querschnitte werden in der Regel aufgrund der ungünstigsten Klasse ihrer druckbeanspruchten Teile eingestuft. Die Querschnitte der Klasse 3 werden auch als halb-kompakte oder semi-kompakte Querschnitte bezeichnet, deren Tragfähigkeit in den geltenden

Normen nur als elastisch vorgegeben wird. Damit kann ihre Tragfähigkeit nur bis zur Streckgrenze ausgenutzt werden. Da für die Beurteilung der Resttragfähigkeit des dreizeiligen Stahlhohlkastenquerschnitts dessen plastische Tragfähigkeit ebenfalls von Bedeutung ist, werden nachfolgend die in [20] veröffentlichten, relevanten Forschungsergebnisse diskutiert.

Die in [20] präsentierten Forschungsergebnisse befassen sich mit dem teil-plastischen Tragverhalten von semi-kompakten Querschnitten (halb-kompakte Querschnitte) im Hinblick auf die Querschnittstragfähigkeit. Das Forschungsvorhaben ist auf die Tatsache zurückzuführen, dass in der bestehenden EN1993-1-1 eine Inkonsistenz zwischen der Klasse 2 und der Klasse 3 besteht, da dort die plastische Ausnutzbarkeit der Klasse-2-Querschnitte sprunghaft auf die elastische Tragwirkung der Klasse-3-Querschnitte absinkt (siehe Abbildung 42).

Diese Unstetigkeit im Übergangsbereich, die auch in den anderen erwähnten Normen vorkommt, steht im Widerspruch zu einer ingenieurmäßigen Anschauung und führt dazu, dass die reale Tragkapazität der Klasse-3-Querschnitte nicht ausgenutzt wird. Zur Ermittlung der teil-plastischen Tragfähigkeit werden zwei verschiedene H- und warmgefertigte Hohlprofile auf reine Biegung experimentell untersucht. Die Querschnitte weisen eine Schlankheit der Klasse 3 auf. Es stellt sich aber heraus, dass sowohl bei H-Profilen als auch bei Hohlprofilen deutliche Überkapazitäten gegenüber der elastischen Normentragfähigkeit vorhanden sind.

Es erfolgte eine numerische Untersuchung, wobei die FE-Modelle zuvor anhand der experimentellen Versuchsergebnisse kalibriert wurden. Die umfangreiche Parameterstudie von Klasse-3-Querschnitten, die unter verschiedensten Lastkombinationen durchgeführt wurden, ergab eine höhere Tragfähigkeit, die deutlich über der elastischen, nah der plastischen Tragfähigkeit liegt.

In Anbetracht der in [20] präsentierten experimentellen Versuchsergebnisse (Abbildung 43) und der eigenen numerischen Untersuchungen liegt die berechnete Vermutung nahe, dass bei Stahlhohlkastenquerschnitten der Klasse 3, wie sie häufig in Brückentragwerken vorkommen, ebenfalls in Abhängigkeit von ihrer Querschnittsschlankheit eine höhere reale Tragfähigkeit als die Normentragfähigkeit erwartet werden kann.

Allerdings sind zur genauen Bestimmung der realen Tragfähigkeiten weitergehende experimentelle und numerische Studien erforderlich, die anschließend in einer normativen Regelung einfließen müssen.

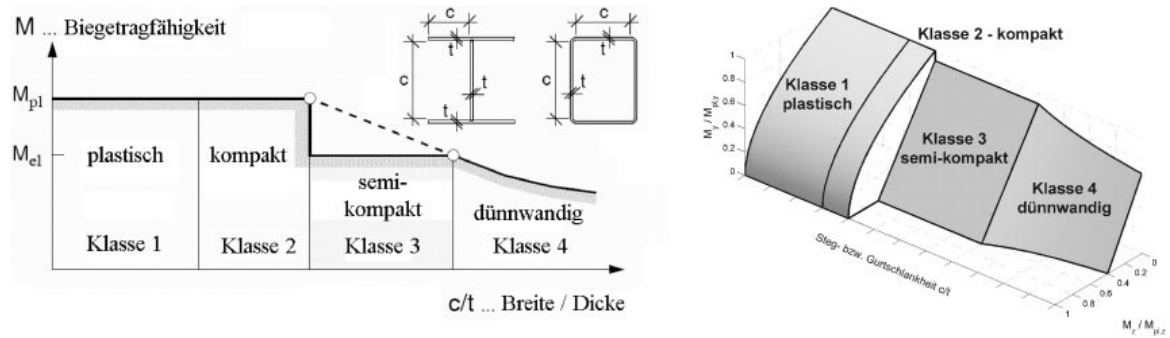


Abbildung 42: Unstetigkeit in der aktuellen EN 1993-1-1 [20]

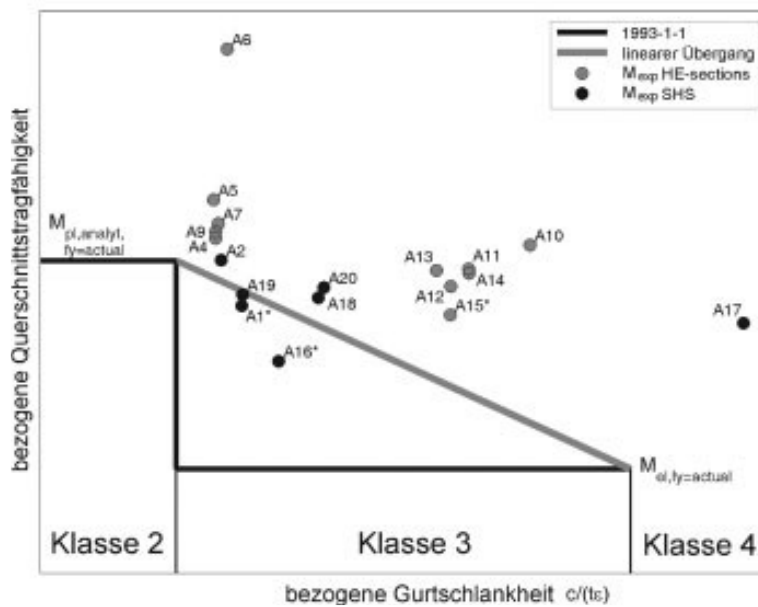


Abbildung 43: Gegenüberstellung der experimentellen Querschnittstragfähigkeiten mit den bestehenden Tragfähigkeiten nach EN 1993-1-1 -Biegung ohne Normalkraft [20]

## 8.6.9 Analyse des Pylons

### 8.6.9.1 Dynamische Berechnung nach Theorie 1. Ordnung

Für die lineare Berechnung des Pylons wurde die Lastkombination  $LK_{51}$  zugrunde gelegt. Die Lastkombination  $LK_{51}$  beinhaltet die bekannten Lastkombinationen  $LK_{12}$ , die als für die Bemessung der Seile und des Überbaus maßgebende Lastkombination aus den bisherigen Berechnungen bekannt ist, und  $LK_{50}$ , die zusätzlich die Beanspruchung des Pylons aus Wind in Querrichtung berücksichtigt.

Referenzzustand (Theorie 1. Ordnung):

$$LK_{51} = LK_{12} \text{ bzw. } LK_{50}$$

$$LK_{12} = 1,35(G + VSS) + 1,5p + 0,45W + ds + 0,5T + VS$$

$$LK_{50} = 1,35(G + VSS) + 1,5W_{\text{quer}} + VS$$

Dabei sind die beiden Lastkombinationen als sich gegenseitig ausschließend definiert.

Für die dynamische Berechnung wurde analog eine außergewöhnliche Lastkombination  $LK_{251}$  erstellt, die ebenfalls aus zwei Lastkombinationen  $LK_{250}$  und  $LK_{212}$  besteht. Die Lastkombinationen  $LK_{250}$  und  $LK_{212}$  stellen eine Modifikation von  $LK_{12}$  und  $LK_{50}$  dar. Die Lastkombination  $LK_{212}$  ist identisch mit  $LK_{\text{dyn}}$ , d. h. die Verkehrslast  $Q_{\text{UDL}}$  steht im Hauptfeld (Strombrücke).

Hiermit ergibt sich die

außergewöhnliche Lastkombination (Theorie 1. Ordnung) für den Pylon:

$$LK_{251} = LK_{212} \text{ bzw. } LK_{250}$$

$$LK_{212} = (G + VSS) + 0,75Q_{\text{TS}} + 0,4Q_{\text{UDL}} + ds + 0,5T + VS$$

$$LK_{250} = (G + VSS) + 0,5W_{\text{quer}} + VS$$

#### 8.6.9.1.1 Verformungen

Durch die Seilvorspannung ist der Pylon gegen horizontale Verschiebung in Längs- und Querrichtung gehalten. Dadurch erfolgt ein Stabilisierungseffekt, der sich sowohl in Längsrichtung als auch in Querrichtung auswirkt. Fällt ein Seil aus, ist dieser Gleichgewichtszustand, der durch die Seilvorspannung aufrecht gehalten wird, nicht mehr gegeben und damit untersuchungsrelevant. Zusätzlich erfährt der Pylon eine durch die Impulslast hervorgerufene Stoßbelastung und wird dadurch in Schwingungen versetzt.

Erreicht der Pylon seine maximale Horizontalverschiebung z. B. in Richtung Vorlandbrücke, dann nimmt die Normalkraft der Rückhalteseile und somit auch die Steifigkeit extrem ab, so dass die

Vorspannkräfte nicht mehr vorhanden sind. In der darauf folgenden Sekunde schwingt der Pylon plötzlich in Richtung Strombrücke, wodurch die Rückhalteseile in ihrer Längsrichtung gezogen werden und nicht mehr schlaff bleiben. Damit stehen die Rückhalteseile unter hoher Zugbelastung und weisen eine hohe Steifigkeit auf. Dieser Vorgang wiederholt sich während der Schwingphase innerhalb von Sekunden mehrmals. Die Verformungen des Pylons nähern sich nach dem Abklingen der Schwingung (Kurve  $U_{x,st}$ ) denen aus der statischen Anfangsbedingung (Kurve  $U_{x,o}$ , d.h. im intakten Zustand) soweit, dass sie sich geringfügig unterscheiden. Dies bedeutet, dass der Pylon zu seinem anfänglichen Verformungszustand zurückkehrt und damit einen stabilen Zustand erreicht (Abbildung 44).

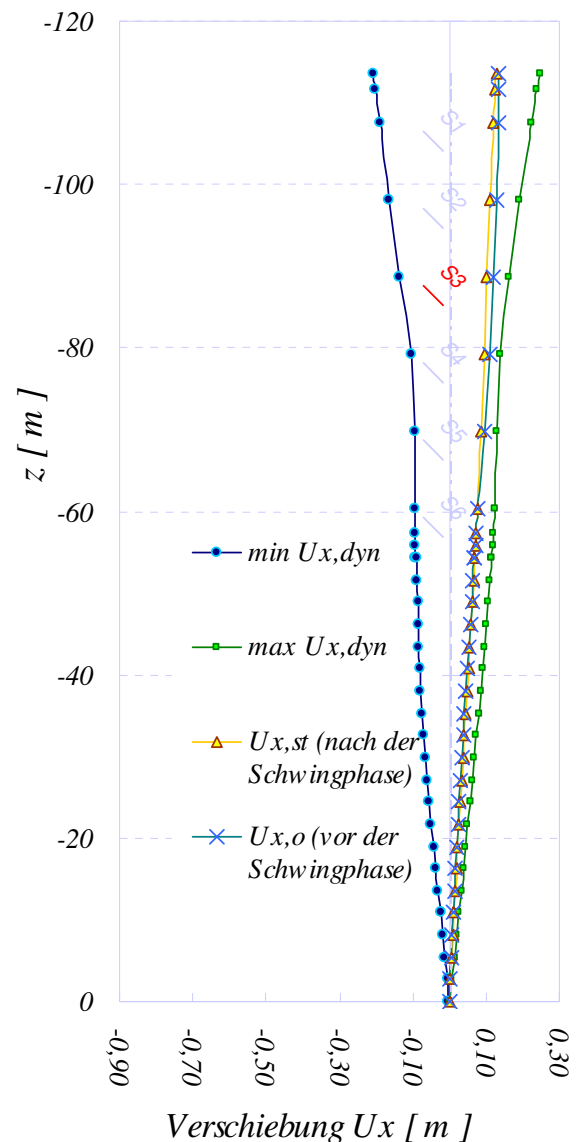


Abbildung 44: Verformungen des Pylons aus spezifischem Seilgruppenausfall

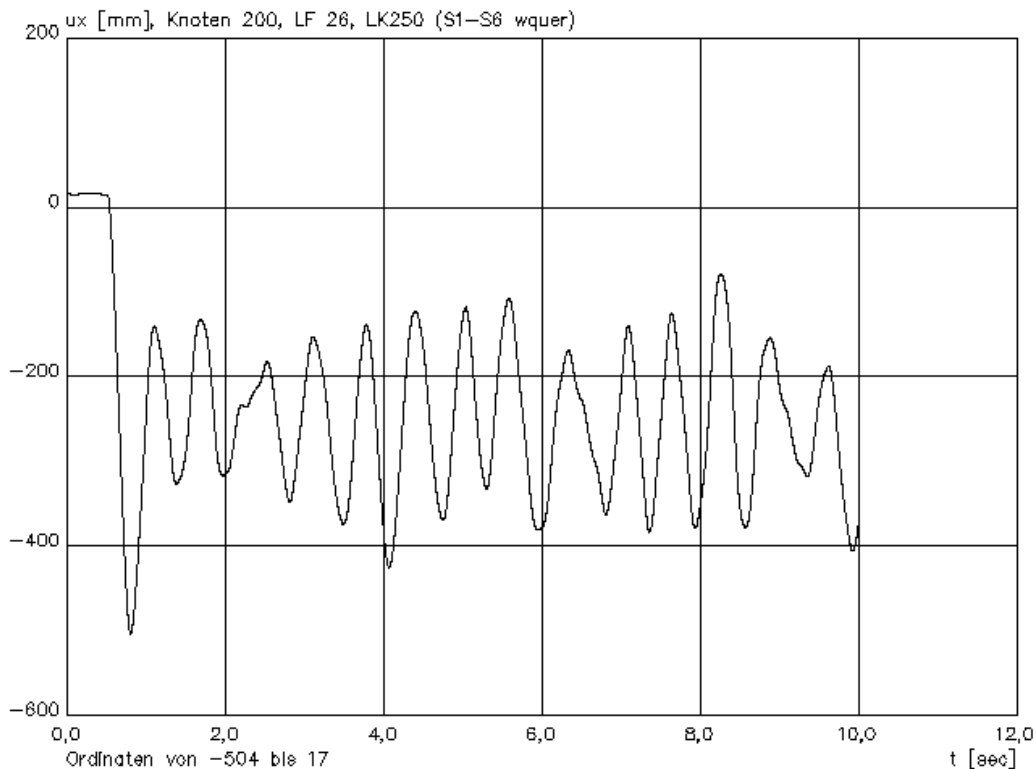


Abbildung 45: Horizontalverformung am Pylonkopf während der Schwingphase bei Seilgruppenausfall

Die Abbildung 45 zeigt das typische Schwingungsverhalten bei einem Seilgruppenausfall.

#### 8.6.9.1.2 Spannungen

Die dynamische Berechnung des Seilgruppenausfalls wurde für die beiden Lastkombinationen LK<sub>250</sub> und LK<sub>212</sub> getrennt durchgeführt. Anschließend wurden die Extremwerte aus den beiden Lastkombinationen in der Lastkombination LK<sub>251</sub> ermittelt.

Aus Abbildung 46 ist zu entnehmen, dass der Pylonquerschnitt zu einem großen Teil unter Zugspannungen steht. Damit befindet sich der Beton im gerissenen Zustand II. Daher ist es wichtig nachzuvollziehen, wie die Biegebelastung vom Verbundquerschnitt aufgenommen wird.

Der Verbundquerschnitt besteht im mittleren Bereich aus einem geschlossenen Stahlkastenquerschnitt. Der in Abbildung 46 dargestellte Verbundquerschnitt des Pylons stellt den Sonderbereich des Querschnitts dar, der aus konstruktiven Gründen mit einer Öffnung versehen ist.

Die Aufnahme der Beanspruchungen erfolgt in Abhängigkeit von der Steifigkeitsverteilung im Querschnitt. Da der Stahlhohlkasten eine hohe Biegesteifigkeit besitzt, übernimmt er auch den größten Teil der Biegebeanspruchung. Die Biegebeanspruchungen werden zunächst vom Stahlkasten aufgenommen, wodurch ein bestimmter Dehnungszustand hervorgerufen wird. Dehnt sich

der Stahl, wird der Stahlbetonquerschnitt gezwungen, sich ebenfalls zu dehnen. Dadurch werden Kräfte von Stahlquerschnitt auf Stahlbetonquerschnitt übertragen, aber nicht umgekehrt.

Inwieweit die Betonbewehrung dadurch auf Zug beansprucht wird, hängt von der Dehnung des Stahls an der Verbindungsstelle ab. Denn dort findet die Übertragung der Kräfte auf die Betonbewehrung statt.

Für die Ermittlung der Tragreserven ist daher die Berechnung der plastischen Grenztragfähigkeit des Verbundquerschnitts erforderlich.

Für die Berechnung wurde der ungünstigste Querschnitt im Öffnungsbereich betrachtet.

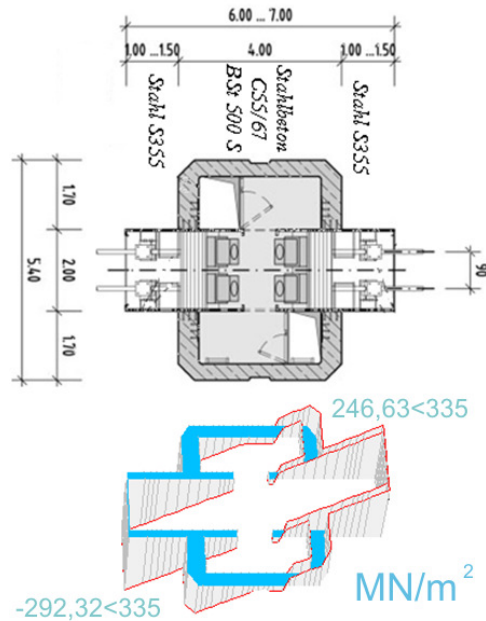


Abbildung 46: Normalspannung am Querschnittsrand in Bezug auf die Streckgrenze des Stahls

### 8.6.9.2 Quasi-statische Berechnung nach Theorie II. Ordnung

Der Pylon ist statisch als ein frei auskragender Stab anzusehen, der auf Stabilitätsversagen untersucht werden muss. Er wird sowohl durch Vertikallasten auf Druck als auch durch Horizontallasten auf Biegung beansprucht. Nach Theorie I. Ordnung werden diese Lasten getrennt berechnet und anschließend superponiert. Dieses Vorgehen ermöglicht nur eine angenäherte Erfassung der wirklichen Beanspruchungen und liegt bei auf Druck beanspruchten Bauteilen nicht auf der sicheren Seite. Daher wurde in einer quasi-statischen Berechnung unter Verwendung dynamischer Vergrößerungsfaktoren untersucht, inwieweit die dynamischen Beanspruchung aufgrund der Verformungen des Pylons und die daraus resultierenden Abtriebskräfte sich erhöhen und ob hierdurch ein Bauteilversagen verursacht werden kann.

Für die Berechnung des Pylons nach Theorie II. Ordnung wurde die Lastkombination  $LK_{52}$  herangezogen. Die Lastkombination  $LK_{52}$  besteht aus vier Lastgruppen, in denen die Tragwerksantwort nach Theorie II. Ordnung ermittelt wird. In den Lastgruppen wurden die Belastungen des Systems sowohl in Längsrichtung als auch in Querrichtung berücksichtigt. In Lastkombination  $LK_{52}$  wurden nur die Extremwerte aus den Lastgruppen ermittelt und keine Überlagerung vorgenommen.

Referenzzustand Theorie II. Ordnung:

$$LK_{52} = LG_{14} \text{ bzw. } LG_{15} \text{ bzw. } LG_{16} \text{ bzw. } LG_{17}$$

Für die quasi-statische Berechnung unter Verwendung dynamischer Vergrößerungsfaktoren wurde eine Lastkombination  $LK_{252}$  erstellt, die ebenfalls aus vier sich gegenseitig ausschließenden Lastgruppen besteht. Alle Lastgruppen stellen an sich eine außergewöhnliche Lastkombination dar. Die Verkehrslast  $Q_{UDL}$  wird nur im Hauptfeld angesetzt. Die Verkehrslast aus dem Tandem-System wird an der Verankerungsstelle der ausfallenden Seilgruppe angebracht. Für die Imperfektion des Pylons wurde eine Schiefstellung von 1/700 entsprechend  $LK_{52}$  sowohl in Längsrichtung als auch in Querrichtung gewählt.

Außergewöhnliche Lastkombinationen THII für den Pylon:

$$LK_{252} = LG_{114} \text{ bzw. } LG_{115} \text{ bzw. } LG_{116} \text{ bzw. } LG_{117}$$

Die quasi-statische Berechnung erfolgte mit einem dynamischen Vergrößerungsfaktor (DVF)=2. Dieser Wert ist sowohl mit den ermittelten dynamischen Vergrößerungsfaktoren für die Seilkräfte und die Biegemomente des Brückenträgers als auch mit dem Maximum der Differentialgleichung von einem Ein-Massen-Schwinger vereinbar.

Die dynamischen Zusatzverformungen des Pylons, die durch die Schwingungen des Pylons hervorgerufen werden, wurden in den Berechnungen als Vorverformung berücksichtigt.

Dies erfolgt, indem zuerst in einer statischen Berechnung die Verformungen des Pylons ermittelt werden. Durch die Bildung des Differenzwertes

$$\Delta U_{dyn} = U_{dyn} - U_{st}$$

lässt sich die zusätzliche Verschiebung des Pylons, die in einer quasi-statischen Berechnung berücksichtigt werden muss, ermitteln. Somit entspricht die als Lastfall eingegebene Vorverformung diesem Differenzwert  $\Delta U_{dyn}$ . (Abbildung 47).

Durch die Berücksichtigung der nichtlinearen Effekte aus Theorie II. Ordnung nehmen die Verformungen in Bezug auf die dynamische Berechnung nach Theorie I. Ordnung um ca. 16 % zu und bewirken dadurch eine erhöhte Biegebeanspruchung des Verbundquerschnitts um 5 %. Damit verbleibt noch eine hohe Tragreserve des Querschnittes von ca. 35 %.

Im Rahmen der Untersuchung hat sich herausgestellt, dass eine nähere Betrachtung der Schrägstäbe des Pylons nicht notwendig ist, da der Stahlbetonquerschnitt in diesem Bereich vollständig überdrückt ist und keine Zugspannungen aufweist.

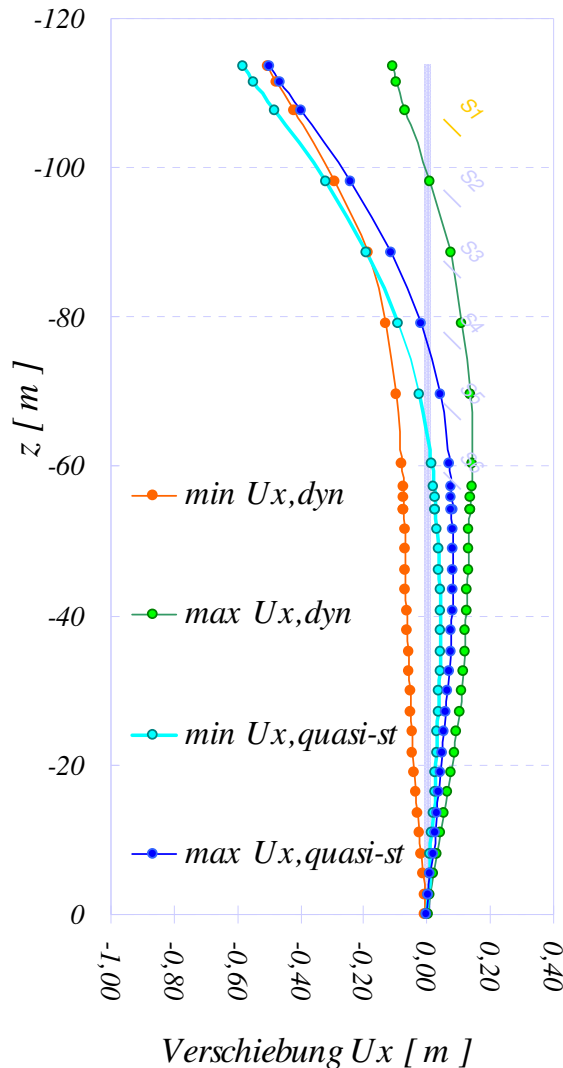


Abbildung 47: Vergleich der Horizontalverformung des Pylons aus dynamischer und quasi-statischer Berechnung für spezifischen Seilgruppenausfall

### 8.6.9.3 Schädigung des Pylons infolge Explosion

Durch die leichte Zugänglichkeit der Schrägstäbe des Pylons von der Fahrbahnseite aus ist die Möglichkeit eines Explosionsereignisses möglich.

Dieses Ereignis wurde untersucht und durch definierte Fehlflächen im Querschnitt simuliert. Als Belastung wurde die Beanspruchung des Systems infolge der außergewöhnlichen Lastkombination  $LK_{dyn}$  ohne Seilgruppenausfall herangezogen.

Aus den Ergebnissen geht hervor, dass trotz der Schwächung des Querschnitts durch die Explosion dieser nicht überbeansprucht wird und noch Reserven vorhanden sind. Bezieht man die Ergebnisse auf den charakteristischen Wert der Betondruckfestigkeit, liegt die maximale Ausnutzung der Querschnittstragfähigkeit bei ca. 50 %.

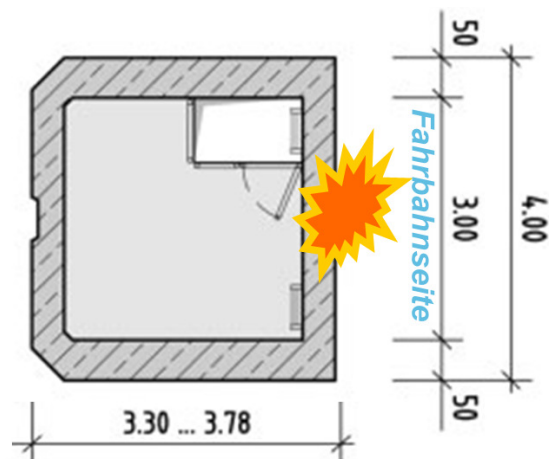


Abbildung 48: Explosion an der äußeren Wandung der Schrägstäbe des Pylons auf der Fahrbahnhöhe

### 8.6.10 Fazit

Aufgrund der erzielten Ergebnisse der strukturdynamischen Untersuchung, die die Analyse maßgebender Seilgruppenausfallszenarien beinhaltet, können die vorhandenen Tragreserven der Schrägseilbrücke als ausreichend eingestuft werden. Die Ermittlung realitätsnaher Ergebnisse erforderte eine entsprechende numerische Simulation des dynamischen Ereignisses. Daher wurde die dynamische Berechnung unter Verwendung des direkten Zeitschrittintegrationsverfahrens durchgeführt, wobei die Massenträgheit des Systems durch eine exakte Massenbelegung der finiten Elemente explizit berücksichtigt wurde. Weiterhin konnte das nichtlineare Tragverhalten der Seile während der Schwingphase durch entsprechende Modellierung mit Seilelementen erfasst werden.

In Bezug auf die Seilkräfte kann ein reißverschlussartiger Kollaps definitiv ausgeschlossen werden. Die Tragreserve der Seile ist für den einfachen Seilgruppenausfall auf knapp 60 % zu quantifizieren.

Für die Ermittlung der Tragreserven des Überbaus wurde im Rahmen einer lokalen Untersuchung des Überbaus auf der Querschnittsebene zusätzlich eine Schädigung durch Explosion berücksichtigt. Die Annahmen hinsichtlich des Ausmaßes der Schädigung beruhen auf den Angaben vom EMI. Die Ergebnisse führen nicht zu einer Überschreitung der plastischen Tragfähigkeit.

Die strukturdynamische Analyse des Pylons, die die Effekte aus Theorie I. und II. Ordnung beinhaltet, schließt ebenfalls ein Versagen des Pylons aus. Die vorhandene Tragreserve des Verbundquerschnitts kann für den ungünstigsten Seilgruppenausfall auf ca. 35 % quantifiziert werden.

Die lokale Untersuchung der Schädigung der



Schrägstäbe des Pylons durch eine Detonation an der äußeren Wandung liefert eine Tragreserve von ca. 50 %.

Weiterhin ergab eine Untersuchung für den Zeitpunkt 24 Stunden nach dem Ereignis (post-incident II), dass die Brücke mit 60 % des Verkehrs des intakten Zustands befahren werden kann, vorausgesetzt das befahrbare / nutzbare Resttragwerk befindet sich in einem Zustand, der keine Verminderung der Tragfähigkeit erwarten lässt.

## 8.7 Ergebnis Rechtecktunnel

### 8.7.1 Explosionsszenarien

Für die detaillierte Untersuchung des Szenarios Explosion wurden 3 Sprengstoffmengen unterschiedlichen Gewichtes zur Simulation von entsprechenden Ereignissen zu Grunde gelegt. Im Hinblick auf die sensiblen Informationen wird hierauf nicht weiter eingegangen.

### 8.7.2 Ausgewählte Systeme

Im Kontext mit den sprengtechnischen Untersuchungen zur Bestimmung der Bauteilzerstörung lassen sich bei Tunnelbauwerken die statischen Systeme für tragwerksplanerische Aussagen verallgemeinern.

Ein repräsentativer Tunnelquerschnitt für die geschlossene Bauweise, Spritzbetonbauweise ergibt sich für einen Autobahnquerschnitt mit je zwei Richtungsfahrbahnen. Innerhalb der Tunnelstrecke ist nur in besonderen Fällen lt. RABT [21] ein Standstreifen vorzusehen, so dass der zweiröhri-ge Regelquerschnitt RQ 26 t (bzw. 31 t nach RAA [22]) ohne Standstreifen für statische Aussagen herangezogen werden kann.

Der Querschnitt der Einzelröhre des RQ 26 t entspricht auch dem Gegenverkehrstunnelquerschnitt RQ 10,5 T nach [21].

Die Tunnel in Spritzbetonbauweise werden als seitlich gebettete Systeme mit je nach Geologie und Grundwassersituation offener oder geschlossener Sohle ausgebildet. Für die Betrachtungen im Zusammenhang mit Explosionsszenarien sind die Systeme mit geschlossener Sohle weniger von Bedeutung, da diese in Folge der Sohlauffüllung mit Straßenaufbau im Sohlbereich nicht so gefährdet sind.

Von besonderem Interesse sind die an den Verkehrsraum anschließenden Wände. Aus diesem Grund ist das System mit offener Sohle für statische Betrachtungen das geeignetere.

Ein repräsentativer Querschnitt für die geschlossene Bauweise, Schildbauweise, ergibt sich aus den äußeren Gefährdungspotentialen bei einer Explosion. Im Gegensatz zu einem Schildtunnel

im Festgestein bergen Schildtunnel im Lockergestein, meist gepaart mit hoch anstehendem Grundwasser, viel größere Risikopotentiale. Da derartige Tunnelanlagen vornehmlich für Flussquerungen zum Einsatz kommen (als Alternative E/A-Tunnel), und hierdurch gleichzeitig eine hohe Verkehrsbelastung erwartet werden kann, wird ein 4-streifiger Autobahnquerschnitt mit Standstreifen zu Grunde gelegt. Dies entspricht einem RQ 26 Tr nach RABT bzw. einem RQ 31 T nach RAA und weist etwa einen Außendurchmesser von 14 m auf. Statisch wird der Tunnel als gebetteter Ring mit Koppelung in den Ringfugen abgebildet.

Wegen der nicht bekannten und voraussichtlich positiv wirksamen Einflüsse des Gebirges auf die bergmännisch hergestellten Tunnel werden im Rahmen von SKRIBT Bauwerke dieser Bauweise nicht weiter untersucht. Zukünftiger Forschungsbedarf ist hier dringend angezeigt.

Für die offene Bauweise ist die Bandbreite der statischen Systeme etwas größer. So gibt es einzellige und mehrzellige Systeme, die nebeneinander oder übereinander angeordnete Verkehrsbeziehungen aufnehmen. Darüber hinaus variiert die Zellenbreite mit den Anforderungen aus dem Verkehrsweg und die Belastung je nach Einsatzbedingungen.

Die offen hergestellten Tunnel mit der größten äußeren Belastung stellen die E/A-Tunnel dar, die im Zuge von Gewässerquerungen zum Einsatz kommen. Sie sind als nebeneinander liegende zweizellige Rahmen ausgebildet. Entsprechend der im Gegensatz zum Schildtunnel relativ kurzen Länge stellt ein 4-spuriger Autobahnquerschnitt ohne Standstreifen mit dem RQ 26 t bzw. RQ 31 t die Regelausführung dar.

Der Querschnitt ist aus Abbildung 49 ersichtlich.

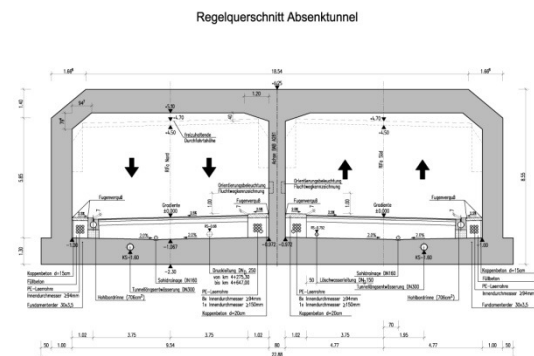


Abbildung 49: Querschnitt Einschwimm-/Absenktunnel (E/A-Tunnel)

In Gegensatz zu den hohen äußeren Belastungen bei den E/A-Tunneln sind die in letzter Zeit verstärkt in dicht besiedelten Gebieten realisierten Lärmschutztunnel mit geringer Überschüttung und damit geringerer Belastung ausgeführt. Da sie verstärkt in Ballungsräumen zum Einsatz kom-

men, führt die hohe Verkehrsbelastung zu breiteren Querschnitten. Als repräsentativ kann ein 6-spuriger Autobahnquerschnitt ohne Standstreifen entsprechend dem RQ 33 t nach RABT bzw. dem RQ 36 t angesehen werden.

Je nach geologischer und hydrologischer Situation kommt eine geschlossene Sohle zur Ausführung, die im Regelfall mit dem Straßenaufbau der Strecke überdeckt wird.

Im Hinblick auf die höheren Schädigungspotentiale bei äußerer Grundwasserbelastung wird ein Tunnel mit geschlossener Sohle gewählt.

Statisch stellt dieser Tunneltyp einen Rechteckrahmen mit gebetteter Sohle dar.

### 8.7.3 Berechnungsbeispiel – Regelquerschnitt in offener Bauweise

#### 8.7.3.1 Grundlagen

Im ersten Berechnungsbeispiel wird ein Tunnel in offener Bauweise betrachtet. Verwendet wird der im Rahmen des Projektes ausgewählte Regelquerschnitt als 1/2 RQ 33t (einzelliger Rahmen).

Die Bauteilabmessungen dieses generischen Bauwerks sind in der nachfolgenden Tabelle 1 aufgeführt. Die letzte Spalte liefert dabei den angesetzten Bewehrungsgrad.

Tabelle 1: Bauteilabmessungen Offene Bauweise

3.1	Offene Bauweise	Sohle	100	0,7%
3.2	Offene Bauweise	Außenwand	80	0,9%
3.3	Offene Bauweise	Innenwand	80	0,9%
3.4	Offene Bauweise	Decke	150	0,4%

Aus den Untersuchungen zur lokalen Schädigung (Verwundbarkeit) des EMI resultieren für die Bauteile eines Tunnels szenarienabhängigen Ergebnisse.

Die Informationen aus der lokalen Schädigung in Form von Abplatzungen und Sprengkratern werden über eine Reduzierung der Steifigkeit und eine Reduzierung der Festigkeit für das jeweilige Szenario in der angegebenen Geometrie im FE-Modell berücksichtigt.

#### Innendruckbelastungen

Im Tunnelinnenraum entsteht durch Mehrfachreflexion der Detonationsdruckwelle von den Tunneloberflächen ein instationärer Druck-Zeit-Verlauf, der sich mit einer bilinearen Funktion in guter Näherung beschreiben lässt (vgl. Abbildung 50).

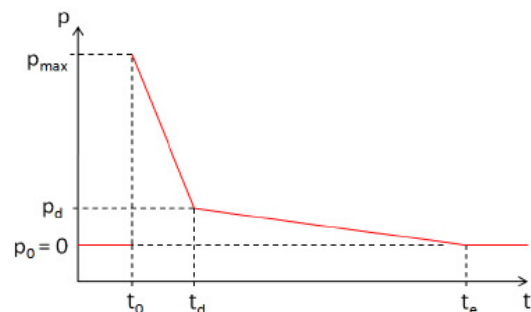
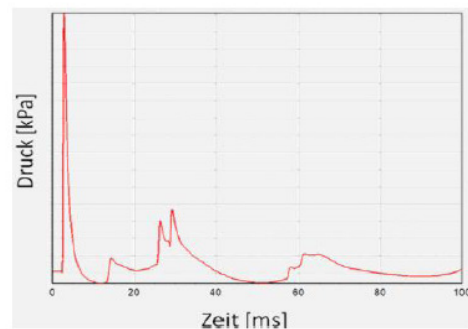


Abbildung 50: Transienter Innendruck und bilinearer Ersatzdruck-Zeitverlauf

Für diese bilineare Belastungscharakteristik wurde zusammen mit dem EMI eine neue Vorschrift zur Ermittlung eines statischen Ersatzdrucks hergeleitet. Hierzu war eine Variation der Einflussparameter des Spitzendrucks und der zugehörigen Einwirkdauer, des Gasdrucks und der zugehörigen Einwirkdauer sowie der Eigenfrequenz

strukturdynamischer Systeme jeweils im Spektrum der im Tunnel mit offener Bauweise auftretenden Variationsdimensionen erforderlich (Abbildung 51, Abbildung 52, Abbildung 53). Aufgrund der komplexen Zusammenhänge wurde vereinfachend ein einzelliger Querschnitt gewählt.

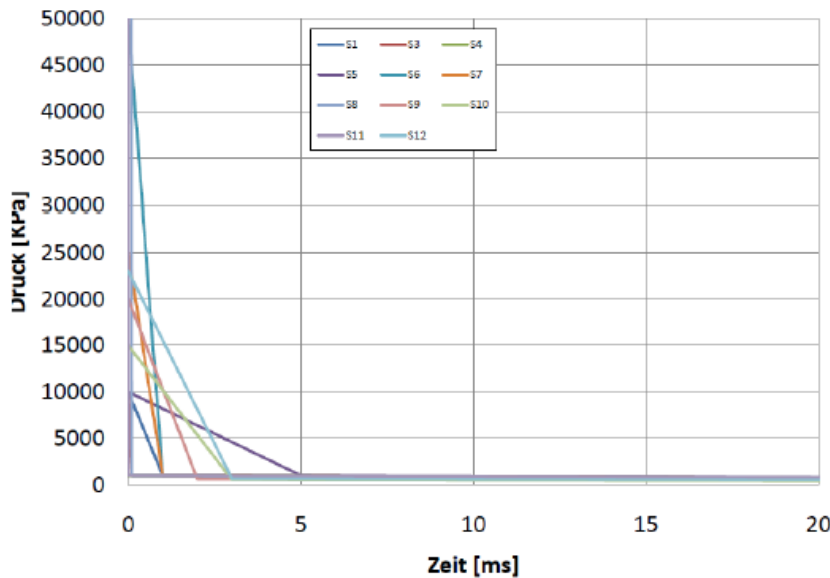


Abbildung 51: Variation der Einflussparameter im für Tunnelstrukturen mit Rechteckquerschnitt üblichen Wertespektrum

Bis zu einem Verhältnis von ca. 0,35 zwischen den jeweiligen Impulsanteilen von Spitzenüberdruck und Gasdruck kann unabhängig vom strukturdynamischen System (d.h. unabhängig von der Eigenschwingdauer  $\omega$ ) eine Funktion

angegeben werden, die zur Ermittlung einer geeigneten statischen Ersatzlast herangezogen werden kann. Maßgebendes Kriterium zur Validierung ist die Maximalverformung des Systems.

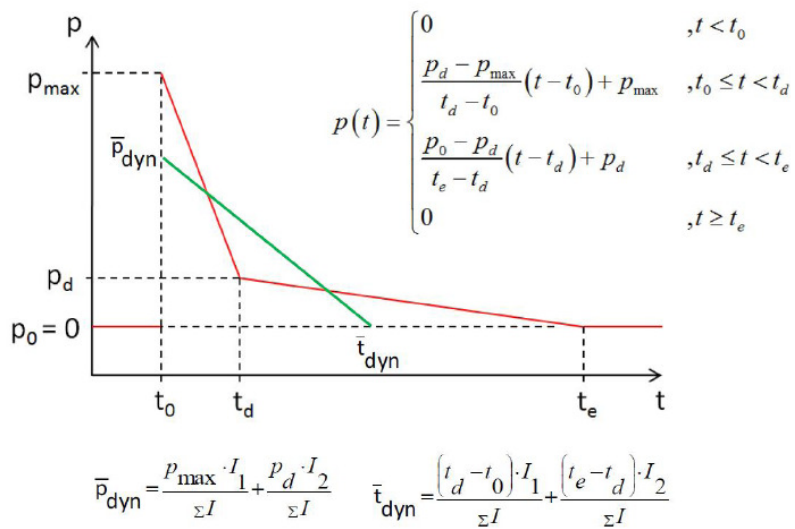
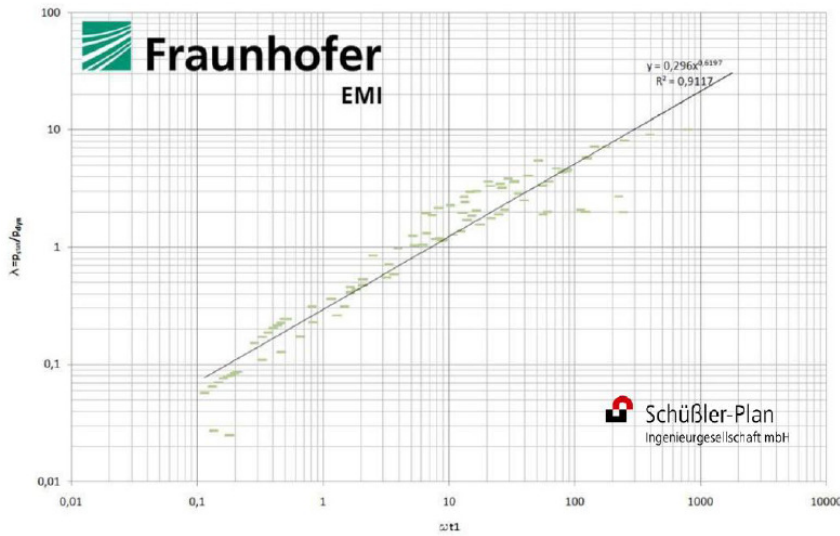


Abbildung 52: Herleitung des über die jeweiligen Impulsanteile gewichteten Ersatzdrucks und der Ersatzeinwirkdauer



$$P_{stat}(t_1, t_n, f_e, f_{max}) = P_{dyn} \cdot \lambda(t_1, t_n, f_e, f_{max})$$

Abbildung 53: Funktion zur Ermittlung der statischen Ersatzlast für beliebige Eigenschwingzeiten  $\omega$  struktureller Systeme

Die statische Ersatzlast ist weiterhin abhängig von der Entfernung zum Detonationsort in Tunnelängsrichtung. Daher werden die Angaben des EMI zusätzlich über die Längsabwicklung ausgehend vom Detonationsort angegeben (Abbildung 54). Diese Angabe erlaubt zusammen mit den einzelnen Berechnungsergebnissen eine Ermittlung der Robustheit und damit des Zerstörungsgrades für das gesamte Bauwerk.

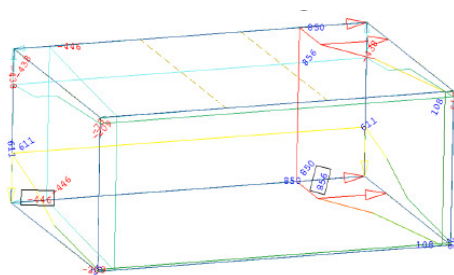


Abbildung 54: Linearisierung der statischen Ersatzdrücke über einen Tunnelblock

### Berechnungsablauf des nichtlinearen Traglastverfahrens

In Vorlaufberechnungen (Aushubzustand, Endzustand mit Regelbelastungen) wird der Ausgangszustand des Systems unmittelbar vor dem Ereignis berechnet. Die eingepprägten Spannungen und Verformungen werden als Ausgangsbasis für die Ereignisfallberechnung abgespeichert.

Im nächsten Schritt wird die lokale Schädigung wie zuvor beschrieben im System integriert und der linearisierte Detonationsdruckverlauf schrittweise aufgebracht. Der Gleichgewichtszustand des Systems wird in jedem Rechenschritt iterativ bestimmt. Übersteigt die einwirkende Druckbelastung die aufnehmbaren Kräfte, ist die Traglast erschöpft (in Abbildung 55 durch farbige Stellen im ansonsten grün eingefärbten Tunnelquerschnitt dargestellt). In diesem Zustand wird das Bauwerksversagen angenommen. Bei weiterer Steigerung der Druckbelastung wächst die Verformung ohne nennenswerten Widerstand.

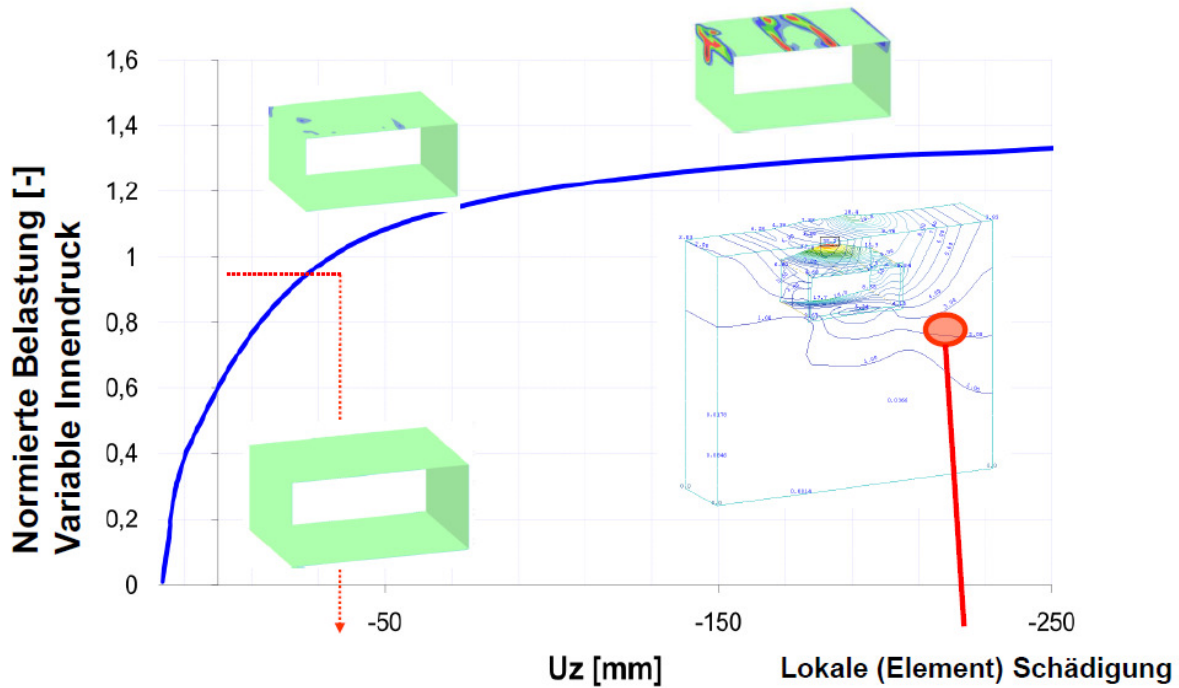


Abbildung 55: Exemplarische Darstellung der Lastfaktorsteigerung und einsetzender Plastifizierungen

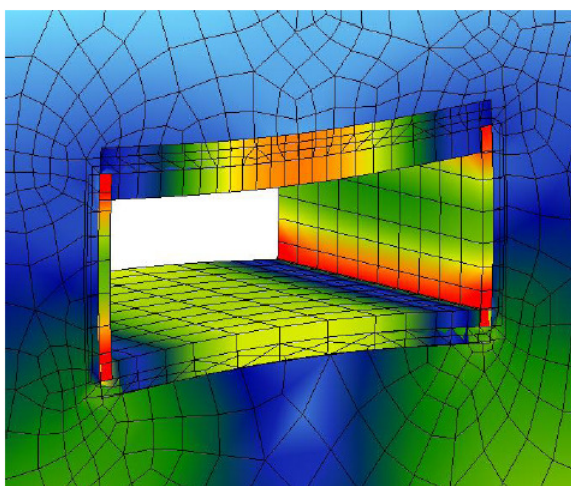
Die Ergebnisse sind den üblichen Streuungen der zugrunde liegenden Materialfestigkeiten unterworfen. Die Kurve stellt den rechnerischen Mittelwert des Materialverhaltens dar. Weitere Sicherheiten sind nicht eingerechnet, so dass der Zustand so realitätsnah, wie auf dieser rechnerischen Basis möglich, abgebildet ist.

### 8.7.3.2 Untersuchungsergebnis

Im ersten Berechnungsbeispiel wird das kommerziell verfügbare FE-Programm SOFISTIK für eine räumliche, statisch physikalisch nichtlineare Berechnung eines Tunnelblocks verwendet.

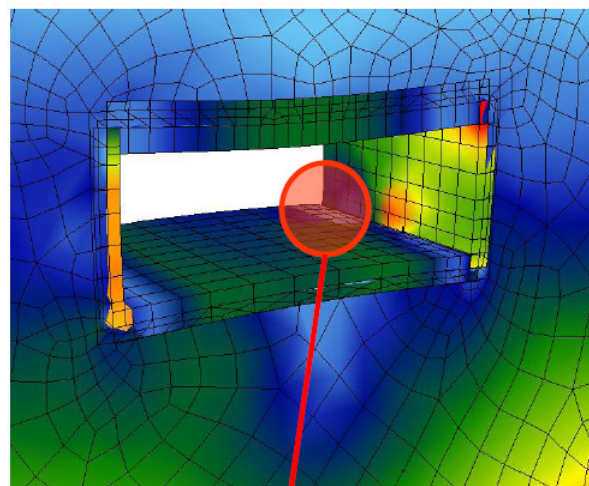
Die räumliche Berechnung ist unbedingt erforderlich, um den Einfluss der lokalen Schädigung richtig zu erfassen und die notwendige Lastumlagerung mit Hilfe eines Traglastverfahrens zu berechnen.

#### Vor - Ereignis



- Statische Belastungsrandbedingung
- Intaktes System

#### Ereignis



- Transienter Innendruck
- Geschädigte Elemente im System

Abbildung 56: Darstellung des FEM-Modells

Als Randbedingungen wird ein homogener Baugrund (Sand, mitteldicht gelagert) mit einem validierten physikalisch nichtlinearen Stoffgesetz verwendet. Das Bauwerk wird mit Multi-Layer-Schalenelementen abgebildet, bei denen durch fiktive Teilung der Bauteildicke in Layer die Bewehrungslage, die unbewehrten Querschnittsbereiche (neutrale Zone) und der vorhandene Bewehrungsgrad erfasst wird. Die Arbeitslinien von Beton und Betonstahl werden ohne zusätzliche Sicherheitsfaktoren verwendet.

Für die exemplarische Berechnung wurde eine Tunneldecken-Überschüttung von üblicher Größe angesetzt. Die Überschüttung stellt bei Tunnelquerschnitten in offener Bauweise eine wesentliche Einflussgröße bei der Ermittlung der Traglast dar.

Bei Explosionsszenarien ist sie das wesentliche Widerlager bei Innendruckbeanspruchung. Hieraus folgt tendenziell, dass mit größerer Überschüttung größere Innendrucke aufnehmbar sind.

Für den Beispieletunnel erreicht die maximale Traglast einen Wert, der über der Innendruckbelastung im Tunnelblock unmittelbar am Detonationsort herrscht. Damit kann der Zerstörungsgrad und die Zerstörungslänge für das Gesamtbauwerk überschlägig festgelegt werden.

Bei den Berechnungen wurde vereinfachend von der Annahme ausgegangen, dass der Verlauf, nicht jedoch die Größe der statischen Ersatzdrücke über die Querschnittsabwicklung in Längsrichtung vom Detonationsort nach außen hin gleich bleibt.

#### 8.7.4 Hinweis zur Verallgemeinerung der Ergebnisse

Im Rahmen der Untersuchungen wurde eine Clusterung für typische Bauteile und Tunnelkonstruktionen vorgenommen und übliche Bauteilabmessungen unterstellt. Dies entspricht einer großen Verallgemeinerung im Sinne des Untersuchungsspektrums.

Hinsichtlich der dargestellten Ergebnisse wurden weiterhin Szenarien zu Grunde gelegt, die auch die Bandbreite der Möglichkeiten abbildet.

Die nachfolgenden Hinweise zur Übertragbarkeit auf ähnliche Bauteile und Bauwerke stellen Tendenzen, in keinem Fall aber konkrete Vorhersagen zu Schäden dar.

Grundsätzlich ist es immer möglich, dass unvorhersehbare Ereignisse am konkreten Bauwerk eine weitergehende Schädigung mit eventuellen Folgeschäden erzeugen können, die über das Ausmaß des hier dargestellten hinausgehen. Gleiches trifft für menschlich hervorgerufene Er-

eignisse zu, die mit speziellen Taktiken oder Mitteln erzeugt werden.

Für eine genaue einzelbauwerksbezogene Beurteilung der Schädigungen ist stets eine Einzelfallbetrachtung unter eventuellem Einschluss von Versuchen unabdingbar.

#### 8.7.5 Grenzen der Anwendung von Berechnungen mit statischer Ersatzlast

Nachfolgende Grenzen einer Berechnung mit statischen Ersatzlasten sind zu berücksichtigen:

1. Die Ableitung statischer Ersatzlasten ist abhängig von der Eigenfrequenz des gebetteten Systems und damit den elastischen Steifigkeiten des Tunnelquerschnitts. Mit der statischen Ersatzlast kann nur **ein definierter Verformungszustand** eines dynamisch angeregten Systems abgebildet werden. Für die Bestimmung der Grenztragfähigkeit wird angenommen, dass dieser Zustand maximaler Verformung in Belastungsrichtung (also Explosionsdruckrichtung) maßgebend wird. Rückschwingvorgänge werden damit vernachlässigt.
2. Weiterhin können bei einer statischen Berechnung die Zeitpunkte, an denen der maximale Verformungszustand erreicht wird, nicht erfasst werden. Damit wird vereinfacht angenommen, dass dieser Zustand an jedem beliebigen Punkt des Tunnelblocks zeitgleich auftritt. Ein mögliches günstig oder ungünstig wirkendes Überlagern von Hin- und Rückschwingvorgängen in benachbarten Bauteilen (Sohle – Wand) kann nicht berücksichtigt werden.
3. Die tatsächlichen Steifigkeiten von Stahlbetontragwerken sind abhängig vom Verformungszustand (Zustand 1 – linear elastisch; Zustand - 2 gerissen). Damit ist der Ansatz einer elastischen Eigenfrequenz u.U. nicht über den gesamten Belastungsverlauf konstant. Eine steifigkeitsabhängige Änderung der statischen Ersatzlast während des Berechnungsvorgangs wäre die Folge. Diese Vorgehensweise kann vor dem Hintergrund der vorhandenen Komplexität und Streubreite bei der Bestimmung der inelastischen Steifigkeit des gerissenen Betonquerschnitts keinesfalls für eine praktische Anwendung empfohlen werden. Zur Berücksichtigung der tatsächlichen Steifigkeiten werden daher Parameterstudien mit begleitenden strukturdynamische Vergleichsberechnungen empfohlen.

### 8.7.6 Strukturdynamische Vergleichsberechnung

Zur Überprüfung des Einflusses der Annahmen bei der Ableitung statischer Ersatzlasten wurde im Rahmen von SKRIBT exemplarisch eine strukturdynamische Vergleichsberechnung für den Regeltunnel in offener Bauweise durchgeführt. Dabei kommen die linearisierten transienten Druck-Zeit-Verläufe des EMI als über die Tunnelquerschnitts- und -längsentwicklung veränderliche Belastung zum Einsatz.

Die Systemrandbedingungen bleiben ansonsten unverändert gegenüber der Traglastberechnung.

Anstelle des Traglastverfahrens treten einzelne dynamische Zeitschrittberechnungen mit einer skalaren Steigerung des transienten Belastungsbildes mit dem Faktor  $\lambda$ . Die Berechnung erfolgt mit einer hinreichend kleinen Zeitschrittweite von  $\Delta t < t_e/10$  zur Erfassung der transienten Belastung (Schock- und Gasdruckphase) und einer hinreichend kleinen Ortsdiskretisierung zur korrekten Erfassung der Schwingungsvorgänge. Die Ergebnisse sind in der nachfolgenden Abbildung 57 für den Fall einer Überschüttung von 2,0 m dargestellt.

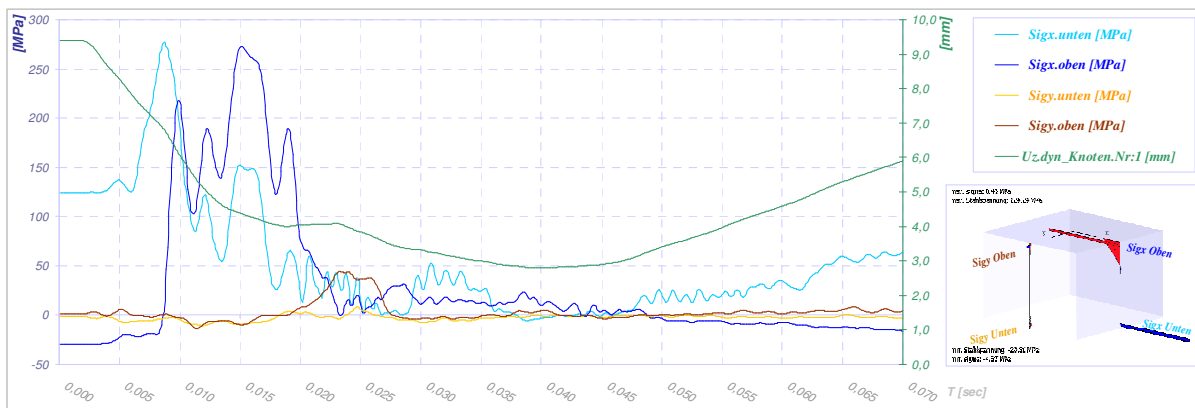


Abbildung 57: Spannungsverlauf in Feldmitte der Tunneldecke mit Verformung in Knoten 1 (Lastfaktor  $\lambda=1$ )

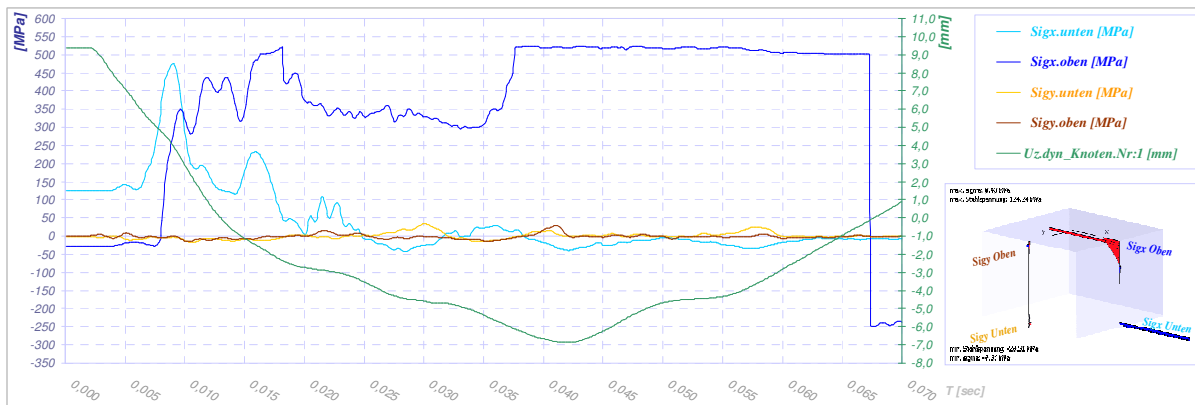


Abbildung 58: Spannungsverlauf in Feldmitte der Tunneldecke mit Verformung in Knoten 1 (Lastfaktor  $\lambda=2$ )

Abbildung 57 und Abbildung 58 stellen die Ergebnisse für zwei skalare Steigerung der transienten Innendruckbelastung von  $\lambda=1$  und  $\lambda=2$  dar. Betrachtet man den Verlauf der Betonstahlzugspannung der oberen Lage (dunkelblaue Kurve), so wird deutlich, dass bei der tatsächli-

chen Innendruckbelastung  $\lambda=1$  die Streckgrenze im Betonstahl nicht erreicht wird. Bei  $\lambda=2$  wird die Streckgrenze zunächst mehrfach kurzzeitig und ab einem Zeitpunkt von 40ms permanent überschritten (Fließen der oberen Bewehrung).

Betrachtet man gleichzeitig den zugehörigen Verformungszustand in Feldmitte der Tunneldecke (grüne Kurve), so wird bei  $\lambda=1$  kein Aufwölben der Decke nach oben erreicht (Verformung infolge Innendruck reduziert die Ausgangsverformung von + 9mm auf + 3mm), während bei  $\lambda=2$  ein Durchschlag von 9mm auf -7mm erreicht wird.

Vergleicht man die Spannungen und Verformungen mit den Resultaten der statischen Traglastberechnungen Abbildung 59, so ist festzuhalten, dass die Bewertung des Versagenszustan-

des qualitativ gut übereinstimmt. Betrachtet man die Ergebnisse allerdings quantitativ, so ist festzuhalten, dass die Verformungen bei der Traglastberechnung sowohl für den Fall  $\lambda=1$ , als auch für den Fall  $\lambda=2$  erwartungsgemäß deutlich größer sind, da die Ableitung der statischen Ersatzlasten eine Maximierung darstellt und damit auf der sicheren Seite liegende Ergebnisse liefert. Hinweis: Dies gilt nur solange der Versagensmechanismus (hier: Biegeversagen des Deckenquerschnitts inf. Innendruck) bekannt ist.

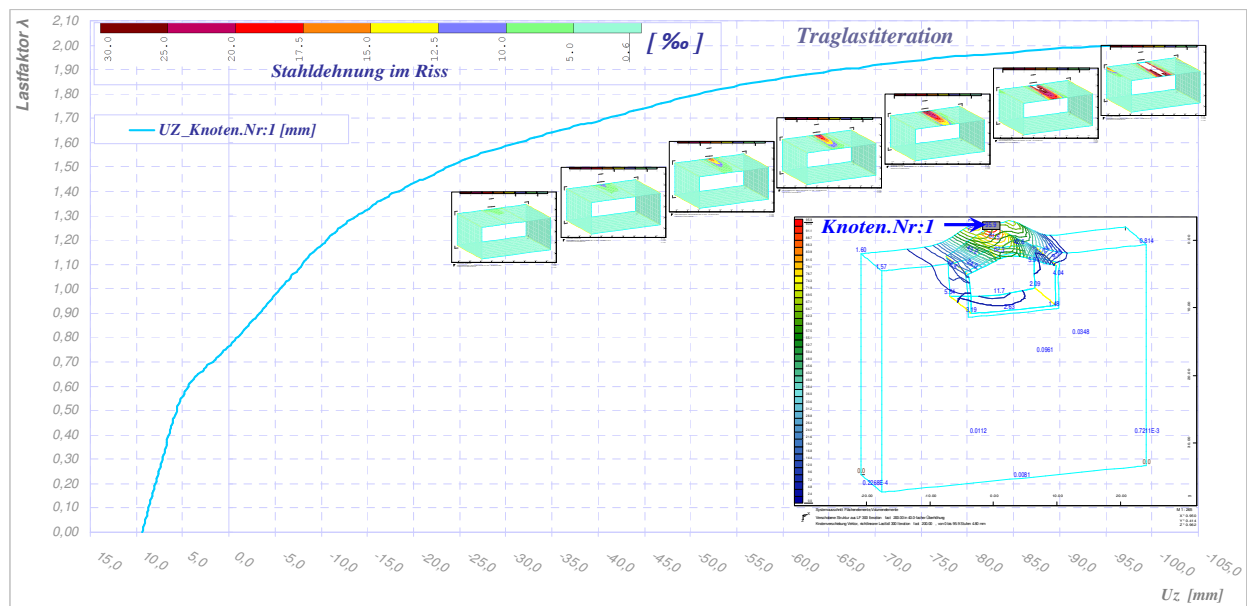


Abbildung 59: Traglastberechnung für einen Regeltunnel in offener Bauweise mit statischer Ersatzlast

## 8.7.7 Fazit

### 8.7.7.1 Beurteilung der angewendeten Methode

Die Methode der Traglastermittlung mit statischen Ersatzlasten liefert für die Zustandsbewertung eines komplexen gebetteten Tunnelquerschnitts im Vergleich mit genaueren strukturdynamischen Berechnungen qualitativ akzeptable Ergebnisse. Die abgeleiteten Aussagen zur Robustheit liegen erwartungsgemäß auf der sicheren Seite solange der Versagensmechanismus als bekannt voraus gesetzt werden kann. Quantitativ exakte Ergebnisse können mit statischen Ersatzlasten bekanntermaßen nur für einfache, linear elastische Systeme mit bekanntem Versagensmechanismus ermittelt werden. Sobald Einflüsse aus dem Hin- und Rückschwingen, der Plastifizierung der Bauteile und der stark veränderlichen Belastung benachbarter gekoppelter Bauteile zum Tragen kommen, ist die Validität mit Hilfe von strukturdynamischen Vergleichsberechnungen zu prüfen.

Die strukturdynamischen Tastrechnungen zeigen für den exemplarisch betrachteten Fall, dass die Zustandsaussagen qualitativ in guter Näherung erfasst werden, so dass empfohlen wird, anhand weiterer Parameterstudien die Annahmen zu vertiefen und damit die Randbedingungen für eine verallgemeinerte, vereinfachte Berechnungsmethode sicher abzugrenzen. Diese Parameter sind u.a.

- Steifigkeit Zustand 1, Zustand 2 + Übergänge
- Bettungsreaktion mit dynamischem Verhalten
- Systemverhalten komplexer System (gebetteter Rahmen)
- Überlagerung von Hin- und Rückschwingvorgängen
- Einfluss dynamischer Zugfestigkeitssteigerungen des Betons/Betonstahls



### **8.7.7.2 Bewertung für bergmännische Bauweisen und Schildvortriebe**

Aufgrund des derzeitigen Kenntnisstandes, vor allem im Hinblick auf die Bettungsreaktionen des Baugrundes bei kurzzeitdynamischen Belastungen, lassen sich mit den erarbeiteten Methoden derzeit keine validen Aussagen für die benannten Szenarien bei diesen Bauweisen treffen. Auf der sicheren Seite liegend (Bettungsreaktionen werden sich aus ingenieurtechnischer Sicht positiv auf die aufnehmbare kurzzeitdynamische Last auswirken) können daher für Ermittlungen des Schadensausmaßes nur Vereinfachungen in Analogie zu den vorstehenden Aussagen dieses Berichts getroffen werden.

## **8.8 Ergebnisdarstellung**

Die Erkenntnisse für das Szenario Explosion aus dem Ohne-Fall wurde in Tabellenform getrennt für die Brücken und Tunnel anhand von Schadensstufen dargestellt.

Im Hinblick auf die weitere Verwendung der Tabellen für den Mit-Fall sowie die Empfehlungen für den Einsatz geeigneter Maßnahmen ist eine entsprechende Gestaltung gewählt worden. Die Aussagen für den Mit-Fall sind bis zur Spalte Schadensstufe – Bauwerk abgebildet.

Der exemplarische Aufbau der Tabellen ist im Anhang 6 und 7 dargestellt.

## 9 Mit-Fall

### 9.1 Allgemeines zur Maßnahmenauswahl

Im Kapitel 6 (Arbeitspaket 2) wurden auf der Grundlage einer ausführlichen Analyse der heute bekannten Schutzmaßnahmen neue Maßnahmen identifiziert, die zum Schutz von Bauwerken und ihrer Nutzer vor möglichen Bedrohungen beitragen sollen. Dabei wurden innerhalb des Verbundprojektes sowohl Maßnahmen erarbeitet, die zur Verhinderung von Schäden an Nutzer und Bauwerk sowie im Ereignisfall zur Ausmaßreduzierung grundsätzlich geeignet erschienen. Die Ergebnisse dieser Arbeit wurden in einem Katalog möglicher Maßnahmen zusammengefasst (vgl. Anhänge 4 und 5).

Zu berücksichtigen ist, dass sich im Laufe der Bearbeitung des Projektes SKRIBT die Bezeichnungen der Maßnahmen geändert haben. So wurde aus Maßnahme TBa-11 aus AP 2 (Designvorgaben für Tunnelbrand) nun im weiteren T 06. Im Folgenden werden beide Bezeichnungen mitgeführt.

Da es im Rahmen von SKRIBT nicht möglich war, alle entwickelten Schutzmaßnahmen einer ausführlichen Wirksamkeitsanalyse zu unterziehen, wurden aus dem Maßnahmenkatalog diejenigen Maßnahmen ausgewählt, die auf den ersten Blick möglichst viel versprechend bzgl. ihrer Wirksamkeit und ihres Nutzen-Kosten-Verhältnisses erschienen.

### 9.2 Darstellung der ausgewählten Maßnahmen

#### 9.2.1 Brücke

##### 9.2.1.1 B 04 Pfeilerscheibe statt Stütze [BBa-10]

###### 9.2.1.1.1 Maßnahmenbeschreibung

Unterstützende Bauteile von Brücken neben Verkehrswegen sind anprallgefährdete Bauteile. Sie sind unabhängig vom Abstand zum Verkehrsweg einer Anprallbemessung nach DIN FB 101 [23] zu unterziehen.

Zusätzlich sind außerhalb geschlossener Ortschaften noch besondere Maßnahmen vorzusehen. Diese sind z. B. Schutzeinrichtungen, die mindestens 1 m Abstand zwischen der Vorderkante der Schutzeinrichtung und der Vorderkante des unterstützenden Bauteils aufweisen.

Auf eine Anprallbemessung kann verzichtet werden, wenn Einzelstützen mindestens 1,60 m Durchmesser bzw. Dicke aufweisen. Der Mindestquerschnitt einer Rundstütze beträgt dabei 2,01 m<sup>2</sup>. Wählt man statt der Einzelstützen eine Wandscheibe, so muss diese mind. 0,90 m dick

und 3,50 m lang sein. Die sich ergebende Fläche von 3,15 m<sup>2</sup> ist somit 156 % der erforderlichen Fläche einer Rundstütze.

Hieraus folgt, dass für Anprall bei gleichem Schutzziel die Wandscheibe die unwirtschaftlichere Lösung ist.

Bei Betrachtung von Terrorszenarien an Stützen ist davon auszugehen, dass die Ladung möglichst nah an das Bauteil gebracht wird. Dadurch treten bereits bei geringen Sprengstoffmengen Zerstörungen bis zur durchgehenden Querschnittszertrümmerung auf.

In diesem Zusammenhang sind Nahbereichsdetonationen von besonderer Bedeutung, da lokal Stützteile ausgebrochen werden können (abgeschert) und Stützenversagen eintritt. Andere Explosionsereignisse haben wegen der größeren Abstände z. T. andere Versagensmechanismen zur Folge, die zu globalen Beanspruchungen, wie z.B. Biegebeanspruchungen, führen können.

Auch bei nicht durchgehender Querschnittszertrümmerung einer Stütze ist davon auszugehen, dass durch die entstehenden Exzentrizitäten im Restquerschnitt unter den vorhandenen Vertikal- und Horizontallasten ein Stützensausfall eintritt. Begünstigt wird der Kollaps noch durch die zerstörte Bügelbewehrung, die ein Ausknicken der restlichen Längsbewehrung nicht mehr verhindern kann.

In ihrem Tragfähigkeitsverhalten sind dagegen Wandscheiben günstiger einzustufen. Sie werden auch durch Explosionsereignisse geschädigt, jedoch führen die lokalen Stanzkrater nicht zum Kollaps der gesamten Wand. Sie besitzen infolge ihrer Längsausdehnung Lastumlagerungsmöglichkeiten.

Tendenziell sinkt bei Explosionsbeanspruchung die Schadensgröße mit zunehmender Bauteildicke. Weiterhin lässt sich mit größeren Distanzen zwischen Ladung und Bauteil eine Minderung der Schädigung feststellen, d. h. vergrößert sich der Abstand, nimmt die Schädigungswirkung ab. Somit lassen sich Sicherheitsabstände bestimmen, bei denen nach Einwirken des jeweiligen Szenarios noch ein intakter ansetzbarer Stützen-Restquerschnitt von mehr als 80 % zu erwarten ist.

Bei einer kleinen Ladungsmenge ist ab einem Abstand größer als 0,9 m, selbst bei geringen Stützenquerschnitten, noch ein 80 %-iger Restquerschnitt vorhanden. Dieser wird im Rahmen der angestellten allgemeinen Betrachtungen als noch standsicher eingeschätzt.

Für größere Ladungsmengen ist ab einem Abstand der Unterstützung von mindestens 8 m vom Verkehrswegerand (möglicher Explosionsort) der Ersatz von Einzelstützen durch Wandscheiben

nicht mehr notwendig, da eine Stützenschädigung weitgehend entfällt.

#### 9.2.1.1.2 Maßnahmenwirksamkeit

Die Maßnahme Pfeilerscheibe statt Stütze wirkt bei allen Explosionsszenarien sowie bei Einhaltung der Mindestabmessungen auch bei Anprallszenarien. Die Maßnahme dient dem Bauwerkschutz und untergeordnet dem Nutzerschutz, indem der Bauteilausfall mit der Folge eines möglichen Bauwerksausfalls verhindert wird.

Ab einem Abstand von größer 8 m zwischen Sprengquelle und Einzelstütze nimmt die Gefährdung soweit ab, dass keine wesentlichen Stützenschädigungen erwartet werden. Ab diesem Abstand ist der Einsatz von Pfeilerscheiben als Ersatz von Stützen nicht mehr angezeigt bzw. sind Stützen vorzuziehen, da sie schneller von der Explosionsdruckwelle umhüllt werden und geringere Biegebeanspruchungen hervorrufen.

Eine Nachrüstung der Maßnahme bei Bestandsbauwerken ist im Normalfall nicht möglich.

#### 9.2.1.1.3 Maßnahmenkosten

Die Kosten für eine Pfeilerscheibe anstatt einer Einzelstützen-Reihe sind bei 5 m lichter Durchfahrts Höhe etwa zweimal höher.

Die Lebensdauer von Pfeilerscheiben und Stützen sind gleich. Die Unterhaltungsaufwendungen werden ebenfalls gleich hoch eingeschätzt.

#### 9.2.1.1.4 Maßnahmenumsetzung

Für die Umsetzung der Maßnahme Pfeilerscheibe statt Stütze wird Folgendes empfohlen:

Beim Entwurf sollten Einzelstützen bis zu einem Abstand von 8 m neben dem Fahrbahnrand (Explosionssort) nicht gewählt werden. Im Hinblick auf Explosionsszenarien sind Pfeilerscheiben in diesem Abstandsbereich robuster und weniger anfällig. Sie minimieren das mögliche Schadensmaß. Außerhalb des 8 m-Bereiches können Einzelstützen zum Einsatz kommen, da mit gravierenden Schädigungen nicht zu rechnen ist.

Für die Bemessung sollten die Pfeilerscheiben mit einer kreisrunden Fehlfläche ab OK Fahrbahn oder möglicher Standfläche bemessen werden. Die Fehlfläche ergibt sich aus dem jeweiligen Szenario und dem Ladungsabstand und stellt die durch das Ereignis zerstörten Bereiche dar.

### 9.2.1.2 B 09 – Lagerschutz [BBa-22]

#### 9.2.1.2.1 Maßnahmenbeschreibung

Lager stellen ein wichtiges Konstruktionselement von Brücken dar. Sie gewährleisten das zwangsfreie Auflagern der Überbauten auf die Widerlager und Stützen. Da Lager, insbesondere bewegliche Lager, einem Verschleiß unterliegen, werden Sie auswechselbar eingebaut. Zum La-

gerwechsel wird der Überbau mit Pressen auf das erforderliche Ausbaumaß angehoben und nach dem Lagerwechsel wieder auf die neuen Lager abgelassen. Zum Einbau der Pressen ist ein Mindestabstandsmaß zwischen Über- und Unterbauten von 30 cm (siehe Richtzeichnung Lag 6) einzuhalten. Dieser Lagerspalt macht Brückenkonstruktionen gegen Explosionsszenarien empfindsam. Ebenfalls unliebsam ist die Nistmöglichkeit von Vögeln im Bereich des Lagerspaltes mit der Folge von Kotverschmutzung.

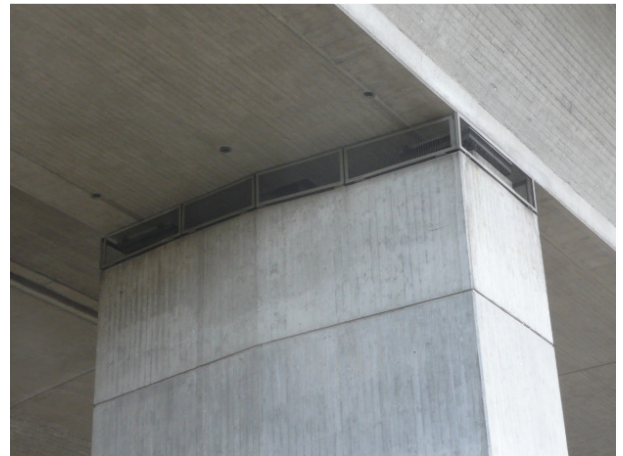


Abbildung 60: Beispiele Lagerschutz

Da die Auswirkungen von Explosionsszenarien neben der Sprengstoffmenge auch wesentlich vom Abstand zum Objekt abhängen, besteht der Ansatz der Maßnahme darin, die Ablagemöglichkeit im Lagerspalt zu unterbinden bzw. den Ladungsabstand zu vergrößern. Dies ist nur für kleine Ladungsmengen möglich. Letztere können von Personen leicht am Lagerkörper platziert werden, um einen maximalen Schaden zu erzeugen.

Zur Verhinderung der Ladungsablage im Lagerspalt und damit zwangsläufig einhergehend der Vergrößerung des Ladungsabstandes sind folgende Vorkehrungen möglich:

- Lager auf Geländeniveau vermeiden. D. h. Verzicht auf Pendelstützen mit entsprechenden Lagern am Fuß und am Kopf.
- Lager durch Verschluss des Lagerspaltessichern.

Der Lagerspaltverschluss kann analog zum Vogel-Einflugschutz ausgebildet werden (sh. Richtzeichnung VES 1). Alternativ zur durchsichtigen Polycarbonatplatte sind auch Winkelprofilrahmen mit einer Maschendrahtausfachung entsprechend Abbildung 60 eine probate Lösung.

Mit der Maßnahme werden zusammengefasst zwei Anforderungen erfüllt, die der Vogel-Nistverhinderung und die Abstandsvergrößerung von Kofferladungen. Die geringen Erschwernisse für die Brückenprüfung werden kompensiert durch die Erhöhung der Sauberkeit.

#### **9.2.1.2.2 Maßnahmenwirksamkeit**

Die Maßnahme Lagerschutz wirkt nur gegen kleine Ladungsmengen. Für die übrigen Initialeignisse ist der Lagerschutz unwirksam.

Die Maßnahme dient dem Bauwerksschutz und untergeordnet dem Nutzerschutz, indem Bauwerksschädigungen verhindert werden. Mit dem Lagerspalt-Verschluss wird das unmittelbare Plazieren einer kleinen Ladung verhindert und eine zwangsweise Abstandsvergrößerung erreicht. Ab etwa 2 m Abstand treten bei einer kleinen Ladung keine maßgeblichen Lagerschädigungen mehr auf. Von Vorteil ist, dass die Maßnahme sehr leicht bei bestehenden Bauwerken nachgerüstet werden kann.

#### **9.2.1.2.3 Maßnahmenkosten**

Die Kosten für den Lagerschutz betragen ca. 250,00 bis 300,00 €/m Lagerspalt. Die Lebensdauer des Verschlusses wird wie die von Geländern eingeschätzt und etwa 30 Jahre betragen. Die Unterhaltungsaufwendungen entsprechen in etwa der von Geländern.

#### **9.2.1.2.4 Maßnahmenumsetzung**

Für die Umsetzung der Maßnahme Lagerschutz wird folgendes empfohlen:

Beim Entwurf sollte, sofern nicht bereits aus Vogelschutz-Gründen vorgesehen, ein Lagerspaltverschluss vorgesehen werden. Dies sollte bei jedem Neubau mit entsprechendem Gefährdungspotential / Erreichbarkeit umgesetzt werden.

Die Konstruktion des Lagerschutzes kann entsprechend Richtzeichnung VES 1 oder alternativ aus Maschendrahtelementen mit Winkelrahmen zum Explosionsschutz ausgeführt werden.

Mit speziellen gelochten Elementen als Ersatz für die Maschendrahtblenden lassen sich die Explosionseinwirkungen gemäß durchgeführter Versuche und Berechnungen um bis zu 25 % reduzie-

ren. Die Reduktion gilt hinsichtlich der Druckamplitude und ist abhängig vom Szenario und Abstand der Blende zum Lager.

### **9.2.1.3 B 10 – Globale Redundanz [BBa-25]**

#### **9.2.1.3.1 Maßnahmenbeschreibung**

Zur Gewährleistung der Bauwerksverfügbarkeit ist eine globale Redundanz für Schadensfälle anzustreben. Insbesondere im Hinblick auf Ausfallszenarien besteht die einfachste Möglichkeit, global redundante Bauwerke zu schaffen, darin, die Brückenüberbauten und die Mittelunterstützungen konstruktiv voneinander zu trennen.

So werden aus herstellungstechnischen Gründen bei Neubauten im Zuge von mehrstreifigen Bundesfernstraßen bei der Mehrzahl der Brücken bereits getrennte Überbauten realisiert. Die durch eine Längsfuge getrennten Überbauhälften lassen sich unter Aufrechterhaltung des Verkehrs auf der anderen Überbauhälfte im Schadensfall relativ problemlos reparieren bzw. auswechseln.

Bei großen Talbrücken, die mit speziellen Bauverfahren (z. B. Taktschiebeverfahren, Freivorbau) hergestellt werden, wird im Regelfall auf die Längsfuge verzichtet. Es ist bei diesen Bauwerken aber möglich, mit einem anderen Bauverfahren oder einer anderen Konstruktion eine Längsfuge anzuordnen. So ist es denkbar, z. B. für den Regelquerschnitt RAA – RQ 31 B (RQ 26), statt einem Hohlkasten mit beidseitigen Kragarmen zwei Hohlkästen mit beidseitigen Kragarmen zu realisieren. Gleichzeitig müssen dazu die Unterbauten entsprechend erweitert werden.

#### **9.2.1.3.2 Maßnahmenwirksamkeit**

Die Maßnahme globale Redundanz kann nur im Zuge eines Neubaus umgesetzt werden und dient in erster Linie dem Bauwerks- und nachrangig dem Nutzerschutz. Mit einer Längsfuge wird die Teilverfügbarkeit des Bauwerkes nach einem Ereignis (post Incident) bei Brandszenarien unter der Brücke, bei Anprall gegen eine Betonstütze sowie bei Kontamination einer Brückenhälfte gewährleistet. Sofern bei Brand- oder Kontaminationsszenarien beide Brückenhälften beeinträchtigt werden, ist die Längsfuge und damit die globale Redundanz unwirksam.

Bei Explosionsszenarien begrenzt die Längsfuge in der Brückenkonstruktion die Schadensausbreitung in Querrichtung und sichert damit die Teilverfügbarkeit post Incident.

#### **9.2.1.3.3 Maßnahmenkosten**

Die globale Redundanz für Brücken mit Längsfugen führt bei der Mehrzahl der Bauwerke zu keinen Mehrkosten. Bei Talbrücken o. ä. beträgt der Mehraufwand für zweigeteilte Überbauten gegenüber einteiligen Überbauten maximal ca. 10 % der Überbaukosten.

### 9.2.1.3.4 Maßnahmenumsetzung

Für die Umsetzung der Maßnahme globale Redundanz wird folgendes empfohlen:

Beim Entwurf sollte im Regelfall eine Längsteilung der Überbauten sowie der Unterbauten vorgesehen werden.



Abbildung 61: Beispiel Talbrücke mit Längsfuge

Für die Konstruktion wird empfohlen, die Längsfugen zwischen den Überbauten entsprechend den Richtzeichnungen auszuführen (Abbildung 61).

### 9.2.1.4 B 16 – Parkverhinderung unter Brücken [BBE-2]

#### 9.2.1.4.1 Maßnahmenbeschreibung

Brücken kreuzen in hohem Maße andere Straßen. Insbesondere in städtischen Gebieten sind die Überführungen unmittelbar über dem Verkehrsraum der darunter verlaufenden Trasse (ca. 4,70m) errichtet und es wird darunter häufig geparkt. Parkende Fahrzeuge stellen eine potentielle Brandgefährdung dar, die im Ereignisfall zu erheblichen Schäden an der Überbaukonstruktion führen kann.

Stählerne Überbauten sind in besonderem Maße gefährdet, wohingegen Massivüberbauten mit einer ausreichenden Betondeckung ein weit geringeres Schädigungspotential besitzen. Abbildung 62 zeigt ein Beispiel für eine Schädigung infolge eines LKW-Brandes unter einer Eisenbahnbrücke im Hamburger Stadtteil Veddel, der erhebliche Verzögerungen im Eisenbahnverkehr verursachte [24].

In abgestellten Fahrzeugen sind auch Explosivstoffe vorstellbar, die im terroristischen Zusammenhang zur Detonation gebracht werden können. Wegen des geringen Abstandes zum Explosionsort sind schwere Schädigungen an der Brückenkonstruktion (Überbau und Stützen) möglich.

Hierbei hat die Breite der Überführung ebenfalls großen Anteil. Wird der Hohlraum unter der Brücke sehr lang im Vergleich zu seiner Breite, stellen sich die bei den Tunnelbauwerken beschriebenen zusätzlichen Gasdruckeffekte ein. Hieraus können weitergehende Schäden entstehen.



Abbildung 62: Brennender LKW unter einer Brücke im Hamburger Stadtteil Veddel am 17.04.2010  
Foto: Bundespolizei [24]

Die durch abgestellte Fahrzeuge ausgehenden Gefährdungen lassen sich durch Verbote oder durch bauliche Maßnahmen beherrschen. Ein Verbot ist relativ einfach durch ein Halteverbot zu erreichen. Hierzu sind 4 Schilder (Zeichen 283), zwei je Fahrtrichtung für Anfang und Ende des Verbotsabschnittes, erforderlich. Zur Wirksamkeit ist eine konsequente Kontrolle erforderlich.

Günstiger sind die baulichen Maßnahmen, die keiner Überwachung bedürfen. Sie können durch Poller oder Zäune umgesetzt werden. Bei größeren Durchfahrtsöffnungen unter der Brücke sinkt mit größer werdender Höhe bzw. größerem Abstand tendenziell der Gefährdungsgrad. Hier ist im zu prüfenden Einzelfall ein Verzicht auf die Verkehrsbeschränkung möglich.

#### 9.2.1.4.2 Maßnahmenwirksamkeit

Die Maßnahme Parkverhinderung unter Brücken wirkt gegen die Initialereignisse Brand und Explosion, die durch abgestellte Fahrzeuge entstehen können.

Die Maßnahme dient dem Bauwerksschutz und untergeordnet dem Nutzerschutz, indem Bauwerksgefährdungen reduziert werden. Beim Initialereignis Brand wird die Gefährdung mit einem Verbot minimiert und mit baulichen Maßnahmen ausgeschlossen. Beim Initialereignis Explosion wird das Wirkprinzip „Abstandsvergrößerung“ mit den baulichen Maßnahmen umgesetzt und hierdurch das Gefährdungspotential sehr stark reduziert bis vollständig ausgeschlossen. Die Maßnahme kann auch bei bestehenden Bauwerken umgesetzt werden.

#### 9.2.1.4.3 Maßnahmenkosten

Die Kosten für die Parkverhinderung betragen für die Ausschilderung eines Halteverbotes mit vier Verkehrszeichen (Nr. 283) minimal ca. 800,- €.. Für bauliche Maßnahmen sind die Kosten im allgemeinen höher. Die Nutzungsdauer der Brücke sowie die Unterhaltungskosten werden durch die Maßnahme nicht verändert.

#### 9.2.1.4.4 Maßnahmenumsetzung

Für die Umsetzung der Maßnahme Parkverhinderung unter Brücken wird empfohlen, im Rahmen des Entwurfes ein Halteverbot (Zeichen 283) vorzusehen. Hierzu ist eine verkehrliche Genehmigung der zuständigen Ordnungsbehörde einzuholen und eine stetige Überwachung durchzuführen. Günstiger sind daher bauliche Maßnahmen.

Bei stählernen Überbauten wird die Umsetzung der Maßnahme grundsätzlich empfohlen. Neben Mittelstützen von Brücken ist zur Abstandsvergrößerung eine Umzäunung oder eine Abpollelung vorzusehen.

Übergeordnet erscheint es sinnvoll, die Maßnahme in vorhandenen Regelwerken, z.B. ZTV-ING, StVO, allgemeinverbindlich festzulegen. Ähnlich wird z. B. in Frankreich verfahren, wo unter Brücken das Parken untersagt ist.

#### 9.2.1.5 Maßnahmenauswirkung Beispiel Schrägseilbrücke

Die Untersuchungen zur Schrägseilbrücke beim Ohne-Fall (Kapitel 8.6) haben gezeigt, dass bestimmte Szenarien hinsichtlich der Standsicherheit einen kritischen Zustand herbeiführen können.

Vor diesem Hintergrund sind folgende bauliche Schutzmaßnahmen für den Brückentyp Schrägseilbrücke sinnvoll einsetzbar (die quantitative Wirksamkeit sowie das zugehörige Kosten-Nutzen-Verhältnis ist im Einzelfall am Bauwerk zu untersuchen):

B02 - Mikrobewehrter Hochleistungsbeton als Vorsatzschale (Seile, ggfls. Unterbauten)

B03 - Verbesserter Entwurf (Überbau/Pylon)

B10 - Globale Redundanz

B11 – Zugangsverhinderung.

Die folgenden Maßnahmen sind allgemeingültig auch für den Typ Schrägseilbrücke einsetzbar und bereits in den vorangegangenen Kapiteln hinreichend beschrieben:

B04 - Pfeilerscheibe statt Stütze

B05 - Windschutzwände

B09 - Lagerschutz

B16 - Parkverhinderung unter Brücken

#### 9.2.1.5.1 Ausmaßreduktion durch die Maßnahme B02 - Verstärkung / Aufbetonschicht / Vorsatzschale mikrobewehrter Hochleistungsbeton [BBa – 2]

Im vorliegenden Fall einer Schrägseilbrücke sind insbesondere die Seile exponierte (frei zugängliche) und damit potentiell gefährdete Bauteile. Der einfache Seilaustausch erfolgt planmäßig. Die Untersuchung des Ausfalls einer ganzen Seilgruppe (und damit einer kompletten Federlagerung) führt nicht zum Einsturz der untersuchten Brücke, allerdings treten große plastische Verformungen auf, so dass das Bauwerk erheblich geschädigt und sanierungsbedürftig ist. Weiterhin kann bei abweichender Seilkonfiguration (Einzelseil statt Seilgruppe, andere Spannweiten) ein Versagen nicht ausgeschlossen werden. Ein wirksamer Schutz ist der Ausschluss der unmittelbaren Zugänglichkeit der Seile durch eine Ummantelung mit mikrobewehrtem Hochleistungsbeton mit einem Luftzwischenraum etwa in der Stärke der Ummantelungsdicke. Die Ummantelung muss mindestens im Bereich der Zugänglichkeit ausgeführt werden, um das Sicherheitsniveau zu erhöhen.

Weiterhin kann eine Ertüchtigung von Unterbauten gegen Explosion mit Hilfe einer Vorsatzschale sinnvoll eingesetzt werden.

#### 9.2.1.5.2 Ausmaßreduktion durch die Maßnahme B03 - Verbesserter Entwurf [BBa - 7]

Bei Explosionen oder Brandereignissen von außen treten lokale Schädigungen am Stahlüberbau auf. Die Verbesserung des Entwurfs durch Ausfallbemessung stellt eine vergleichsweise wirtschaftliche Verbesserungsmaßnahme dar, zumal ohnehin häufig Teile des Überbaus zur Erneuerung planmäßig getauscht werden. (vgl. ARS bzgl. Fahrbahn-Plattenaustausch bei einzügigen Verbundbrücken). Allerdings sind im Entwurf derartige Berechnungen für konkrete Szenarien durchzuführen, da der Nachweis nur unter Berücksichtigung von Lastumlagerungseffekten und der außergewöhnlichen Bemessungssituation geführt werden konnte.

Die Festlegung der zu untersuchenden Szenarien kann in Anlehnung an die Vorgehensweise im Eurocode 1-1-7 [13] mit der Strategie auf der Grundlage identifizierter außergewöhnlicher Einwirkungen (Festlegung von Worst-Case-Situationen mit Berechnung der tatsächlichen Bauteilschädigung) oder alternativ mit der Strategie auf der Grundlage der Begrenzung lokaler Schäden ohne konkrete Wahl und Berechnung der schädigenden Einwirkung (Ausfallbemessung, z.B. eines definierten Feldabschnittes) erfolgen.

### **9.2.1.5.3 Ausmaßreduktion durch die Maßnahme B10 - Globale Redundanz [BBa – 25]**

Das betrachtete Bauwerk hat einen gemeinsamen Überbau für beide Fahrtrichtungen und weist damit keine globale Redundanz auf. Eine stärkere Schädigung des Überbaus bedeutet in diesem Fall in der Regel eine wesentliche Beeinträchtigung beider Fahrtrichtungen, so dass eine Nutzung durch den Verkehr nicht aufrecht erhalten werden kann. Durch die Trennung des Überbaus und der zugehörigen Stützungen (Seile, Pylon) lässt sich zwar eine deutliche Reduktion des Schadensausmaßes erreichen, ob jedoch eine Schrägseilkonstruktion mit getrennten Überbauten eine wirtschaftliche Alternative gegenüber anderen Schutzmaßnahmen darstellt, muss am konkreten Projekt herausgearbeitet werden.

### **9.2.1.5.4 Ausmaßreduktion durch die Maßnahme B11-Zugangsverhinderung [BBc – 1]**

Vor dem Hintergrund des Schadenspotentials einer Innenraumdetonationen stellt die Zugangsverhinderung ins Innere der Brücke eine einfache sowie wirkungsvolle Maßnahme dar. Die Zugangsverhinderung kann von verstärkten konventionellen Türanlagen mit Überwachungseinrichtung (mechanischer Einbruchschutz) bis hin zu Türen mit Barrierenanforderung gegen Explosion (erhöhter Einbruchschutz - siehe Anforderungen der Richtlinien des Kerntechnischen Ausschusses) gewählt werden. Hierzu ist das Anforderungsprofil im Entwurf festzulegen.

## **9.2.2 Tunnel**

### **9.2.2.1 T 07 – Dimensionierung für Explosionslasten [TBa - 12]**

#### **9.2.2.1.1 Maßnahmenbeschreibung**

Tunnel können für das Initialereignis Explosion für bestimmte Fälle dimensioniert werden. Bei einem derartigen Ereignis wird der Tunnel lokal durch die Schockbeanspruchung und global durch zum Teil extrem hohe Gasdrücke von innen beansprucht. Bei kleineren Ladungen entstehen vornehmlich Schockbeanspruchungen der angrenzenden Konstruktion und eher geringe Gasdrücke. Gegenüber der äußeren Belastung sind diese nicht so groß, dass sie den Tunnel nach außen „aufblähen“. Bei höheren Ladungen ist dies anders. Der Gasdruck kann die äußere Belastung übersteigen und führt zu einer mehr oder weniger starken „Aufblähung“ des Tunnelquerschnittes. Für diese innere, noch moderate Belastung, ist eine Bemessung möglich. Sehr große Ladungen führen zu extrem hohen Innendrücken, die bemessungstechnisch nicht sinnvoll abgedeckt werden können. Eine bemessungstechnische Maßnahme scheidet aus.

Bei offen hergestellten Tunneln wirken die inneren Gasdrücke gegen die äußeren „nachgiebigen“ Belastungen. Bei bergmännisch hergestellten Tunneln wirken je nach Umgebungsbedingungen weiche (Lockergestein) oder harte (Fels) Betungsbedingungen, die die inneren Gasdrücke abbauen und die Beanspruchung der Konstruktion minimieren können. Derartig gebettete Systeme sind nicht Gegenstand dieses Projektes, so dass im Weiteren der Focus auf die offen hergestellten Tunnel gelegt wird.

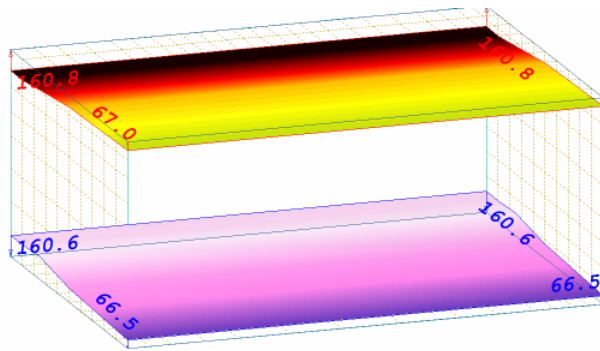
Übersteigt die Beanspruchung aus einer Explosion die aufnehmbare Traglast, so kann die Bewehrung in Decke, Wänden und Sohle symmetrisch für positive und negative Momente angeordnet werden. Die gesamte Rahmenkonstruktion kann damit Belastungen von außen wie üblich und von innen aufnehmen. Eine signifikante Vergrößerung der Konstruktionsdicken wird insbesondere für die freitragenden Decken nicht näher betrachtet, da damit zusätzliches Gewicht abgetragen werden muss. Die Zwischenwände von zwei- oder mehrzelligen Tunneln können eher verdickt und mit entsprechender Bewehrung ausgeführt werden, ohne kontraproduktive Wirkungen zu erzeugen.

#### **9.2.2.1.2 Rechnerische Tragwerksuntersuchung**

Zur Ermittlung der Querschnittsbeanspruchungen und der Wirksamkeit der vorgeschlagenen Bewehrungsanordnung wurden rechnerische Tragwerksuntersuchungen durchgeführt. Zur Verdeutlichung der bei einer mittleren Explosion entstehenden Verformungs- und Beanspruchungsmechanismen wurde eine Zelle eines Tunnel RQ 33 t separiert und losgelöst betrachtet. Die Untersuchung erfolgte mit den für den Ohne-Fall im Einzelnen abgeleiteten statischen Ersatzlasten mit Hilfe des Traglastiterationsverfahrens. Für die Modellierung des Systems wurde ein Tunnelblock von 10 m Länge betrachtet. Um die nichtlinearen Effekte über die Bauteildicke zu erfassen, wurden für den Tunnelquerschnitt Multi-Layer-Schalenelemente verwendet und zur Erfassung der räumlichen Randbedingungen ein homogener Baugrund (Sand, mitteldicht gelagert) durch Volumenelemente mit einem nichtlinearen Stoffgesetz realitätsnah abgebildet. Durch die Generierung von Interface-Elementen zwischen Schalen- und Volumenelementen wurde die Interaktion zwischen Bauwerk und Baugrund genauer berücksichtigt.

Exemplarische statische Ersatzdruck-Lasten auf das System sind Abbildung 63 dargestellt.

## Tunneldecke und Tunnelsohle



## Tunnelwand

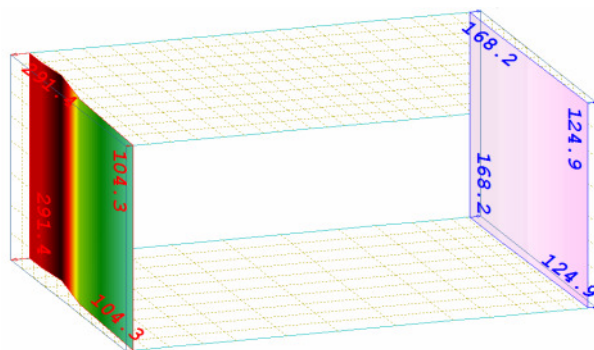


Abbildung 63: Statische Ersatzdruck-Belastung

Mit der physikalisch nichtlinearen Berechnung nach dem Traglastverfahren ist die Ermittlung einer realistischen Traglastgrenze unter Berücksichtigung des Ausgangszustandes vor dem Ereignis möglich. Der statische Ausgangszustand beinhaltet die Belastung aus Eigengewicht und Erddruck und ist die Basis für die nichtlineare Berechnung.

Beginnend mit dem statischen Ausgangszustand wird der innere statische Ersatzdruck während der

Traglastiteration aufgebracht, in jedem Rechenschritt inkrementell gesteigert und der Gleichgewichtszustand iterativ bestimmt. Dieser Prozess wird solange wiederholt, bis das System der hohen inneren Belastung keinen Widerstand mehr entgegen bringen kann.

In Abbildung 64 ist die Last-/ Verformungsbeziehung in der Mitte der Tunneldecke mit 2 m Überschüttung dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Berechnung der Traglastiteration beim Lastfaktor  $\lambda=0$  (Ausgangszustand: kein Innendruck infolge Explosion) mit einer Durchbiegung von ca. 9 mm beginnt. Da die Explosionsbelastung der Belastung aus dem Eigengewicht und der Erdüberschüttung entgegen gerichtet ist, nimmt die Durchbiegung der Decke zunächst ab, bis bei  $\lambda=0,75$  (75% des statischen Ersatzinnendrucks) die Verformung in der Mitte der Decke den Wert Null erreicht. In dieser Phase verläuft die Kurve infolge des hohen Bauteilwiderstands sehr steil.

Beim Lastfaktor  $\lambda=1,0$  (100% des statischen Explosionsersatzdrucks) hat sich die Decke um 5 mm nach oben verformt. Der Verlauf der Verformungskurve wird hier flacher und resultiert aus der Verringerung der Steifigkeit. Bei einer weiteren Steigerung der Belastung nehmen die Verformungen weiter annähernd proportional zu. Erst nach dem Erreichen einer Laststufe von  $\lambda=1,25$  steigen die Verformungen stark überproportional an. Bei einem Lastfaktor von  $\lambda=1,75$  sind nur noch geringe Tragreserven vorhanden. Bei  $\lambda=2,0$  wird die Grenztragfähigkeit des Tunnelquerschnitts erreicht.

Die Berechnung erfolgte für mittlere Werte der Materialfestigkeiten und -steifigkeiten ohne Sicherheitsbeiwerte. Das Ergebnis unterliegt damit den bekannten Streubreiten der Materialparameter, auf deren Variation im Rahmen von SKRIBT verzichtet wird.



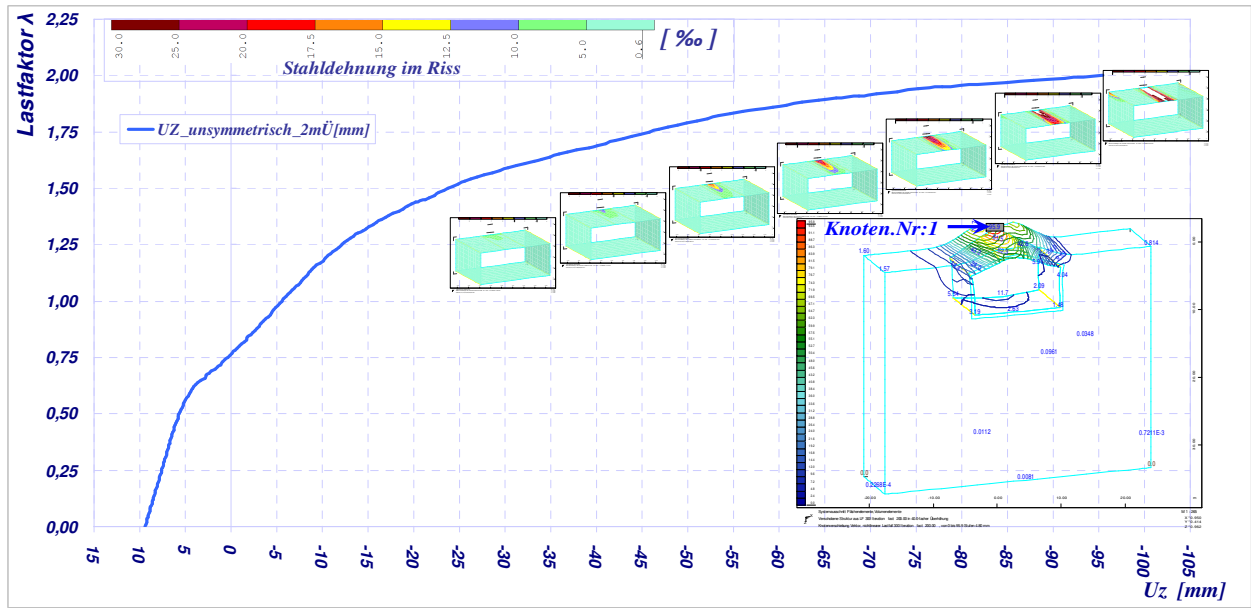


Abbildung 64: Last-/Verformungsbeziehung Decke mit geringer Überschüttung

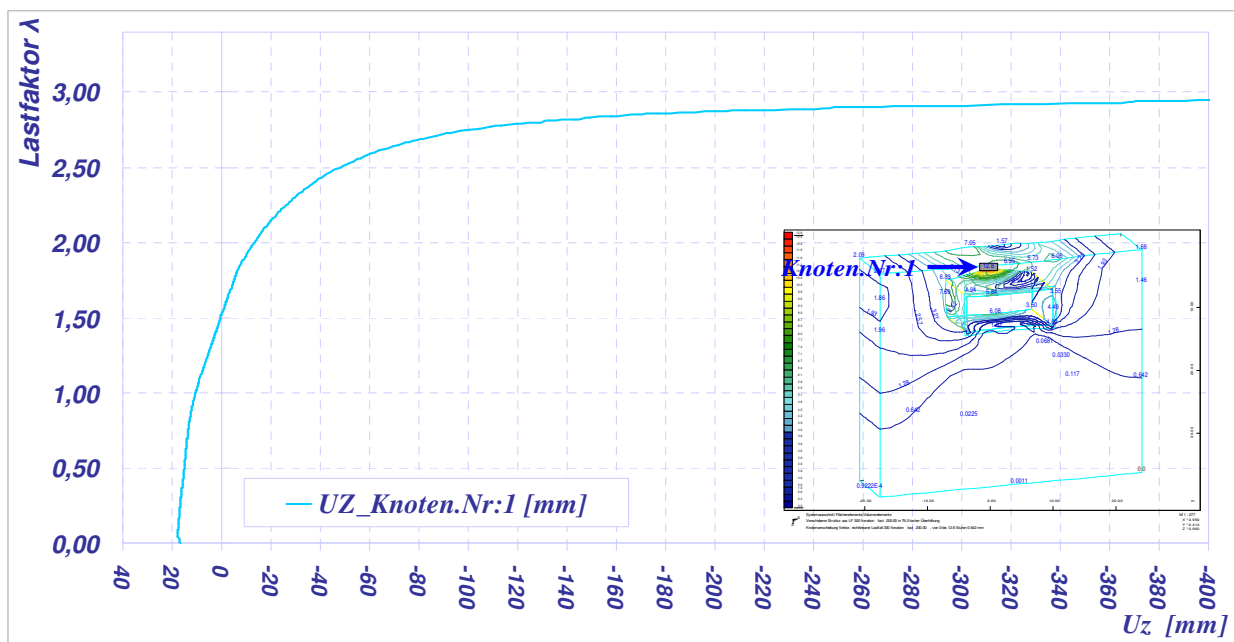


Abbildung 65: Last-/Verformungsbeziehung Decke mit größerer Überschüttung

In Abbildung 65 sind die Ergebnisse der Traglastiteration für eine größere Überschüttung dargestellt. Aus den Ergebnissen geht hervor, dass durch eine Zunahme der Überschüttung der Widerstand des Tunnelbauwerks gegen Explosionsbelastungen deutlich erhöht wird.

**9.2.2.1.3 Wirksamkeit**

Eine Dimensionierung für Explosionsbeanspruchungen ist nur für Neubauten umsetzbar. Beim Bestand kann eine Nachrechnung für ein konkretes Bauwerk mit den gewonnenen Erkenntnissen vorgenommen werden. Bei Neubauten dient die

Maßnahme dem Bauwerksschutz und untergeordnet dem Nutzerschutz, indem der Bauwerkseinsturz verhindert wird. Bei Neubauten ist eine bemessungstechnische Dimensionierung für Explosionsereignisse bei monolithischen Konstruktionen möglich. Wegen der mit der Sprengstoffmenge stark ansteigenden Gasdrücke ist aus wirtschaftlichen Gründen nur eine Dimensionierung gegen eingegrenzte Ladungsmengen möglich.

Geringe Ladungsmengen verursachen lokale Schäden durch Ausstanzen (Abscheren). Bemessungstechnische Maßnahmen sind hier unwirt-

schaftlich. Ein weitgehender Schutz ist hierfür durch Abstandsmaßnahmen möglich, die einen direkten Kontakt der Ladung mit dem Bauteil verhindern. Für den untersuchten einzelligen Querschnitt führen die äußere Belastungen zu einer unsymmetrischen Bewehrung, wie sie in Abbildung 66 dargestellt ist.

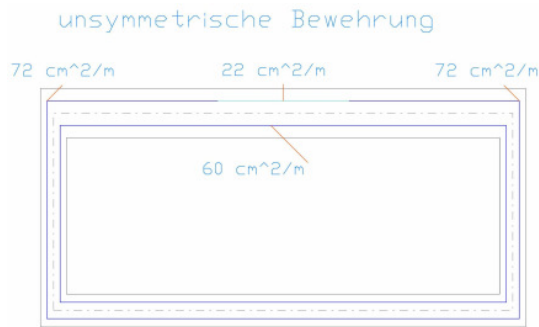


Abbildung 66: Unsymmetrische Bewehrung aus äußerer Belastung

Für die im exemplarischen Vergleich dazu untersuchte symmetrische Bewehrung wurde eine geringfügig auf 80 cm<sup>2</sup>/m erhöhte Bewehrung zu Grunde gelegt (s. Abbildung 67).

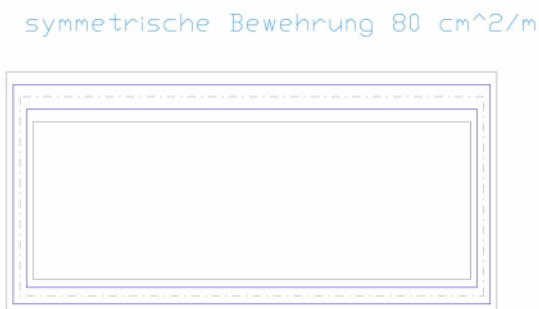


Abbildung 67: Symmetrische Bewehrung für äußere und innere Belastung

Vergleicht man die Ergebnisse der maximalen Tragfähigkeit für die symmetrische und die unsymmetrische Bewehrungsanordnung, so ist deutlich ein Anstieg der aufnehmbaren Belastung zu erkennen.

Die erreichbare Traglast erhöht sich bei geringer Überschüttung von 2 auf 3,5, also um 75% und bei größerer Überschüttung von 2,75 auf 4,12, also um 50%. Anhand des untersuchten Beispiels wird deutlich, dass infolge der untersuchten Ladung die Anordnung einer symmetrischen Bewehrung die Robustheit eines Tunnelbauwerks mit gleicher Querschnittsabmessung gegenüber Explosionsbeanspruchungen deutlich erhöht (Abbildung 68).

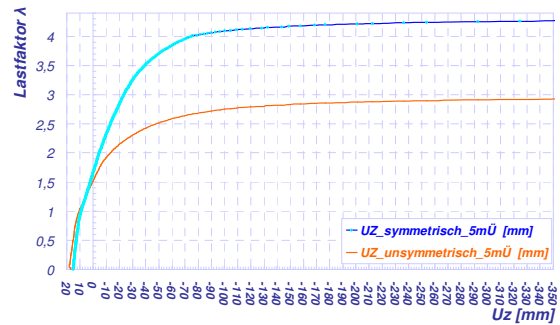
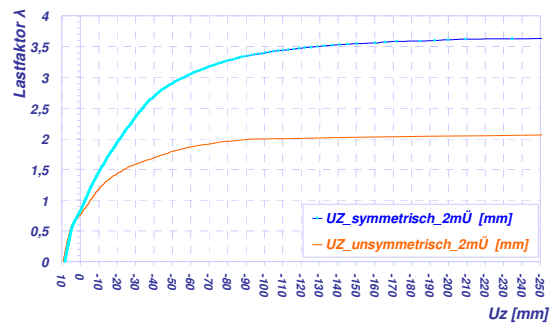


Abbildung 68: Vergleich symmetrischer und unsymmetrischer Bewehrungsanordnung

### 9.2.2.1.4 Kosten

Die symmetrische Bewehrung infolge der Explosionsbeanspruchung führt zu einem erhöhten Stahlbedarf. Da die spezifische Geometrie und äußere Belastung des Tunnels die innere Explosionsbelastung beeinflusst, lassen sich allgemein gültige Zusatzkosten nur schwer formulieren. Die überschlägig abgeschätzten Mehrkosten betragen etwa 10 - 15 % der Tunnelneubaukosten.

### 9.2.2.1.5 Maßnahmenumsetzung

Die Dimensionierung gegen Explosionsszenarien lässt sich bei Tunneln in offener Bauweise (für bergmännisch hergestellte gebettete Tunnel liegen keine Erkenntnisse vor) bis zu einer gewissen Ladungsmenge umsetzen.

Für die Bemessung sind die individuellen Bauwerksabmessungen erforderlich, mit denen schrittweise die Belastungen festgelegt werden können.

Zuerst sind aus dem Explosionsszenario die lokalen Schädigungen zu bestimmen. Danach muss die globale dynamische Innendruckbelastung geklärt und der dynamische Lastfaktor für die Berechnung der statischen Ersatzlasten bestimmt werden. Dies erfolgt anhand einer Eigenfrequenzanalyse des Tunnelquerschnitts für Sohle, Wand und Decke. Mit den statischen Ersatzlasten kann dann abschließend eine Bemessung mit üblichen Berechnungsmethoden durchgeführt werden.

Sofern sich bei gegebener Überschüttung mit der

vorgeschlagenen symmetrischen Bewehrung ohne Deckenstärkenvergrößerung eine einbaubare Bewehrung berechnen lässt, ist der Dimensionierungsansatz umzusetzen. Wenn aber bei geringer Überschüttung massive Bauteilverstärkungen für die innere Explosionsbeanspruchung notwendig werden sollten, ist unter Umständen eine Ausfallbemessung die geeignetere Maßnahme. In diesem Fall wird die beanspruchte Tunnelröhre aufgegeben und der einzellige Restquerschnitt für diesen Zustand für die äußeren Lasten dimensioniert. Es sind darüber hinaus einseitig wirkende Beanspruchungen, z. B. durch zusätzliche erdseitige Sporne, sicher in den Baugrund abzuleiten.

**9.2.2.2 T 21 – Globale Redundanz [TBa - 27]**

**9.2.2.2.1 Maßnahmenbeschreibung**

Besitzen Bauwerke Redundanzen, können Schädigungen oder Teilausfälle kompensiert werden. Zur Gewährleistung der Bauwerksverfügbarkeit ist daher eine globale Redundanz für Schadensfälle anzustreben. Redundante Tunnelbauwerke werden durch getrennte Röhren erreicht.

Im Schadensfall steht dann die unbeeinflusste Tunnelröhre für die eingeschränkte Aufrechterhaltung des Verkehrs während der Reparaturarbeiten zur Verfügung.

Es müssen bezüglich der Redundanz aber drei Fälle unterschieden werden (Abbildung 69).

Der Fall 1 betrifft Gegenverkehrstunnel mit nur einer Röhre für die Verkehrsabwicklung. Bei Tunneln unter 300 m Länge ist gemäß RABT 2006 kein zusätzlicher Rettungstollen für die Personenentfluchtung erforderlich. Soll eine derartige Anlage redundant ausgebildet werden, muss eine zweite Röhre gebaut werden. Aus dem Gegenverkehrstunnel wird dann ein Richtungsverkehrstunnel. Ist die Tunnelanlage länger als 300 m, sind separate Entfluchtungsstollen vorzusehen.

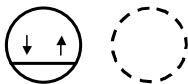
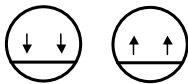
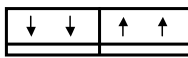
Tunneltyp	Globale Redundanz
	Nur mit zusätzlicher zweiter Röhre
	automatisch vorhanden
	automatisch vorhanden, Ausnahme Explosion → zusätzliche Maßnahmen erforderlich

Abbildung 69: Redundanzübersicht

Diese können zu einem Fahrquerschnitt erweitert werden, so dass dann eine doppelröhrige Verkehrsführung im Richtungsbetrieb und somit die globale Redundanz erreicht wird.

Der Fall 2 umfasst die bergmännisch hergestellten Richtungsverkehrstunnel. Sie sind aus bautechnischen Gründen mit zwei durch einen Gebirgszwischenraum getrennte Röhren ausgebildet und daher systembedingt ohnehin global redundant.

Der Fall 3 umfasst ebenfalls Richtungsverkehrstunnel, die aber offen hergestellt sind. Bei diesen Anlagen trennt lediglich eine Mittelwand und kein Erdstock die beiden Verkehrsräume. Baulich besteht damit die globale Redundanz, jedoch ist diese nicht für alle Initialereignisse gegeben. Bei Ereignissen, bei denen die Standsicherheit der Mittelwand in Mitleidenschaft gezogen werden kann (z. B. Explosionen), sind ergänzende konstruktive Maßnahmen zu ergreifen. Diese haben zum Ziel, die Standsicherheit und die Gebrauchsfähigkeit der ereignisabgewandten Tunnelzelle sicher zu stellen.

Es muss zwingend erreicht werden, dass nur eine Zelle zerstört werden kann. Um dies sicher zu stellen sind weitergehende Maßnahmen zu ergreifen. Für bestimmte Explosionsszenarien kann eine Dimensionierung für die spezifischen Belastungen vorgenommen werden. Für nicht bemessungstechnisch abzudeckende Beanspruchungen ist eine Ausfallbemessung zielführend. Dabei muss die Mittelwand für die mögliche Maximalbeanspruchung aus Explosionen ausgelegt werden (massive Verdickung) und jede Tunnelzelle ohne die Nachbarzelle standsicher sein.

**9.2.2.2.2 Wirksamkeit**

Die Maßnahme globale Redundanz kann im Zuge eines Neubaus sowie bei bestehenden Gegenverkehrstunneln umgesetzt werden und dient der Teilverfügbarkeit post Incident. Die Maßnahme ist nur wirksam für Brand- und Explosionsszenarien.

Bei Gegenverkehrstunneln kann eine zweite Röhre mit Sonderquerschnitt für eine Fahrspur plus Standstreifen (6 m Bordabstand) die Redundanz herstellen.

Bei offen hergestellten Tunneln müssen für Explosionsszenarien statisch-konstruktive Zusatzmaßnahmen ergriffen werden. Sie dienen einer weitergehenden Ertüchtigung.

Bei bestehenden Gegenverkehrstunnelanlagen ist die Ergänzung um eine Röhre im Nachgang möglich. Bei offen hergestellten Richtungsverkehrstunneln mit Mittelwand ist eine Ertüchtigung für Explosionsszenarien nicht möglich und die Maßnahme nicht umsetzbar.

**9.2.2.2.3 Kosten**

Die Realisierung der globalen Redundanz führt bei Gegenverkehrstunnelanlagen zu Mehrkosten. Setzt man die Regelbauweise mit dem Querschnitt RQ 10,5 t und parallel verlaufendem begehbaren Rettungsstollen zu 100 %, kostet die modifizierte Richtungsverkehrsanlage mit zwei Röhren und einem Sonderquerschnitt (6 m Bordabstand) ca. 130 %.

Bei offen hergestellten Richtungsverkehrstunneln mit Mittelwand verursacht die Verstärkung der Mittelwand sowie die Ausfallbemessung für eine Einzelröhre Mehrkosten. Diese betragen überschlägig für die Mehrmassen an Beton und Stahl ca. 15 % der Neubaukosten der zweizelligen „Normaltunnel“.

#### **9.2.2.2.4 Maßnahmenumsetzung**

Für die Umsetzung der Maßnahme globale Redundanz wird folgendes empfohlen:

Beim Entwurf sollte eine Gegenverkehrstunnelanlage bestehend aus dem Fahrtunnel RQ 10,5 t nebst parallelem Rettungsstollen 2,25 x 2,25 m zur Erlangung der globalen Redundanz in eine Richtungsverkehrsanlage umgewandelt werden. Dabei kommen 2 Röhren mit einem Sonderquerschnitt, bestehend aus einer Fahrspur plus Seitenstreifen und einem Bordabstand von 6 m in Betracht. Die Fahrspreibbreite ist ausreichend um im Schadensfall den Gesamtverkehr durch eine Röhre abwickeln zu können.

Bei Richtungsverkehrstunneln in offener Bauweise kann die Mittelwand explosionsicher und entsprechend dicker als üblicherweise ausgebildet werden. Damit wird ein Szenario auf eine Röhre begrenzt. Die Wand und der verbleibende Tunnelteil muss dafür bemessen werden.

Für bestimmte Explosionsszenarien ist eine Bemessung möglich (vgl. hierzu Maßnahme T 07). In einem derartigen Fall ist objektspezifisch die lokale Schädigung sowie die globale dynamische Innendruckbelastung zu klären.

Mit der Bauwerksspezifikation sind dann dynamische Belastungsfaktoren zu ermitteln und statische Ersatzlasten abzuleiten mit denen die Bauwerksbemessung erfolgen kann. Bei der Ausfallbemessung ist die Standsicherheit der verbleibenden Tunnelröhre ohne die Nachbarröhre nachzuweisen.

Bei der Bauwerkskonstruktion ist im Falle der Explosionsbemessung eine symmetrische Anordnung der Biegezugbewehrung innen und außen vorzusehen. In den Rahmenecken ist die Bewehrung für positive und negative Momente gleichermaßen vorzusehen um die Duktilität sicher zu stellen. Bei der Ausfallbemessung sind einseitig auf den „Resttunnel“ wirkende Belastungen, z.B. durch zusätzliche erdseitige Sporne sicher in den Baugrund abzuleiten.

### **9.3 Fortschreibung der Ausmaßdarstellung**

In den Anhängen 6 und 7 sind die in AP 3 erstellten Tabellen mit der Zusammenstellung der resultierenden Schadensstufen für Bauteil und Bauwerk aus den gewählten Ausgangsszenarien Explosion im Ohne-Fall dargestellt. Die Tabellen wurden um die für das Schadensmaß des Bauwerks wirksamen Maßnahmen ergänzt und um die Schadensstufe im Mit-Fall erweitert.

### **9.4 Wiederherstellungskosten**

#### **9.4.1 Ermittlung der Ausfallzeiten**

##### **9.4.1.1 Allgemeines**

Für die Beurteilung der volkswirtschaftlichen Folgekosten eines entstandenen Schadens an einem Bauwerk ist die Ausfallzeit von entscheidender Bedeutung. Ist ein Schaden entstanden, zieht dieser zumeist die Teil- oder Vollsperrung des Bauwerkes mit der Folge von Verkehrsbehinderungen bis zur Wiederinbetriebnahme nach sich.

Die gesamte Ausfallzeit setzt sich aus verschiedenen Komponenten zusammen.

Nach der Sperrung erfolgt bei Brand- oder Explosionsszenarien das Aufräumen und anschließend die Schadensaufnahme. Nach Bekanntsein des Schadens erfolgen Planungsarbeiten, die mit der Erstellung von Ausschreibungsunterlagen enden. Sobald die Unterlagen für das Ausschreibungsverfahren vorliegen, läuft dieses an. Es werden die Unterlagen an die Bieter verteilt, dort kalkuliert, anschließend submittiert und vom Auftraggeber gewertet, bis der Bauauftrag vergeben wird. Daran unmittelbar anschließend folgt die Realisierung der Wiederherstellungsmaßnahme, deren Abschluss nach mehr oder weniger langer Zeit die Wiederinbetriebnahme darstellt.

Nachfolgend werden die einzelnen Zeitelemente näher beleuchtet.

##### **9.4.1.2 Vorlaufende Arbeiten**

Nach einem Schadensereignis sind zur Instandsetzungsplanung vorlaufende Arbeiten notwendig.

Dabei handelt es sich unmittelbar nach dem Ereignis um Sofortmaßnahmen, wie das Sperren der Tunnelanlage und die Einrichtung von Verkehrsleitungen.

Weiterhin können Sicherungsmaßnahmen an der Tunnelanlage selbst oder an angrenzenden Gebäuden und Anlagen notwendig werden.

Nachdem die notwendigen Sicherungsarbeiten durchgeführt und die Tunnelanlage wieder begehbar ist, folgen Schadensbesichtigungen und -begutachtungen. Es ist bei Brand- und Explosionsszenarien davon auszugehen, dass die

Staatsanwaltschaft tätig wird und Ermittlungen aufnimmt. Hierzu werden vielfach Experten eingebunden, die die Ursachen des Ereignisses klären sollen. Vielfach werden auch Versicherungs-Sachverständige tätig, die das Ausmaß des Schadens und die Ursache aus Sicht der Assekuranz klären.

Wenn bis dahin noch nicht geschehen, erfolgen, nach der Bauwerkfreigabe durch die Staatsanwaltschaft, erste Aufräumarbeiten mit anschließenden weitergehenden gutachterlichen Untersuchungen zur Tragwerksschädigung. Es wird geklärt, was von der Tragkonstruktion verbleiben und was noch abgebrochen werden muss.

Am Ende der vorlaufenden Arbeiten sind die Schadensursache und deren Ausmaß klar und dokumentiert. Es liegen die Vorgaben für die Reparaturmaßnahmen und somit die Randbedingungen für die Wiederherstellungsplanung vor.

Der Zeitbedarf für die gesamten Vorlaufarbeiten kann nur geschätzt werden. Für die Schadensstufe 1 wird entsprechend der Definition in Kapitel 8.5 von 1 bis 2 Tagen ausgegangen.

Für die Schadensstufe 5 wird ein Zeitbedarf von 6 Wochen abgeschätzt, wissend, dass im konkreten Schadensfall diese Zeit auch sehr stark davon abweichen kann.

Die Schadensstufen 2 bis 4 können in erster Näherung linear zwischen den o. g. Grenzwerten eingeordnet werden.

#### 9.4.1.3 Planungsleistungen

Für die Wiederherstellung eines beschädigten Tunnels sind Planungsleistungen erforderlich, die unmittelbar nach der Schadensaufnahme starten und mit der Abfassung von Ausschreibungsunterlagen enden.

Zur Abschätzung des zu veranschlagenden Zeitbedarfs für die Planung werden die Extremfälle Schadensstufe 2, niedriger Schaden, und Schadensstufe 5, schwerer Schaden, betrachtet.

Bei der Schadensstufe 1 ist das Schadensausmaß so gering, dass, wenn überhaupt, lediglich Aufräum- und Reinigungsarbeiten notwendig werden. Diese werden mit dem regulären Unterhaltungsregime durchgeführt und bedürfen keiner Planung mit entsprechender Dauer.

Bei der Schadensstufe 2, die gekennzeichnet ist durch eine leichte Bauteil-, aber nahezu keine Bauwerksschädigung, kann davon ausgegangen werden, dass lediglich eine Ausschreibung ohne weitere Planung für die durchzuführenden Reparaturarbeiten anzufertigen ist. Hierfür wird ein Zeitbedarf von 1 Woche veranschlagt.

Bei der Schadensstufe 5 liegt ein stark beschädigtes oder gar abgängiges Bauwerk vor. Zur Wiederinbetriebnahme werden objekt- und trag-

werksplanerische Leistungen erforderlich, deren Honorarwert je nach Schadensausmaß den Schwellenwert von 200.000 € nach der Vergabeordnung für freiberufliche Leistungen (VOF) übersteigen kann. Wenn dem so ist, müsste der Planungsauftrag im Rahmen eines Verhandlungsverfahrens mit vorgeschaltetem Teilnahmewettbewerb vergeben werden. Der Bauwerksschaden induziert automatisch dringenden Handlungsbedarf, so dass in diesen besonders dringlichen Fällen eine Mindestdauer für den Antrag auf Teilnahme zum Verhandlungsverfahren nach § 7 (2) VOF von 15 Tagen festgelegt ist.

Nach dem Vorliegen der Teilnahmeanträge erfolgt die erste Wertungsstufe durch den Auftraggeber mit der Versendung der Anfrageunterlagen an die qualifizierten Bieter. Als Mindestzeitbedarf für diesen Verfahrensschritt werden 14 Tage abgeschätzt.

Anschließend sind die Angebote von den Bietern zu erstellen. Hierfür wird ein Mindestzeitbedarf von 7 Tagen im Hinblick auf die Dringlichkeit gesehen. Nach Vorliegen der Bieterangebote folgen die Auswertung und eventuell anschließende Verhandlungsrunden. Hierfür werden mindestens 14 Tage veranschlagt. Anschließend erfolgt die Festlegung des Bauherren auf einen geeigneten Planer und es ist eine Absage an die nicht berücksichtigten Bieter zu versenden. Hierfür werden 5 Tage kalkuliert. Anschließend besteht noch eine 14-tägige Einspruchsfrist der unterlegenen Bieter. Erst danach kann der Auftrag an den vorgesehenen Planer vergeben werden. Insgesamt dauert der Vergabevorgang 69 Tage bzw. nahezu 10 Wochen.

Diese Zeit kann nach einem Bauwerksschaden, der schnellstens behoben werden soll, nicht für ein Vergabeverfahren investiert werden. Insofern ist für derartige Problemfälle nach VOF § 3 (4) d zu verfahren und das Verhandlungsverfahren ohne Teilnahmewettbewerb durchzuführen.

Der Auftraggeber wird hierbei Gespräche mit geeigneten Planern führen, die mindestens 5 Tage bis zur Angebotsabgabe in Anspruch nehmen.

Die Auswertung mit anschließender Einspruchsfrist dauert 15 Tage, so dass nach 20 Tagen oder etwa 3 Wochen der Planungspartner feststeht.

Unterhalb des Schwellenwertes ist eine sofortige freihändige Vergabe an einen geeigneten Planer möglich. Die Größenordnung der Instandsetzungskosten, bis zu der eine freihändige Vergabe möglich ist, ergibt sich aus nachfolgender Beispielrechnung.

Die zu erbringenden Leistungen nach der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) sind in Abbildung 70 wiedergegeben.

Leistungsphase		Bewertung	
		Objekt-planung	Trag-werks-planung
1	Grundlagenermittlung	2 %	- - -
2	Vorplanung	8 %	10 %
3	Entwurfsplanung	30 %	12 %
4	Genehmigungsplanung	- - - <sup>1)</sup>	- - - <sup>2)</sup>
5	Ausführungsplanung	15 %	- - - <sup>2)</sup>
6	Vorbereiten der Vergabe	10 %	3 %
7	Mitwirken bei der Vergabe	5 %	- - -
		70 %	25 %

<sup>1)</sup> Für die Instandhaltung nicht erforderlich.

<sup>2)</sup> Wird üblicherweise durch die bauausführende Firma erbracht.

Abbildung 70: Leistungsbild Wiederherstellungsplanung

Bei Ansatz der mittleren Honorarzone III, dem Mindestsatz sowie einem 25 %-igen Umbauzuschlag und etwa gleichen Tafelwerten für die Objekt- und Tragwerksplanung folgt:

Grundhonorar (Wiederherstellungskosten)

$$= \frac{200.000,00 \text{ € Honorar}}{1,25 \times (70 \% + 25 \%)}$$

Hieraus ergeben sich anhand der HOAI-Tabelle die Wiederherstellungskosten zu rund 3,2 Mio. €.

Die Planungszeit ist stark abhängig von den zu planenden Inhalten der Wiederherstellungsmaßnahme. Es wird zur Findung eines extremsten Zeitbedarfs bei einer Schadensstufe 5 davon ausgegangen, dass der zerstörte Tunnel nach einem älteren Normenstand geplant war. Es ist dann, entsprechend dem Schadensausmaß, ein Sanierungskonzept zu entwickeln und dieses ausschreibungsreif durchzuplanen. Ergänzende statische Entwurfsberechnungen sind parallel durchzuführen.

Es wird für die Sanierungsmaßnahme unterstellt, dass keine behördlichen Zustimmungsverfahren (z. B. BMVBS-Entwurfzustimmung) durchzuführen sind, und dass schnelle AG-Zustimmungen und Entscheidungen zu den Planungsinhalten erteilt werden.

Mit dieser Bedingung kann mit erhöhtem Ressourceneinsatz die reine Wiederherstellungsplanung für die Tunnelkonstruktion, einschließlich der Anfertigung der Ausschreibungsunterlagen, innerhalb von 4 Monaten ab Auftragserteilung durchgeführt werden. Parallel erfolgt die Planung der Wiederherstellung der betriebstechnischen Tunnelausrüstung. Dieser Planungszeitraum ist als absolutes Minimum anzusehen.

Werden aber nicht nur die reinen Wiederherstel-

lungsarbeiten, sondern auch Standardverbesserungen, z. B. Anheben des Sicherheits-/Ausrüstungsstandards, gewünscht bzw. erforderlich, reicht dieser Planungszeitraum nicht aus. Bei derartigen Fällen ist, ebenfalls ohne Zustimmungsverfahren, ein Zeitraum von 9 Monaten zu veranschlagen, die unabhängig von der Schadensstufe gelten.

Zwischen den oben dargestellten Planungszeiten für die Schadensstufen 2 und 5 lassen sich die anderen Schadensstufen etwa linear einordnen (Abbildung 71).

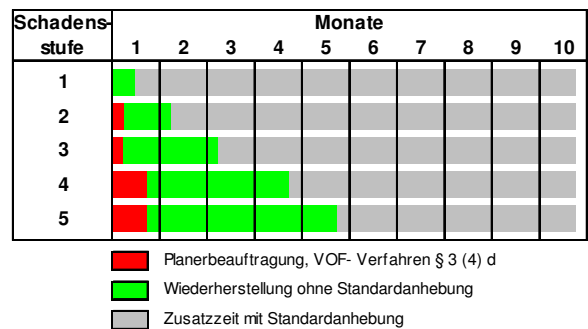


Abbildung 71: Planungszeiten

### 9.4.1.4 Ausschreibung und Vergabe

Das Vorgehen für die Ausschreibung und Vergabe von Wiederherstellungsarbeiten richtet sich nach der VOB/A und für öffentliche Auftraggeber, das ist bei Tunnelbauwerken der Regelfall, nach dem Abschnitt 2 VOB/A. Wie bei der Planung bereits dargestellt, werden die Wiederherstellungsmaßnahmen nach einem Schadensereignis als sehr vordringlich eingestuft, so dass das reguläre offene Verfahren bzw. die öffentliche Ausschreibung nicht zur Anwendung gelangen kann.

Mit der gleichen Dringlichkeit wie bei der Planung kann der öffentliche Auftraggeber bis 10.000 € Wiederherstellungskosten freihändig (VOB/A §3 (5)) und bis 150.000 € beschränkt ohne vorgeschalteten Teilnahmewettbewerb vergeben (nicht offenes Verfahren nach VOB/A § 3 a (3)).

Darüber hinaus kann nur ein Verhandlungsverfahren, das an die Stelle der freihändigen Vergabe tritt (VOB/A § 3 a (1) 4.), weiterverfolgt werden.

Im Hinblick auf die Dringlichkeit kann auf den öffentlichen Teilnahmewettbewerb verzichtet werden (VOB/A § 3 a (6) Nr. 4).

Der Zeitbedarf für die Ausschreibung und Vergabe, d. h. die Zeit für Angebotskalkulation, Submission, Angebotswertung und Vergabe der Leistung, wird bei der Schadensstufe 1, bei der nur Aufräumarbeiten und Reinigungsarbeiten auszuführen sind, auf 4 Wochen geschätzt (2 Wochen kalkulieren, 2 Wochen vergeben).

Bei der Schadensstufe 5 mit umfänglichen Wiederherstellungsleistungen ist eine größere Zeitspanne erforderlich. Aus der VOB/A § 10 a (2) Nr. 4 b ergeben sich Mindestzeiten für die Abgabe der Angebote beim Nichtoffenen Verfahren zu 10 Kalendertagen ab Angebotsaufforderung des Auftraggebers. Diese Spanne ist zu kurz für eine ordnungsgemäße Kalkulation. Vor dem Schadenshintergrund und dessen Schwere sowie der einzubindenden Nachunternehmer werden 4 Wochen als untere Grenze eingeschätzt.

Anschließend folgen Verhandlungen mit den Bietern und die Auswahl des künftigen Baupartners. Hierfür werden 4 Wochen veranschlagt. Anschließend ist der Auftrag zu formulieren, dafür werden 2 Wochen geschätzt. Die nicht gewählten Bieter erhalten eine Benachrichtigung, an die sich eine 14-tägige Einspruchsfrist anschließt. Dann erst ist der obsiegende Bieter nach 3 Monaten beauftragt.

Die Zeiten für die nicht näher betrachteten Schadensstufen 2-4 lassen sich in einer Annäherung linear zwischen den oben genannten Extremwerten einpassen.

Somit ergibt sich das nachfolgende Gesamtbild.

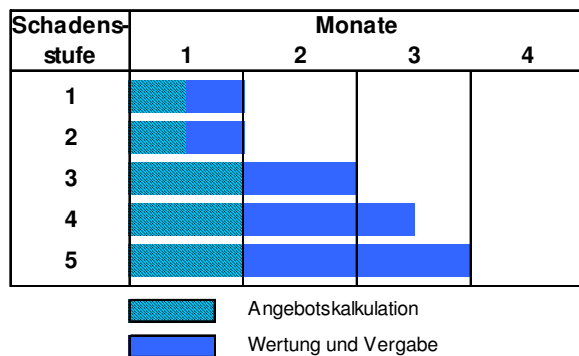


Abbildung 72: Vergabezeiten

Der für öffentliche Bauaufträge übliche Weg mit dem offenen Verfahren liefert im Gegensatz dazu eine Vergabezeit von mindestens 52 Kalendertagen, das sind 7 1/2 Wochen, ab Versand der öffentlichen Bekanntmachung. Fristverkürzungen können wegen der bei Schäden nicht umzusetzenden Vorinformation nicht genutzt werden.

Daran schließt sich die Angebotswertung mit geschätzt 2 Monaten und die Auswahl des Bieters mit Einspruchsfrist von 1 Monat an. Zusammengesetzt benötigt das offene Verfahren rund 5 Monate.

Diese Zeitspanne muss auch bei einer Wiederherstellung mit Standardanhebung auf z. B. aktuelle Sicherheitsstandards berücksichtigt werden.

Ein Versuch, die Zeit für die Vergabe weiter zu optimieren, wird im früher in der VOB/A enthalte-

nen Selbstkostenerstattungsvertrag gesehen. Diese Vertragsform ist bei der Novellierung der VOB 2009 entfallen, da der Vertragstyp nur selten zur Anwendung kam. Bei diesem Vertragstyp werden unmittelbar nach Bekanntsein des Schadensausmaßes alle relevanten Kostengrößen (Löhne, Stoffe, Gerätevorhaltung, Gemeinkosten usw.) bei potentiellen Bietern abgefragt. Wenn im Zuge der Ausführung eine einwandfreie Preisermittlung möglich wird, ist der Vertrag auf einen Leistungsvertrag umzustellen.

Bei größeren Maßnahmen mit erheblichem Zeitdruck könnte dieser Weg Zeit sparen. Bei den Untersuchungen zu SKRIBT wird hierauf nicht weiter eingegangen.

### 9.4.1.5 Baudurchführung

Die Abschätzung des Zeitbedarfes für die bauliche Umsetzung der Wiederherstellungsarbeiten und eventuell darüber hinausgehender Standardanhebungen ist ohne konkreten Bezug zu einem Bauwerk äußerst schwierig. Da bei SKRIBT fiktive Objekte betrachtet werden, wird nachfolgend versucht, eine Abschätzung der Ausführungszeiten anhand eines in Spritzbetonbauweise hergestellten Tunnels mit den jeweiligen Schädigungslängen vorzunehmen.

Eine wesentliche Voraussetzung für die baulichen und betriebstechnischen Reparaturarbeiten ist die Sperrung der instand zu setzenden Röhre während der Bauzeit. Dies wird bei der Zeitbetrachtung unterstellt. Handelt es sich um eine zweiröhri-ge Anlage mit getrennten Verkehrsräumen, kann bauzeitlich der Verkehr im Gegenverkehr durch die unversehrte Röhre abgewickelt werden. Handelt es sich um ein einröhri- ges Bauwerk, ist infolge der Schädigung die gesamte Tunnelanlage bauzeitlich gesperrt. Dies kann auch bei nebeneinander liegenden zweiröhri- gen Anlagen, die lediglich durch eine Mittelwand voneinander getrennt sind, schadensbedingt der Fall sein.

Eine weitere Grundlage der Zeitbetrachtungen ist die Tatsache, dass bauliche und betriebstechnische Arbeiten nur bedingt parallel ausgeführt werden können. Die gegenseitigen Behinderungen sind zu groß bzw. es müssen erst baulich die Verlegeebenen fertig gestellt sein.

Bevor die originären Instandsetzungsarbeiten erbracht werden können, sind so genannte Vorlaufarbeiten/-zeiten zu berücksichtigen. Hierbei handelt es sich um

- Einrichten der Verkehrssicherung, sofern diese bauseits nicht bereits unmittelbar nach dem Schadenseintritt installiert und weiter betrieben wird,
- Einrichten der Baustelle,
- Technische Bearbeitung Bau für von der

bauausführenden Firma zu erstellende Ausführungsunterlagen (Statik, Pläne) sowie deren Prüfung und Bauherrenfreigabe,

- Planungen Betriebstechnik, insbesondere die Werkstattplanung, und
- Lieferzeiten größeren Umfangs vornehmlich bei der Betriebstechnik.

Die eigentlichen Instandsetzungsarbeiten umfassen:

- Baustelleneinrichtung
- (Teil-) Abbrüche des Bestandes bis auf die tragfähigen Restkonstruktion
- Abdichten des Reparaturbereiches
- Einbau der neuen Tragkonstruktion
- Ergänzen von Entwässerungseinrichtungen
- Wiederherstellung der Fahrbahn
- Erneuerung der Tunnelausstattung
- Inbetriebnahme, Baustellenräumung.

Die Bauzeit für die Wiederherstellung eines in Spritzbetonbauweise hergestellten Tunnels mit der Schadensstufe 5 und 100 m Schadenslänge wird anhand durchgeführter Ablaufbetrachtungen zu 8 Monaten geschätzt. Die Wiederherstellung der betriebstechnischen Ausrüstung wird mit 9 Monaten veranschlagt, wobei 5 Monate für Planung- und Bestellzeiten angesetzt werden.

Bei der Schadensstufe 4 reduzieren sich die Zeiten infolge der geringeren Schadenslänge für das Tunnelbeispiel auf 3,5 Monate für den Bau und 2,5 Monate für die Betriebstechnik.

Die Schadensstufe 3 mit nochmals geringerer Schadenslänge wird mit 2 Monaten / 2,5 Monaten Zeitbedarf für die bautechnische/ betriebstechnische Wiederherstellung veranschlagt.

Die Schadensstufe 2 wurde nicht näher betrachtet. Sie kann in der Gesamtzeit hinreichend genau zwischen den Schadensstufen 1 und 3 mit 1,5 Monaten eingeordnet werden.

Bei der Schadensstufe 1, die gekennzeichnet ist durch Aufräum- und Reinigungsarbeiten, werden vom Baubeginn bis zu Wiederinbetriebnahme für alle Arbeiten 2 – 4 Wochen geschätzt.

Bei den Schadenstufen 1 und 2 ist außerdem zu beachten, dass die Arbeiten auch unter laufen-

dem Verkehr in der betroffenen Röhre durchgeführt werden können. Es sind dann ggfls. Spurreduzierungen oder –Einengungen, aber keine komplette Sperrung der Röhre erforderlich.

Die vorgenannten Wiederherstellungszeiten können, wie Beispiele zeigen, auch erheblich unterschritten werden. Bei den Beispielen handelt es sich ebenfalls um bergmännisch hergestellte Tunnel mit günstigen Randbedingungen. Bei diesen waren in Folge eines Brandereignisses nur Teile der Innenschale zerstört worden und es konnte eine Konstruktionsergänzung mit Spritzbeton ausgeführt werden.

Die Beispiele für die Instandsetzungszeiten sind:

Tauern-Tunnel:

3 Monate Dauer der bau- und betriebstechnischen Arbeiten mit Erneuerung der Innenschale auf 350 m Länge.

Montblanc-Tunnel:

20 Monate Dauer für eine Schädigungslänge von 1,5 km einschl. Erhöhung der sicherheitstechnischen Ausstattung

Euro-Tunnel:

3 Monate Dauer, Schädigungslänge unbekannt.

Die Frage der Dauerhaftigkeit der Spritzbetonlösung kann nicht beantwortet werden. Es deutet aber am Beispiel Tauerntunnel darauf hin, dass diese mit der „Schnellreparatur“ nicht erreicht wurde. Die instand gesetzte Röhre des Tauertunnels wird, nachdem die Zweitröhre neu hergestellt ist, nach nur 10 Jahren erneut instand gesetzt.

Nachvollziehbar längere Wiederherstellungszeiten ergeben sich beispielsweise bei einem Schaden der Stufe 5 an einem Untertunnel. Dieser Schaden führt infolge Wassereintrich zum Totalverlust des Bauwerkes. In diesem Fall muss u. U. ein Ersatzbauwerk errichtet werden, für das mindestens die Zeiten eines Neubaus (ca. 3 Jahre) zu veranschlagen sind.

#### 9.4.1.6 Zusammenfassung

Die anhand des Beispiels Tunnel in Spritzbetonbauweise abgeleiteten Gesamtzeiten vom Eintritt des Initialereignisses bis zur Wiederinbetriebnahme sind in Abbildung 73 für alle Schadensklassen zusammengestellt. Die Zeiten können als Mittelwert für die Wiederherstellung der Tunnelbauwerke mit ursprünglichem Standard betrachtet werden.



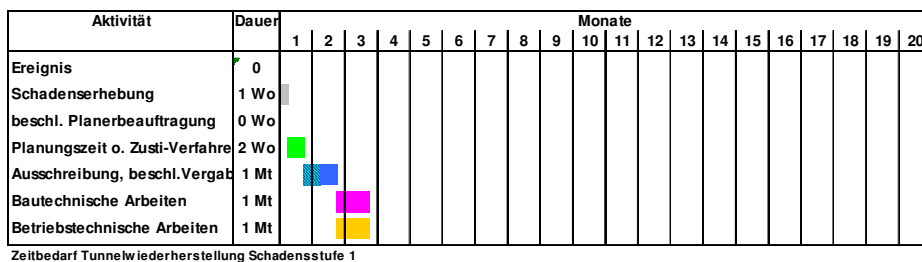
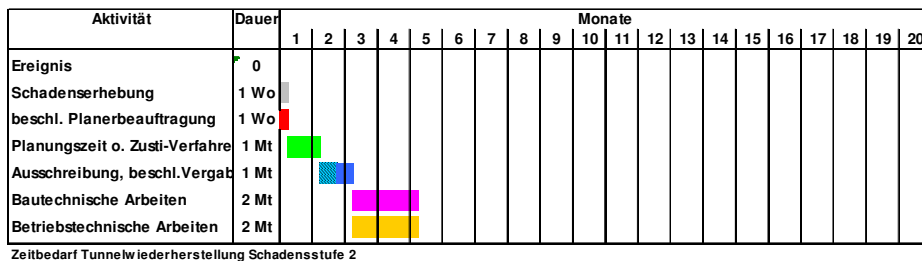
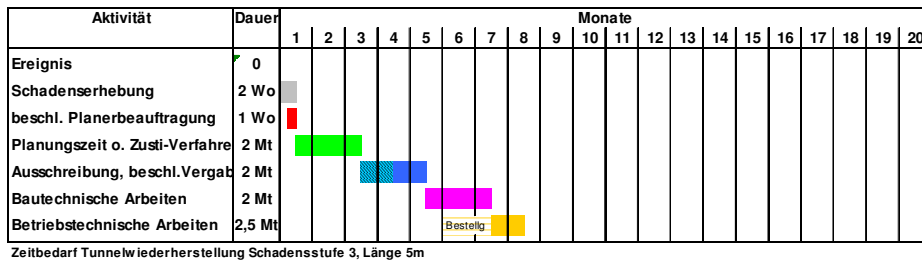
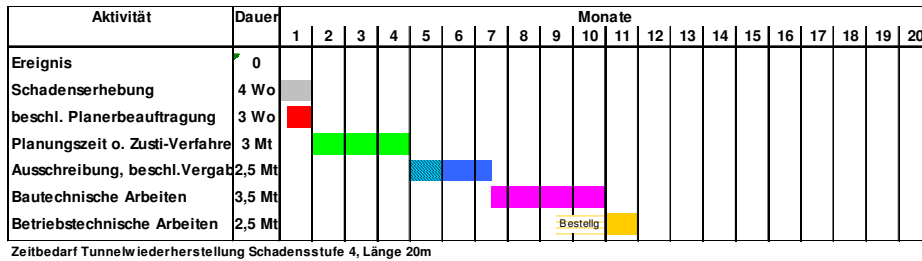
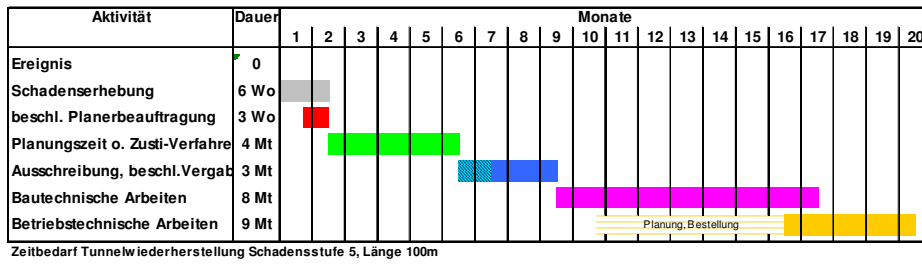


Abbildung 73: Übersicht Zeitbedarf Tunnelwiederherstellung

Im Rahmen des Verbundprojektes wurde auch der Zeitbedarf für die Wiederherstellung einer Mehrfeld-Plattenbalken-Brücke untersucht. Er liegt etwa in der gleichen Größenordnung wie oben am Beispiel Tunnel dargestellt.

## 9.4.2 Berechnung der Wiederherstellungskosten

### 9.4.2.1 Vorgehensweise

Für alle Kostenbetrachtungen im Rahmen der Wirksamkeitsuntersuchungen für die jeweiligen Maßnahmen (Ohne- / Mit-Fall) wird auf Preise für eine Neubaumaßnahme (Ersterstellung des Bauwerkes) aufgebaut. Wegen der im Einzelfall sehr unterschiedlichen Umfeldbedingungen (Stadt / Land) werden die Kosten für Baufeldfreimachungen sowie Leitungsverlegungen nicht bei den hier anzustellenden Kostenbetrachtungen berücksichtigt.

Im Folgenden wird die Vorgehensweise an einem Tunnel-Beispiel exemplarisch dargestellt.

Zu den Wiederherstellungskosten gelangt man, indem der Neubaupreis mit einem Grund- und einem Erschwernisfaktor versehen wird. Der Grundfaktor gibt den Leistungsanteil für die Reparaturgewerke im Verhältnis zum Tunnelneubau an. Der Erschwernisfaktor spiegelt die erhöhten Aufwendungen für das Arbeiten an bzw. in einem bestehenden Tunnel nach einer entsprechenden Schädigung wieder. Ergänzend sind noch Abbruchkosten und Kosten für die lokale Verkehrssicherung hinzuzufügen. Um abschließend die absoluten Wiederherstellungskosten zu erhalten, ist nun noch der konkrete Schadensumfang zu berücksichtigen. Dies erfolgt durch Einführung des Zerstörungsfaktors und der Zerstörungslänge, die beide im Zuge der szenariospezifischen Schadensstufenermittlung ermittelt wurden.

Nicht berücksichtigt werden die Kosten für die Reparatur von außerhalb des Tunnels gelegenen Anlagen, die mittelbar durch den Tunnelschaden im Einzelfall in sehr unterschiedlicher Höhe entstehen können. Im Extremfall können ganze angrenzende Häuserzeilen infolge eines Tunneleinsturzes zerstört werden und sehr hohe Folgeschäden verursachen. Hierzu ist der Baugrubenschaden bei der Nord-Süd-Stadtbahn Köln mit den nachfolgenden Gebäudeeinstürzen ein vergleichbares Szenario.

Vor diesem Hintergrund werden nachfolgend zunächst die Neubaukosten für die zu betrachtenden Tunnel ermittelt.

In einem gesonderten Arbeitsschritt erfolgt die Untersuchung der Wiederherstellungskosten bauwerksspezifisch zur Ausweisung der Kostendifferenz zum gleichartigen Neubau. Anhand der Differenz ermittelt sich der benötigte Grundfaktor für die Wiederherstellung.

Der Grundfaktor berücksichtigt nur die wiederherzustellenden Elemente. Diese sind im Wesentlichen die Tunnelschale und bei schwerer Schädigung die Sicherung. Nicht erneut auszuführen ist

der Vortrieb (Aushub) für den Tunnelhohlraum sowie außerhalb gelegene Betriebs- und Lüftergebäude, die in den Neubaukosten enthalten sind.

Parallel dazu werden die Kosten für die Abbrucharbeiten zur Bestimmung eines entsprechenden Faktors bestimmt.

Abschließend werden die Kosten für die lokale Verkehrssicherung ermittelt.

Mit diesen Kostenelementen und den spezifischen Schädigungen, ausgedrückt durch den Zerstörungsfaktor und die Zerstörungslänge sowie die Ausfallzeit, lassen sich die schadensspezifischen absoluten Wiederherstellungskosten wie folgt bestimmen:

$$K_W = K_N \times G \times Z \times L \times A + V$$

mit  $K_W$  = Wiederherstellungskosten [€]

$K_N$  = Neubaukosten [€]

$G$  = Grundfaktor Wiederherstellg. [%]

$Z$  = Zerstörungsfaktor bezogen auf den Tunnelgesamtquerschnitt [%]

$L$  = Zerstörungslänge [m]

$A$  = Faktor für Abbruchkosten/ Erschwernis [%]

$V$  = Lokale Verkehrssicherungsmaßnahmen [€]

Für die Wirksamkeits-Kosten-Analysen werden die Wiederherstellungskosten entsprechend der abgestimmten Übergabegrößen als Einheitswerte mit

- Tunnelpreis / m [€/m]
- Querschlagpreis / Stück [€/St.]
- Abbruch-/Erschwerniskosten [%]
- Verkehrssicherung [€]

abgebildet.

### 9.4.2.2 Grundlagen

Die zutreffenden Abschätzungen von Tunnelbaukosten stellen für ein konkretes Projekt bereits eine schwierige Aufgabe dar. Für die im Projekt SKRIBT benötigten Kosten ist das nochmals um einen Grad schwieriger. Bekanntermaßen hängen die Tunnelbaukosten für einen Neubau von vielen Faktoren ab, so dass in der Praxis für exakt gleiche Leistungen eine große Bandbreite in den Einheitspreisen festzustellen ist.

Im Projekt SRKIBT wurden keine konkreten, sondern fiktive Bauwerke betrachtet, die mit unterschiedlichsten Randbedingungen hinsichtlich

Geologie und Hydrologie behaftet sein können. Diese maßgeblich die Kosten beeinflussenden äußeren Einflussfaktoren führen zu einer weiteren Vergrößerung der Kostenstreuung.

Zur Lösung des bestehenden Problems wurde eine extreme Betrachtung angestellt, bei der für die nachfolgend näher dargestellten Tunneltypen jeweils alle günstigen Einflussfaktoren und alle ungünstigen Einflussfaktoren gewürdigt sind. Hierdurch kann die Bandbreite der möglichen Kosten angegeben werden.

Die ausgewiesenen Tunnelbaukosten beziehen sich auf 1 m Bauwerk (ein- oder mehrröhrig) und beinhalten auch umgelegt zugehörige Sonderbauwerke.

Die typenzugehörigen Querschnitte wurden im Hinblick auf die weiteren Kosten-Nutzen-Untersuchungen separat dargestellt.

Ergänzend sind auch die Kosten der Tunnelausrüstung pro Meter Bauwerk (ein- oder mehrröhrig) ausgewiesen.

Die zugrunde gelegten Einheitspreise entstammen unterschiedlichsten Quellen. So wurden ältere Preisuntersuchungen, aktuelle Kostenberechnungen vergleichbarer Projekte sowie durchgeführte Kalkulationen des Projektpartners HOCHTIEF verwendet und homogenisiert.

Zur Angleichung älterer Kostenuntersuchungen an das Preisniveau Anfang 2010 wurde die Indexsteigerung anhand der Daten des Statistischen Bundesamtes für den Neubau sonstiger Bauwerke sowie Instandhaltung von Wohngebäuden bei allen Kostenpositionen berücksichtigt.

Für die Kostenuntersuchung wurden zur Übersichtlichkeit bauweisebezogene Typen für die jeweiligen Tunnel-Regel-Querschnitte nach RABT gebildet.

Zur Berücksichtigung der Tunnellänge auf die Kosten sind Untervarianten für die Längenbereiche

- 400 – 900 m (kurze Tunnel)
- 900 – 3.000 m bzw. 1.200 m bei Gegenverkehrstunneln (lange Tunnel)
- > 3.000 m bzw. > 1.200 m bei Gegenverkehrstunneln (sehr lange Tunnel)

berücksichtigt. Mit der Längenabstufung werden auch die Lüftungstechnischen Besonderheiten, wie z. B. Lüftungszwischendecken, bei den sehr langen Tunneln berücksichtigt. Die im Rahmen des Verbundprojektes betrachteten Kostentypen sind in Tabelle 2 dargestellt. Auf die Spritzbetonbauweise wird weitergehend eingegangen.

Die hier nicht weiter behandelten Tunnelbauweisen wurden durch Projektpartner bearbeitet.

Tabelle 2: Tunnel-Kostentypen

Bauweise	Querschnitt nach RABT	Breite zwischen Borden	Typ	Untertyp	Länge		
					400 / 900 m	900 / 3000 m (1200 m RQ 10,5)	> 3000 m (>1200 m RQ 10,5 t)
Offene	26t	7,50 m	O1	- 1	x		
				- 2		x	
				- 3			x
	26T	10,00 m	O2	- 1	x		
				- 2		x	
				- 3			x
	33t	11,00 m	O3	- 1	x		
				- 2		x	
				- 3			x
	10,5t	7,50 m	O4	- 1	x		
				- 2		x	
				- 3			x
Absenk	26t	7,50 m	A1	- 1	x		
				- 2		x	
				- 3			x
	1,5 X 26t (33t)	11,00 m	A3	- 1	x		
				- 2		x	
				- 3			x
Spritzbeton	26t	7,50 m	G1	- 1	x		
				- 2		x	
				- 3			x
	26T	10,00 m	G2	- 1	x		
				- 2		x	
				- 3			x
	33t	11,00 m	G3	- 1	x		
				- 2		x	
				- 3			x
	10,5t mit Rettungsstollen	7,50 m	G4	- 1	x		
				- 2		x	
				- 3			x
Schild	26t	7,50 m	S1	- 1	x		
				- 2		x	
				- 3			x
	26Tr	9,00 m	S2	- 1	x		
				- 2		x	
				- 3			x

Es wird an dieser Stelle nochmals ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die im Weiteren angegebenen Kosten für die betrachteten Tunneltypen ausschließlich zu Beurteilungszwecken und zur Unterteilung der Tunneltypen dienen und nicht für Schätzungen von konkreten Bauwerken herangezogen werden können. Die angesetzten Einheitspreise spiegeln Mittelwerte für durchschnittliche Verhältnisse wider und berücksichtigen keine örtlichen Besonderheiten. Ein konkretes Bauwerk ist

stets mit seinen objekttypischen Randbedingungen zu betrachten und preislich zu untersetzen.

#### 9.4.2.3 Spritzbetonbauweise

Für die in Spritzbeton-Bauweise hergestellten Tunnel der Typen G 1 bis G 4 mit den jeweiligen Untertypen 1 bis 3 bildet die Untersuchung in [25] die Basis. Die möglichen unterschiedlichen geologischen und hydrologischen Verhältnisse wer-

den durch die Vortriebsklassen gemäß ATV DIN 18312 abgebildet.

Als günstige Randbedingung wird die Vortriebsklasse 4 A und als ungünstige Randbedingung die Vortriebsklasse 7 A zu Grunde gelegt (siehe

Tabelle 3).

Die Kostenermittlung erfolgt anhand eines differenzierten Leistungskataloges mit den Leistungsgruppen

- Ausbruch
- Sicherung
- Abdichtung
- Entwässerung
- Beton- und Stahlbeton
- Sonstige Rohbauleistungen
- Wasserhaltung
- Baustelleneinrichtung
- Fahrbahn und Gehwege

Bei den sonstigen Rohbauleistungen sind die Aufwendungen für die Portale, ein Haupt- sowie ein Nebenbetriebsgebäude berücksichtigt.

Hinsichtlich der Kosten ist des Weiteren zu beachten, dass alle Preise als Nettowerte angegeben sind.

Neben den auf den Laufmeter bezogenen Positionen für den durchgehenden Tunnel sind die sonstigen Rohbauleistungen, wie Portale, Betriebsgebäude, Lüfterbauwerke, Pannenbuchten, Notruf- und Hydrantennischen separat ermittelt bzw. pauschal angesetzt und auf die Tunnellänge umgelegt worden.

- Bei den Einzelpositionen wurde:
  - für alle Tunnellängen ein beidseitiger Vortrieb berücksichtigt,
  - beim Ausbruch des separaten Rettungstollens beim Typ G 4 die Einheitspreise aller Ausbruchpositionen verdoppelt,
  - die Fugenbänder in den Preisen der Abdichtung eingerechnet,
  - bei der Vortriebsklasse 7 A eine dickere Innenschale gegenüber den anderen Vortriebsklassen durch einen prozentualen Mengenzuschlag berücksichtigt,
  - die Bewehrung der Innenschale mit 80 kg/m<sup>3</sup> Beton in Ansatz gebracht,

die Schalung, die Baustelleneinrichtung sowie die allgemeinen Rohbauleistungen abhängig von der Tunnellänge kalkuliert.

Tabelle 3: Zusammenstellung der Vortriebsklassen für die Spritzbetonbauweise

	VKL 4 A	VKL 7 A
Ausbruch	vorausseilende Kalotte	Kalotte, Strosse, Sohle
Abschlagslänge	1,3 m	0,8 m
Ortsbrustsicherung	nein	5 cm
Sicherung	Ausbaubogen SN-Anker, 4 m, Raster 1,5 x 1,5 Spritzbeton 20 cm	Ausbaubogen SN-Anker, 3 m, Raster 3,0 x 3,0 Spritzbeton 25 cm
vorausseilende Sicherung	nein	Pfändbleche
temporäres Kalottensohlgewölbe	nein	ja
offene Sohle / Sohlgewölbe	offene Sohle	Sohlgewölbe
Geologie	Granit; Diabas, Gneis, gering verwittert Kalkstein, Dolomit, nicht verkarstet	Sande, Tone, Mergel; Zerrüttungs- und Störungszonen
Grundwasser	oberhalb Grundwasserspiegel	unterhalb Grundwasserspiegel

berücksichtigt. Die Ansätze basieren auf aktuellen und älteren Ausschreibungsergebnissen.

#### 9.4.2.4 Technische Ausrüstung

Bei den Kosten der technischen Ausrüstung des Tunnels (Tunnelausrüstung) wurde ein Leistungskatalog mit den Gruppen

- Belüftung Fahrtunnel und ggfls. Rettungsstollen
- Beleuchtung
- Sicherheitstechnische Ausstattung
- Löscheinrichtungen
- Entwässerung
- Leittechnik
- Verkehrstechnik

#### 9.4.2.5 Zusammenfassung Neubaukosten

Zusammenfassend sind die für die jeweiligen Tunnelbauweisen, Querschnittstypen und Tunnelängen ermittelten Einheitspreise für den Tunnelneubau je Meter ein- / mehrröhriges Bauwerk in Tabelle 4 zusammengestellt, d.h. bei zweiröhrigen Tunneln gilt der Meterpreis für das komplette Bauwerk bestehend aus zwei Röhren. Ergänzend sind auch die zugehörigen Ausstattungskosten aufgenommen.

Die für die jeweiligen Typen ermittelten Kosten bilden die Basis für alle weitergehenden Ermittlungen an den fiktiven Tunnelbauwerken.

Tabelle 4: Zusammenfassung der Neubaukosten

Bauweise	Querschnitt nach RABT	Breite zwischen Borden	Typ	Untertyp	Länge			Kosten				
					400 / 900 m	900 / 3000 m (1200 m)	> 3000 m (>1200 m RQ 10,5 t)	Günstige Randbedingungen		Ungünstige Randbedingungen		Ausstattung € / m
					Tunnel € / m	Querschlag € / Stck	Tunnel € / m	Querschlag € / Stck				
offene	26t	7,50 m	O1	- 1	ja		28.100		38.100		4.400	
				- 2		ja	29.100		39.600		4.400	
				- 3			31.500		43.000		4.700	
	26T	10,00 m	O2	- 1	ja		35.500		48.100		4400	
				- 2		ja	36.800		50.000		4400	
				- 3			39.800		54.300		4700	
	33t	11,00 m	O3	- 1	ja		38.500		52.100		4400	
				- 2		ja	40.000		54.200		4400	
				- 3			43.100		58.800		4700	
	10,5t	7,50 m	O4	- 1	ja		21.300		28.100		3.100	
				- 2		ja	22.100		29.100		3.100	
				- 3			23.800		31.600		3.200	
Absenk	26t	7,50 m	A1	- 1	ja		95.200		92.500		4400	
				- 2		ja	95.200		95.200		4400	
				- 3			101.500		101.500		4700	
	1,5 X 26t (33t)	11,00 m	A3	- 1	ja		115.300		115.300		4400	
				- 2		ja	118.900		118.900		4400	
				- 3			127.400		127.400		4700	
Spritzbeton	26t	7,50 m	G1	- 1	ja		32.300	99.400	69.000	224.200	4400	
				- 2		ja	30.700	99.400	67.700	224.200	4400	
				- 3			35.900	99.400	74.400	224.200	4700	
	26T	10,00 m	G2	- 1	ja		38.400	125.000	85.100	282.300	4400	
				- 2		ja	36.200	125.000	82.800	282.300	4400	
				- 3			39.800	125.000	86.700	282.300	4700	
	33t	11,00 m	G3	- 1	ja		51.600	146.400	108.500	330.300	4400	
				- 2		ja	49.400	146.400	106.200	330.300	4400	
				- 3			53.800	146.400	110.700	330.300	4700	
	10,5t mit Rettungsstollen	7,50 m	G4	- 1	ja		21.400	99.400	44.600	224.200	3100	
				- 2		ja	20.300	99.400	43.700	224.200	3100	
				- 3			22.900	99.400	47.000	224.200	3200	
Schild	26t	7,50 m	S1	- 1	ja		80.746	1.200.000	85.180	2.000.000		
				- 2		ja	65.988	1.200.000	70.050	2.000.000		
				- 3			58.194	1.200.000	62.250	2.000.000		
	26Tr	9,00 m	S2	- 1	ja		109.918	1.200.000	116.060	2.000.000		
				- 2		ja	91.946	1.200.000	97.568	2.000.000		
				- 3			82.492	1.200.000	88.110	2.000.000		

### 9.4.2.6 Grundfaktor

#### 9.4.2.6.1 Allgemeines

Bei der Wiederherstellung eines Tunnels sind nicht alle kostenwirksamen Elemente erneut auszuführen. Je nach Schadensschwere und Initialeignis sind die zu erneuernden Elemente unterschiedlich. Ebenso unterscheidet sich der Wiederherstellungsaufwand nach Tunneltyp bzw. -konstruktion.

Bei der offenen Bauweise mit unmittelbar nebeneinander liegenden Röhren liegen andere Verhältnisse vor als bei getrennten Querschnitten.

Die hier nicht weiter dargestellten anderen Tunnelbauweisen wurden durch Projektpartner bearbeitet.

#### 9.4.2.6.2 Spritzbeton-Bauweise

Bei der Spritzbeton-Bauweise wird für die Bestimmung des Grundfaktors grundsätzlich von der Regelbauweise mit getrennten Tunnelröhren ausgegangen.

Im Weiteren wird unterstellt, dass das Initialeignis nur eine Tunnelröhre beschädigt hat. Für die Ereignisse Explosion und Brand wird der schwerste Schädigungsgrad (Schadensstufe 5) für den Grundfaktor zugrunde gelegt. Die Variation der Schadensstufe und somit des Schädigungsgrades wird mit dem Zerstörungsfaktor abgebildet (s. Kapitel 9.4.2.7). Wegen der möglichen günstigen bzw. ungünstigen Verhältnisse wird differenziert vorgegangen.

Die günstigen Randbedingungen, ausgedrückt durch die Vortriebsklasse 4 A, bedeuten:

- anstehendes Festgestein, klüftig
- kein drückendes Grundwasser
- geringer Bergwasserzutritt beim Vortrieb.

Die ungünstigen Randbedingungen, ausgedrückt durch die Vortriebsklasse 7 A, bedeuten:

- anstehendes gebräuchtes Festgestein / bindiger Baugrund
- kein drückendes Grundwasser
- starker Bergwasseranfall beim Vortrieb.

Da im Rahmen von SKRIBT für gebettete Tunnelsysteme in Spritzbeton-Bauweise keine substanziellen Untersuchungen erfolgen, werden die Schädigungsausmaße qualitativ anhand der Un-

tersuchungsergebnisse zur offenen Bauweise abgeschätzt.

Für das Initialereignis Explosion wird bei ungünstigen Randbedingungen davon ausgegangen, dass die Schockbeanspruchung und die Gasdrücke eine Schädigung der Innen- und Außenschale verursachen. Diese Schädigung wird auch infolge Gasdruck für die Tunnelkonstruktion unterhalb des Fahrbahnniveaus unterstellt. Demgemäß sind auch die Entwässerung sowie der gesamte Fahrbahnaufbau beschädigt oder müssen reparaturbedingt erneuert werden.

Bei günstigen Randbedingungen wird wegen der druckfesteren Gebirgsumgebung nur eine Schädigung der Innenschale erwartet. Von einer Zerstörung der Tunnelkonstruktion unterhalb der Fahrbahnebene wird nicht ausgegangen.

Die nicht zerstörten Konstruktionsabschnitte werden mit dem Zerstörungsfaktor erfasst. Die Entwässerungseinrichtungen sowie der Fahrbahnaufbau unterhalb der Binderschicht werden als nicht zerstört angenommen.

Die gleichen Ausmaßbegrenzungen ergeben sich für das Initialereignis Brand.

Vor diesem Hintergrund entfallen zusammengefasst gegenüber dem Neubau folgende Leistungen:

- Ausbruch komplett
- Sicherung bei günstigen Verhältnissen / Brand
- Entwässerung bei günstigen Verhältnissen / Brand
- Portale, Betriebs- / Lüftergebäude komplett
- Fahrbahnaufbau unterhalb Binderschicht bei günstigen Verhältnissen / Brand.

Hinsichtlich der Tunnelausstattung wird im Wiederherstellungsfall ein kompletter Ersatz aller im Tunnel befindlichen Komponenten oberhalb Fahrbahnniveau als größtmöglicher Schaden unterstellt.

Bei der Faktorenbildung wird die Schädigung in einer Röhre bezogen auf die zweiröhrige Gesamtanlage.

#### 9.4.2.6.3 Zusammenfassung

Zusammenfassend sind für die jeweiligen Tunnelbauweisen die Grundfaktoren der Wiederherstellung in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5: Grundfaktoren Wiederherstellung

Bauweise	Querschnitt nach RABT	Breite zwischen Borden	Typ	Untertyp	Länge			Kosten					
					400 / 900 m	900 / 3000 m (1200 m)	> 3000 m (>1200 m RQ 10,5 t)	Günstige Randbedingungen			Ungünstige Randbedingungen		
								Tunnel € / m	Wiederherstellungskosten € / Stck	Wiederherstellungskostenfaktor %	Tunnel € / m	Wiederherstellungskosten € / Stck	Wiederherstellungskostenfaktor %
offene	26t	7,50 m	O1	- 1	ja		28.100	22.500	80%	38.100	30.500	80%	
				- 2		ja	29.100	23.300	80%	39.600	31.700	80%	
				- 3		ja	31.500	25.200	80%	43.000	34.400	80%	
	26T	10,00 m	O2	- 1	ja		35.500	28.400	80%	48.100	38.500	80%	
				- 2		ja	36.800	29.400	80%	50.000	40.000	80%	
				- 3		ja	39.800	31.800	80%	54.300	43.400	80%	
	33t	11,00 m	O3	- 1	ja		38.500	30.800	80%	52.100	41.700	80%	
				- 2		ja	40.000	32.000	80%	54.200	43.400	80%	
				- 3		ja	43.100	34.500	80%	58.800	47.000	80%	
	10,5t	7,50 m	O4	- 1	ja		21.300	17.000	80%	28.100	22.500	80%	
				- 2		ja	22.100	17.700	80%	29.100	23.300	80%	
				- 3		ja	23.800	19.000	80%	31.600	25.300	80%	
Absenk	26t	7,50 m	A1	- 1	ja		95.200			92.500			
				- 2		ja	95.200			95.200			
				- 3		ja	101.500			101.500			
	1,5 X 26t (33t)	11,00 m	A3	- 1	ja		115.300			115.300			
				- 2		ja	118.900			118.900			
				- 3		ja	127.400			127.400			
Spritzbeton	26t	7,50 m	G1	- 1	ja		32.300	7.600	24%	69.000	21.200	31%	
				- 2		ja	30.700	7.800	25%	67.700	21.600	32%	
				- 3		ja	35.900	9.700	27%	74.400	23.800	32%	
	26T	10,00 m	G2	- 1	ja		38.400	8.600	22%	85.100	25.000	29%	
				- 2		ja	36.200	8.600	24%	82.800	25.000	30%	
				- 3		ja	39.800	10.500	26%	86.700	26.900	31%	
	33t	11,00 m	G3	- 1	ja		51.600	12.300	24%	108.500	31.800	29%	
				- 2		ja	49.400	12.300	25%	106.200	31.800	30%	
				- 3		ja	53.800	14.500	27%	110.700	34.000	31%	
	10,5t mit Rettungsstollen	7,50 m	G4	- 1	ja		21.400	7.600	36%	44.600	21.200	48%	
				- 2		ja	20.300	7.800	38%	43.700	21.600	49%	
				- 3		ja	22.900	9.700	42%	47.000	23.800	51%	
Schild	26t	7,50 m	S1	- 1	ja		80.746	7.800	10%	85.180	19.445	23%	
				- 2		ja	65.988	7.800	12%	70.050	48.983	27%	
				- 3		ja	58.194	9.700	17%	62.250	18.566	30%	
	26Tr	9,00 m	S2	- 1	ja		109.918	8.600	8%	116.060	27.873	24%	
				- 2		ja	91.946	8.600	9%	97.568	27.388	28%	
				- 3		ja	82.492	10.500	13%	88.110	26.955	31%	

### 9.4.2.7 Zerstörungsfaktor

Der Zerstörungsfaktor gibt auf den jeweiligen Tunnelquerschnittstyp bezogen, die Anteile an, die im Schadensfall erneuert werden müssen. Es wird dabei davon ausgegangen, dass Teile des Querschnittes szenarienbezogen nicht zerstört werden und erhalten bleiben können. Vereinfachend wird der Anteil auf den Umfang der jeweiligen Tunnelkonstruktion bezogen.

Die folgende Beispiele erläutern die Vorgehensweise:

Ein Tunnel in offener Bauweise bei ungünstigen Randbedingungen und einem Szenario der Schadensklasse 5 führt zum Bauwerkseinsturz der doppelröhrigen Konstruktion. Der gesamte 2-zellige Querschnitt muss ersetzt werden. Hieraus ergibt sich der Zerstörungsfaktor 100 %.

Ein Tunnel in Spritzbetonbauweise mit getrennten Röhren und günstigen Randbedingungen muss

bei gleicher Schadensstufe nur in der geschädigten Röhre und oberhalb Fahrbahnniveau erneuert werden. Der Anteil der zerstörten Umfangskontur zur ursprünglichen liegt z. B. bei 80 %.

Bei Lokalschädigungen ergibt sich ebenfalls der Faktor aus der Umfangsbetrachtung z.B. zu 10 %.

Es wird deutlich, dass der Zerstörungsfaktor abhängig ist von der Schadensklasse und dem Tunneltyp.

Die bei dieser Betrachtung über den Konstruktionsumfang entstehende Unschärfe in Bezug auf die Kostengesamtheit ist gering und wird in Kauf genommen.

### 9.4.2.8 Abbruch- und Erschwernisfaktor

Bevor mit der Wiederherstellung begonnen werden kann, sind je nach Schadensbild (Teil-) Abbrüche und Schuttbeseitigungen durchzuführen.



Bei einem infolge eines Explosionsereignisses zerstörten Tunnel sind Teilabbrüche an den Randzonen zum nicht zerstörten Teil bis auf den gesunden Konstruktionsquerschnitt erforderlich. Neben diesem Abbruchgut ist auch der Schutt der unmittelbaren Schädigung zu entfernen.

Bei einer Wiederherstellung eines Tunnels ergeben sich im Vergleich zum Neubau für gleiche Leistungen Erschwernisse, die kalkulatorisch berücksichtigt werden müssen. Eine Tonne Stahl, die bei kleineren Lokalschäden, angepasst an die Gegebenheiten u. U. mit spezieller Muffentechnik eingebaut werden muss, ist preislich nachvollziehbar teurer als eine Tonne Stahl bei einem Neubau. Ebenfalls sind spezielle wiederherstellungsbedingte Hilfsmaßnahmen und Konstruktionen preistreibende Faktoren. Diese Mehraufwendungen werden mit dem Erschwernisfaktor abgebildet.

Zur Abschätzung des Erschwernisfaktors sowie zur Überprüfung der anderen Faktoren wurden die Wiederherstellungskosten von Projektpartnern exemplarisch für einen Beispieletunnel kalkuliert.

Der dort ermittelte Erschwernisfaktor liegt in einem Schwankungsbereich von 1,2 bis 1,8 mit einem Mittelwert von 1,5, der für die faktorisierte Wiederherstellungskostenermittlung näherungsweise angesetzt werden kann.

**9.4.2.9 Lokale Verkehrssicherung**

Für die Wiederherstellung von Tunnelbauwerken sind ab dem Schadenseintritt bis zur Wiederinbetriebnahme Verkehrssicherungsmaßnahmen nach RSA [26] einzurichten und zu unterhalten. Für die Reparaturarbeiten aller Schadensstufen wird davon ausgegangen, dass die beschädigte Tunnelröhre vollständig gesperrt und der Verkehr über die andere, verbleibende Röhre im Gegenverkehr abgewickelt wird.

In welchem Umfang diese bauzeitliche Verkehrsführung möglich ist, hängt vom Querschnitt des Verkehrsweges ab. Für die gängigen 4 und 6-spurigen Schnellstraßenquerschnitte sind die Umleitungsmöglichkeiten mit den teils entstehenden Kapazitätseinschränkungen in Tabelle 6 dargestellt.

4-streifiger Querschnitt	Strecke		Brücke		Tunnel	
	RAA-RQ 31	alt. RQ 26	RAA-RQ 31 B	alt. RQ 26	RAA-RQ 31 T = RABT-RQ 26 T	alt. RAA-RQ 31 t = RABT-RQ 26 t
- Anzahl Fahrspuren	2 x 2		2 x 2		2 x 2	
- Seitenstreifen	ja		ja		ja	nein
- Fahrbahnbreite	je 12,00 m	je 10,00 m	je 12,00 m	je 11,50 m	je 10,00 m	je 7,50 m
- mögliche eingeschränkte Verkehrsführung auf halbem Urquerschnitt	4s + 0; ? 11,50 m	3s + 0; ? 9,00 m 1 Fahrspur muß entfallen Staufefahr	4s + 0; ? 11,50 m		3s + 0; ? 9,00 m 1 Fahrspur muß entfallen Staufefahr	2 + 0 2 Fahrspuren müssen entfallen Staufefahr
6-streifiger Querschnitt	RAA-RQ 36	alt. RQ 33	RAA-RQ 36 B	alt. RQ 33	RAA-RQ 36 T = RABT-RQ 33 T	alt. RAA-RQ 36 t = RABT-RQ 33 t
- Anzahl Fahrspuren	2 x 3		2 x 3		2 x 3	
- Seitenstreifen	ja		ja		ja	nein
- Fahrbahnbreite	je 14,50 m	je 13,50 m	je 14,50 m	je 13,50 m	je 13,50 m	je 11,00 m
- mögliche eingeschränkte Verkehrsführung auf halbem Urquerschnitt	5s + 0; ? 14,00 (13,50) m 1 Fahrspur muß entfallen Staufefahr		5s + 0; ? 14,00 (13,50) m 1 Fahrspur muß entfallen Staufefahr		5s + 0; ? (13,50) m 1 Fahrspur muß entfallen Staufefahr	4 + 0; ? (11,00) m 2 Fahrspuren müssen entfallen Staufefahr

( Mindestmaße der Fahrbahn )

Tabelle 6: Übersicht Fahrbahnquerschnitte

Die bauzeitliche Verkehrsführungsmöglichkeit besteht aber nur bei redundanten Tunnelsystemen, bei denen ein Ereignis in einer Röhre nicht zum Verlust der anderen führt. Bei fehlender Redundanz wird der Verkehrsweg durch den Tunnel vollständig gesperrt und es müssen großräumige Verkehrsumleitungen geschaffen werden.

In die Kosten der lokalen Verkehrssicherung gehen die zeitunabhängigen Anteile für den Auf- und Abbau nach RSA sowie die zeitabhängigen Anteile für die Wartung und Unterhaltung der Sicherungseinrichtungen ein. Wie aus der Tabelle 7 zu

ersehen ist, sind die Kosten für die Herstellung / Beseitigung einer Verkehrsführung abhängig vom Ausgangsquerschnitt des ursprünglichen Verkehrsweges und der Länge der einzurichtenden Baustellenstrecke.

Die Unterhaltung ist hingegen nahezu unabhängig von der Streckenlänge, da ähnlicher Zeitbedarf erforderlich wird. Mit den jeweiligen Werten ist eine spezifische Kostenschätzung möglich.

Tabelle 7: Einheitspreise Verkehrsumleitung

Pos	Artikelbezeichnung	Menge	Einheit	EP A	EP B
<b>A</b>	<b>Verkehrssicherung nach RSA herstellen und nach Gebrauch vollständig beseitigen</b>			<b>V-Sicherung</b>	<b>Unterhalt/Mt</b>
<b>B</b>		<b>Vorhaltung und Unterhaltung für 1 Monat</b>			
1.1	für 6-streifigen Urquerschnitt auf 5 s + 0				
1.1.1	Baustellenlänge	100 m	Psch	44.000 €	5.500 €
1.1.2	Baustellenlänge	500 m	Psch	65.000 €	5.500 €
1.1.3	Baustellenlänge	1000 m	Psch	101.000 €	5.500 €
1.1.4	Baustellenlänge	2000 m	Psch	152.000 €	6.500 €
1.2	für 6-streifigen & 4-streifigen Urschnitt auf 4 + 0 / 4 s + 0				
1.2.1	Baustellenlänge	100 m	Psch	42.000 €	5.500 €
1.2.2	Baustellenlänge	500 m	Psch	61.000 €	5.500 €
1.2.3	Baustellenlänge	1000 m	Psch	112.000 €	5.500 €
1.2.4	Baustellenlänge	2000 m	Psch	127.000 €	6.500 €
1.3	für 4-streifigen Urquerschnitt auf 3 + 0				
1.3.1	Baustellenlänge	100 m	Psch	38.000 €	5.500 €
1.3.2	Baustellenlänge	500 m	Psch	56.000 €	5.500 €
1.3.3	Baustellenlänge	1000 m	Psch	104.000 €	5.500 €
1.3.4	Baustellenlänge	2000 m	Psch	113.000 €	6.500 €
1.4	für 4-streifigen Urquerschnitt auf 2 + 0				
1.4.1	Baustellenlänge	100 m	Psch	34.000 €	5.500 €
1.4.2	Baustellenlänge	500 m	Psch	52.000 €	5.500 €
1.4.3	Baustellenlänge	1000 m	Psch	98.000 €	5.500 €
1.4.4	Baustellenlänge	2000 m	Psch	103.000 €	6.500 €

## 9.5 Wirksamkeits-Kosten-Analyse

Im Rahmen des Verbundprojektes SKRIBT wurde von Projektpartnern ein Bewertungsverfahren entwickelt und in einem Tool umgesetzt, das die Abschätzung der Wirksamkeit von Maßnahmen unter volkswirtschaftlichen Aspekten erlaubt. Dieses als Wirksamkeits-Kosten-Analyse bezeichnete Verfahren dient dazu, die unmittelbaren sowie die Folgewirkungen von Maßnahmen zum Schutz von Bauwerken transparent zu machen, um damit eine Grundlage für die Entscheidung zu schaffen, ob diese Maßnahme umsetzungswert ist. Die Wirkungsermittlung beruht auf vergleichenden Rechnungen, bei denen die Wirkungen eines sich im Rahmen eines Szenarios ereignenden Initial-Ereignisses auf das Bauwerk im Fall ohne Maßnahmen (Ohne-Fall) dem Fall mit Maßnahmen (Mit-Fall) gegenüber gestellt werden.

Dabei werden Wirkungen hinsichtlich des Bauwerks, der Nutzer und der Verkehrsabläufe betrachtet. Auch Folgewirkungen, die sich aus Änderungen des Verkehrsablaufs ergeben, werden berücksichtigt. Die vergleichenden Berechnungen des Mit- und Ohne-Falls werden ab dem Eintritt des Initial-Ereignisses für die gesamte Dauer der Wiederherstellung des Bauwerks vorgenommen, da für diesen Zeitabschnitt Unterschiede zwischen Mit- und Ohne-Fall hinsichtlich der betrachteten Wirkungen auftreten können.

Die Beispielrechnungen werden von den Partnern dargestellt.

## 9.6 Identifizierungsverfahren

Aus den dargestellten Bedrohungen resultieren Einwirkungen. Diese erzeugen Schäden, die es zu beschreiben und zu bewerten gilt. Die Bauwerksschäden werden durch die Schadensklassen und die Wiederherstellungskosten beschrieben. Bei den Nutzern wird der Schaden durch einen Risikoerwartungswert in Form einer Anzahl von Getöteten angegeben. Für den Verkehr wird ein volkswirtschaftlicher Schaden erzeugt und durch Mehrreisezeiten angegeben. Alle diese Größen haben Einfluss auf die Beurteilung der Kritikalität von Bauwerken. Es bedarf daher einer Synthese, in der die drei Größen eingespeist und bewertet werden. Im Projekt SKRIBT wurde dazu ein Verfahren zur Identifizierung kritischer Bauwerke entwickelt, mit dem ein Vergleich der unterschiedlichen Schadensauswirkungen ermöglicht wird.

Im Rahmen der Synthese werden die differierenden Größen in ein Bewertungsschema überführt, deren skalare Größen für alle Eingangswerte adaptierbar sind. Aus den Schadensgrößen werden somit Bewertungsgrößen, die einen direkten Vergleich erlauben.

Im Rahmen der Projektbearbeitung mit mehreren Partnern wurde vorgeschlagen, zur Zusammenfassung der Teilergebnisse zu einem szenarienbezogenen Kritikalitätswert nach

Abbildung 74 vorzugehen.

Abbildung 74: Vorschlag zur Zusammenfassung der Teilergebnisse

**Gruppe Verfahren: Stand 28.4.10**  
**Zusammenfassung der Teilergebnisse in eine Bewertung/ Gesamtbewertung**



Ergebnis-ebene	Bewertungs-zahl	jeweils für Kernszenario Explosion, Brand, Naturkatastrophe, mechanische Einwirkungen						SP
		<b>Gesamtbewertung</b>						
1	1	abschließende Klärung muß noch herbeigeführt werden						Gewichtung 1)
		33,3%		33,4%		33,3%		
2 (= Kategorie)	4	<b>Bauwerk</b>		<b>Nutzer</b>		<b>Verkehr und Umfeld</b>		Gewichtung
		Bewertungszahl 1		Bewertungszahl 2		Bewertungszahl 3		
		50(60-40)%	50(40-60)%	100%		50(x-y)%	50(y-x)%	
3 (=Bewertungs-kriterium entspr. Bearbeitungs-ergebnis)	6	<b>Zerstörungsgrad</b>	<b>Wiederherstellungskosten</b>	<b>Risikoerwartungswert (Tote/ Ereignis)</b>		<b>Ausfallzeit</b>	<b>Sekundärkosten</b>	<b>Symbolik</b> (einschl. übergeordnete/ strategische Bedeutung)
		Bewertungszahl 1.1 1 bis 5	Bewertungszahl 1.2 1 bis 5	Bewertungszahl 2.1 1 bis 5		Bewertungszahl 3.1 1 bis 5	Bewertungszahl 3.2 1 bis 5	

Eingangswerte = Kernszenario

Für jedes Teilergebnis (Bewertungszahl) muß das gleiche (Kern-)szenario zu Grunde gelegt werden

1) Jeder Bereich >= 10%, ein Bereich maximal 50%

In der weiteren Bearbeitung wurde von den Projektpartnern eine zusätzliche Synthesemöglichkeit eingebracht. Danach ist es möglich, entweder für ein Bauwerk (getrennt) zu jedem Initialereignis einen Kritikalitätswert über die Bewertungsgruppen

Bauwerk, Nutzer und Verkehr zu ermitteln (Abbildung 75 ) oder einen Kritikalitätswert für die einzelnen Bewertungsgruppen Bauwerk, Nutzer und Verkehr ereignisübergreifend zu bestimmen (Abbildung 76).



Abbildung 75: Prinzipielle Vorgehensweise der zielgrößenübergreifenden Zusammenfassung der gewichteten Einzel-Bewertungsgrößen zu Kritikalitätsbewertungsgrößen für die Wirkung der Initialereignisse („horizontaler Ansatz“) in idealer Form

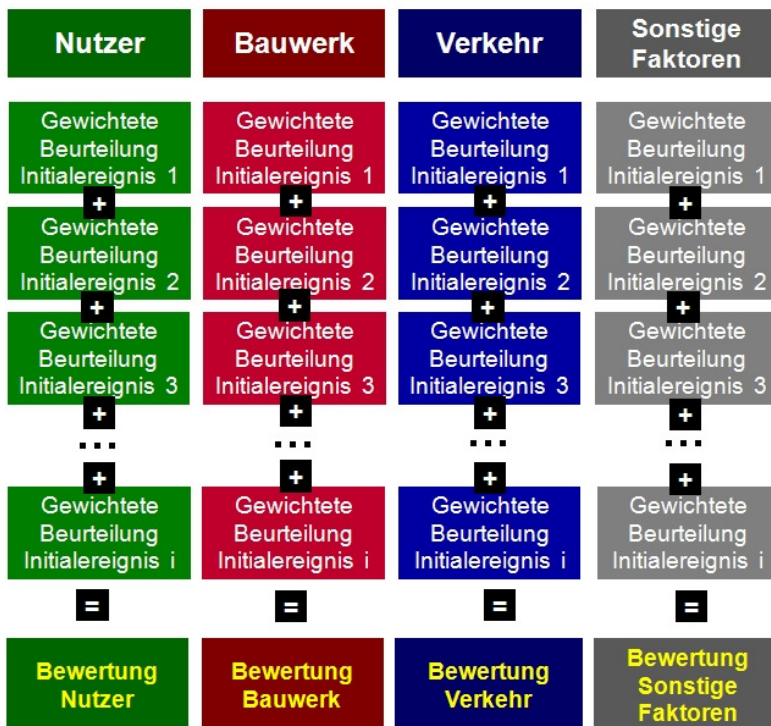


Abbildung 76: Prinzipielle Vorgehensweise der Initialereignisübergreifenden Zusammenfassung der gewichteten Einzel-Bewertungsgrößen zu Kritikalitätsbewertungsgrößen für die Wirkung auf die Zielgrößen („vertikaler Ansatz“) in idealer Form

Diese Einzelbeurteilungen können im Rahmen des Verfahrens über Zwischenschritte zu einer so genannten gemittelten Gesamtkritikalität zusammengeführt werden.

Die gemittelte Gesamtkritikalität spiegelt somit einen Mittelwert der Einzelbeurteilungen aller betrachteten Initialereignisse wieder (Abbildung 77).

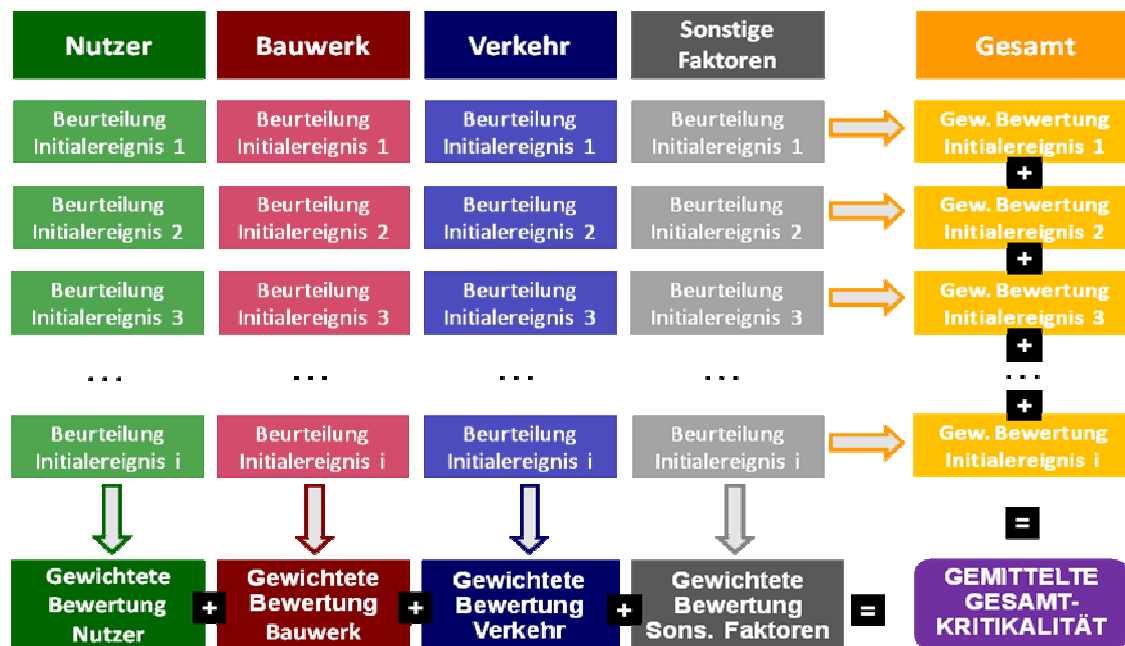


Abbildung 77: Prinzipielle Vorgehensweise der Zusammenfassung der gewichteten Kritikalitätsbewertungsgrößen zu einem Wert für die Gemittelte Gesamt-Kritikalität GGK in idealer Form

Eine absolute Bewertung der gemittelten Gesamtkritikalität ist noch nicht möglich, da im Rahmen der Projektbearbeitung die Festlegung von Grenzwerten nicht möglich ist. Dazu bedarf es politischer oder gar gesellschaftspolitischer Abstimmungen und Vorgaben. Hingegen dessen ist aber eine Relativbewertung der Bauwerke untereinander möglich, da in Form einer Reihung die verschiedenen Kritikalitäten dargestellt und bewertet werden können.

Mit dem Verfahren zur Identifizierung kritischer Bauwerke steht ein Werkzeug zur Verfügung, das es z. B. einem Bauwerkseigentümer ermöglicht, den Bestand seiner Bauwerke sicherheitstechnisch zu untersuchen und zu bewerten. Die detaillierte Darlegung erfolgte in [27].

## 10 Gesamtübersicht

Die vorhandenen einzelnen Bearbeitungsergebnisse, die in diversen Arbeitsgruppen paketweise erarbeitet wurden, sind in einem Abschlussbericht des Arbeitspaketes 5 zusammengefasst worden [28]. Er schließt ab mit getrennt dargestellten Empfehlungen für Bauwerkseigentümer, Betreiber, Einsatzdienste und Nutzer von Brücken und Tunneln.

In Anhängen wurden leicht handhabbar in Katalogform die empfehlenswerten Maßnahmen für

Brücken und Tunnel sowie in Tabellenform die wirksamen Maßnahmen dargestellt.

Wegen der sensiblen Inhalte wird im beiliegenden Anhang 6 und 7 lediglich ein Muster gezeigt, in dem die Aussagen des Schädigungsausmaßes entfernt wurden.

## 11 Demonstration Bautechnik Brücke

### 11.1 Ohne-Fall

#### 11.1.1 Allgemeines

Als Demonstrationsobjekt wird eine an reale Verhältnisse angelehnte Großbrücke über 7 Felder in einer üblichen Bauart gewählt. Die Beispielauswahl erfolgt darüber hinaus im Hinblick auf möglichst viele umsetzbare Maßnahmen beim Mit-Fall. Nachfolgend wird die Brücke ohne Maßnahmen zur Sicherheits-Robustheits-Erhöhung (Ohne-Fall) vorgestellt.

Eine Bundesautobahn soll auf 3 Fahrstreifen je Richtung ausgebaut werden. Sie überquert in der Nähe eines Ortes mehrere Straßen, Wege sowie Eisenbahnanlagen und wird dort zwischen km 3 + 635,32 und km 4 + 053,62 (Station der Lagerachsen, vgl. Pläne Ohne-Fall in Anhang 8) über das neue Brückenbauwerk überführt.

Das vorhandene, einzügige Brückenbauwerk für beide Fahrrichtungen wird durch das neue, zweizügige Brückenbauwerk ersetzt.

Das neue Bauwerk wird je zur Hälfte neben dem bestehenden und an der Stelle des Bestandes nach dessen Abbruch erstellt. Bauseitig wird dazu eine Verkehrsführung 4 + 0 (4 Fahrstreifen auf einer Richtungsfahrbahn (2 je Fahrtrichtung, Gegenfahrbahn ist komplett gesperrt) eingerichtet.

Das Bauwerk liegt in der Ansicht komplett in einer Wannenausrundung  $H = 22.000$  m mit einem Längsgefälle in Richtung Westen. Am Widerlager Ost in Achse 70 beträgt das Maximum des Längsgefälles ca. 3,0 %, am Widerlager West in Achse 00 ca. 1,1 %. Im Grundriss liegt das Bauwerk bis auf einen kurzen Klothoiden-Abschnitt am Widerlager West in einer Geraden (vgl. Pläne Ohne-Fall im Anhang 8).

### 11.1.2 Bodenverhältnisse

Die Bodenverhältnisse werden für das Beispiel angenommen. Im Bereich Widerlager West bis einschließlich Stütze 20 sowie Widerlager Ost wird ein ausreichend tragfähiger Felsuntergrund angenommen. Dazwischen werden weniger tragfähige Überlagerungsschichten unterstellt, die mit geeigneten Bodenverbesserungsmaßnahmen (z.B. Bodenaustausch) ertüchtigt werden müssen. Die Bodenverbesserungsmaßnahmen sind so angenommen, dass die gleiche Tragfähigkeit wie beim Fels gewährleistet wird.

Angenommene Kennwerte für den Felsuntergrund (z.B. Sandstein):

Wichte  $\gamma = 24 \text{ KN/m}^3$

Reibungswinkel  $\varphi = 30^\circ$

Zylinderdruckfestigkeit, einachsig  $q_n = 25\text{-}300 \text{ KN/m}^2$

Steifemodul  $E_s = \geq 300 \text{ KN/m}^2$

Grundwasser steht im Bereich der Gründungen nicht an.

### 11.1.3 Unterbauten

#### 11.1.3.1 Widerlager, Flügel

Die Unterbauten stehen alle mit einem Winkel von  $100$  gon zur Achse der Autobahn. Die Gründung aller Unterbauten erfolgt als Flachgründung auf Fels bzw. Füllbeton.

Die Widerlager sind als massive Winkelstützwände konzipiert. Sie werden zu Wartungszwecken mit einem Kontrollgang versehen. Die Zugänge liegen auf der Nordseite. Von den Widerlagern aus ist der Einstieg in die Brückenkästen möglich.

Beide Widerlager West und Ost sind gleich ausgebildet. Die Widerlagerteile im Bereich des Be-

standes werden nach dessen Abbruch auf dem neuen, etwas tiefer liegenden Gründungsniveau abgesetzt.

Die durch eine Mittelfuge getrennte Widerlagerstirnmauer ist eine Schwergewichtswand. Die Parallelfügel sind als Winkelstützmauern ausgebildet. Ab Fundamentsohle beträgt die Widerlagerhöhe ca. 12 m. Das Fundament der Widerlagerstirnmauer ist 7,40 m breit, die Breite des aufgehenden Teils beträgt 3,60 m. Die Widerlagerkammerwand weist eine Dicke von 70 cm auf.

Die Widerlagerflügel sind entsprechend dem Geländeverlauf in ihrer Oberkante geneigt. Die Fundamentbreite beträgt 6,00 m. Die Wanddicke variiert von 1,75 m am Fuß auf 0,75 m am Kopf.

#### 11.1.3.2 Pfeiler

Die Pfeiler mit einer Höhe von 5 – 11 m über Gelände werden als massive Vollbetonquerschnitte hergestellt.

Sie sind quer zur Brückenachse konstant 2,20 m dick. Unterhalb des Kopfquerschnitts mit 6,00 m Breite und 1,20 m Höhe folgt eine Taillierung auf 3,00 m. Darunter verbreitern sich die Pfeiler symmetrisch 1 : 28, 33. Die Fundamente weisen eine Breite quer zur Brückenachse von einheitlich 8,00 m auf, quer dazu sind sie 5,00 bzw. 6,00 m (Festpunkt) lang.

Die Fundamente und die aufgehenden Teile der Pfeiler werden in Stahlbeton der Festigkeitsklasse C 30/37 hergestellt. Die Lagersockel werden in C 35/45 vorgesehen.

#### 11.1.3.3 Sichtflächen

Die Sichtflächen der Widerlager werden mit Natursteinen verblendet. Die Dicke der Verblendschicht beträgt 25 cm. Die Auflagerbank wird in Sichtbeton, Qualität gemäß den Pfeilern, hergestellt und schließt mit ihrer Außenkante bündig mit der Natursteinverblendung ab. Die Pfeiler werden im aufgehenden Teil in Sichtflächenschalung mit glatter Oberflächenqualität hergestellt.

### 11.1.4 Überbau

#### 11.1.4.1 Tragkonstruktion

##### Allgemein

Der Überbau ist ein stählerner Träger in Verbundbauweise, der als Durchlaufträger über sieben Felder mit Stützweiten zwischen 44,0 m und 72,8 m mit einer Gesamtstützweite von 418,3 m ausgebildet ist. Die Gesamthöhe zwischen OK Fahrbahn und UK Konstruktion beträgt in Kastenmitte 4,0 m.

Die Brückenbreite zwischen den Außenkanten der Kappen beträgt 18,385 m. Getrennt sind die Überbauten durch eine 10 cm Längsfuge.

Im Querschnitt hat die Fahrbahn ein einseitiges Quergefälle von 2,5 % in Richtung Süden. Da beide Fahrbahnen ein Quergefälle nach Süden aufweisen, erfolgt die Kappenausbildung mit einem Höhenversprung in der Bauwerksmitte.

Die Verbundplatte ist aus Betonfertigteilen mit Ortbetonergänzung vorgesehen. Ein Teileigengewichtsverbund (Herstellung einer planmäßigen Verbundwirkung der Stahlkonstruktion mit den Fertigteilen vor dem Betonieren der Ortbetonergänzung) ist nicht vorgesehen. Hierdurch lassen sich die Querfugen der Fertigteilplatten einfach ausbilden, da planmäßig die Übertragung von Kräften in der Fuge nicht erforderlich wird.

Der Festpunkt in Brückenlängsrichtung befindet sich in Achse 40 und liegt näherungsweise in Brückenmitte.

Der Stahlteil des Überbaus wird ohne Berücksichtigung der Klothoide vor dem Widerlager West im Grundriss zwischen den Achsen 00 und 10 in einer Geraden gefertigt. Die Klothoidenform wird ausschließlich durch seitliches Verschieben der Fahrbahnplatte quer zur Längsachse der Stahlkonstruktion hergestellt.

### Stahlbau

Der tragende Stahlquerschnitt des Überbaus besteht aus einem 5,60 m breiten trogförmigen Träger, der zur Stützung der weit auskragenden Betonfahrbahn mit seitlich angeordneten Druckstreben versehen ist. Die Druckstreben ihrerseits bilden in Verbindung mit trapezkastenförmigen Längsträgern und quergerichteten Zugbändern eine Unterstützung der Kragplatte. Die Längsträger wirken nach Herstellung der Betonfahrbahnplatte als Verbundträger für alle weiteren Einwirkungen.

Der Abstand der Druckdiagonalen in Brückenlängsrichtung von 4,0 m korrespondiert mit dem Abstand der Kastenaussteifungen, bestehend aus Querrahmen mit Fachwerksausteifung. In den Stützenachsen besteht die Queraussteifung aus Vollwandschotten mit Durchstiegen. Die Längsaussteifung von Boden und Stegwänden erfolgt mit Trapezhohlsteifen und nach Erfordernis zusätzlich mit Flachsteifen.

Die Stahlkonstruktion wird vollständig in Baustahl der Festigkeit S 355 hergestellt. Die äußeren Längsträger werden als luftdicht verschweißte Hohlkastenquerschnitte, die Druckstreben zur Unterstützung der Längsträger aus Rundrohren hergestellt.

Die zur Aufnahme der Abtriebskraft aus den Druckstreben für die Abstützung der Längsträger erforderlichen Zugbänder sind zur Aussteifung als T-Querschnitt ausgebildet. Der Gurt liegt dabei in der Ebene der Obergurte von Hauptträgerkasten und Längsträger.

Der Verbund der Zugbänder zur Betonfahrbahnplatte wird durch aufgeschweißte Kopfbolzendübel sichergestellt. Die Verbundwirkung der Verdübelung wird für den Endzustand (einschließlich Ermüdung) nachgewiesen.

Die Stege des Hauptträgertrogschnitts sind in einer Wandstärke von 15 bis 30 mm vorgesehen.

Die Obergurte haben je nach Beanspruchungsgröße Dicken zwischen 25 und 130 mm. Die Untergurte (Kastenbodenblech) haben im mittleren Bereich auf ca. 3,5 m Breite eine konstante Dicke von  $t = 15$  mm, in den äußeren Bereichen auf je ca. 1,1 m je nach Beanspruchungsgröße Dicken zwischen 15 und 80 mm. Blechdicken über 40 mm werden dabei in mehreren Lamellen ausgeführt.

Wegen des vorgesehenen Einschubs des Bauwerks wird der Kastenboden gegenüber den Stegen nach außen leicht verbreitert. Hierdurch ergeben sich für den Einschub Vorteile bei der Lasteinleitung und Horizontalführung.

### Betonbau

Die Betonplatte - sowohl Fertigteil als auch Ortbetonergänzung - wird mit der Festigkeit C35/45 hergestellt. Sie ist sowohl in Längsrichtung als auch in Querrichtung schlaff bewehrt. Die Schub-sicherung zwischen Betonfertigteileplatte und Ortbetonergänzung wird durch eine entsprechende Verbundbewehrung sichergestellt.

Für die Herstellung der Verbundbetonfahrbahnplatte werden zwei Typen von Fertigteilen erforderlich. Der erste Typ deckt den Bereich zwischen den Trogstegen ab. Die Betonfertigteileplatten sind in diesem Bereich 10 cm dick. Sie tragen ihr Eigengewicht und die Frischbetonlast zu den Hauptträgerstegen ab und müssen beim Betonieren der Ortbetonergänzung zusätzlich unterstützt werden.

Der zweite Typ Betonfertigteileplatten deckt den Bereich zwischen den Trogstegen und den Brückenaußenkanten ab. Dieser Typ Betonfertigteileplatten trägt ihr Eigengewicht und die Frischbetonlast auf die außen liegenden Längsträger und die Kastenstege ab. Da dieser Typ Platten bei der Herstellung der Ortbetonergänzung nicht zusätzlich unterstützt werden kann, trägt die Dicke dieser Platte über den Längsträgern 15 cm und verjüngt sich zu den Rändern auf 10 cm. Im Bereich über den Längsträgern erhalten die Fertigteile Aussparungen für die erforderliche Schubverdübelung.

An den Außenrändern erhält dieser Typ eine Aufkantung für die seitliche Abschaltung der Ortbetonergänzung mit ausstehender Anschlussbewehrung für die Kappe. Dieser Plattentyp ist gegen Abheben an der Auflagerung der Kastenstege zu sichern.



Die Auflagerung der Fertigteilplatten erfolgt entsprechend der Lastabtragung in Brückenquerrichtung auf Auflagerstreifen aus Elastomer auf den Obergurten des Kastenträgers und der Längsträger. Die Querränder erhalten ein Compriband zur Abdichtung beim Betonieren der Ortbetonergänzung. Beide Fertigteilplattentypen haben eine Breite von 2,0 m entsprechend einem halben Querträgerabstand.

Die Dicke der Ortbetonergänzung beträgt in der Regel 20 cm und entspricht der Forderung der ZTV-ING, Teil 3, Abschnitt 2 für Ortbetonergänzungen über Fertigteilplatten. Im Bereich unter den Kappen darf die Dicke der Ortbetonergänzung auf 15 cm reduziert werden. Dies entspricht der Regelung nach DIN-Fachbericht 104, Kapitel II, Abschnitt 8.4.

Die schubfeste Verbindung zwischen dem Betongesamtquerschnitt und der Stahlkonstruktion wird durch Kopfbolzendübel hergestellt. Auf den Gurten des Trogrägers sind diese kontinuierlich entsprechend der erforderlichen Dübelhöhe in den Lücken zwischen den Fertigteilplatten angeordnet. Über den Längsträgern sind diese in den bereits o. g. Aussparungen der Fertigteilplatten (Dübeltaschen) blockweise vorgesehen. Die Dübel sind so angeordnet, dass zwischen Außenkante Dübelkopf und Fertigteilplattenrand ein Abstand von mindestens 30 mm gewährleistet ist.

Die Kopfbolzendübel variieren in der Höhe entsprechend den statischen und konstruktiven Erfordernissen und besitzen eine Mindesthöhe von  $h = 175$  mm. Durch die großen Dübelhöhen wird eine ausreichende Einbindung in die Ortbetonergänzung gewährleistet.

Die Differenzhöhe zwischen den Obergurten der Stahlkonstruktion und der Unterseite der Betonfertigteilplatten, die sich durch das Auflegen auf den Elastomerstreifen ergibt, sowie die Dübeltaschen werden vor dem Betonieren der Ortbetonergänzung mit Feinmörtel vergossen. Hierdurch ist die volle Tragfähigkeit der Kragplatte im Druckbereich an der Unterseite über den Längsträgern zur Aufnahme der Frischbetonlast für die Ortbetonergänzung gegeben.

Nach dem Verlegen der Bewehrung für die Ortbetonergänzung kann das Betonieren der Fahrbahnplatte erfolgen.

#### 11.1.4.2 Lager

Für den Neubau der Brücke werden bewehrte Elastomerlager vorgesehen.

In den Pfeilerachsen liegen die Lager unter den Lagerquerscheiben gegenüber den Stegen leicht nach innen versetzt. An den Widerlagern hingegen werden Sie unter der Endquerscheibe nach außen versetzt angeordnet, um die erforderliche Sicherheit gegen Abheben zu gewährleisten.

Wie bereits erwähnt, liegt der Festpunkt in Brückenlängsrichtung auf dem Pfeiler in Achse 40. Die Horizontallasten werden längs über Festhaltekonstruktionen an jedem Lager auf die Unterbauten übertragen. Die Horizontalkräfte in Brückenquerrichtung werden in allen Lagerachsen über Festhaltekonstruktionen an den Lagern an der innen liegenden Lagerreihe abgetragen. Alle beweglichen Lager erhalten in der beweglichen Richtung Gleitpaarungen.

In allen Lagerachsen sind Aufstellflächen für Pressen zum Anheben des Überbaus für ein Auswechseln der Lager vorgesehen. Im Bereich der Hauptträgerstege und Lagerquerscheiben sind hierfür im Kasten zusätzliche Aussteifungen vorgesehen.

#### 11.1.4.3 Übergangskonstruktion

An den beiden Widerlagern werden wasserdichte Fahrbahnübergänge angeordnet. Aufgrund der Tatsache, dass der Festpunkt nicht genau in Brückenmitte liegt, ergeben sich für die Übergänge unterschiedliche Dehnwege.

#### 11.1.4.4 Abdichtung, Belag

Die Verbundplatte erhält eine Abdichtung nach ZTV-ING, Teil 7, Abschnitt 1 mit einer Dichtungsschicht aus Bitumenschweißbahn und einer Schutzschicht aus Gussasphalt. Die Deckschicht besteht aus Splitmastixasphalt. Die Dicke des Gesamtaufbaus beträgt 7,5 cm.

#### 11.1.4.5 Korrosionsschutz

Der Korrosionsschutz wird entsprechend ZTV-ING, Teil 4, Abschnitt 3 mit Stoffen nach Blatt 87 der TP/TL-KOR-Stahlbauten ausgeführt. Detailangaben hierzu siehe Korrosionsschutzplan in Anhang 8. Zur Vermeidung von Schwitzwasser im Hohlkasten werden abdeckbare Belüftungsöffnungen analog BMV-Richtzeichnung Was 17 in den Stegen vorgesehen.

#### 11.1.5 Entwässerung

##### 11.1.5.1 Überbau

Das Oberflächenwasser wird über Brückenabläufe im Abstand von ca. 16 m gefasst und über eine außerhalb des Hohlkastens liegenden Sammelleitung zum Widerlager West geführt. Die Längsverschiebung am Widerlager wird über eine elastische Rohrverbindung kompensiert. Rohrreinigungsöffnungen sind beim nördlichen Überbau nicht vorgesehen, da die Sammelleitung direkt in der Achse der Einläufe liegt und über diese gespült werden kann. Beim südlichen Überbau sind Reinigungsöffnungen infolge der gegenüber der Ablaufachse nach innen versetzten Rohrachse erforderlich.

Im Widerlager West wird die Sammelleitung an die Streckenentwässerung angeschlossen. Unterhalb des südlichen Überbaus wird auf gesamter Länge eine Leitung DN 800 für die östlich der Brücke ankommende Streckenentwässerung mitgeführt. Diese wird, wie die Brückenentwässerung, am Widerlager West an die westlich abgehende Streckenentwässerung angeschlossen.

#### 11.1.5.2 Widerlager

Die Hinterfüllung und Entwässerung der Widerlager wird nach Richtzeichnung Was 7 ausgeführt. Am Widerlager West wird die erdseitige Entwässerung an die vorhandene Vorflut der Streckenentwässerung angeschlossen. Am Widerlager Ost wird als Vorflut ein Sickerschacht errichtet.

#### 11.1.6 Absturzsicherung, Schutzeinrichtungen

Sowohl auf der Außen- als auch auf der Innenkappe wird eine Absturzsicherung Super Rail der Leistungsklasse 2 installiert. Am Rand der Außenkappen ist ein Knieholmgeländer nach GEL 3 vorgesehen.

#### 11.1.7 Zugänglichkeit der Konstruktionsteile

Das Bauwerk ist über die beiden Türen in der nördlichen Widerlager-Seitenwand zugänglich. Von den Widerlagerräumen gelangt man über Leitertaufstiege zum Wartungsgang innerhalb der Hohlkästen.

Der Wartungsgang wird mit einer Breite von 0,80 m und einseitigem Geländer ausgeführt. Die Inspektion der Brückenaußenflächen erfolgt mit Hilfe eines mobilen Brückenbesichtigungsgerätes, das auf der Standspur der Brücke fährt und über die Geländerebene hinweg die komplette Unterseite des Bauwerks erreichen kann.

Die Tragfähigkeit dieser mobilen Geräte ist sehr eingeschränkt, so dass Reparaturarbeiten, die einen größeren Material- und/oder Geräteaufwand bedingen (z.B. Reparatur an der Streckenentwässerungsleitung DN 800), nicht von einem solchen Gerät ausgeführt werden können. Entsprechende Arbeiten müssen dann von unten erfolgen.

Die Pfeilerköpfe sowie alle Lagerbereiche sind ebenfalls nur von unten über Hubsteiger o.ä. zugänglich.

#### 11.1.8 Sonstige Ausstattung und Einrichtungen

Die Hohlkästen und Widerlager erhalten eine stationäre Beleuchtungsanlage sowie in etwa 30 m Abstand Steckdosen für kleine Wartungsarbeiten.

Im Kasten des Brückenquerschnitts sind diverse Kabel und Leitungen zu überführen. Hierfür wird

eine an die Verbundplatte angehängte Kabelbahn vorgesehen. Die Kabelweiterleitung in den Streckenbereich erfolgt durch entsprechend abgedichtete Durchdringungen der Kammerwand.

Das neue Brückenbauwerk soll mit einer Glättemeldeanlage ausgestattet werden. Eine hierfür erforderliche Anzeige soll etwa in Brückenmitte auf der Außenkappe zwischen der Super Rail und der Lärmschutzwand installiert werden. Die erforderlichen Verankerungselemente für den Mast sind bei der Kappenherstellung mit einzubauen, ebenso die erforderlichen Leerrohre für Kabel und Leitungen.

#### 11.1.9 Herstellung, Bauzeit

##### 11.1.9.1 Allgemeines

Die Herstellung der neuen Brücke erfolgt hälftig. Zunächst wird der nördliche Überbau neben dem Bestand errichtet. Anschließend erfolgt die Verkehrsumlegung vom alten Überbau Süd auf den neuen Überbau Nord.

Im nächsten Schritt wird das vorhandene Brückenbauwerk vollständig abgebrochen und durch den neuen südlichen Überbau ersetzt. Nach seiner Fertigstellung erfolgt die Rückverlegung der Richtungsfahrbahn Ost und der Endzustand ist erreicht.

Der Abbruch des Bestandes wird im Weiteren nicht näher beleuchtet bzw. dargestellt.

##### 11.1.9.2 Unterbauten

Die Unterbauten werden in geböschter bzw. in verbauter Baugrube hergestellt. Im Bereich der Widerlager werden die vorhandenen nördlichen Flügelwände als Verbau genutzt. Die darüber hinaus erforderlichen Baugrubenzonen müssen mit einem ergänzenden Längsverbau gesichert werden.

Die neuen Widerlagerhälften Nord erhalten zum südlichen Baufeld hin einen Mittelverbau, der mit der Verfüllung der Widerlager eingebracht wird.

Beim Widerlager West ist die Widerlagerherstellung nur abschnittsweise möglich, da die Taktstation für die Überbauherstellung hier angeordnet ist.

##### 11.1.9.3 Überbauten

Die Montage der Überbauten ist im Taktschiebverfahren vom Widerlager West aus („bergauf“) unter Verwendung eines Vorbauschnabels vorgesehen. Planmäßig erfolgt das Einschieben ohne Betonfahrbahnplatte. Es bleibt jedoch der Ausführung freigestellt, die Betonfertigteileplatten schon teilweise auf dem Vormontageplatz aufzulegen und mit einzuschieben, soweit sich hieraus keine Erhöhung der Tonnage der Stahlkonstruktion er-

gibt. Der Vormontageplatz und die Verschiebeinrichtungen sind dann auf die ergänzenden Betonarbeiten abzustimmen.

Hinter dem Widerlager West ist ein entsprechender Vormontageplatz mit Verschiebbahn vorgesehen.

Auf dem Vormontageplatz werden die werkseitig hergestellten Stahlbauteile taktweise zusammengelegt, verschweißt und der bereits werkseitig aufgebrauchte Korrosionsschutz ausgebessert und ergänzt.

Unterstützt wird der Überbau beim Einschieben nur durch die Verschiebbahn hinter dem Widerlager sowie durch Verschieblager in den einzelnen Pfeilerachsen. Die Anordnung von Zwischenjochen ist nicht vorgesehen, der Vorbauschnabel ist hierfür entsprechend auszubilden. Zur Wahrung der Beulsicherheit beim Verschieben ist die auf die Stegbleche wirkende Vertikallast über die Verschiebelemente auf eine größere Länge gleichmäßig zu verteilen.

Nach Einschub des kompletten Stahlüberbaus werden die Verschiebeinrichtungen ausgebaut und der Stahlüberbau auf die endgültige Lagerung gesetzt. Parallel hierzu bzw. danach erfolgt das Verlegen der Betonfertigteilplatten z. B. mit Hilfe eines Verlegegerätes, das auf einer (aufgeständerten) Fahrbahn im Bereich der beiden Kastenstege verfährt. Abschließend kann die Fertigstellung der Verbundfahrbahnplatte erfolgen. Nach deren Herstellung erfolgen die Ausbauarbeiten.

#### 11.1.9.4 Bauzeit

Die Herstellungsfolge und deren Dauer gestaltet sich für einen Überbau wie folgt:

- |  |      |
|--|------|
| 1) Baustelleneinrichtung,<br>Verkehrssicherung,<br>Vorlauf technische Bearbeitung      | 1 Mt |
| 2) Herstellen Widerlager West  | 5 Mt |
| 3) Parallel Herstellen Pfeiler   | 9 Mt |
| 4) Parallel Herstellen Widerlager Ost  | 5 Mt |
| 5) Werkstattfertigung Überbau,<br>Montage, Einschub,<br>Demontage Verschiebeinrichtung | 8 Mt |
| 6) Herstellen Betonfahrbahn  | 3 Mt |
| 7) Herstellen Abdichtung und Kappe   | 3 Mt |
| 8) Asphaltarbeiten   | 1 Mt |
| 9) Ausstattungsarbeiten  | 4 Mt |

Wegen der sich teils überlagernden Arbeiten ergibt sich die Bauzeit für eine Brückenhälfte für Unter- und Überbau bis zur Verkehrsaufnahme zu 1,5 Jahren. Dann folgt die Abbruchphase des Bestandes, die hier ausgeklammert ist. Anschlie-

ßend folgt die Herstellung der zweiten Brückenhälfte mit der gleichen Zeitdauer wie bei der ersten Hälfte.

Insgesamt steht die neue Brücke nach 3 Jahren (ohne die Abbruchzeit des Bestandes) zur Verfügung.

#### 11.1.10 Kosten

Entsprechend der Kostenberechnung betragen die Netto-Herstellungskosten für beide Brückenhälften (Überbauten + Unterbauten) ohne Abbruch des Bestandes:

Baufeldfreimachung	:	188.568 €
Verkehrssicherung	:	570.843 €
Erdarbeiten	:	2.586.088 €
Widerlager	:	1.336.763 €
Stützen	:	926.425 €
Überbau	:	16.021.060 €
Entwässerung	:	964.619 €

---

Zwischensumme : 22.594.366 €

10 % Baustelleneinrichtung : 2.259.437 €

---

Gesamt : 24.853.803 €

Dies entspricht Neubaukosten von insgesamt ca. 1.600 €/m<sup>2</sup> Überbaufläche (ca. 15.600 m<sup>2</sup>).

## 11.2 Mit-Fall Neubau

### 11.2.1 Allgemeines

Das im Ohne-Fall dargestellte Brückenbauwerk wird nachfolgend mit den in AP5 als wirksam herausgearbeiteten und für den speziellen Brückentyp realisierbaren, die Robustheit bzw. die Sicherheit erhöhenden Maßnahmen optimiert. Dabei werden bauliche und betriebliche Maßnahmen berücksichtigt. Einige Maßnahmen haben alternativen Charakter, worauf im Einzelnen eingegangen wird.

Die gegenüber dem Ohne-Fall nicht veränderten oder optimierten Brückenelemente werden im Folgenden nicht nochmals behandelt. Es wird hierzu auf das Kapitel 11.1 verwiesen.

### 11.2.2 Umsetzbare Maßnahmen

Bei der Beispielbrücke sind die folgenden Maßnahmen im Zuge eines Neubaus umsetzbar (vgl. Pläne Mit-Fall im Anhang 9):

B02 - Verstärkung / Aufbetonschicht / Vorsatzschale mikrobewehrter Hochleistungsbeton [BBa – 2],

hier umgesetzt in Form einer Inlayschicht an der Unterseite der Fahrbahn-Fertigteileplatten (Alternative zu B03) sowie einer Vorsatzschale vor Stützen und Widerlagern (Alternative zu B04, B16).

- B03 - Verbesserter Entwurf – statisch unbestimmtes System [BBa – 7], hier umgesetzt durch eine Ausfallbemessung der Beton-Fahrbahnplatte (Alternative zu B02).
- B04 - Pfeilerscheibe statt Stütze [BBa – 10], hier umgesetzt durch eine Modifizierung der Pfeiler (Alternative zu B02, B16)
- B05 - Windschutzwände [BBa – 12], hier umgesetzt durch eine Lärmschutzwandkonstruktion.
- B09 - Lagerschutz [BBa – 22]
- B11 - Zugangsverhinderung [BBa – 1]
- B16 - Parkverhinderung unter Brücken [BBa – 2], hier umgesetzt durch bauliche Umwehungen (Alternative zu B02, B04)

### 11.2.3 Unterbauten

Die Widerlager sind sehr massive Bauteile mit 3,60 m Dicke im kritischen Bereich oberhalb Gelände bis ca. 3 m darüber. Es folgt die Lagerbank mit 1,65 m Dicke. Die Stützen weisen eine Dicke von 2,20 m auf. Gefährdungen der Konstruktion ergeben sich nur infolge von Explosionsszenarien in Form von lokalen Schädigungen.

Wie die Untersuchungen des Ernst-Mach-Instituts (EMI) ausweisen, verursachen bei beiden Bauteilen kleine Ladungen nur geringe Schädigungen, für die es nicht sinnvoll ist, prophylaktische Maßnahmen zu ergreifen.

#### 11.2.3.1 DUCON®-Vorsatzschale (B02)

Aufgrund der bereits massiv ausgebildeten Widerlager und Stützen ist als zusätzliche Schutzmaßnahme nur eine Verstärkung gegen eine sehr starke Explosion nötig. Entsprechend den vorsichtig abgeschätzten Richtwerten des EMI ist dazu eine 0,75 m Schutzschichtdicke erforderlich, um den zur Aufrechthaltung der Tragfähigkeit notwendigen ca. 70 % intakten Restquerschnitt zu gewährleisten.

Dies führt bei den Widerlagern zu einer Lösung mit einer DUCON®-Schutzschale, die von 50 cm unter Erdgleiche bis OK Lagerbank vorzusehen ist. Wegen der einzuhaltenden luftseitigen Widerlager-Flucht müssen die Widerlager unter Verzicht auf die 25 cm dicke Natursteinverblendung um 50 cm nach außen versetzt werden. Hieraus resultieren Mehrkosten infolge der vergrößerten Brückenfläche.

Die DUCON®-Schale selber ist mit einer Fläche von  $L \times H = \text{ca. } 36,80 \times 4,50 = 165,60 \text{ m}^2$  auszubilden.

Die Kosten pro Widerlager ergeben sich überschlägig zu

Überbauvergrößerung	
$36,80 \times 0,50 = 18,40 \text{ m}^2 \times 1165 \text{ €} =$	21.400 €
DUCON®-Schale:	
$165,60 \text{ m}^2 \times 2000 \text{ €} =$	331.200 €
Resultierende Anpassungen	
Restwiderlager pauschal =	<u>20.400 €</u>
Gesamt pro Widerlager	373.000 €

Da bei der hier untersuchten Beispielbrücke bei beiden Widerlagern die Möglichkeit zur Vergrößerung des Ladungsabstandes durch eine kostengünstigere Maßnahme umgesetzt werden kann, wird die DUCON®-Schutzschicht in diesem Fall nicht zur Umsetzung empfohlen.

Bei den Stützen ist eine Schutzhülle umlaufend von 50 cm unter bis 5 m über Gelände vorzusehen. Aus gestalterischen Gesichtspunkten werden die Restbereiche mit den vergrößerten Abmessungen vervollständigt. Der nicht erreichbare Pfeiler 20 inmitten der Bahnanlagen muss nicht mit DUCON ummantelt werden, wird aber aus gestalterischen Gründen ebenfalls mit gleichen Abmessungen ausgeführt.

#### 11.2.3.2 Pfeilerscheiben (B04)

Die Stützenachsen 10 – 60 werden anstatt mit Stützen mit durchgehenden Pfeilerscheiben vorgesehen. Die Scheiben sind minimal ca. 22 m lang und unterhalb der Lagerbank 1,20 m dick. Da aber die Zuwegungen unverändert bleiben, ist bis auf die Achse 20 (innerhalb der Bahnanlagen) eine Nahdetonation wie im Ohne-Fall möglich. Hieraus resultiert eine Teilerstörung der Scheibe, die bei der Bemessung durch eine Fehlfläche (Loch 3,5 m Durchmesser) berücksichtigt ist (Ausfallbemessung gemäß Maßnahme B03).

### 11.2.4 Überbau

Der in Verbundbauweise vorgesehene Überbau kann nur für kleine bis mittlere Explosionsszenarien ertüchtigt werden. Eine Ertüchtigung für größere Ladungen ist wirtschaftlich nicht realisierbar.

Bezüglich Brandszenarien ist das stählerne Unterbauteil des Überbaus von unten gefährdet. Eine konstruktive Maßnahme am Überbau selbst kann nicht angeboten werden, da die zu erwartenden Temperaturen derzeit nicht realistisch berechnet werden können und auch versuchstechnisch nicht vorliegen. Abhilfe schaffen nur Schutzmaßnahmen oder –Einrichtungen im unten liegenden Verkehrsraum. Hierzu wird auf Kapitel 11.2.8.1 verwiesen.

#### 11.2.4.1 DUCON®-Unterschicht (B02)

Als Schutzmaßnahme für eine Explosion ist an der Unterseite der Fahrbahn-Fertigteilplatten eine DUCON®-Schicht als Ausstanzschutz möglich. Die Schicht verhindert das bei Nahbereichsdetonationen üblicherweise auftretende „Ausblasen“ des Betons an der Explosionsstelle und beugt somit der Kraterbildung vor.

Im Schadensfall wird sich die Schutzschicht nach unten durch die Explosionsenergie ausbeulen, aber nicht durchstanzen. Infolge der hohen Materialzähigkeit wird die ausgebeulte DUCON®-Schale als Schalboden für die Wiederherstellung der Fahrbahnplatte mit Ortbeton herangezogen.

Wegen der nicht vorher bestimmbaren Schadensstelle muss die gesamte Brückenuntersicht mit der Schutzschale ausgebildet werden.

Ein grober Kostenüberschlag führt zu Mehrkosten von rund 3,7 Mio. € für die DUCON®-Schale. Im Gegensatz dazu ist die Ausfallbemessung (Maßnahme B03) eine günstigere Alternative, so dass die unterseitige DUCON®-Schale im gegebenen Beispielfall nicht für eine Umsetzung empfohlen wird.

#### 11.2.4.2 Ausfallbemessung (B03)

Die Maßnahme B03 – Verbesserter Entwurf – statisch unbestimmtes System – wird durch eine Ausfallbemessung der Fahrbahnplatte umgesetzt.

Die Fahrbahn besteht herstellungsbedingt aus 3 Abschnitten, dem über dem Stahltrog angeordneten Plattenteil und den außerhalb angeordneten Plattenteilen. Alle Plattenabschnitte bestehen unten aus Fertigteilen, die als Schalung für den darüber betonierten Ortbetonspiegel dienen, und der durchgehend hergestellten Ortbeton-Plattenergänzung.

Im Explosionsfall wird ein Loch in die Betonplatte gestanzt. Wegen der relativ geringen Abmessungen der Kontaktflächen der Stahlkonstruktion zum Betonteil und der weitaus höheren Duktilität des Materials gegenüber Beton wird keine Folgeschädigung im Stahlbau erwartet.

Die Fehlfläche ist von der Konstruktion der Beispielbrücke unter Berücksichtigung der geringeren Sicherheiten bei der außergewöhnlichen Belastung mit den Abmessungen des Ohne-Falls aufnehmbar.

Für den Reparaturfall ist die Brücke nur durch geringe Baustellenlasten beansprucht. In dieser Belastungssituation sind maximal 3 x 2 m breite Fertigteilabschnitte der Fahrbahntafel auszuwechseln. Dieser Zustand ist bemessungstechnisch zu berücksichtigen und umfasst

a) die Auswechslung der Außenplatten und

b) die Auswechslung der Innenplatte auf einer Länge von 6 m.

Die Platte wird wieder ergänzt, die Abdichtung sowie der Belag komplettiert und der Urzustand ist wieder erreicht.

Die bemessungstechnisch maßgebende Stelle ergibt sich über der Stütze, da dort die Bewehrung in der Fahrbahnplatte großflächig beim Plattenwechsel entfällt. Die fehlende Bewehrung wird durch eine Verstärkung des Obergurtes der Stahlkonstruktion kompensiert.

#### 11.2.5 Entwässerung

Zusätzliche Maßnahmen zum Schutz von Entwässerungseinrichtungen wurden im Rahmen von SKRIBT nicht identifiziert.

#### 11.2.6 Absturzsicherung, Schutzeinrichtungen

##### 11.2.6.1 Windschutzwände (B05)

Zum Schutz der Verkehrsteilnehmer vor Seitenwind und gleichzeitig als Schutz der Umgebung vor Verkehrslärm wird auf beiden Außenkappen eine 4 m hohe Lärmschutzwand entsprechend der maximalen Fahrzeughöhe nach StVO aufgesetzt. Vor der Lärmschutzwand verläuft ein Handlauf mit Drahtseil.

##### 11.2.6.2 Lagerschutz (B09)

Als Schutz vor kleinen Ladungsmengen wird der Lagerspalt, d. h. der Freiraum zwischen den Unterbauten und dem Überbau, verkleidet. Hierzu wird eine Maschendrahtkonstruktion mit Winkelprofilaussteifung verwandt, die an den Unterbauten befestigt wird. Durch die Konstruktion wird verhindert, dass Sprengstoffe in der Nähe der Lager platziert werden können. Gleichzeitig verhindert der Verschluss das Einfliegen und Nisten von Vögeln.

Im Hinblick auf die durchzuführenden Brückenkontrollen muss die Lagerspaltverkleidung lösbar ausgebildet werden. Zur Befestigung sind diebstahlsichere Verbindungsmittel vorgesehen.

#### 11.2.7 Zugänglichkeit der Konstruktionsteile

##### 11.2.7.1 Zugangsverhinderung (B11)

Die beiden Zugänge zur Brücke in der nördlichen Widerlagerseitenwand werden durch einbruchshemmende Türen nach DIN EN 1627 mit der Widerstandsklasse WK6 gesichert. Die Widerstandsklasse WK6 entspricht Türen für Hochsicherheitsbereiche, die eine Widerstandszeit von 20 Minuten, bei einem Täter der zusätzlich leis-

tungsfähige Elektrogeräte (Bohrmaschinen, Säge, Winkelschleifer etc.) benutzt, gewährleisten.

Die Türen erhalten Mehrfachverriegelungen sowie ein Sicherheitsschloss und verhindern aufgrund ihrer hohen Hemmwirkung den unbefugten Zutritt zu den Hohlräumen innerhalb der Brückenkonstruktion und die Ablage von Sprengstoffen.

Bei besonderer Exponiertheit können die Türen noch zusätzlich durch eine elektrische Alarmanlage mit Aufschaltung auf eine Leitstelle ergänzt werden. In besonderen Fällen ist es auch möglich, sprengwirkungshemmende Türen nach DIN EN 13123-1 zu wählen.

Eine andere Art der Zugangsverhinderung bezieht sich auf die Unterbauten. Zur Vorbeugung von Explosionsszenarien wird der Zugang von Personen zu den Bauteilen verhindert. Da wegen der massiven Bauteildicken kleine Ladungen keine hohe Gefährdung darstellen, ist das Anfahren zu verhindern. Hierzu wird auf das Kapitel 11.2.8.1 – Parkverhinderung unter Brücken – verwiesen.

## 11.2.8 Sonstige Ausstattung und Einrichtungen

### 11.2.8.1 Parkverhinderung unter Brücken (B16)

Eine wirksame Alternative zu den konstruktiven Schutzmaßnahmen B02 und B04 an den Unterbauten für Explosionsszenarien ist die Verhinderung des Parkens bzw. Abstellens von Kraftfahrzeugen mit Sprengstoffen. Entsprechend dem Wirkprinzip „Abstandsvergrößerung“ wird eine bauliche Umwehrgung der Unterbauten vorgeschlagen. Dazu wird eine naturnahe Einfriedung mit großformatigen Felsblöcken angewendet.

Diese Art der Sicherung wird häufig in Steinbrüchen zur Absturzsicherung an den Bermenrändern eingesetzt (Abbildung 78) und hält selbst schwerste Schwerkraftwagen ab.



Abbildung 78: Park-/Zufahrtsverhinderung durch Felsblocksicherung

Die Felsblöcke haben ca. 1,50 m Durchmesser und entsprechendes Gewicht, so dass sie ein wirkungsvolles Abhaltelement darstellen. Zu beachten ist, dass der lichte Abstand der Felsblöcke untereinander ca. 2 m nicht überschreiten sollte und dass eine auf diese Art geschlossene Umwehrgung der Unterbauten entsteht. Zur Wahrung der Zugänglichkeit / Anfahrbarkeit für den Betriebsdienst sind entsprechende Zufahrtslücken vorzusehen, die durch massive Poller gesichert werden.

Die Möglichkeiten für die Ausführung einer solchen Park-/Anfahrverhinderung sind für jeden gegebenen Einzelfall zu prüfen.

### 11.2.9 Herstellung, Bauzeit

Durch die vorgestellten Schutzmaßnahmen des Mit-Falles ergeben sich keine längeren Bauzeiten gegenüber dem Ohne-Fall. Die zusätzlichen Bauteile / Ausstattungen können bei entsprechender Disposition in die vorhandenen Tätigkeits-Lücken des Brückenneubaus eingepasst werden.

### 11.2.10 Kosten

Nachfolgend werden die durch die Zusatzmaßnahmen entstehenden Mehrkosten gegenüber dem Ohne-Fall für jede Maßnahme getrennt ausgewiesen. Damit ist es möglich, mehrere Alternativen schnell miteinander vergleichen zu können.

#### 11.2.10.1 Mikrobewehrter Hochleistungsbeton (B02)

Der Einbau einer 75 cm dicken Schutzhülle aus mikrobewehrtem Hochleistungsbeton um die Stützen Achse 10, 30, 40, 50, 60 (10 Einzelstützen) sowie die Anpassung der Stütze Achse 20 führt zu Mehrkosten von insgesamt ca. 1.730.000 € netto.

#### 11.2.10.2 Ausfallbemessung Überbau (B03)

Die Bemessung des Überbaus für den Ausfall bzw. die Reparatur der Fahrbahnplatte in bestimmten Abschnitten führt zu Mehrkosten von ca. 126.000 € netto.

#### 11.2.10.3 Pfeilerscheibe statt Stütze (B04)

Der Ersatz der Stützen durch Scheiben führt zu Mehrkosten in Höhe von ca. 1.800.000 € netto.

#### 11.2.10.4 Windschutzwände (B05)

Der Ersatz der Geländer durch eine 4 m hohe (Lärm-) Windschutzwand führt für die ca. 420 m lange Überführung zu Mehrkosten von ca. 1.080.000 € netto.

### 11.2.10.5 Lagerschutz (B09)

Der Verschluss des Lagerspaltes an allen Unterbauten verursacht Mehrkosten von ca. 70.000 € netto.

### 11.2.10.6 Zugangsverhinderung (B11)

Der Ersatz der herkömmlichen 2 Türen in den Widerlagern durch einbruchshemmende Türen führt zu Mehrkosten von ca. 33.000 € netto.

### 11.2.10.7 Parkverhinderung (B16)

Die Umwehrung der gefährdeten Unterbauten zur Verhinderung des Parkens / Abstellens von Kraftfahrzeugen mit einer Felsblock-Sicherung verursacht Mehrkosten von ca. 131.000 € netto.

### 11.2.11 Schlussfolgerung

Bei der Beispielbrücke können diverse Schutzmaßnahmen gegen ein Explosionsereignis umgesetzt werden.

Für den Überbau ist ein Schutz gegen eine große Explosion wirtschaftlich nicht darstellbar.

Für kleine Ladungsmengen auf dem Überbau ist die Ausfallbemessung bei der Fahrbahnplatte (Maßnahme B03) die wirtschaftliche Alternative. Gegenüber dem Ohne-Fall entstehen Mehrkosten von ca. 126.000 € netto.

Zum Schutz des Überbaus vor Ladungen, die im Brückenhohlkasten Schäden anrichten können, empfiehlt sich eine Zugangsverhinderung mit einbruchshemmenden Türen. Der Mehraufwand hierfür ist mit ca. 33.000 € sehr gering.

Der Schutz der Unterbauten ist für alle Explosionsszenarien möglich. Die Alternativen mit einer Schutzhülle aus DUCON®-Spezialbeton (Maßnahme B02) um die Stützen ist bei der Beispielbrücke nahezu genauso teuer wie der Ersatz der Einzelstützen durch eine Pfeilerscheibe (Maßnahme B04).

Die preiswerteste und auch effektivste Lösung zum Schutz der Unterbauten vor Explosionsszenarien ist die Verhinderung des Parkens / Abstellens von Kraftfahrzeugen in der Nähe der Widerlager und Stützen (Maßnahme B16). Das Wirkprinzip der Abstandsvergrößerung wird hierbei indirekt für Explosionsszenarien aller Art erreicht. Die Kosten von ca. 131.000 € sind weniger als 10 % der sonstigen Ertüchtigungsaufwendungen.

Eine auf jeden Fall umzusetzende Maßnahme ist der Lagerschutz (Maßnahme B09), der ein Nisten von Vögeln und darüber hinaus die Platzierung von kleinen Ladungen verhindert. Der finanzielle Aufwand von ca. 70.000 € für die Beispielbrücke stellt eine untergeordnete Größe dar.

Neben dem Schutz vor Explosionsereignissen sind bei der Beispielbrücke noch Schutzmaßnah-

men vor starkem Seitenwind mit Wind-/Lärmschutzwänden (Maßnahme B05) für ca. 1,08 Mio. € empfehlenswert.

## 11.3 Mit-Fall Nachrüstung

### 11.3.1 Allgemeines

Für die Demonstration der Nachrüstung von Schutzmaßnahmen wird das gleiche Bauwerk wie beim Neubau gewählt. Hierdurch ist der direkte Vergleich zwischen sofort und später eingesetzten Maßnahmen möglich.

Wichtig für Bauwerkseigentümer und Betreiber ist die Tatsache, dass Schutzmaßnahmen an der Konstruktion, insbesondere gegen Explosionseinwirkungen, nur begrenzt nachträglich möglich sind. Im Vergleich zum Neubau können die Maßnahmen B03 – Verbesserter Entwurf, Ausfallbemessung am Überbau - und B04 – Pfeilerscheibe statt Stütze – bei der Nachrüstung nicht umgesetzt werden (vgl. Pläne Nachrüstung im Anhang 10).

### 11.3.2 Umsetzbare Maßnahmen

Bei der Beispielbrücke sind die folgenden Maßnahmen im Nachhinein umsetzbar:

B02 - Vorsatzschale mikrobewehrter Hochleistungsbeton [BBa – 2], hier umgesetzt in Form einer Vorsatzschale vor Stützen und Widerlagern (Alternative zu B16).

B05 - Windschutzwände [BBa – 12], hier umgesetzt durch eine Lärmschutzwandkonstruktion.

B09 - Lagerschutz [BBa – 22]

B11 - Zugangsverhinderung [BBe – 1]

B16 - Parkverhinderung unter Brücken [BBe – 2], hier umgesetzt durch bauliche Umwehrungen (Alternative zu B02).

### 11.3.3 Unterbauten

#### 11.3.3.1 DUCON®-Vorsatzschale (B02)

Wie bereits im Kapitel 11.2.3.1 bei dem Neubau aufgezeigt, ist es möglich, einen Schutz gegen Explosionsszenarien darzustellen.

Die einzige Möglichkeit, dies nachträglich zu tun, besteht in der Verkleidung der vorhandenen Konstruktion mit einer DUCON®-Vorsatzschale (Maßnahme B02). Diese wird je nach Dicke in mehreren Schichten aufgebracht. Dazu wird die Mikrobewehrung vor dem Bestand ausgelegt und mit Schrauben an diesem befestigt. Anschließend erfolgt die Betonage mit dem Spezialmörtel.

Ein Beispiel der nachträglichen Ertüchtigung zeigt Abbildung 79.



Abbildung 79: Nachträgliche DUCON®-Vorsatzschale

Wie bereits beim Neubau dargestellt, ist die Verkleidung der Widerlager wegen der großen Flächen sehr teuer und sollte daher entfallen und durch die Maßnahme B16 – Parkverhinderung – ersetzt werden.

Bei den Stützen ist im Nachhinein, wie oben beschrieben, eine umlaufende Schutzschicht, hier 75 cm, von 50 cm unter Erdgleiche bis 5 m über Erdgleiche realisierbar.

Über die gestalterische Veränderung der Stützenkontur muss sich der Bauwerkseigentümer aber im Klaren sein. Hierin liegt ein wesentlicher Unterschied zum Neubau, bei dem die Schutzschicht unauffällig integriert werden kann.

### 11.3.4 Überbau

Beim Überbau sind nachträglich Schutzmaßnahmen insbesondere für Explosionsszenarien auf der Fahrbahnplatte nicht möglich.

Im Schadensfall kann aber analog zur Maßnahme B03 eine Ausfallbemessung erfolgen, anhand derer Aufschluss über den Ausnutzungsgrad der teilzerstörten Konstruktion erlangt werden kann. Mit dieser Kenntnis sind weitergehende Instandsetzungsplanungen möglich.

### 11.3.5 Entwässerung

Nachrüstungen an Entwässerungseinrichtungen zum Bauwerksschutz entfallen.

### 11.3.6 Absturzsicherung, Schutzeinrichtung

#### 11.3.6.1 Windschutzwände (B05)

Eine Windschutzwand hat nur Sinn, wenn sie nahezu die Höhe des Verkehrsbandes aufweist. Die Schutzwirkung von Wänden mit geringerer Höhe, die hinsichtlich der nachträglichen Montage/Kappenanschluss günstiger sind, wurde im Rahmen von SKRIBT nicht tiefer untersucht.

Demgemäß wird eine Mindesthöhe von 4 m empfohlen.

Die nachträglich auf die Kappen aufzusetzenden Wände müssen statisch-konstruktiv auf dem Bestandsbauwerk möglich sein.

Für die Beispielbrücke wird davon ausgegangen, dass die Anschlussbewehrung am Kopf des Überbaukragens die Zusatzbeanspruchungen nicht alleine aufnehmen kann. Hierdurch werden zusätzliche Kappenverankerungen gemäß RIZ-ING, Kap. 13, erforderlich.

Für die 4 m hohe Wind-/Lärm-Schutzwand ist ein gedübelter Anschluss nach den geltenden Zeichnungen RIZ-ING, LS5 (maximale Wandhöhe 3 m, Fußform 3) nicht geregelt. Es wird hierzu die alte RIZ-ING, LS5 Blatt 2 herangezogen, die ein gespreiztes Anschlussbild für bis zu 4,5 m hohe Wände vorgab.

Zu beachten ist hierbei, dass für die innere Dübelreihe, ebenso wie für die Verankerung nach RIZ-ING, Kap. 13, durch die Abdichtung gebohrt wird.

#### 11.3.6.2 Lagerschutz (B09)

Wie beim Neubau kann als Schutz vor kleinen Ladungen der Lagerspalt, d.h. der Freiraum zwischen den Unterbauten und dem Überbau, auch nachträglich verkleidet werden. Dazu wird eine Maschendrahtkonstruktion mit Winkelprofilaussteifung verwendet, die an den Unterbauten befestigt wird (siehe Kapitel 11.2.6.2).

### 11.3.7 Zugänglichkeit der Konstruktionsteile

#### 11.3.7.1 Zugangsverhinderung (B11)

Die Maßnahme verhindert wie beim Neubau den Zugang zu den Widerlagern und den Brückenhohlkästen und kann nachträglich umgesetzt werden.

Dazu müssen die beiden vorhandenen Türen zur Brücke in der nördlichen Widerlagerseitenwand ausgebaut und durch neue einbruchshemmende Türen nach DIN EN 1627 mit der Widerstandsklasse WK6 ersetzt werden. Im Weiteren wird auf Kapitel 11.2.7.1 verwiesen.

### 11.3.8 Sonstige Ausstattung und Einrichtungen

#### 11.3.8.1 Parkverhinderung unter Brücken (B16)

Eine wirksame nachträgliche Alternative zur konstruktiven Schutzmaßnahme B02 an den Unterbauten für Explosionsszenarien ist die Verhinderung des Parkens bzw. Abstellens von Kraftfahrzeugen mit Sprengstoffen. Entsprechend dem Wirkprinzip „Abstandsvergrößerung“ wird eine



bauliche Umwehrgung der Unterbauten vorgeschlagen. Dazu wird eine naturnahe Einfriedung mit großformatigen Felsblöcken analog Kapitel 11.2.8.1 angewendet.

### 11.3.9 Herstellung, Bauzeit

Die Realisierung der vorgestellten nachträglich umsetzbaren Schutzmaßnahmen bei der Beispielbrücke dauert größenordnungsmäßig so lange wie beim Neubau. Bei einigen sind aber vorlaufende Maßnahmen (Aushub, Ausbauten) zusätzlich zu berücksichtigen. Für die umfänglichste Maßnahme der Umkleidung der 12 Stützen mit 75 cm mikrobewehrtem Hochleistungsbeton (Maßnahme B02) werden ca. 6 Monate veranschlagt.

### 11.3.10 Kosten

#### 11.3.10.1 Mikrobewerter Hochleistungsbeton (B02)

Der nachträgliche Einbau einer 75 cm dicken Schutzhülle um die Stützen Achse 10, 30, 40, 50, 60 (10 Einzelstützen) kostet insgesamt ca. 1.786.000 € netto.

#### 11.3.10.2 Windschutzwände (B05)

Der nachträgliche Ersatz der Geländer durch eine 4 m hohe (Lärm-) Windschutzwand führt für die ca. 420 m lange Überführung zu Kosten von ca. 1.228.000 € netto.

#### 11.3.10.3 Lagerschutz (B09)

Der nachträgliche Verschluss des Lagerspaltes an allen Unterbauten verursacht Kosten von ca. 70.000 € netto.

#### 11.3.10.4 Zugangsverhinderung (B11)

Der Ersatz der herkömmlichen 2 Türen in den Widerlagern durch einbruchshemmende Türen führt zu Kosten von ca. 38.000 € netto.

#### 11.3.10.5 Parkverhinderung (B16)

Die nachträgliche Umwehrgung der gefährdeten Unterbauten zur Verhinderung des Parkens / Abstellens von Kraftfahrzeugen mit einer Felsblock-Sicherung verursacht Kosten von ca. 131.000 € netto.

### 11.3.11 Schlussfolgerung

Bei Brücken ist im Nachhinein eine Ertüchtigung der Konstruktion nur begrenzt möglich. Am Überbau selbst scheiden die bei Neubauten realisierbaren Maßnahmen allesamt aus und lassen sich nicht umsetzen.

An den Unterbauten können bautechnisch nur begrenzt Maßnahmen umgesetzt werden, die gegen Explosions- und Anprallszenarien wirken.

Alle betrieblichen und organisatorischen Maßnahmen lassen sich identisch zu einem Neubau auch nachträglich umsetzen. Sie sind, wie die Maßnahme B16 – Parkverhinderung unter Brücken – belegt, weitaus günstiger als die vergleichbare bauliche Maßnahme B02 – Vorsatzschale mikrobewehrter Hochleistungsbeton.

Hinsichtlich der Kosten ist die bauliche Nachrüstung teurer als die sofortige Umsetzung der gleichen Maßnahme beim Neubau.

## 11.4 Zusammenfassung - Fazit

Zur Untersetzung der im Rahmen des Projektes SKRIBT herausgearbeiteten Maßnahmen für Explosionsszenarien bei Brücken erfolgt eine Demonstration der Einsatzmöglichkeiten und deren Kosten anhand einer Neubauplanung für eine ca. 420 m lange Beispielbrücke. Das Bauwerk überführt eine Bundesautobahn mit 3 Fahrstreifen je Richtung und hat eine Mittelfuge.

Um die gestalterischen, konstruktiven und monetären Veränderungen der jeweiligen Maßnahmen aufzeigen zu können, wird zunächst das Bauwerk ohne Maßnahmen aus SKRIBT (Ohne-Fall) dargestellt. Anschließend werden die realisierungsfähigen Maßnahmen für den Neubau am Beispielbauwerk untersetzt (Mit-Fall).

Zur Erarbeitung etwaiger Differenzen bei den Maßnahmen zwischen Neubau und Nachrüstung werden am gleichen Beispielbauwerk auch die möglichen Nachrüstungsmaßnahmen betrachtet.

Beim Brückenneubau ist für den Überbau ein Schutz gegen große Explosionen wirtschaftlich nicht darstellbar. Für kleine Explosionen auf dem Überbau ist die Ausfallbemessung bei der Fahrbahnplatte (Maßnahme B 03) die wirtschaftlichste Alternative. Die gegenüber dem Ohne-Fall entstehenden Mehrkosten sind moderat.

Zum Schutz des Überbaus vor kleinen Ladungen, die im Brückenhohlkasten Schäden anrichten können, empfiehlt sich eine Zugangsverhinderung mit einbruchshemmenden Türen. Der Mehraufwand hierfür ist sehr gering.

Der preiswerteste und auch effektivste Schutz der Unterbauten vor Explosionsszenarien ist die Verhinderung des Parkens/Abstellens von Kraftfahrzeugen in der Nähe der Widerlager und Stützen (Maßnahme B 16). Das Wirkprinzip der Abstandsvergrößerung wird hierbei indirekt für Explosionsszenarien aller Art erreicht. Die Kosten der Maßnahme betragen weniger als 10 % der alternativen Ertüchtigungsaufwendungen an den Unterbauten.

Sollte die Verhinderung des Parkens bzw. Abstellens von Fahrzeugen aus Platz-, verkehrlichen oder gestalterischen Gründen nicht möglich sein, stellen die Ummantelung bzw. Verstärkung mit mikrobewehrtem Hochleistungsbeton oder die Ausbildung von Scheiben statt Einzelstützen einzeln oder kombiniert anwendbare, wirkungsvolle Schutzmaßnahmen dar.

Eine auf jeden Fall umzusetzende Maßnahme ist der Lagerschutz (Maßnahme B 09), der ein Nisten von Vögeln und darüber hinaus die Platzierung von Sprengstoffen verhindert.

Bei der Beispielbrücke sind auch Schutzmaßnahmen vor starkem Seitenwind mit Wind-/ Lärmschutzwänden (Maßnahme B05 bzw. Maßnahme B18) empfehlenswert.

Gegen sonstige Gefährdungen kann darüber hinaus ein spezieller Brückennotruf oder eine Sperr-einrichtung installiert werden.

Allgemein ist bei Brücken im Nachhinein eine Er-tüchtigung der Konstruktion nur begrenzt möglich. Am Überbau selbst scheiden realisierbare Maß-nahmen für Explosionsszenarien aus.

An den Unterbauten können bautechnisch nur Vorsatzschalen aus mikrobewehrtem Hochleis-tungsbeton zum nachträglichen Schutz gegen Explosions- und Anprallszenarien angebracht werden.

Alle betrieblichen und organisatorischen Maß-nahmen lassen sich identisch zu einem Neubau auch nachträglich umsetzen. Sie sind z.B. im Fal-le einer Parkverhinderung weitaus günstiger als die vergleichbaren baulichen Maßnahmen.

Hinsichtlich der Kosten ist die bauliche Nachrü-stung teurer als die sofortige Umsetzung der glei-chen Maßnahme beim Neubau.

## 12 Zielerreichung

In Kapitel 1 ist die Zielsetzung des Teilvorhabens zusammenfassend beschrieben. Zur Erreichung des Ziels bzw. zur Erfüllung der Aufgabenstellung sind aber logisch aufeinander aufbauende Schrit-te (Teilziele der Antragstellung), die konsequent abzuarbeiten sind, erforderlich.

Übergeordnet wurden die Ziele

- Finden wirksamer Schutzmaßnahmen, aufbe-reitet nach Zielgruppen,
- Erlangen neuer Erkenntnisse, die in die Fort-schreibung von Regelwerken einfließen kön-nen,
- Vorgehensbeschreibungen / Handlungsemp-fohlungen für Zielgruppen und
- Demonstration der bautechnischen Praxis-tauglichkeit

erreicht und die avisierten Ergebnisse untersetzt.

Sie sind übergreifend über die abgearbeiteten Ar-beitspakete in [28] zusammenfassend dargestellt.

Die Gegenüberstellung der Bearbeitungsinhalte zu den Teilzielen ist im Anhang 11 wiedergege-ben.

Im Verlauf des Projektes haben sich inhaltliche Veränderungen gegenüber dem geplanten Ar-beitsprogramm ergeben. Infolge des Zuschnittes der Arbeitsgruppen wurden für das Arbeitspaket 7: Menschliches Verhalten keine Leistungen ab-gefordert / erbracht. Die bautechnischen Frage-stellungen wurden von Verbundpartnern beant-wortet.

Zusätzliche Themen, die nicht im ursprünglichen Bearbeitungsumfang enthalten waren, ergaben sich im Arbeitspaket 3: Kritische Brücken und Tunnel (Ohne-Fall). Dort zeigte sich die Notwen-digkeit, neben den üblichen Brückenbauwerken im Zuge von Straßen auch Sonder-Konstruk-tionen zu betrachten und einer Schädigungsana-lyse zu unterziehen. Im Kontext wurde eine Schrägseilbrücke statisch-dynamisch hinsicht-lich deren Empfindsamkeiten betrachtet. Die Erge-bnisse sind im Kapitel 8 wiedergegeben.

Ein weiteres zusätzliches Aufgabenfeld ergab sich bei den Tunneln im Arbeitspaket 4: Maßnahmen-wirksamkeit. Für die als sinnvoll herausgearbeite-te Maßnahme Dimensionierung für Explosionslas-ten gab es keine Untersetzung der Bemessungs-größen und der Nachweisführung. Zusammen mit dem Fraunhofer Ernst-Mach-Institut (EMI) wurde ein Verfahren entwickelt, um aus den Druck-Zeit-Verläufen eines Explosionsereignisses Bemessungsgrößen zu gewinnen (siehe Kapitel 8.7.2 ff).

## 13 Mittelverwendung

### 13.1 Arbeitsaufwand

Im Rahmen der Vorhabenbeantragung wurde der erwartete Arbeitsaufwand entsprechend den avi-sierten Bearbeitungsthemen abgeschätzt. Insgesamt wurde von einem Aufwand von knapp 42 Personenmonaten bei einer Bearbeitungszeit von 36 Monaten ausgegangen.

Entsprechend dem Nachweis der verwendeten Mittel wurden Arbeitsleitungen von insgesamt 44,49 Personenmonaten erbracht. Der Personaleinsatz war erforderlich und im Hinblick auf die er-reichten Ergebnisse angemessen. Der geringfügig höhere Arbeitsaufwand gegenüber der Voraus-schätzung resultiert aus den zusätzlich bearbeite-ten Arbeitsthemen, die nicht vollständig im Rah-men des Budgets kompensiert werden konnten.

Von den gesamten Personalaufwendungen entfie-len auf die Projektleitung ca. 37 %, auf die tech-

nisch-wissenschaftlichen Mitarbeiter ca. 53 % und auf die Techniker ca. 10 %.

**13.2 Mittelverbrauch**

Für die Projektbearbeitung des Teilvorhabens Wirksame Schutzmaßnahmen und Bauwerksentwurf wurden die in Abbildung 80 dargestellten Mittel verbraucht.

**Verwendungsnachweis**

Zahlenmäßiger Nachweis gem. Nr. 19.3 NKBF 98 für die Zeit vom **01.03.2008** bis **31.07.2011** zum Zuwendungsbescheid des Bundesministeriums für Bildung und Forschung vom Förderkennzeichen: **13 N 9642**  
 Zuwendungsempfänger: **Schüler-Plan Ingenieurgesellschaft mbH**  
 Thema des Vorhabens: **Verbundprojekt: Schutz kritischer Brücken und Tunnel im Zuge von Straßen (SKRIBT)-TV: Wirksame Schutzmaßnahmen und Bauwerksentwurf**

1. Nachkalkulation der gesamten Selbstkosten

1.1 Position	Gesamtvorkalkulation (€)	Gesamtnachkalkulation (€) <sup>7)</sup>
0615 Material		
0623 FE-Fremdleistungen		
0637 Personalkosten	505.400,-	512.235,46
0638 Reisekosten	7.000,-	6.985,80
0647 Abschreibungen auf vorhabenspezifische Anlagen		
0648 Abschreibungen auf sonstige genutzte Anlagen des FE-Bereichs		
0650 sonstige unmittelbare Vorhabenskosten		
0655 Summe unmittelbare Vorhabenskosten (Pos. 0613 – 0650)	512.400,-	519.221,25
0656 Kosten innerbetrieblicher Leistungen		
0660 Verwilligungskosten		
0681 gesamte Selbstkosten des Vorhabens (Summe Pos. 0655 – 0680)	512.400,-	519.221,25

<sup>7)</sup> In der Gesamtnachkalkulation dürfen als mit Marktpreis an kalkulierte Teilleistungen höchstens 20 v.H. des der Bewilligung zugrunde liegenden Selbstkostenhochschätzwertes angegeben werden.

Abbildung 80: Verwendungsnachweis

Der Mittelverbrauch liegt über der Beantragung infolge der nicht kompensierbaren Aufwendungen für die o.g. zusätzlichen Bearbeitungsthemen. Entsprechend dem Mittelverbrauch wurden Zuwendungen in Höhe von 50 % beantragt.

**14 Ergebnisverwertung**

Durch die Mitwirkung am Verbundprojekt SKRIBT konnten spezielle Erkenntnisse hinsichtlich bestehender Bauwerksgefährdungen erlangt werden. Insbesondere auf dem Sektor Explosionsszenarien und deren Auswirkungen auf Brücken und Tunnel wurde ein Wissenszugewinn erreicht, der auch auf hochbauliche Anlagen übertragbar ist. Infolgedessen konnten im Verlauf des Vorhabens neue Auftraggeber mit interessanten Aufgabenstellungen gewonnen werden. Im Hinblick auf eine sicherheitsoptimierte Bauwerksgestaltung wurden folgende Projekte akquiriert und abgewickelt:

- ERGO-Versicherung Düsseldorf  
Durchführen der Bemessung von Konstruktionen an Sicherheitsbereichen gegen Explosionsereignisse

- AREVA NP GmbH, Erlangen  
Entwurf einer baulichen Schutzhülle für vorhandene kerntechnische Anlagen zu deren Ertüchtigung als Voraussetzung einer verlängerten Betriebszeit in Form eines unabhängig vom Bestand konzipierten überdeckenden Schutzbauwerkes.
- Bundeswehr  
Im Nachunternehmerverhältnis des EMI wurde ein vorhandenes Baukastensystem zur Umhausung mobiler Einrichtungen (z. B. Zeltstädte) weiterentwickelt. Dazu wurde für die vom EMI entwickelten Füllmodule des Baukastens eine spezielle Stahl-Tragstruktur mit Aussteifungen gefunden.

Neben den Planungsvorhaben wurde aufgrund der Erkenntnisse aus SKRIBT an Forschungsprojekten der EU mitgewirkt, die noch nicht abgeschlossen sind. Es handelt sich dabei um:

- VITRUV  
Bei diesem Vorhaben geht es um die Entwicklung einer Software, die es Stadtplanern gestatten soll, eine Risikoanalyse geplanter neuer Urbanitäten für Gefährdungen aus Explosionen und biologischen bzw. chemischen Gefahrstoffen durchzuführen. Unser Bearbeitungsbereich umfasst die Schädigungsanalyse von Gebäuden lokal und global infolge von Explosionsszenarien.
- SPIRIT  
Bei dem Vorhaben geht es um den Schutz von Gebäuden vor Risiken aus Explosion sowie chemischen und biologischen Gefahrstoffen. Unser Bearbeitungsfeld ist die Entwicklung von Schutzmaßnahmen sowie Bemessungskonzepten für Explosionsszenarien und entsprechender Normungsvorschläge anhand eines multifunktionellen generischen Hochhauses.

Durch diese Projekte konnte in das spezielle Marktsegment eingedrungen und an Wettbewerbsfähigkeit gewonnen werden. Das Ziel, Neukunden zu gewinnen, die auch potentiell andere Aufgabengebiete unseres Bearbeitungsportfolios abfragen, wurde erreicht.

Im Weiteren werden die Ergebnisse aus dem Verbundprojekt SKRIBT wie bei o.g. Projekten auch in Zukunft unmittelbar in die Kundenberatung einfließen. Ebenso ist nach Abstimmung mit den Bauherren eine unmittelbare Übertragung des Wissens in die Planung neuer Brücken- und Tunnelbauwerke möglich.

Ein Beispiel hierzu ist das Projekt Kö-Bogen der Landeshauptstadt Düsseldorf, bei dem die vorhandenen oberirdischen Straßenbeziehungen in eine neue Tunnelanlage verlagert werden. Die neu gewonnene Oberfläche mitsamt Tunnelröhren wird anschließend bebaut. Für die Tunnel

folgte der Bauherr der in SKRIBT entwickelten Empfehlung, eine längere Branddauer bei der Bemessung zugrunde zu legen.

Ein Beispiel für das Einbringen von gewonnenen Erkenntnissen bei Bestandsbauwerken ist die Projektsteuerung und technische Kontrolle der Planungen zur Brandschutzertüchtigung von 7 Straßentunneln in Köln.

Durch die Mitwirkung im Verbundprojekt ist Kontakt zu neuen Forschungseinrichtungen und ein Überblick über deren Bearbeitungsschwerpunkte entstanden.

Intensiviert wurden einige Kontakte aufgrund der sehr engen Zusammenarbeit, z.B. zum EMI und zur Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt). In der Folge wurden neue Forschungsvorhaben z. B. zusammen mit den Partnern EMI, PTV AG, TLB u. a. für die BASt angeboten, wo es nicht nur um sicherheitsrelevante Fragestellungen ging.

Wegen der guten fachtechnischen Ergänzung der Arbeitsgebiete von EMI und Schüßler-Plan zum Thema Explosionen und deren Konsequenzen entstand eine besiegelte Kooperation unter dem Titel „BRS-Design“, Building, Resilience and Security. Das Leistungsbild der Kooperation umfasst sowohl quantitative Analysen der Kritikalität von Bestandsbauwerken als auch die Entwicklung und den Nachweis neuer baulicher Konzepte für den Schutz kritischer Infrastrukturbauwerke und des Hochbaus.

Bei der Schutzauslegung werden die langjährige Erfahrung in der Planung anspruchsvoller Ingenieurbauwerke mit den wissenschaftlichen Methoden zusammengeführt. Die Kooperation stellt auch in wechselseitiger Wirkung den Bezug zwischen Forschung und Praxis und somit die Nutzanwendung von neuen Erkenntnissen bei konkreten Anwendungen sicher.

Im Rahmen der Kooperation wurde eine Machbarkeitsstudie für den Flughafen Köln/Bonn erarbeitet, bei der es um die bauliche Gestaltung eines Detektionsraumes zur Überprüfung gefährlicher Stoffe und Substanzen geht.

Neben dem Werbeflyer zu BRS-Design besteht über die firmeneigene Publikationsplattform „Schüßler-Plan Report“ sowie den Internetauftritt die Möglichkeit, Interessenten für sicherheitsoptimiertes Bauen anzusprechen und konkrete Ergebnisse aus dem Vorhaben zu verbreiten.

Konkrete Ergebnisse ergaben sich aus den im Kapitel 11 für ein reales Brückenprojekt dargestellten Maßnahmen und deren spezifischer Umsetzung, die ähnlich bei jedem Neubauprojekt (!) umsetzungsfähig wären.

## 15 Externe Vorhabensergebnisse

Aus der gemeinsamen Bearbeitung des Verbundvorhabens sind Ergebnisse der beteiligten Partner im Rahmen der Berichtsdocumentation bekannt. Es handelt sich dabei im Besonderen um:

- **BASt/BBK:**  
Erkenntnisse aus Übungen / Befragungen der Sicherheitsdienste bzw. –Organisationen, Betriebsdienste
- **EMI**  
Versuche und rechnerische Modelle zu speziellen Bauteilen unter Explosionsbeanspruchung
- **Hochtief**  
Erkenntnisse zu Tunnelbaustoffen und Kosten für Brücken und Tunnel
- **PTV:**  
Weiterentwicklung von Softwareprodukten zur Entfluchtungssimulation und zur Verkehrswirtschaft / Kostenwirksamkeit
- **TLB**  
Erkenntnisse zu Tunnelkonstruktionen und Bewertungsmethoden
- **Siemens:**  
Entwicklung spezieller Detektionslösungen
- **ILEK**  
Erkenntnisse aus Simulations- und Objektberechnungen
- **Uni Würzburg:**  
Erkenntnisse aus virtuellen Modellen zum Nutzerverhalten.

Auf die externen Ergebnisse wurde bezüglich der bautechnischen Belange im Rahmen der Projektarbeit zum Teil aufgebaut (z. B. Versuchsergebnisse EMI).

## 16 Veröffentlichungen

Über die Ergebnisse und Erkenntnisse aus dem Verbundprojekt SKRIBT wurde bzw. wird noch im Weiteren dem geeigneten Fachpublikum berichtet.

In der Vergangenheit wurden folgende Vorträge gehalten, die auch in den Tagungsbänden nachgeschlagen werden können:

- **IABMAS 2010, Philadelphia:** Bridge Structures under severe loading, SP / BASt
- **STUVA – Junges Forum 2010, Düsseldorf:** Tunnelkonstruktionen bei Explosionsereignissen, SP / EMI
- **Future Security Conference 2010, Berlin:** Tunnel Structures subjected to explosions, SP / EMI

- Schübler-Plan Vortragsveranstaltung: Sicherheit von Bau-Konstruktionen 2011, SP / EMI
- Symposium Straßentunnel in Deutschland – Neuheiten zur Sicherheit, 11/2011, Bergisch-Gladbach: Robustheitsanalysen für Straßentunnel in offener Bauweise bei Explosionsbeanspruchung.

Geplant sind in der Zukunft folgende Vorträge:

- ISTSS 3/2012, New York: Design loads and methods for prestressed open cut tunnels under severe accidental and malicious threats.

Darüber hinaus wird ein Poster zur Brandbeurteilung bei Rechtecktunneln gezeigt.

## 17 Literatur

- [ 1 ] Projektbericht „AP2 – Kritische Brücken und Tunnel - Maßnahmen“, Verbundprojekt „Schutz kritischer Brücken und Tunnel im Zuge von Straßen – SKRIBT“, Bundesanstalt für Straßenwesen (Konsortialführer), Bergisch Gladbach 2011 (unv.)
- [ 2 ] DIN 1076, Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen – Überwachung und Prüfung, Ausgabe November 1999
- [ 3 ] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Abteilung Straßenbau, Straßenverkehr, Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076, RI-EBW-PRÜF, Ausgabe November 2007
- [ 4 ] WPM-Ingenieure, Ingenieurgesellschaft für Bauwesen und Datenverarbeitung mbH, SIB-Bauwerke
- [ 5 ] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Abteilung Straßenbau, Straßenverkehr, Anweisung Straßeninformationsbank Teilsystem Bauwerksdaten, ASB-ING, Ausgabe März 2004
- [ 6 ] Bundesanstalt für Straßenwesen, Konzeption eines Managementsystems zur Erhaltung von Brücken- und Ingenieurbauwerken, Schlussbericht zum AP-Projekt 97244, September 1998
- [ 7 ] Bundesanstalt für Straßenwesen, Entwicklung eines Bauwerks-Management-Systems für das deutsche Fernstraßennetz, Stufe 1 und 2, Schlussbericht zum AP-Projekt 99245, August 2002
- [ 8 ] Bundesanstalt für Straßenwesen, Entwicklung eines Bauwerks-Management-Systems für das deutsche Fernstraßennetz, Stufe 3, Schlussbericht zum AP-Projekt 02244/B4, August 2005
- [ 9 ] Universität Stuttgart, Institut für Leichtbau, Entwerfen und Konstruieren Prof. Dr.-Ing. Balthasar Novák und König und Heunisch Beratende Ingenieure, Entwicklung eines Kataloges von Erhaltungsmaßnahmen für Brücken- und Ingenieurbauwerke, Schlussbericht FE 15.318/1999/HRB
- [10] Projektbericht „AP1: Kritische Brücken und Tunnel – Bedrohungen“, Verbundprojekt „Schutz kritischer Brücken und Tunnel im Zuge von Straßen – SKRIBT“, Bundesanstalt für Straßenwesen (Konsortialführer), Bergisch Gladbach 2011 (unv.)
- [11] NISTIR 7396, Best practices for reducing the potential for progressive collapse in buildings, National Institute of Standards and Technology (NIST), 2007
- [12] Bundesanstalt für Straßenwesen, Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten – ZTV-ING [http://www.bast.de/cln\\_030/nn\\_795118/DE/Aufgaben/abteilung-b/Regelwerke/uebersicht-regelwerke.html#baudurchfuehrung-anker](http://www.bast.de/cln_030/nn_795118/DE/Aufgaben/abteilung-b/Regelwerke/uebersicht-regelwerke.html#baudurchfuehrung-anker), Stand 12/2010
- [13] DIN EN 1991-1-7:2006, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-7: Allgemeine Einwirkungen – Außergewöhnliche Einwirkungen, Ausgabe Februar 2007
- [14] M. Wolff & U. Starossek, Robustness assessment of a cable-stayed bridge, IABMAS'08: International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management, July 13-17, 2008, Seoul, Korea
- [15] Post-Tensioning Institute (PTI) 2007, Recommendations for Stay Cable Design, Testing and Installation, Cable-Stayed Bridges Committee, Phoenix
- [16] DIN-Fachbericht 101, Einwirkungen auf Brücken, Ausgabe März 2003
- [17] DIN-18800-1, Stahlbauten Bemessung und Konstruktion, November 1990
- [18] DIN-Fachbericht 103:2003, Stahlbrücken, Ausgabe März 2003
- [19] InfoGraph, Software für die Tragwerksplanung. Benutzerhandbuch InfoCAD, Programmbeschreibung. InfoGraph GmbH
- [20] M. Kettler/A Lechner/R Greiner, plastische Tragfähigkeit von semi-kompakten Querschnitten aus Stahl, Ernst & Sohn, Berlin Stahlbau 77 (2008), Heft 4
- [21] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Verkehrsführung und Verkehrssicherheit: Richtlinie über die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln (RABT), Ausgabe 2006
- [22] Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA), Ausgabe 2008, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV)
- [23] DIN-Fachbericht 101, Einwirkungen auf Brücken, Ausgabe März 2003
- [24] AltonaInfo: Durch brennenden LKW drohte Verkehrsinfarkt in Hamburg, 17.04.2010, (<http://www.altona.info/2010/04/17/durch-brennenden-lkw-drohte-verkehrsinfarkt-in-hamburg.de>, Stand 28.04.2011)

- [25] Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen bei Straßentunneln in Bezug auf die bautechnischen Sicherheitsanforderungen der RABT (Ausgabe 2003) – Schlussbericht Projekt 02 232/B3. Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach (BASt), Dezember 2004, unveröffentlicht
- [26] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen (RSA), 2009
- [27] Projektbericht AP3 „Kritische Brücken und Tunnel – Verfahren zur Identifizierung kritischer Bauwerke“, Verbundprojekt „Schutz kritischer Brücken und Tunnel im Zuge von Straßen – SKRIBT“, Bundesanstalt für Straßenwesen (Konsortialführer), Bergisch Gladbach 2011 (unv.)
- [28] Projektbericht AP5 „Kritische Brücken und Tunnel – Empfehlungen zur Maßnahmenanwendung für Brücken und Tunnel“, Verbundprojekt „Schutz kritischer Brücken und Tunnel im Zuge von Straßen – SKRIBT“, Bundesanstalt für Straßenwesen (Konsortialführer), Bergisch Gladbach 2011 (unv.)

## 18 Anhang

- Anhang 1: Zeitplan
- Anhang 2: Brückenübersicht
- Anhang 3: Tunnelübersicht
- Anhang 4: Zusatzmaßnahmen Brücke
- Anhang 5: Zusatzmaßnahmen Tunnel
- Anhang 6: Wirksame Maßnahmen  
Brückenkonstruktion für  
Initialereignis Explosion
- Anhang 7: Wirksame Maßnahmen  
Tunnelkonstruktion für  
Initialereignis Explosion
- Anhang 8: Demonstrationsobjekt  
Brücke Ohne-Fall
- Anhang 9: Demonstrationsobjekt  
Brücke Mit-Fall
- Anhang 10: Demonstrationsobjekt  
Brücke Nachrüstung
- Anhang 11: Zielerreichung



**Verbundprojekt SKRIBT**  
**Schutz kritischer Brücken und Tunnel im Zuge von Straßen**

Anhang zu

**Teilvorhaben:**

**Wirksame Schutzmaßnahmen  
und Bauwerksentwurf**



**Schlussbericht**

Gefördert durch:

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Berlin

Projekträger:

VDI Technologiezentrum GmbH, Düsseldorf

Projektausführung:

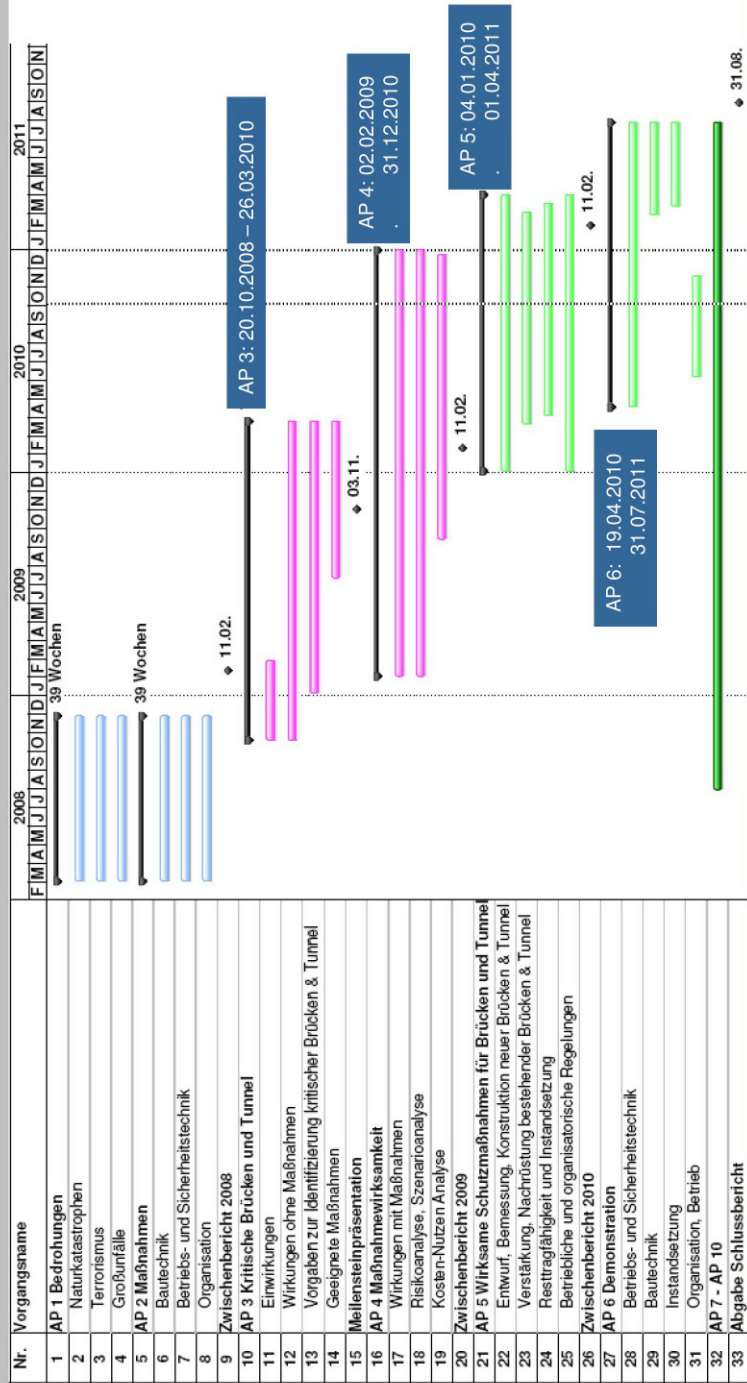
Schüßler-Plan Ingenieurgesellschaft mbH, Sankt-Franziskus-Str. 148, 40470 Düsseldorf

## **Anhang 1: Zeitplan**



**Verbundprojekt SKRIBT**  
**TOP 2: Informationen des Konsortialführers**

**Terminplanung**



Bundesanstalt für Straßenwesen

06. Oktober 2010

## **Anhang 2: Brückenübersicht**

Nr.	Stufe 1 Brücke	Stufe 2a Hauptbauteil Überbau/ Unterbau	Stufe 2b Stat.System	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
1.1	Plattenbrücke einzügig				
1.1.1		Überbau Vollquerschnitt einsteigig	Einfeldrig freiaufliegend	Stahlbeton / Spannbeton	
1.1.1.1					interne Vorspannung
1.1.1.2					feste Lager
1.1.1.3					bewegliche Lager
1.1.2			Mehrfeldrig freiaufliegend ohne Durchlaufwirkung	Stahlbeton / Spannbeton	
1.1.2.1					interne Vorspannung
1.1.2.2					feste Lager
1.1.2.3					bewegliche Lager
1.1.3			Mehrfeldrig mit Durchlaufwirkung	Stahlbeton / Spannbeton	
1.1.3.1					interne Vorspannung
1.1.3.2					feste Lager
1.1.3.3					bewegliche Lager
1.1.4		Widerlager Massivwand		Stahlbeton	
1.1.4.1					Flachgründung
1.1.4.2					Pfahlgründung
1.1.4.3					Brunnengründung
1.1.4.4					Schlitzwandgründung
1.1.5		Widerlager Spundwand		Metall Stahl	
1.1.5.1					Spundwandgründung
1.1.6		Pfeiler / Stütze massiv		Stahlbeton	
1.1.6.1					Flachgründung
1.1.6.2					Pfahlgründung
1.1.6.3					Brunnengründung
1.1.6.4					Schlitzwandgründung
1.1.7		Pfeiler / Stütze Spundwand		Metall Stahl	
1.1.7.1					Spundwandgründung

Nr.	Stufe 1 Brücke	Stufe 2a Hauptbauteil Überbau/ Unterbau	Stufe 2b Stat.System	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
1.1.8		Stützenreihe massiv		Stahlbeton	
1.1.8.1					Flachgründung
1.1.8.2					Pfahlgründung
1.1.8.3					Brunnengründung
1.2	Plattenbrücke mehrzügig				
1.2.1		Überbau Vollquerschnitt einstegig	Einfeldrig freiauflegend	Stahlbeton / Spannbeton	
1.2.1.1					interne Vorspannung
1.2.1.2					feste Lager
1.2.1.3					bewegliche Lager
1.2.2			Mehrfeldrig freiauflegend ohne Durchlaufwirkung	Stahlbeton / Spannbeton	
1.2.2.1					interne Vorspannung
1.2.2.2					feste Lager
1.2.2.3					bewegliche Lager
1.2.3			Mehrfeldrig mit Durchlaufwirkung	Stahlbeton / Spannbeton	
1.2.3.1					interne Vorspannung
1.2.3.2					feste Lager
1.2.3.3					bewegliche Lager
1.2.4		Widerlager Massivwand		Stahlbeton	
1.2.4.1					Flachgründung
1.2.4.2					Pfahlgründung
1.2.4.3					Brunnengründung
1.2.4.4					Schlitzwandgründung
1.2.5		Widerlager Spundwand		Metall Stahl	
1.5.1					Spundwandgründung
1.2.6		Pfeiler / Stütze massiv		Stahlbeton	
1.2.6.1					Flachgründung
1.2.6.2					Pfahlgründung
1.2.6.3					Brunnengründung
1.2.6.4					Schlitzwandgründung
1.2.7		Pfeiler / Stütze Spundwand		Stahl	
1.2.7.1					Spundwandgründung
1.2.8		Stützenreihe massiv		Stahlbeton	
1.2.8.1					Flachgründung
1.2.8.2					Pfahlgründung
1.2.8.3					Brunnengründung

Nr.	Stufe 1 Brücke	Stufe 2a Hauptbauteil Überbau/ Unterbau	Stufe 2b Stat.System	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
2.1	Plattenbalken / Trägerrost einzügig				
2.1.1		Überbau Vollquerschnitt zweistegig	Einfeldrig freiauflegend	Stahlbeton / Spannbeton	
2.1.1.1					interne Vorspannung
2.1.1.2					feste Lager
2.1.1.3					bewegliche Lager
2.1.2			Mehrfeldrig freiauflegend ohne Durchlaufwirkung	Stahlbeton / Spannbeton	
2.1.2.1					interne Vorspannung
2.1.2.2					feste Lager
2.1.2.3					bewegliche Lager
2.1.3			Mehrfeldrig mit Durchlaufwirkung	Stahlbeton / Spannbeton	
2.1.3.1					interne Vorspannung
2.1.3.2					feste Lager
2.1.3.3					bewegliche Lager
2.1.4			Mehrfeldrig mit Durchlaufwirkung Gelenkausbildung in den Feldern	Stahlbeton / Spannbeton	
2.1.4.1					interne Vorspannung
2.1.4.2					feste Lager
2.1.4.3					bewegliche Lager
2.1.4.4					Gelenke
2.1.5		Überbau Vollquerschnitt mehrstegig	Einfeldrig freiauflegend	Stahlbeton / Spannbeton	
2.1.5.1					interne Vorspannung
2.1.5.2					feste Lager
2.1.5.3					bewegliche Lager
2.1.6			Mehrfeldrig freiauflegend ohne Durchlaufwirkung	Stahlbeton / Spannbeton	
2.1.6.1					interne Vorspannung
					feste Lager
					bewegliche Lager
2.1.7			Mehrfeldrig mit Durchlaufwirkung	Stahlbeton / Spannbeton	
2.1.7.1					interne Vorspannung
2.1.7.2					feste Lager
2.1.7.3					bewegliche Lager

Nr.	Stufe 1 Brücke	Stufe 2a Hauptbauteil Überbau/ Unterbau	Stufe 2b Stat.System	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
2.1.8			Mehrfeldrig mit Durchlaufwirkung Gelenkausbildung in den Feldern	Stahlbeton / Spannbeton	
2.1.8.1					interne Vorspannung
2.1.8.2					feste Lager
2.1.8.3					bewegliche Lager
2.1.8.4					Gelenke
2.1.9		Widerlager Massivwand		Stahlbeton	
2.1.9.1					Flachgründung
2.1.9.2					Pfahlgründung
2.1.9.3					Brunnengründung
2.1.9.4					Schlitzwandgründung
2.1.10		Widerlager Spundwand		Metall Stahl	
2.1.10.1					Spundwandgründung
2.1.11		Pfeiler / Stütze massiv		Stahlbeton	
2.1.11.1					Flachgründung
2.1.11.2					Pfahlgründung
2.1.11.3					Brunnengründung
2.1.11.4					Schlitzwandgründung
2.1.12		Pfeiler / Stütze Spundwand		Metall Stahl	
2.1.12.1					Spundwandgründung
2.1.13		Stützenreihe massiv		Stahlbeton	
2.1.13.1					Flachgründung
					Pfahlgründung
					Brunnengründung
2.2	Plattenbalken / Trägerrost mehrzügig				
2.2.1		Überbau Vollquerschnitt zweistegig	Einfeldrig freiauflegend	Stahlbeton / Spannbeton	
2.2.1.1					interne Vorspannung
2.2.1.2					feste Lager
2.2.1.3					bewegliche Lager
2.2.2			Mehrfeldrig freiauflegend ohne Durchlaufwirkung	Stahlbeton / Spannbeton	
2.2.2.1					interne Vorspannung
2.2.2.2					feste Lager
2.2.2.3					bewegliche Lager



Nr.	Stufe 1 Brücke	Stufe 2a Hauptbauteil Überbau/ Unterbau	Stufe 2b Stat.System	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
2.2.3			Mehrfeldrig mit Durchlaufwirkung	Stahlbeton / Spannbeton	
2.2.3.1					interne Vorspannung
2.2.3.2					feste Lager
2.2.3.3					bewegliche Lager
2.2.4			Mehrfeldrig mit Durchlaufwirkung Gelenkausbildung in den Feldern	Stahlbeton / Spannbeton	
2.2.4.1					interne Vorspannung
2.2.4.2					feste Lager
2.2.4.3					bewegliche Lager
2.2.4.4					Gelenke
2.2.5		Überbau Vollquerschnitt mehrstegig	Einfeldrig freiauflegend	Stahlbeton / Spannbeton	
2.2.5.1					interne Vorspannung
2.2.5.2					feste Lager
2.2.5.3					bewegliche Lager
2.2.6			Mehrfeldrig freiauflegend ohne Durchlaufwirkung	Stahlbeton / Spannbeton	
2.2.6.1					interne Vorspannung
2.2.6.2					feste Lager
2.2.6.3					bewegliche Lager
2.2.7			Mehrfeldrig mit Durchlaufwirkung	Stahlbeton / Spannbeton	
2.2.7.1					interne Vorspannung
2.2.7.2					feste Lager
2.2.7.3					bewegliche Lager
2.2.8			Mehrfeldrig mit Durchlaufwirkung Gelenkausbildung in den Feldern	Stahlbeton / Spannbeton	
2.2.8.1					interne Vorspannung
2.2.8.2					feste Lager
2.2.8.3					bewegliche Lager
2.2.8.4					Gelenke
2.2.9		Widerlager Massivwand		Stahlbeton	
2.2.9.1					Flachgründung
2.2.9.2					Pfahlgründung
2.2.9.3					Brunnengründung
2.2.9.4					Schlitzwandgründung
2.2.10		Widerlager Spundwand		Metall Stahl	
2.2.10.1					Spundwandgründung

Nr.	Stufe 1 Brücke	Stufe 2a Hauptbauteil Überbau/ Unterbau	Stufe 2b Stat.System	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
2.2.11		Pfeiler / Stütze massiv		Stahlbeton	
2.2.11.1					Flachgründung
2.2.11.2					Pfahlgründung
2.2.11.3					Brunnengründung
2.2.11.4					Schlitzwandgründung
2.2.12		Pfeiler / Stütze Spundwand		Metall Stahl	
2.2.12.1					Spundwandgründung
2.2.13		Stützenreihe massiv		Stahlbeton	
2.2.13.1					Flachgründung
2.2.13.2					Pfahlgründung
2.2.13.3					Brunnengründung
3.1	Hohlkastenbrücke einzügig				
3.1.1		Überbau Hohlkasten einzellig	Einfeldrig freiauflegend		
3.1.1.1				Stahlbeton / Spannbeton	
3.1.1.1.1					interne Vorspannung
3.1.1.1.2					externe Vorspannung
3.1.1.1.3					feste Lager
3.1.1.1.4					bewegliche Lager
3.1.1.1.5					Fluchtweg Tür
3.1.1.1.6					Sprengkammer
3.1.1.2				Metall Stahl	
3.1.1.2.1					feste Lager
3.1.1.2.2					bewegliche Lager
3.1.1.2.3					Fluchtweg Tür
3.1.1.2.4					Sprengkammer
3.1.2			Mehrfeldrig freiauflegend ohne Durchlaufwirkung		
3.1.2.1				Stahlbeton / Spannbeton	
3.1.2.1.1					interne Vorspannung
3.1.2.1.2					externe Vorspannung
3.1.2.1.3					feste Lager
3.1.2.1.4					bewegliche Lager
3.1.2.1.5					Fluchtweg Tür
3.1.2.1.6					Sprengkammer

Nr.	Stufe 1 Brücke	Stufe 2a Hauptbauteil Überbau/ Unterbau	Stufe 2b Stat.System	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
3.1.2.2				Metall Stahl	
3.1.2.2.1					feste Lager
3.1.2.2.2					bewegliche Lager
3.1.2.2.3					Fluchtweg Tür
3.1.2.2.4					Sprengkammer
3.1.3			Mehrfeldrig mit Durchlaufwirkung		
3.1.3.1				Stahlbeton / Spannbeton	
3.1.3.1.1					interne Vorspannung
3.1.3.1.2					externe Vorspannung
3.1.3.1.3					feste Lager
3.1.3.1.4					bewegliche Lager
3.1.3.1.5					Fluchtweg Tür
3.1.3.1.6					Sprengkammer
3.1.3.2				Metall Stahl	
3.1.3.2.1					feste Lager
3.1.3.2.2					bewegliche Lager
3.1.3.2.3					Fluchtweg Tür
3.1.3.2.4					Sprengkammer
3.1.4			Mehrfeldrig mit Durchlaufwirkung Gelenkausbildung in den Feldern		
3.1.4.1				Stahlbeton / Spannbeton	
3.1.4.1.1					interne Vorspannung
3.1.4.1.2					externe Vorspannung
3.1.4.1.3					feste Lager
3.1.4.1.4					bewegliche Lager
3.1.4.1.5					Gelenke
3.1.4.1.6					Fluchtweg Tür
3.1.4.1.7					Sprengkammer
3.1.4.2				Metall Stahl	
3.1.4.2.1					feste Lager
3.1.4.2.2					bewegliche Lager
3.1.4.2.3					Gelenke
3.1.4.2.4					Fluchtweg Tür
3.1.4.2.5					Sprengkammer

Nr.	Stufe 1 Brücke	Stufe 2a Hauptbauteil Überbau/ Unterbau	Stufe 2b Stat.System	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
3.1.5		Widerlager Massivwand		Stahlbeton	
3.1.5.1					Flachgründung
3.1.5.2					Pfahlgründung
3.1.5.3					Brunnengründung
3.1.5.4					Schlitzwandgründung
3.1.6		Widerlager Spundwand		Metall Stahl	
3.1.6.1					Spundwandgründung
3.1.7		Pfeiler / Stütze massiv		Stahlbeton	
3.1.7.1					Flachgründung
3.1.7.2					Pfahlgründung
3.1.7.3					Senkkastengründung
3.1.7.4					Brunnengründung
3.1.7.5					Fluchtweg Tür
3.1.8		Pfeiler / Stütze Spundwand		Metall Stahl	
3.1.8.1					Spundwandgründung
3.1.9		Stützenreihe massiv		Stahlbeton	
3.1.9.1					Flachgründung
3.1.9.2					Pfahlgründung
3.1.9.3					Brunnengründung
3.2	Hohlkastenbrücke mehrzügig				
3.2.1		Überbau Hohlkasten einzellig	Einfeldrig freiauflegend		
3.2.1.1				Stahlbeton / Spannbeton	
3.2.1.1.1					interne Vorspannung
3.2.1.1.2					externe Vorspannung
3.2.1.1.3					feste Lager
3.2.1.1.4					bewegliche Lager
3.2.1.1.5					Fluchtweg Tür
3.2.1.1.6					Sprengkammer
3.2.1.2				Metall Stahl	
3.2.1.2.1					feste Lager
3.2.1.2.2					bewegliche Lager
3.2.1.2.3					Fluchtweg Tür
3.2.1.2.4					Sprengkammer

Nr.	Stufe 1 Brücke	Stufe 2a Hauptbauteil Überbau/ Unterbau	Stufe 2b Stat.System	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
3.2.2			Mehrfeldrig freiauflegend ohne Durchlaufwirkung		
3.2.2.1				Stahlbeton / Spannbeton	
3.2.2.1.1					interne Vorspannung
3.2.2.1.2					externe Vorspannung
3.2.2.1.3					feste Lager
3.2.2.1.4					bewegliche Lager
3.2.2.1.5					Fluchtweg Tür
3.2.2.1.6					Sprengkammer
3.2.2.2				Metall Stahl	
3.2.2.2.1					feste Lager
3.2.2.2.2					bewegliche Lager
3.2.2.2.3					Fluchtweg Tür
3.2.2.2.4					Sprengkammer
3.2.3			Mehrfeldrig mit Durchlaufwirkung		
3.2.3.1				Stahlbeton / Spannbeton	
3.2.3.1.1					interne Vorspannung
3.2.3.1.2					externe Vorspannung
3.2.3.1.3					feste Lager
3.2.3.1.4					bewegliche Lager
3.2.3.1.5					Fluchtweg Tür
3.2.3.1.6					Sprengkammer
3.2.3.2				Metall Stahl	
3.2.3.2.1					feste Lager
3.2.3.2.2					bewegliche Lager
3.2.3.2.3					Fluchtweg Tür
3.2.3.2.4					Sprengkammer
3.2.4			Mehrfeldrig mit Durchlaufwirkung Gelenkausbildung in den Feldern		
3.2.4.1				Stahlbeton / Spannbeton	
3.2.4.1.1					interne Vorspannung
3.2.4.1.2					externe Vorspannung
3.2.4.1.3					feste Lager
3.2.4.1.4					bewegliche Lager
3.2.4.1.5					Gelenke
3.2.4.1.6					Fluchtweg Tür
3.2.4.1.7					Sprengkammer

Nr.	Stufe 1 Brücke	Stufe 2a Hauptbauteil Überbau/ Unterbau	Stufe 2b Stat.System	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
3.2.4.2				Metall Stahl	
3.2.4.2.1					feste Lager
3.2.4.2.2					bewegliche Lager
3.2.4.2.3					Gelenke
3.2.4.2.4					Fluchtweg Tür
3.2.4.2.5					Sprengkammer
3.2.5		Widerlager Massivwand		Stahlbeton	
3.2.5.1					Flachgründung
3.2.5.2					Pfahlgründung
3.2.5.3					Brunnengründung
3.2.5.4					Schlitzwandgründung
3.2.6		Widerlager Spundwand		Metall Stahl	
3.2.6.1					Spundwandgründung
3.2.7		Pfeiler / Stütze massiv		Stahlbeton	
3.2.7.1					Flachgründung
3.2.7.2					Pfahlgründung
3.2.7.3					Senkkastengründung
3.2.7.4					Brunnengründung
3.2.7.5					Schlitzwandgründung
3.2.7.6					Fluchtweg Tür
3.2.8		Pfeiler / Stütze Spundwand		Metall Stahl	
3.2.8.1					Spundwandgründung
3.2.9		Stützenreihe massiv		Stahlbeton	
3.2.9.1					Flachgründung
3.2.9.2					Pfahlgründung
3.2.9.3					Brunnengründung
4.1	Balken/Platten-Mischsystem einzügig				
4.1.1		Überbau Vollquerschnitt zweistegig	Einfeldrig freiauflegend	Verbund	
4.1.1.1					interne Vorspannung
4.1.1.2					feste Lager
4.1.1.3					bewegliche Lager
4.1.2			Einfeldrig freiauflegend Unterspannt	Verbund	
4.1.2.1					interne Vorspannung
4.1.2.2					Unterspannung
4.1.2.3					feste Lager
4.1.2.4					bewegliche Lager

Nr.	Stufe 1 Brücke	Stufe 2a Hauptbauteil Überbau/ Unterbau	Stufe 2b Stat.System	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
4.1.3			Mehrfeldrig freiauflegend ohne Durchlaufwirkung	Verbund	
4.1.3.1					interne Vorspannung
4.1.3.2					feste Lager
4.1.3.3					bewegliche Lager
4.1.4			Mehrfeldrig mit Durchlaufwirkung	Verbund	
4.1.4.1					interne Vorspannung
4.1.4.2					Unterspannung
4.1.4.3					feste Lager
4.1.4.4					bewegliche Lager
4.1.5			Mehrfeldrig mit Durchlaufwirkung Gelenkausbildung in den Feldern	Verbund	
4.1.5.1					interne Vorspannung
4.1.5.2					Unterspannung
4.1.5.3					feste Lager
4.1.5.4					bewegliche Lager
4.1.5.5					Gelenke
4.1.6		Überbau Vollquerschnitt mehrstegig	Einfeldrig freiauflegend	Verbund	
4.1.6.1					interne Vorspannung
4.1.6.2					feste Lager
4.1.6.3					bewegliche Lager
4.1.7			Einfeldrig freiauflegend Unterspannt	Verbund	
4.1.7.1					interne Vorspannung
4.1.7.2					Unterspannung
4.1.7.3					feste Lager
4.1.7.4					bewegliche Lager
4.1.8			Mehrfeldrig freiauflegend ohne Durchlaufwirkung	Verbund	
4.1.8.1					interne Vorspannung
4.1.8.2					feste Lager
4.1.8.3					bewegliche Lager
4.1.9			Mehrfeldrig mit Durchlaufwirkung	Verbund	
4.1.9.1					interne Vorspannung
4.1.9.2					Unterspannung
4.1.9.3					feste Lager
4.1.9.4					bewegliche Lager

Nr.	Stufe 1 Brücke	Stufe 2a Hauptbauteil Überbau/ Unterbau	Stufe 2b Stat.System	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
4.1.10			Mehrfeldrig mit Durchlaufwirkung Gelenkausbildung in den Feldern	Verbund	
4.1.10.1					interne Vorspannung
4.1.10.2					Unterspannung
4.1.10.3					feste Lager
4.1.10.4					bewegliche Lager
4.1.10.5					Gelenke
4.1.11		Überbau Fachwerk zweistegig	Einfeldrig freiauflegend	Verbund	
4.1.11.1					interne Vorspannung
4.1.11.2					feste Lager
4.1.11.3					bewegliche Lager
4.1.12			Mehrfeldrig freiauflegend ohne Durchlaufwirkung	Verbund	
4.1.12.1					interne Vorspannung
4.1.12.2					feste Lager
4.1.12.3					bewegliche Lager
4.1.13			Mehrfeldrig mit Durchlaufwirkung	Verbund	
4.1.13.1					interne Vorspannung
4.1.13.2					feste Lager
4.1.13.3					bewegliche Lager
4.1.13.4					Sprengkammer
4.1.14			Mehrfeldrig mit Durchlaufwirkung Gelenkausbildung in den Feldern	Verbund	
4.1.14.1					interne Vorspannung
4.1.14.2					feste Lager
4.1.14.3					bewegliche Lager
4.1.14.4					Gelenke
4.1.14.5					Sprengkammer
4.1.15		Überbau Fachwerk mehrstegig	Einfeldrig freiauflegend	Verbund	
4.1.15.1					interne Vorspannung
4.1.15.2					feste Lager
4.1.15.3					bewegliche Lager



Nr.	Stufe 1 Brücke	Stufe 2a Hauptbauteil Überbau/ Unterbau	Stufe 2b Stat.System	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
4.1.16			Mehrfeldrig freiauflegend ohne Durchlaufwirkung	Verbund	
4.1.16.1					interne Vorspannung
4.1.16.2					feste Lager
4.1.16.3					bewegliche Lager
4.1.17			Mehrfeldrig mit Durchlaufwirkung	Verbund	
4.1.17.1					interne Vorspannung
4.1.17.2					feste Lager
4.1.17.3					bewegliche Lager
4.1.17.4					Sprengkammer
4.1.18			Mehrfeldrig mit Durchlaufwirkung Gelenkausbildung in den Feldern	Verbund	
4.1.18.1					interne Vorspannung
4.1.18.2					feste Lager
4.1.18.3					bewegliche Lager
4.1.18.4					Gelenke
4.1.18.5					Sprengkammer
4.1.19		Überbau Hohlkasten einzellig	Einfeldrig freiauflegend	Verbund	
4.1.19.1					interne Vorspannung
4.1.19.2					feste Lager
4.1.19.3					bewegliche Lager
4.1.19.4					Fluchtweg Tür
4.1.19.5					Sprengkammer
4.1.20			Mehrfeldrig freiauflegend ohne Durchlaufwirkung	Verbund	
4.1.20.1					interne Vorspannung
4.1.20.2					feste Lager
4.1.20.3					bewegliche Lager
4.1.20.4					Fluchtweg Tür
4.1.20.5					Sprengkammer
4.1.21			Mehrfeldrig mit Durchlaufwirkung	Verbund	
4.1.21.1					interne Vorspannung
4.1.21.2					feste Lager
4.1.21.3					bewegliche Lager
4.1.21.4					Fluchtweg Tür
4.1.21.5					Sprengkammer

Nr.	Stufe 1 Brücke	Stufe 2a Hauptbauteil Überbau/ Unterbau	Stufe 2b Stat.System	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
4.1.22			Mehrfeldrig mit Durchlaufwirkung Gelenkausbildung in den Feldern	Verbund	
4.1.22.1					interne Vorspannung
4.1.22.2					feste Lager
4.1.22.3					bewegliche Lager
4.1.22.4					Gelenke
4.1.22.5					Fluchtweg Tür
4.1.22.6					Sprengkammer
4.1.23		Widerlager Massivwand		Stahlbeton	
4.1.23.1					Flachgründung
4.1.23.2					Pfahlgründung
4.1.23.3					Brunnengründung
4.1.23.4					Schlitzwandgründung
4.1.24		Widerlager Spundwand		Metall Stahl	
4.1.24.1					Spundwandgründung
4.1.25		Pfeiler / Stütze massiv		Stahlbeton	
4.1.25.1					Flachgründung
4.1.25.2					Pfahlgründung
4.1.25.3					Brunnengründung
4.1.25.4					Schlitzwandgründung
4.1.26		Pfeiler / Stütze Spundwand		Metall Stahl	
4.1.26.1					Spundwandgründung
4.1.27		Stützenreihe massiv		Stahlbeton	
4.1.27.1					Flachgründung
4.1.27.2					Pfahlgründung
4.1.27.3					Brunnengründung
<b>4.2</b>	<b>Balken/Platten-Mischsystem mehrzügig</b>				
4.2.1		Überbau Vollquerschnitt zweistegig	Einfeldrig freiauflegend	Verbund	
4.2.1.1					interne Vorspannung
4.2.1.2					feste Lager
4.2.1.3					bewegliche Lager
4.2.2			Einfeldrig freiauflegend Unterspannt	Verbund	
4.2.2.1					interne Vorspannung
4.2.2.2					Unterspannung
4.2.2.3					feste Lager
4.2.2.4					bewegliche Lager

Nr.	Stufe 1 Brücke	Stufe 2a Hauptbauteil Überbau/ Unterbau	Stufe 2b Stat.System	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
4.2.3			Mehrfeldrig freiaufliegend ohne Durchlaufwirkung	Verbund	
4.2.3.1					interne Vorspannung
4.2.3.2					feste Lager
4.2.3.3					bewegliche Lager
4.2.4			Mehrfeldrig mit Durchlaufwirkung	Verbund	
4.2.4.1					interne Vorspannung
4.2.4.2					Unterspannung
4.2.4.3					feste Lager
4.2.4.4					bewegliche Lager
4.2.5			Mehrfeldrig mit Durchlaufwirkung Gelenkausbildung in den Feldern	Verbund	
4.2.5.1					interne Vorspannung
4.2.5.2					Unterspannung
4.2.5.3					feste Lager
4.2.5.4					bewegliche Lager
4.2.5.5					Gelenke
4.2.6		Überbau Vollquerschnitt mehrstegig	Einfeldrig freiaufliegend	Verbund	
4.2.6.1					interne Vorspannung
4.2.6.2					feste Lager
4.2.6.3					bewegliche Lager
4.2.7			Einfeldrig freiaufliegend Unterspannt	Verbund	
4.2.7.1					interne Vorspannung
4.2.7.2					Unterspannung
4.2.7.3					feste Lager
4.2.7.4					bewegliche Lager
4.2.8			Mehrfeldrig freiaufliegend ohne Durchlaufwirkung	Verbund	
4.2.8.1					interne Vorspannung
4.2.8.2					feste Lager
4.2.8.3					bewegliche Lager
4.2.9			Mehrfeldrig mit Durchlaufwirkung	Verbund	
4.2.9.1					interne Vorspannung
4.2.9.2					Unterspannung
4.2.9.3					feste Lager
4.2.9.4					bewegliche Lager

Nr.	Stufe 1 Brücke	Stufe 2a Hauptbauteil Überbau/ Unterbau	Stufe 2b Stat.System	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
4.2.10			Mehrfeldrig mit Durchlaufwirkung Gelenkausbildung in den Feldern	Verbund	
4.2.10.1					interne Vorspannung
4.2.10.2					Unterspannung
4.2.10.3					feste Lager
4.2.10.4					bewegliche Lager
4.2.10.5					Gelenke
4.2.11		Überbau Fachwerk zweistegig	Einfeldrig freiauflegend	Verbund	
4.2.11.1					interne Vorspannung
4.2.11.2					feste Lager
4.2.11.3					bewegliche Lager
4.2.12			Mehrfeldrig freiauflegend ohne Durchlaufwirkung	Verbund	
4.2.12.1					interne Vorspannung
4.2.12.2					feste Lager
4.2.12.3					bewegliche Lager
4.2.13			Mehrfeldrig mit Durchlaufwirkung	Verbund	
4.2.13.1					interne Vorspannung
4.2.13.2					feste Lager
4.2.13.3					bewegliche Lager
4.2.13.4					Sprengkammer
4.2.14			Mehrfeldrig mit Durchlaufwirkung Gelenkausbildung in den Feldern	Verbund	
4.2.14.1					interne Vorspannung
4.2.14.2					feste Lager
4.2.14.3					bewegliche Lager
4.2.14.4					Gelenke
4.2.14.5					Sprengkammer
4.2.15		Überbau Fachwerk mehrstegig	Einfeldrig freiauflegend	Verbund	
4.2.15.1					interne Vorspannung
4.2.15.2					feste Lager
4.2.15.3					bewegliche Lager

Nr.	Stufe 1 Brücke	Stufe 2a Hauptbauteil Überbau/ Unterbau	Stufe 2b Stat.System	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
4.2.16			Mehrfeldrig freiauflegend ohne Durchlaufwirkung	Verbund	
4.2.16.1					interne Vorspannung
4.2.16.2					feste Lager
4.2.16.3					bewegliche Lager
4.2.17			Mehrfeldrig mit Durchlaufwirkung	Verbund	
4.2.17.1					interne Vorspannung
4.2.17.2					feste Lager
4.2.17.3					bewegliche Lager
4.2.17.4					Sprengkammer
4.2.18			Mehrfeldrig mit Durchlaufwirkung Gelenkausbildung in den Feldern	Verbund	
4.2.18.1					interne Vorspannung
4.2.18.2					feste Lager
4.2.18.3					bewegliche Lager
4.2.18.4					Gelenke
4.2.18.5					Sprengkammer
4.2.19		Überbau Hohlkasten einzellig	Einfeldrig freiauflegend	Verbund	
4.2.19.1					interne Vorspannung
4.2.19.2					feste Lager
4.2.19.3					bewegliche Lager
4.2.19.4					Fluchtweg Tür
4.2.19.5					Sprengkammer
4.2.20			Mehrfeldrig freiauflegend ohne Durchlaufwirkung	Verbund	
4.2.20.1					interne Vorspannung
4.2.20.2					feste Lager
4.2.20.3					bewegliche Lager
4.2.20.4					Fluchtweg Tür
4.2.20.5					Sprengkammer
4.2.21			Mehrfeldrig mit Durchlaufwirkung	Verbund	
4.2.21.1					interne Vorspannung
4.2.21.2					feste Lager
4.2.21.3					bewegliche Lager
4.2.21.4					Fluchtweg Tür
4.2.21.5					Sprengkammer

Nr.	Stufe 1 Brücke	Stufe 2a Hauptbauteil Überbau/ Unterbau	Stufe 2b Stat.System	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
4.2.22			Mehrfeldrig mit Durchlaufwirkung Gelenkausbildung in den Feldern	Verbund	
4.2.22.1					interne Vorspannung
4.2.22.2					feste Lager
4.2.22.3					bewegliche Lager
4.2.22.4					Gelenke
4.2.22.5					Fluchtweg Tür
4.2.22.6					Sprengkammer
4.2.23		Widerlager Massivwand		Stahlbeton	
4.2.23.1					Flachgründung
4.2.23.2					Pfahlgründung
4.2.23.3					Brunnengründung
4.2.23.4					Schlitzwandgründung
4.2.24		Widerlager Spundwand		Metall Stahl	
4.2.24.1					Spundwandgründung
4.2.25		Pfeiler / Stütze massiv		Stahlbeton	
4.2.25.1					Flachgründung
4.2.25.2					Pfahlgründung
4.2.25.3					Brunnengründung
4.2.25.4					Schlitzwandgründung
4.2.26		Pfeiler / Stütze Spundwand		Metall Stahl	
4.2.26.1					Spundwandgründung
4.2.27		Stützenreihe massiv		Stahlbeton	
4.2.27.1					Flachgründung
4.2.27.2					Pfahlgründung
4.2.27.3					Brunnengründung
5.1	Offener Rahmen einzügig				
5.1.1		Überbau Vollquerschnitt einstegig	Stielfüße und/oder Kämpfer eingespannt	Stahlbeton / Spannbeton	
5.1.1.1					interne Vorspannung
5.1.2			Stielfüße oder Kämpfer gelenkig	Stahlbeton / Spannbeton	
5.1.2.1					interne Vorspannung
5.1.2.2					Gelenke
5.1.3		Überbau Vollquerschnitt zweistegig	Stielfüße und/oder Kämpfer eingespannt	Stahlbeton / Spannbeton	
5.1.3.1					interne Vorspannung

Nr.	Stufe 1 Brücke	Stufe 2a Hauptbauteil Überbau/ Unterbau	Stufe 2b Stat.System	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
5.1.4			Stielfüße oder Kämpfer gelenkig	Stahlbeton / Spannbeton	
5.1.4.1					interne Vorspannung
5.1.4.2					Gelenke
5.1.5		Überbau Vollquerschnitt mehrstegig	Stielfüße und/oder Kämpfer eingespannt	Stahlbeton / Spannbeton	
5.1.5.1					interne Vorspannung
5.1.6			Stielfüße oder Kämpfer gelenkig	Stahlbeton / Spannbeton	
5.1.6.1					interne Vorspannung
5.1.6.2					Gelenke
5.1.7		Widerlager Massivwand		Stahlbeton	
5.1.7.1					Flachgründung
5.1.7.2					Pfahlgründung
5.1.7.3					Brunnengründung
5.1.7.4					Schlitzwandgründung
5.1.8		Pfeiler / Stütze massiv		Stahlbeton	
5.1.8.1					Flachgründung
5.1.8.2					Pfahlgründung
5.1.8.3					Brunnengründung
5.1.8.4					Schlitzwandgründung
5.1.9		Stützenreihe massiv		Stahlbeton	
5.1.9.1					Flachgründung
5.1.9.2					Pfahlgründung
5.1.9.3					Brunnengründung
5.2	Offener Rahmen mehrzügig				
5.2.1		Überbau Vollquerschnitt einstegig	Stielfüße und/oder Kämpfer eingespannt	Stahlbeton / Spannbeton	
5.2.1					interne Vorspannung
5.2.2			Stielfüße oder Kämpfer gelenkig	Stahlbeton / Spannbeton	
5.2.2.1					interne Vorspannung
5.2.2.2					Gelenke
5.2.3		Überbau Vollquerschnitt zweistegig	Stielfüße und/oder Kämpfer eingespannt	Stahlbeton / Spannbeton	
5.2.3.1					interne Vorspannung
5.2.4			Stielfüße oder Kämpfer gelenkig	Stahlbeton / Spannbeton	
5.2.4.1					interne Vorspannung
5.2.4.2					Gelenke

Nr.	Stufe 1 Brücke	Stufe 2a Hauptbauteil Überbau/ Unterbau	Stufe 2b Stat.System	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
5.2.5		Überbau Vollquerschnitt mehrstegig	Stielfüße und/oder Kämpfer eingespannt	Stahlbeton / Spannbeton	
5.2.5.1					interne Vorspannung
5.2.6			Stielfüße oder Kämpfer gelenkig	Stahlbeton / Spannbeton	
5.2.6.1					interne Vorspannung
5.2.6.2					Gelenke
5.2.7		Widerlager Massivwand		Stahlbeton	
5.2.7.1					Flachgründung
5.2.7.2					Pfahlgründung
5.2.7.3					Brunnengründung
5.2.7.4					Schlitzwandgründung
5.2.8		Pfeiler / Stütze massiv		Stahlbeton	
5.2.8.1					Flachgründung
5.2.8.2					Pfahlgründung
5.2.8.3					Brunnengründung
5.2.8.4					Schlitzwandgründung
5.2.9		Stützenreihe massiv		Stahlbeton	
5.2.9.1					Flachgründung
5.2.9.2					Pfahlgründung
5.2.9.3					Brunnengründung
<b>6.1</b>	<b>Geschlossener Rahmen einzügig</b>				
6.1.1		Überbau Vollquerschnitt einstegig	Stielfüße und/oder Kämpfer eingespannt	Stahlbeton	
6.1.2		Widerlager Massivwand		Stahlbeton	
6.1.2.1					Flachgründung
6.1.3		Pfeiler / Stütze massiv		Stahlbeton	
6.1.3.1					Flachgründung
6.1.4		Stützenreihe massiv		Stahlbeton	
6.1.4.1					Flachgründung
<b>6.2</b>	<b>Geschlossener Rahmen mehrzügig</b>				
6.2.1		Überbau Vollquerschnitt einstegig	Stielfüße und/oder Kämpfer eingespannt	Stahlbeton	
6.2.2		Widerlager Massivwand		Stahlbeton	
6.2.2.1					Flachgründung
6.2.3		Pfeiler / Stütze massiv		Stahlbeton	
6.2.3.1					Flachgründung
6.2.4		Stützenreihe massiv		Stahlbeton	
6.2.4.1					Flachgründung



Nr.	Stufe 1 Brücke	Stufe 2a Hauptbauteil Überbau/ Unterbau	Stufe 2b Stat.System	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
<b>7.1</b>	<b>Schrägstielrahmen einzügig</b>				
7.1.1		Überbau Vollquerschnitt zweistegig	Stielfüße und/oder Kämpfer eingespannt	Stahlbeton / Spannbeton	
7.1.1.1					interne Vorspannung
7.1.2			Stielfüße oder Kämpfer gelenkig	Stahlbeton / Spannbeton	
7.1.2.1					interne Vorspannung
7.1.2.2					feste Lager
7.1.2.3					Gelenke
7.1.3		Überbau Vollquerschnitt mehrstegig	Stielfüße und/oder Kämpfer eingespannt	Stahlbeton / Spannbeton	
7.1.3.1					interne Vorspannung
7.1.4			Stielfüße oder Kämpfer gelenkig	Stahlbeton / Spannbeton	
7.1.4.1					interne Vorspannung
7.1.4.2					feste Lager
7.1.4.3					Gelenke
7.1.5		Widerlager Massivwand		Stahlbeton	
7.1.5.1					Flachgründung
7.1.5.2					Pfahlgründung
7.1.5.3					Brunnengründung
7.1.5.4					Schlitzwandgründung
7.1.6		Pfeiler / Stütze massiv		Stahlbeton	
7.1.6.1					Flachgründung
7.1.7		Stützenreihe massiv		Stahlbeton	
7.1.7.1					Flachgründung
<b>7.2</b>	<b>Schrägstielrahmen mehrzügig</b>				
7.2.1		Überbau Vollquerschnitt zweistegig	Stielfüße und/oder Kämpfer eingespannt	Stahlbeton / Spannbeton	
7.2.1.1					interne Vorspannung
7.2.2			Stielfüße oder Kämpfer gelenkig	Stahlbeton / Spannbeton	
7.2.2.1					interne Vorspannung
7.2.2.2					feste Lager
7.2.2.3					Gelenke
7.2.3		Überbau Vollquerschnitt mehrstegig	Stielfüße und/oder Kämpfer eingespannt	Stahlbeton / Spannbeton	
7.2.3.1					interne Vorspannung

Nr.	Stufe 1 Brücke	Stufe 2a Hauptbauteil Überbau/ Unterbau	Stufe 2b Stat.System	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
7.2.4			Stielfüße oder Kämpfer gelenkig	Stahlbeton / Spannbeton	
7.2.4.1					interne Vorspannung
7.2.4.2					feste Lager
7.2.4.3					Gelenke
7.2.5		Widerlager Massivwand		Stahlbeton	
7.2.5.1					Flachgründung
7.2.5.2					Pfahlgründung
7.2.5.3					Brunnengründung
7.2.5.4					Schlitzwandgründung
7.2.6		Pfeiler / Stütze massiv		Stahlbeton	
7.2.6.1					Flachgründung
7.2.7		Stützenreihe massiv		Stahlbeton	
7.2.7.1					Flachgründung
8.1	Bogen mit abgehängter Fahrbahn einzügig				
8.1.1		Überbau Vollquerschnitt zweistegig	2-gelenkig		
8.1.1.1				Stahlbeton / Spannbeton	
8.1.1.1.1					interne Vorspannung
8.1.1.1.2					feste Lager
8.1.1.1.3					bewegliche Lager
8.1.1.1.4					Gelenke
8.1.1.2				Metall Stahl	
8.1.1.2.1					feste Lager
8.1.1.2.2					bewegliche Lager
8.1.1.2.3					Gelenke
8.1.2			Stielfüße und/oder Kämpfer eingespannt	Stahlbeton / Spannbeton	
8.1.2.1					interne Vorspannung
8.1.2.3					feste Lager
8.1.2.4					bewegliche Lager
8.1.3		Überbau Fachwerk zweistegig	2-gelenkig	Metall Stahl	
8.1.3.1					feste Lager
8.1.3.2					bewegliche Lager
8.1.3.3					Gelenke
8.1.3.4					Sprengkammer

Nr.	Stufe 1 Brücke	Stufe 2a Hauptbauteil Überbau/ Unterbau	Stufe 2b Stat.System	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
8.1.4		Überbau Hohlkasten mehrzellig	2-gelenkig	Metall Stahl	
8.1.4.1		(Bogen als Hohlkasten)			feste Lager
8.1.4.2					bewegliche Lager
8.1.4.3					Gelenke
8.1.4.4					Fluchtweg Tür
8.1.4.5					Sprengkammer
8.1.5		Widerlager Massivwand		Stahlbeton	
8.1.5.1					Flachgründung
8.1.5.2					Pfahlgründung
8.1.5.3					Brunnengründung
8.1.5.4					Schlitzwandgründung
8.1.6		Pfeiler / Stütze massiv		Stahlbeton	
8.1.6.1					Flachgründung
8.1.6.2					Pfahlgründung
8.1.6.3					Senkkastengründung
8.1.6.4					Brunnengründung
8.1.6.5					Schlitzwandgründung
8.1.7		Stützenreihe massiv		Stahlbeton	
8.1.7.1					Flachgründung
8.1.7.2					Pfahlgründung
8.1.7.3					Brunnengründung
8.1.8		Hänger		Metall Stahl	Hänger (Bogenbrücke)
8.2	<b>Bogen mit abgehängter Fahrbahn mehrzügig</b>				
8.2.1		Überbau Vollquerschnitt zweistegig	2-gelenkig		
8.2.1.1				Stahlbeton / Spannbeton	
8.2.1.1.1					interne Vorspannung
8.2.1.1.2					feste Lager
8.2.1.1.3					bewegliche Lager
8.2.1.1.4					Gelenke
8.2.1.2				Metall Stahl	
8.2.1.2.1					feste Lager
8.2.1.2.2					bewegliche Lager
8.2.1.2.3					Gelenke

Nr.	Stufe 1 Brücke	Stufe 2a Hauptbauteil Überbau/ Unterbau	Stufe 2b Stat.System	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
8.2.2			Stielfüße und/oder Kämpfer eingespannt	Stahlbeton / Spannbeton	
8.2.2.1					interne Vorspannung
8.2.2.2					feste Lager
8.2.2.3					bewegliche Lager
8.2.3		Überbau Fachwerk zweistegig	2-gelenkig	Metall Stahl	
8.2.3.1					feste Lager
8.2.3.2					bewegliche Lager
8.2.3.3					Gelenke
8.2.3.4					Sprengkammer
8.2.4		Überbau Hohlkasten mehrzellig	2-gelenkig	Metall Stahl	
8.2.4.1		(Bogen als Hohlkasten)			feste Lager
8.2.4.2					bewegliche Lager
8.2.4.3					Gelenke
8.2.4.4					Fluchtweg Tür
8.2.4.5					Sprengkammer
8.2.5		Widerlager Massivwand		Stahlbeton	
8.2.5.1					Flachgründung
8.2.5.2					Pfahlgründung
8.2.5.3					Brunnengründung
8.2.5.4					Schlitzwandgründung
8.2.6		Pfeiler / Stütze massiv		Stahlbeton	
8.2.6.1					Flachgründung
8.2.6.2					Pfahlgründung
8.2.6.3					Senkkastengründung
8.2.6.4					Brunnengründung
8.2.7		Stützenreihe massiv		Stahlbeton	
8.2.7.1					Flachgründung
8.2.7.2					Pfahlgründung
8.2.7.3					Brunnengründung
8.2.8		Hänger		Metall Stahl	Hänger (Bogenbrücke)

Nr.	Stufe 1 Brücke	Stufe 2a Hauptbauteil Überbau/ Unterbau	Stufe 2b Stat.System	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
9.1	Bogen mit aufgeständerter Fahrbahn einzügig				
9.1.1		Überbau Vollquerschnitt einstegig	2-gelenkig	Stahlbeton / Spannbeton	
9.1.1.1		(jeweils für Überbau und Bogen)			interne Vorspannung
9.1.1.2					feste Lager
9.1.1.3					bewegliche Lager
9.1.1.4					Gelenke
9.1.1.5					Sprengkammer
9.1.2			Stielfüße und/oder Kämpfer eingespannt	Stahlbeton / Spannbeton	
9.1.2.1					interne Vorspannung
9.1.2.2					feste Lager
9.1.2.3					bewegliche Lager
9.1.2.4					Sprengkammer
9.1.3		Überbau Vollquerschnitt zweistegig	2-gelenkig	Stahlbeton / Spannbeton	
9.1.3.1		(zwei Bogenscheiben)			interne Vorspannung
9.1.3.2					feste Lager
9.1.3.3					bewegliche Lager
9.1.3.4					Gelenke
9.1.3.5					Sprengkammer
9.1.4			Stielfüße und/oder Kämpfer eingespannt	Stahlbeton / Spannbeton	
9.1.4.1					interne Vorspannung
9.1.4.2					feste Lager
9.1.4.3					bewegliche Lager
9.1.4.4					Sprengkammer
9.1.5		Überbau Vollquerschnitt mehrstegig	2-gelenkig	Stahlbeton / Spannbeton	
9.1.5.1		(mehrere Bogenscheiben)			interne Vorspannung
9.1.5.2					feste Lager
9.1.5.3					bewegliche Lager
9.1.5.4					Gelenke
9.1.5.5					Sprengkammer

Nr.	Stufe 1 Brücke	Stufe 2a Hauptbauteil Überbau/ Unterbau	Stufe 2b Stat.System	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
9.1.6			Stielfüße und/oder Kämpfer eingespannt	Stahlbeton / Spannbeton	
9.1.6.1					interne Vorspannung
9.1.6.2					feste Lager
9.1.6.3					bewegliche Lager
9.1.6.4					Sprengkammer
9.1.7		Überbau Fachwerk zweistegig	2-gelenkig	Metall Stahl	
9.1.7.1		(zwei Bogenscheiben)			feste Lager
9.1.7.2					bewegliche Lager
9.1.7.3					Gelenke
9.1.7.4					Sprengkammer
9.1.8		Überbau Fachwerk mehrstegig	2-gelenkig	Metall Stahl	
9.1.8.1		(mehrere Bogenscheiben)			feste Lager
9.1.5.2.2					bewegliche Lager
9.1.5.2.3					Gelenke
9.1.5.2.4					Sprengkammer
9.1.9		Überbau Hohlkasten mehrzellig	2-gelenkig	Stahlbeton / Spannbeton	
9.1.9.1		(mehrere Bogenscheiben)			interne Vorspannung
9.1.9.2					feste Lager
9.1.9.3					bewegliche Lager
9.1.9.4					Gelenke
9.1.9.5					Fluchtweg Tür
9.1.9.6					Sprengkammer
9.2.10		Überbau Hohlkasten mehrzellig	2-gelenkig	Metall Stahl	
9.2.10.1		(mehrere Bogenscheiben)			feste Lager
9.2.10.2					bewegliche Lager
9.2.10.3					Gelenke
9.2.10.4					Sprengkammer
9.1.11		Widerlager Massivwand		Stahlbeton	
9.1.11.1					Flachgründung
9.1.11.2					Pfahlgründung
9.1.11.3					Brunnengründung
9.1.11.4					Schlitzwandgründung

Nr.	Stufe 1 Brücke	Stufe 2a Hauptbauteil Überbau/ Unterbau	Stufe 2b Stat.System	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
9.1.12		Pfeiler / Stütze massiv		Stahlbeton	
9.1.12.1					Flachgründung
9.1.12.2					Pfahlgründung
9.1.12.3					Brunnengründung
9.1.13		Stützenreihe massiv		Stahlbeton	
9.1.13.1					Flachgründung
9.1.13.2					Pfahlgründung
9.1.13.3					Brunnengründung
9.1.14		Ständer			
9.1.14.1				Stahlbeton	Beton-Pendelstütze mit Federgelenken oder Bleigelenken oben und unten
9.1.14.2				Metall Stahl	
9.2	Bogen mit aufgeständerter Fahrbahn mehrzügig				
9.2.1		Überbau Vollquerschnitt einstegig	2-gelenkig	Stahlbeton / Spannbeton	
9.2.1.1		(jeweils für Überbau und Bogen)			interne Vorspannung
9.2.1.2					feste Lager
9.2.1.3					bewegliche Lager
9.2.1.4					Gelenke
9.2.1.5					Sprengkammer
9.2.2			Stielfüße und/oder Kämpfer eingespannt	Stahlbeton / Spannbeton	
9.2.2.1					interne Vorspannung
9.2.2.2					feste Lager
9.2.2.3					bewegliche Lager
9.2.2.4					Sprengkammer
9.2.3		Überbau Vollquerschnitt zweistegig	2-gelenkig	Stahlbeton / Spannbeton	
9.2.3.1		(zwei Bogenscheiben)			interne Vorspannung
9.2.3.2					feste Lager
9.2.3.3					bewegliche Lager
9.2.3.4					Gelenke
9.2.3.5					Sprengkammer

Nr.	Stufe 1 Brücke	Stufe 2a Hauptbauteil Überbau/ Unterbau	Stufe 2b Stat.System	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
9.2.4			Stielfüße und/oder Kämpfer eingespannt	Stahlbeton / Spannbeton	
9.2.4.1					interne Vorspannung
9.2.4.2					feste Lager
9.2.4.3					bewegliche Lager
9.2.4.4					Sprengkammer
9.2.5		Überbau Fachwerk zweistegig	2-gelenkig	Metall Stahl	
9.2.5.1		(zwei Bogenscheiben)			feste Lager
9.2.5.2					bewegliche Lager
9.2.5.3					Gelenke
9.2.5.4					Sprengkammer
9.2.6		Überbau Hohlkasten mehrzellig	2-gelenkig	Stahlbeton / Spannbeton	
9.2.6.1		(mehrere Bogenscheiben)			feste Lager
9.2.6.2					bewegliche Lager
9.2.6.3					Gelenke
9.2.6.4					Fluchtweg Tür
9.2.6.5					Sprengkammer
9.2.7		Überbau Hohlkasten mehrzellig	2-gelenkig	Metall Stahl	
9.2.7.1		(mehrere Bogenscheiben)			feste Lager
9.2.7.2					bewegliche Lager
9.2.7.3					Gelenke
9.2.7.4					Sprengkammer
9.2.8		Widerlager Massivwand		Stahlbeton	
9.2.8.1					Flachgründung
9.2.8.2					Pfahlgründung
9.2.8.3					Brunnengründung
9.2.8.4					Schlitzwandgründung
9.2.9		Pfeiler / Stütze massiv		Stahlbeton	
9.2.9.1					Flachgründung
9.2.9.2					Pfahlgründung
9.2.9.3					Brunnengründung
9.2.10		Stützenreihe massiv		Stahlbeton	
9.2.10.1					Flachgründung
9.2.10.2					Pfahlgründung
9.2.1.3					Brunnengründung



Nr.	Stufe 1 Brücke	Stufe 2a Hauptbauteil Überbau/ Unterbau	Stufe 2b Stat.System	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
9.2.11		Ständer			
9.2.11.1				Stahlbeton	Beton-Pendelstütze mit Federgelenken oder Bleigelenken oben und unten
9.2.11.2				Metall Stahl	
10.1	<b>Gewölbe / Bogen einzügig</b>				
10.1.1	(überschüttet)	Überbau Vollquerschnitt einstegig	3-gelenkig	Stahlbeton	
10.1.1.1					Gelenke
10.1.2			2-gelenkig	Stahlbeton	
10.1.2.1					Gelenke
10.1.3			Stielfüße und/oder Kämpfer eingespannt	Stahlbeton	
10.1.4		Widerlager Massivwand		Stahlbeton	
10.1.4.1					Flachgründung
10.2	<b>Gewölbe / Bogen mehrzügig</b>				
10.2.1	(überschüttet)	Überbau Vollquerschnitt einstegig	3-gelenkig	Stahlbeton	
10.2.1.1					Gelenke
10.2.2			2-gelenkig	Stahlbeton	
10.2.2.1					Gelenke
10.2.3			Stielfüße und/oder Kämpfer eingespannt	Stahlbeton	
10.2.4		Widerlager Massivwand		Stahlbeton	
10.2.4.1					Flachgründung

Nr.	Stufe 1 Brücke	Stufe 2a Hauptbauteil Überbau/ Unterbau	Stufe 2b Stat.System	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
11.1	Schrägseilbrücke einzügig				
11.1.1		Überbau Fachwerk zweistegig	Seiltragwerke	Metall Stahl	
11.1.1.1					Schräggabel
11.1.1.2					Schrägseil
11.1.1.3					feste Lager
11.1.1.4					bewegliche Lager
11.1.1.5					Spezielles Zug- oder Zug-Druck-Lager, z. B. Stahlzugpendel
11.1.2		Überbau Hohlkasten einzellig	Seiltragwerke		
11.1.2.1				Metall Stahl	
11.1.2.1.1					Schräggabel
11.1.2.1.2					Schrägseil
11.1.2.1.3					feste Lager
11.1.2.1.4					bewegliche Lager
11.1.2.1.5					Spezielles Zug- oder Zug-Druck-Lager, z. B. Stahlzugpendel
11.1.2.2				Verbund	
11.1.2.2.1					Schräggabel
11.1.2.2.2					Schrägseil
11.1.2.2.3					feste Lager
11.1.2.2.4					bewegliche Lager
11.1.2.2.5					Spezielles Zug- oder Zug-Druck-Lager, z. B. Stahlzugpendel
11.1.3		Widerlager Massivwand		Stahlbeton	
11.1.3.1					Flachgründung
11.1.3.2					Pfahlgründung
11.1.3.3					Brunnengründung
11.1.3.4					Schlitzwandgründung
11.1.4		Pfeiler / Stütze massiv		Stahlbeton	
11.1.4.1					Flachgründung
11.1.4.2					Pfahlgründung
11.1.4.3					Senkkastengründung
11.1.5		Pfeiler / Stütze (Pylon)		Stahlbeton	
11.1.5.1					Flachgründung
11.1.5.2					Pfahlgründung
11.1.5.3					Senkkastengründung

Nr.	Stufe 1 Brücke	Stufe 2a Hauptbauteil Überbau/ Unterbau	Stufe 2b Stat.System	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
11.1.6		Pfeiler / Stütze		Metall Stahl	
11.1.6.1		(Pylon)			Flachgründung
11.1.6.2					Pfahlgründung
11.1.6.3					Senkkastengründung
11.1.7		Stützenreihe massiv		Stahlbeton	
11.1.7.1					Flachgründung
11.1.7.2					Pfahlgründung
12.1	Hängebrücke einzügig				
12.1.1		Überbau Vollquerschnitt zweistegig	Seiltragwerke	Metall Stahl	
12.1.1.1					Haupttragkabel (Hängebrücke / Zügelgurtbrücke
12.1.1.2					feste Lager
12.1.1.3					bewegliche Lager
12.1.2		Überbau Fachwerk zweistegig	Seiltragwerke	Metall Stahl	
12.1.2.1					Haupttragkabel (Hängebrücke / Zügelgurtbrücke
12.1.2.2					feste Lager
12.1.2.3					bewegliche Lager
12.1.3		Widerlager Massivwand		Stahlbeton	
12.1.3.1					Flachgründung
12.1.3.2					Pfahlgründung
12.1.3.3					Senkkastengründung
12.1.4		Pfeiler / Stütze massiv		Stahlbeton	
12.1.4.1					Flachgründung
12.1.4.2					Pfahlgründung
12.1.4.3					Senkkastengründung
12.1.5		Pfeiler / Stütze		Metall Stahl	
12.1.5.1		(Pylon)			Flachgründung
12.1.5.2					Pfahlgründung
12.1.5.3					Senkkastengründung
12.1.6		Hänger		Metall Stahl	Hänger (Hängebrücke)

Nr.	Stufe 1 Brücke	Stufe 2a Hauptbauteil Überbau/ Unterbau	Stufe 2b Stat.System	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
<b>12.2</b>	<b>Hängebrücke mehrzünftig</b>				
12.2.1		Überbau Vollquerschnitt mehrstegig	Seiltragwerke	Metall Stahl	
12.2.1.1					Haupttragkabel (Hängebrücke / Zügelgurtbrücke
12.2.1.2					feste Lager
12.2.1.3					bewegliche Lager
12.2.2		Überbau Fachwerk mehrstegig	Seiltragwerke	Metall Stahl	
12.2.2.1					Haupttragkabel (Hängebrücke / Zügelgurtbrücke
12.2.2.2					feste Lager
12.2.2.3					bewegliche Lager
12.2.3		Widerlager Massivwand		Stahlbeton	
12.2.3.1					Flachgründung
12.2.3.2					Pfahlgründung
12.2.3.3					Senkkastengründung
12.2.4		Pfeiler / Stütze massiv		Stahlbeton	
12.2.4.1					Flachgründung
12.2.4.2					Pfahlgründung
12.2.4.3					Senkkastengründung
12.2.5		Pfeiler / Stütze (Pylon)		Metall Stahl	
12.2.5.1					Flachgründung
12.2.5.2					Pfahlgründung
12.2.5.3					Senkkastengründung
12.2.6		Hänger		Metall Stahl	Hänger (Hängebrücke)
<b>13.1</b>	<b>Trogbrücke einzünftig</b>				
13.1.1		Überbau Trogquerschnitt Vollwand	Einfeldrig freiauflegend	Stahlbeton / Spannbeton	
13.1.1.1					interne Vorspannung
13.1.1.2					feste Lager
13.1.1.3					bewegliche Lager
13.1.2			Mehrfeldrig freiauflegend ohne Durchlaufwirkung	Stahlbeton / Spannbeton	
13.1.2.1					interne Vorspannung
13.1.2.2					feste Lager
13.1.2.3					bewegliche Lager

Nr.	Stufe 1 Brücke	Stufe 2a Hauptbauteil Überbau/ Unterbau	Stufe 2b Stat.System	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
13.1.3			Mehrfeldrig mit Durchlaufwirkung	Stahlbeton / Spannbeton	
13.1.3.1					interne Vorspannung
13.1.3.2					feste Lager
13.1.3.3					bewegliche Lager
13.1.4			Mehrfeldrig mit Durchlaufwirkung Gelenkausbildung in den Feldern	Stahlbeton / Spannbeton	
13.1.4.1					interne Vorspannung
13.1.4.2					feste Lager
13.1.4.3					bewegliche Lager
13.1.4.4					Gelenke
13.1.5		Überbau Trogquerschnitt Fachwerk	Einfeldrig freiauflegend	Metall Stahl	
13.1.5.1					feste Lager
13.1.5.2					bewegliche Lager
13.1.5.3					Fluchtweg Tür
13.1.6			Mehrfeldrig freiauflegend ohne Durchlaufwirkung	Metall Stahl	
13.1.6.1					feste Lager
13.1.6.2					bewegliche Lager
13.1.6.3					Fluchtweg Tür
13.1.7			Mehrfeldrig mit Durchlaufwirkung	Metall Stahl	
13.1.7.1					feste Lager
13.1.7.2					bewegliche Lager
13.1.7.3					Fluchtweg Tür
13.1.7.4					Sprengkammer
13.1.8			Mehrfeldrig mit Durchlaufwirkung Gelenkausbildung in den Feldern	Metall Stahl	
13.1.8.1					feste Lager
13.1.8.2					bewegliche Lager
13.1.8.3					Gelenke
13.1.8.4					Fluchtweg Tür
13.1.8.5					Sprengkammer
13.1.9		Widerlager Massivwand		Stahlbeton	
13.1.9.1					Flachgründung
13.1.9.2					Pfahlgründung
13.1.9.3					Brunnengründung
13.1.9.4					Schlitzwandgründung

Nr.	Stufe 1 Brücke	Stufe 2a Hauptbauteil Überbau/ Unterbau	Stufe 2b Stat.System	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
13.1.10		Widerlager Spundwand		Metall Stahl	
13.1.10.1					Spundwandgründung
13.1.11		Pfeiler / Stütze massiv		Stahlbeton	
13.1.11.1					Flachgründung
13.1.11.2					Pfahlgründung
13.1.11.3					Brunnengründung
13.1.11.4					Schlitzwandgründung
13.1.12		Pfeiler / Stütze Spundwand		Metall Stahl	
13.1.12.1					Spundwandgründung
13.1.13		Stützenreihe massiv		Stahlbeton	
13.1.13.1					Flachgründung
13.1.13.2					Pfahlgründung
13.1.13.3					Brunnengründung
13.2	Trogbrücke mehrzügig				
13.2.1		Überbau Trogquerschnitt Vollwand	Einfeldrig freiauflegend	Stahlbeton / Spannbeton	
13.2.1.1					interne Vorspannung
13.2.1.2					feste Lager
13.2.1.3					bewegliche Lager
13.2.2			Mehrfeldrig freiauflegend ohne Durchlaufwirkung	Stahlbeton / Spannbeton	
13.2.2.1					interne Vorspannung
13.2.2.2					feste Lager
13.2.2.3					bewegliche Lager
13.2.3			Mehrfeldrig mit Durchlaufwirkung	Stahlbeton / Spannbeton	
13.2.3.1					interne Vorspannung
13.2.3.2					feste Lager
13.2.3.3					bewegliche Lager
13.2.3.4					Sprengkammer
13.2.4			Mehrfeldrig mit Durchlaufwirkung Gelenkausbildung in den Feldern	Stahlbeton / Spannbeton	
13.2.4.1					feste Lager
13.2.4.2					bewegliche Lager
13.2.4.3					Gelenke
13.2.4.4					Fluchtweg Tür
13.2.4.5					Sprengkammer

Nr.	Stufe 1 Brücke	Stufe 2a Hauptbauteil Überbau/ Unterbau	Stufe 2b Stat.System	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
13.2.5		Überbau Trogquerschnitt Fachwerk	Einfeldrig freiaufliegend	Metall Stahl	
13.2.5.1					feste Lager
13.2.5.2					bewegliche Lager
13.2.5.3					Fluchtweg Tür
13.2.6			Mehrfeldrig freiaufliegend ohne Durchlaufwirkung	Metall Stahl	
13.2.6.1					feste Lager
13.2.6.2					bewegliche Lager
13.2.6.3					Fluchtweg Tür
13.2.7			Mehrfeldrig mit Durchlaufwirkung	Metall Stahl	
13.2.7.1					feste Lager
13.2.7.2					bewegliche Lager
13.2.7.3					Fluchtweg Tür
13.2.7.4					Sprengkammer
13.2.8			Mehrfeldrig mit Durchlaufwirkung Gelenkausbildung in den Feldern	Metall Stahl	
13.2.8.1					feste Lager
13.2.8.2					bewegliche Lager
13.2.8.3					Gelenke
13.2.8.4					Fluchtweg Tür
13.2.8.5					Sprengkammer
13.2.9		Widerlager Massivwand		Stahlbeton	
13.2.9.1					Flachgründung
13.2.9.2					Pfahlgründung
13.2.9.3					Brunnengründung
13.2.9.4					Schlitzwandgründung
13.2.10		Widerlager Spundwand		Metall Stahl	
13.2.10.1					Spundwandgründung
13.2.11		Pfeiler / Stütze massiv		Stahlbeton	
13.2.11.1					Flachgründung
13.2.11.2					Pfahlgründung
13.2.11.3					Brunnengründung
13.2.12		Pfeiler / Stütze Spundwand		Metall Stahl	
13.2.12.1					Spundwandgründung

Nr.	Stufe 1 Brücke	Stufe 2a Hauptbauteil Überbau/ Unterbau	Stufe 2b Stat.System	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
13.2.13		Stützenreihe massiv		Stahlbeton	
13.2.13.1					Flachgründung
13.2.13.2					Pfahlgründung
13.2.13.3					Brunnengründung
14.1	Hubbrücke einzügig				
14.1.1		Überbau Vollquerschnitt zweistegig	Einfeldrig freiauflegend	Metall Stahl	
14.1.1.1					Spezielles Zug- oder Zug-Druck- Lager, z. B. Stahlzugpendel
14.1.1.2					Gelenke
14.1.1.3					Ausstattung für bewegliche Brücken Antrieb
14.1.1.4					Ausstattung für bewegliche Brücken Verriegelung / Verankerung
14.1.1.5					Fluchtweg Tür
14.1.2		Überbau Fachwerk zweistegig	Einfeldrig freiauflegend	Metall Stahl	
14.1.2.1					Spezielles Zug- oder Zug-Druck- Lager, z. B. Stahlzugpendel
14.1.2.2					Gelenke
14.1.2.3					Ausstattung für bewegliche Brücken Antrieb
14.1.2.4					Ausstattung für bewegliche Brücken Verriegelung / Verankerung
14.1.2.5					Fluchtweg Tür
14.1.3		Widerlager Massivwand		Stahlbeton	
14.1.3.1					Flachgründung
14.1.4		Widerlager Spundwand		Metall Stahl	
14.1.4.1					Spundwandgründung
14.1.5		Hänger		Metall Stahl	



Nr.	Stufe 1 Brücke	Stufe 2a Hauptbauteil Überbau/ Unterbau	Stufe 2b Stat.System	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
15.1	Klappbrücke einzügig				
15.1.1		Überbau Vollquerschnitt zweistegig	Einfeldrig freiauflegend	Metall Stahl	
15.1.1.1					Spezielles Zug- oder Zug-Druck- Lager, z. B. Stahlzugpendel
15.1.1.2					Gelenke
15.1.1.3					Ausstattung für bewegliche Brücken Antrieb
15.1.1.4					Ausstattung für bewegliche Brücken Verriegelung / Verankerung
15.1.1.5					Fluchtweg Tür
15.1.2		Widerlager Massivwand		Stahlbeton	
15.1.2.1					Flachgründung
15.1.3		Widerlager Spundwand		Metall Stahl	
15.1.3.1					Spundwandgründung
15.1.4		Hänger		Metall Stahl	

## **Anhang 3: Tunnelübersicht**

**Arbeitspaket 2: Maßnahmen  
Kategorisierung Tunnel**



**Anhang 3**

Nr.	Stufe 1 Tunnel	Stufe 1a Bauverfahren	Stufe 1b Gefahrguttransporte	Stufe 2 Hauptbauteil	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
1.1	Tunnel in geschlossener Bauweise einröhrig	Spritzbetonbauweise	ja / nein			
1.1.1				Sohle	Beton / Stahlbeton	
1.1.2				Wandung	Beton / Stahlbeton	
1.1.2.1						Notrufeinrichtung
1.1.2.2						Schutz- und Brandschutzeinrichtung
1.1.2.3						Videoüberwachung
1.1.2.4						Signalanlagen
1.1.2.5						Brandschutzverkleidung
1.1.2.6						Raumfuge mit Band
1.1.3				Portal	Beton / Stahlbeton	
1.1.4				Zwischendecke	Beton / Stahlbeton	
1.1.4.1						Schutz- und Brandschutzeinrichtung
1.1.4.2						Videoüberwachung
1.1.4.3						Signalanlagen
1.1.4.4						Brandschutzverkleidung
1.1.5				Fahrbahnplatte	Beton / Stahlbeton	
1.1.6				Zwischenwand	Beton / Stahlbeton	
1.1.6.1						Schutz- und Brandschutzeinrichtung
1.1.6.2						Videoüberwachung
1.1.6.3						Signalanlagen
1.1.6.4						Brandschutzverkleidung
1.1.7				Betriebsgebäude	Beton / Stahlbeton	
1.1.8				Lüftergebäude	Beton / Stahlbeton	
1.1.9				Fluchtstollen	Beton / Stahlbeton	
1.1.9.1						Videoüberwachung

Nr.	Stufe 1 Tunnel	Stufe 1a Bauverfahren	Stufe 1b Gefahrguttransporte	Stufe 2 Hauptbauteil	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
1.2	Tunnel in geschlossener Bauweise zweiröhrig	Spritzbetonbauweise	ja / nein			
1.2.1				Sohle	Beton / Stahlbeton	
1.2.2				Wandung	Beton / Stahlbeton	
1.2.2.1						Notrufeinrichtung
1.2.2.2						Schutz- und Brandschutzeinrichtung
1.2.2.3						Videoüberwachung
1.2.2.4						Signalanlagen
1.2.2.5						Brandschutzverkleidung
1.2.2.6						Raumfuge mit Band
1.2.3				Portal	Beton / Stahlbeton	
1.2.4				Zwischendecke	Beton / Stahlbeton	
1.2.4.1						Schutz- und Brandschutzeinrichtung
1.2.4.2						Videoüberwachung
1.2.4.3						Signalanlagen
1.2.4.4						Brandschutzverkleidung
1.2.5				Fahrbahnplatte	Beton / Stahlbeton	
1.2.6				Zwischenwand	Beton / Stahlbeton	
1.2.6.1						Schutz- und Brandschutzeinrichtung
1.2.6.2						Videoüberwachung
1.2.6.3						Signalanlagen
1.2.6.4						Brandschutzverkleidung
1.2.7				Betriebsgebäude	Beton / Stahlbeton	
1.2.8				Lüftergebäude	Beton / Stahlbeton	
1.2.9				Querstollen	Beton / Stahlbeton	
1.2.9.1						Videoüberwachung
1.2.9.2						Raumfuge mit Band
2.1	Tunnel in geschlossener Bauweise einröhrig	Schildbauweise	ja / nein			
2.1.1				Wandung	Tübbing	
2.1.1.1						Notrufeinrichtung
2.1.1.2						Schutz- und Brandschutzeinrichtung
2.1.1.3						Videoüberwachung
2.1.1.4						Signalanlagen
2.1.1.5						Brandschutzverkleidung
2.1.2				Portal	Beton / Stahlbeton	

Nr.	Stufe 1 Tunnel	Stufe 1a Bauverfahren	Stufe 1b Gefahrquitransporte	Stufe 2 Hauptbauteil	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
2.1.3				Zwischendecke	Beton / Stahlbeton	
2.1.3.1						Schutz- und Brandschutzeinrichtung
2.1.3.2						Videoüberwachung
2.1.3.3						Signalanlagen
2.1.3.4						Brandschutzverkleidung
2.1.4				Fahrbahnplatte	Beton / Stahlbeton	
2.1.5				Betriebsgebäude	Beton / Stahlbeton	
2.1.6				Lüftergebäude	Beton / Stahlbeton	
2.1.7				Fluchtstollen	Beton / Stahlbeton	
2.1.7.1						Videoüberwachung
2.2	Tunnel in geschlossener Bauweise zweiröhrig	Schildbauweise	ja / nein			
2.2.1				Wandung	Tübbinge	
2.2.1.1						Notrufeinrichtung
2.2.1.2						Schutz- und Brandschutzeinrichtung
2.2.1.3						Videoüberwachung
2.2.1.4						Signalanlagen
2.2.1.5						Brandschutzverkleidung
2.2.2				Portal	Beton / Stahlbeton	
2.2.3				Zwischendecke	Beton / Stahlbeton	
2.2.3.1						Schutz- und Brandschutzeinrichtung
2.2.3.2						Videoüberwachung
2.2.3.3						Signalanlagen
2.2.3.4						Brandschutzverkleidung
2.2.4				Fahrbahnplatte	Beton / Stahlbeton	
2.2.5				Betriebsgebäude	Beton / Stahlbeton	
2.2.6				Lüftergebäude	Beton / Stahlbeton	
2.2.7				Querstollen	Beton / Stahlbeton	
2.2.7.1						Videoüberwachung

Nr.	Stufe 1 Tunnel	Stufe 1a Bauverfahren	Stufe 1b Gefahrzutransporte	Stufe 2 Hauptbauteil	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
3.1	Tunnel in offener Bauweise mit Rechteckquerschnitt einzellig		ja / nein			
3.1.1				Sohle	Beton / Stahlbeton	
3.1.2				Außenwand		
3.1.2.1					Beton / Stahlbeton	
3.1.2.1.1						Notrufeinrichtung
3.1.2.1.2						Schutz- und Brandschutzeinrichtung
3.1.2.1.3						Videoüberwachung
3.1.2.1.4						Signalanlagen
3.1.2.1.5						Brandschutzverkleidung
3.1.2.1.6						Raumfuge mit Band
3.1.2.2					Stahl / Glas	
3.1.3				Innen- oder Trennwand	Beton / Stahlbeton	
3.1.3.1						Schutz- und Brandschutzeinrichtung
3.1.3.2						Videoüberwachung
3.1.3.3						Signalanlagen
3.1.3.4						Brandschutzverkleidung
3.1.4				Decke		
3.1.4.1					Beton / Stahlbeton	
3.1.4.1.1						Schutz- und Brandschutzeinrichtung
3.1.4.1.2						Videoüberwachung
3.1.4.1.3						Signalanlagen
3.1.4.1.4						Brandschutzverkleidung
3.1.4.1.5						Raumfuge mit Band
3.1.4.2					Stahl / Glas	
3.1.5				Portal	Beton / Stahlbeton	
3.1.6				Zwischendecke	Beton / Stahlbeton	
3.1.6.1						Schutz- und Brandschutzeinrichtung
3.1.6.2						Videoüberwachung
3.1.6.3						Signalanlagen
3.1.6.4						Brandschutzverkleidung
3.1.7				Fahrbahnplatte	Beton / Stahlbeton	
3.1.8				Betriebsgebäude	Beton / Stahlbeton	
3.1.9				Lüftergebäude	Beton / Stahlbeton	
3.1.10				Fluchtstollen	Beton / Stahlbeton	
3.1.10.1						Videoüberwachung

Nr.	Stufe 1 Tunnel	Stufe 1a Bauverfahren	Stufe 1b Gefahrguttransporte	Stufe 2 Hauptbauteil	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
3.2	Tunnel in offener Bauweise mit Rechteckquerschnitt zweizellig		ja / nein			
3.2.1				Sohle	Beton / Stahlbeton	
3.2.2				Außenwand		
3.2.2.1					Beton / Stahlbeton	
3.2.2.1.1						Notrufeinrichtung
3.2.2.1.2						Schutz- und Brandschutzeinrichtung
3.2.2.1.3						Videoüberwachung
3.2.2.1.4						Signalanlagen
3.2.2.1.5						Brandschutzverkleidung
3.2.2.1.6						Raumfuge mit Band
3.2.2.2					Stahl / Glas	
3.2.3				Innen- oder Trennwand	Beton / Stahlbeton	
3.2.3.1						Schutz- und Brandschutzeinrichtung
3.2.3.2						Videoüberwachung
3.2.3.3						Signalanlagen
3.2.3.4						Brandschutzverkleidung
3.2.4				Decke		
3.2.4.1					Beton / Stahlbeton	
3.2.4.1.1						Schutz- und Brandschutzeinrichtung
3.2.4.1.2						Videoüberwachung
3.2.4.1.3						Signalanlagen
3.2.4.1.4						Brandschutzverkleidung
3.2.4.1.5						Raumfuge mit Band
3.2.4.2					Stahl / Glas	
3.2.5				Portal	Beton / Stahlbeton	
3.2.6				Zwischendecke	Beton / Stahlbeton	
3.2.6.1						Schutz- und Brandschutzeinrichtung
3.2.6.2						Videoüberwachung
3.2.6.3						Signalanlagen
3.2.6.4						Brandschutzverkleidung
3.2.7				Fahrbahnplatte	Beton / Stahlbeton	
3.2.8				Betriebsgebäude	Beton / Stahlbeton	
3.2.9				Lüftergebäude	Beton / Stahlbeton	

Nr.	Stufe 1 Tunnel	Stufe 1a Bauverfahren	Stufe 1b Gefahrguttransporte	Stufe 2 Hauptbauteil	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
4.1	Tunnel in offener Bauweise mit Rechteckquerschnitt einzellig	Einschwimm-/Absenkverfahren	ja / nein			
4.1.1				Sohle	Beton / Stahlbeton	
4.1.2				Außenwand	Beton / Stahlbeton	
4.1.2.1						Notrufeinrichtung
4.1.2.2						Schutz- und Brandschutzeinrichtung
4.1.2.3						Videoüberwachung
4.1.2.4						Signalanlagen
4.1.2.5						Brandschutzverkleidung
4.1.2.6						Raumfuge mit Band
4.1.3				Innen- oder Trennwand	Beton / Stahlbeton	
4.1.3.1						Schutz- und Brandschutzeinrichtung
4.1.3.2						Videoüberwachung
4.1.3.3						Signalanlagen
4.1.3.4						Brandschutzverkleidung
4.1.4				Decke	Beton / Stahlbeton	
4.1.4.1						Schutz- und Brandschutzeinrichtung
4.1.4.2						Videoüberwachung
4.1.4.3						Signalanlagen
4.1.4.4						Brandschutzverkleidung
4.1.4.5						Raumfuge mit Band
4.1.5				Portal	Beton / Stahlbeton	
4.1.6				Zwischendecke	Beton / Stahlbeton	
4.1.6.1						Schutz- und Brandschutzeinrichtung
4.1.6.2						Videoüberwachung
4.1.6.3						Signalanlagen
4.1.6.4						Brandschutzverkleidung
4.1.7				Fahrbahnplatte	Beton / Stahlbeton	
4.1.8				Betriebsgebäude	Beton / Stahlbeton	
4.1.9				Lüftergebäude	Beton / Stahlbeton	
4.1.10				Fluchtstollen	Beton / Stahlbeton	
4.1.10.1						Videoüberwachung



Nr.	Stufe 1 Tunnel	Stufe 1a Bauverfahren	Stufe 1b Gefahrguttransporte	Stufe 2 Hauptbauteil	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
4.2	Tunnel in offener Bauweise mit Rechteckquerschnitt zweizellig	Einschwimm-/Absenkverfahren	ja / nein			
4.2.1				Sohle	Beton / Stahlbeton	
4.2.2				Außenwand	Beton / Stahlbeton	
4.2.2.1						Notrufeinrichtung
4.2.2.2						Schutz- und Brandschutzeinrichtung
4.2.2.3						Videoüberwachung
4.2.2.4						Signalanlagen
4.2.2.5						Brandschutzverkleidung
4.2.2.6						Raumfuge mit Band
4.2.3				Innen- oder Trennwand	Beton / Stahlbeton	
4.2.3.1						Schutz- und Brandschutzeinrichtung
4.2.3.2						Videoüberwachung
4.2.3.3						Signalanlagen
4.2.3.4						Brandschutzverkleidung
4.2.4				Decke	Beton / Stahlbeton	
4.2.4.1						Schutz- und Brandschutzeinrichtung
4.2.4.2						Videoüberwachung
4.2.4.3						Signalanlagen
4.2.4.4						Brandschutzverkleidung
4.2.4.5						Raumfuge mit Band
4.2.5				Portal	Beton / Stahlbeton	
4.2.6				Zwischendecke	Beton / Stahlbeton	
4.2.6.1						Schutz- und Brandschutzeinrichtung
4.2.6.2						Videoüberwachung
4.2.6.3						Signalanlagen
4.2.6.4						Brandschutzverkleidung
4.2.7				Fahrbahnplatte	Beton / Stahlbeton	
4.2.8				Betriebsgebäude	Beton / Stahlbeton	
4.2.9				Lüftergebäude	Beton / Stahlbeton	





Nr.	Stufe 1 Tunnel	Stufe 1a Bauverfahren	Stufe 1b Gefahrguttransporte	Stufe 2 Hauptbauteil	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
5.1	Tunnel in offener Bauweise mit Gewölbequerschnitt einröhrig		ja / nein			
5.1.1				Sohle	Beton / Stahlbeton	
5.1.2				Wandung	Beton / Stahlbeton	
5.1.2.1						Notrufeinrichtung
5.1.2.2						Schutz- und Brandschutzeinrichtung
5.1.2.3						Videoüberwachung
5.1.2.4						Signalanlagen
5.1.2.5						Brandschutzverkleidung
5.1.2.6						Raumfuge mit Band
5.1.3				Portal	Beton / Stahlbeton	
5.1.4				Zwischendecke	Beton / Stahlbeton	
5.1.4.1						Schutz- und Brandschutzeinrichtung
5.1.4.2						Videoüberwachung
5.1.4.3						Signalanlagen
5.1.4.4						Brandschutzverkleidung
5.1.5				Fahrbahnplatte	Beton / Stahlbeton	
5.1.6				Zwischenwand	Beton / Stahlbeton	
5.1.6.1						Schutz- und Brandschutzeinrichtung
5.1.6.2						Videoüberwachung
5.1.6.3						Signalanlagen
5.1.6.4						Brandschutzverkleidung
5.1.7				Betriebsgebäude	Beton / Stahlbeton	
5.1.8				Lüftergebäude	Beton / Stahlbeton	
5.1.9				Fluchtstollen	Beton / Stahlbeton	
5.1.9.1						Videoüberwachung





Nr.	Stufe 1 Tunnel	Stufe 1a Bauverfahren	Stufe 1b Gefahrguttransporte	Stufe 2 Hauptbauteil	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
5.2	Tunnel in offener Bauweise mit Gewölbequerschnitt zweizellig		ja / nein			
5.2.1				Sohle	Beton / Stahlbeton	
5.2.2				Wandung	Beton / Stahlbeton	
5.2.2.1						Notrufeinrichtung
5.2.2.2						Schutz- und Brandschutzeinrichtung
5.2.2.3						Videoüberwachung
5.2.2.4						Signalanlagen
5.2.2.5						Brandschutzverkleidung
5.2.2.6						Raumfuge mit Band
5.2.3				Portal	Beton / Stahlbeton	
5.2.4				Zwischendecke	Beton / Stahlbeton	
5.2.4.1						Schutz- und Brandschutzeinrichtung
5.2.4.2						Videoüberwachung
5.2.4.3						Signalanlagen
5.2.4.4						Brandschutzverkleidung
5.2.5				Fahrbahnplatte	Beton / Stahlbeton	
5.2.6				Zwischenwand	Beton / Stahlbeton	
5.2.6.1						Schutz- und Brandschutzeinrichtung
5.2.6.2						Videoüberwachung
5.2.6.3						Signalanlagen
5.2.6.4						Brandschutzverkleidung
5.2.7				Betriebsgebäude	Beton / Stahlbeton	
5.2.8				Lüftergebäude	Beton / Stahlbeton	
6.1	Teilabgedecktes Bauwerk, balkenartige und plattenartige Konstruktion		ja / nein			
6.1.1				Sohle	Beton / Stahlbeton	
6.1.2				Außenwand		
6.1.2.1					Beton / Stahlbeton	
6.1.2.1.1						Notrufeinrichtung
6.1.2.1.2						Schutz- und Brandschutzeinrichtung
6.1.2.1.3						Videoüberwachung
6.1.2.1.4						Signalanlagen
6.1.2.1.5						Brandschutzverkleidung
6.1.2.1.6						Raumfuge mit Band
6.1.2.2					Stahl / Glas	

Nr.	Stufe 1 Tunnel	Stufe 1a Bauverfahren	Stufe 1b Gefahrguttransporte	Stufe 2 Hauptbauteil	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
6.1.3				Innen- oder Trennwand	Beton / Stahlbeton	
6.1.3.1						Schutz- und Brandschutzeinrichtung
6.1.3.2						Videoüberwachung
6.1.3.3						Signalanlagen
6.1.3.4						Brandschutzverkleidung
6.1.4				Decke		
6.1.4.1					Beton / Stahlbeton	
6.1.4.1.1						Schutz- und Brandschutzeinrichtung
6.1.4.1.2						Videoüberwachung
6.1.4.1.3						Signalanlagen
6.1.4.1.4						Brandschutzverkleidung
6.1.4.1.5						Raumfuge mit Band
6.1.4.2					Stahl / Glas	
6.1.5				Portal	Beton / Stahlbeton	
6.1.6				Betriebsgebäude	Beton / Stahlbeton	



## **Anhang 4: Zusatzmaßnahmen Brücke**



## Brücke Bautechnik

 <b>Brücke</b>		 <b>Bautechnik</b>					
<b>Merkmale</b>	• Schutzmaßnahme:	<b>Erdbebenbemessung</b>					
	• Schutz vor:	Naturkatastrophe					
	• Umsetzung:	vor Eintritt des Ereignisses					
	• Schutz von:	Nutzer / Bauwerk					
	• Umsetzbarkeit:	derzeit möglich					
<p>Im derzeitigen Vorschriftenwerk für die Brückenberechnung existieren keine konkreten Angaben wo und mit welchen Belastungsgrößen infolge Erdbeben zu rechnen ist. Im DIN-FB 101, Einwirkungen auf Brücken, ist im Kapitel II mit Gleichung 9.12 lediglich die Kombinatorik bei Erdbeben angegeben. Welche Lastgrößen in welchen Gebieten anzusetzen sind, enthält die Vorschrift nicht.</p> <p>Die DIN 4149: 2005-04 Bauten in deutschen Erdbebengebieten gilt für Hochbauten und liefert ebenfalls keine Angaben für Brücken.</p> <p>Im EC 8 (DIN 19981-6) Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben, sind Angaben für Brücken zu finden.</p> <p>Im Regelwerk für Brücken ist die Erdbebenbelastung konkret zu definieren. Wo sind Erdbebenlasten und wenn ja mit welchen Beanspruchungsgrößen anzusetzen. Es könnten die Erdbebengebiete entsprechend DIN 4149: 2005-04 verwandt und bezüglich der Beschleunigungswerte Bezug auf den EC 8 genommen werden.</p> <p>Die Lücke im Vorschriftenwerk versucht das Regierungspräsidium Tübingen mit „vorläufigen Regeln für die Bemessung von Brücken“, Stand Januar 2008, zu schließen.</p>							



 <b>Brücke</b>		 <b>Bautechnik</b>					
<b>Merkmale</b>	• Schutzmaßnahme:	<b>Freibordvergrößerung</b>					
	• Schutz vor:	Naturkatastrophe					
	• Umsetzung:	vor Eintritt des Ereignisses					
	• Schutz von:	Nutzer / Bauwerk					
	• Umsetzbarkeit:	derzeit möglich					
<p>In den Brückenvorschriften findet sich derzeit keine Vorgabe eines Freibordes über dem höchsten Hochwasser bis UK Überbau. Als Wert der sich häufig auch in wasserrechtlichen Genehmigungen findet, hat sich ein Wert von 0,5 m eingebürgert. Im Hinblick auf eine mögliche Verklausung (Zusetzen des Freibordes durch Triebgut) bei höheren als den angesetzten Maximalwasserständen, wäre eine alternative Maßnahme zur Erhöhung der Bemessungswasserstände die Vergrößerung des Freibordes.</p> <p>Da die Freiborderhöhung maßgebend vom Durchflussquerschnitt und der Hochwassermenge beeinflusst wird, ist ein generelles Maß der Erhöhung nicht zu definieren.</p> <p>Die maßgebenden Wasserstände werden in Länderregie überregional auf Grund der jeweiligen Randbedingungen definiert. Eine vielfach verwendete Basisgröße stellt ein 100-jähriges Hochwasserereignis dar (HQ 100).</p> <p>Auf diesen Bemessungswasserstand könnte ein Freibordmaß von 1 m oder alternativ gemäß Abstimmung mit den Landesbehörden, ein höheres Hochwasserereignis, z. B. ein HQ 200, mit 50 cm Freibord zu Grunde gelegt werden.</p>							



## Brücke Bautechnik

 <b>Brücke</b>		 <b>Bautechnik</b>	
<b>Merkmale</b>	• Schutzmaßnahme:	<b>Hochwasser-Anpralllast</b>	
	• Schutz vor:	Naturkatastrophe	
	• Umsetzung:	vor Eintritt des Ereignisses	
	• Schutz von:	Nutzer / Bauwerk	
	• Umsetzbarkeit:	derzeit möglich	
<p>Wie in den Medien häufig bei Hochwasserereignissen zu sehen, wird der Brückenfreibord aufgezehrt und Treibgut, im Extremfall sogar Holzhäuser, gegen den Überbau geschwemmt. Wenn eine Freiborderhöhung, z. B. durch Platzprobleme in den Anpassungsbereichen nicht möglich sein sollte, kann eine Überbau-Dimensionierung für Treibgut-Anprall eine geeignete Maßnahme sein, die Brücke vor Zerstörung oder Beschädigung zu schützen.</p> <p><u>Offene Punkte:</u> Welche Anpralllast, welche Lasteinflusslängen (gesamte Brückenlänge konstant, Einzellasten), welche Art von Brücken (leichte Brücken gefährdeter als schwere Überbauten)?</p>			

 <b>Brücke</b>		 <b>Bautechnik</b>	
<b>Merkmale</b>	• Schutzmaßnahme:	<b>Globale Redundanz</b>	
	• Schutz vor:	Naturkatastrophe / Großunfall / Terrorismus	
	• Umsetzung:	vor Eintritt des Ereignisses	
	• Schutz von:	Nutzer / Bauwerk	
	• Umsetzbarkeit:	derzeit möglich	
<p>Aus herstellungstechnischen Gründen wird häufig eine Überbau-Trennung durch eine Längsfuge umgesetzt, da ein Ersatz-Brückenneubau unter Betrieb nur hälftig erfolgen kann. Der Kfz-Verkehr wird dabei während der Bauzeit mit einer provisorischen Verkehrsführung über den verbliebenen Überbau abgewickelt. Diese Möglichkeit, auf nur einem von zwei Überbauten, den gesamten Verkehr provisorisch weiterführen zu können, wird als globale Redundanz verstanden.</p> <p>Wenn es aus Herstellungsgründen nicht erforderlich ist, die Brücke hälftig zu bauen, wie z. B. bei neuen Autobahntrassen, besteht die Möglichkeit, das Tragwerk ohne eine Längsfuge auszubilden.</p> <p>Bei großen Talbrücken (z. B. Ruhrtalbrücke, Moseltalbrücke, Europabrücke Innsbruck) wird aus Herstellungsgründen gerne auf die Längsfuge verzichtet und für den gesamten Straßenquerschnitt ein einteiliger Überbau ausgeführt. Herstellungstechnisch bietet er z. B. beim Taktschieben oder beim Freivorbau Vorteile. Bedenkt man, dass derartige Talbrücken auch eine gewisse Exponiertheit besitzen, ist ein einteiliger Überbau im Hinblick auf ein Schadensereignis ungünstig. Er besitzt keine globale Redundanz.</p> <p>Abhilfe und damit die Möglichkeit den Gesamtverkehr im Schadensfall auf den nicht beeinträchtigten Überbau weiterführen zu können, bieten zweigeteilte Überbauten. In den Entwurfsgrundsätzen der Straßenbauverwaltung könnte festgelegt werden, dass grundsätzlich Brücken in Bundesfernstraßen mit zwei durch Längsfugen voneinander getrennte Überbauten auszuführen sind.</p>			



## Brücke Bautechnik



 <b>Brücke</b>		 <b>Bautechnik</b>	
<b>Merkmale</b>	• Schutzmaßnahme:	<b>Anprallschutz</b>	
	• Schutz vor:	Großunfall / Terrorismus	
	• Umsetzung:	vor Eintritt des Ereignisses	
	• Schutz von:	Nutzer / Bauwerk	
	• Umsetzbarkeit:	derzeit möglich	
<p>Stützen, Hänger und Seile von Brückentragwerken befinden sich unmittelbar neben dem Verkehrsweg und sind nach DIN-FB 101 Kap. IV-4.7.3.1 für Anpralllasten nachzuweisen. Bei Stützen ist lt. DIN-FB 101 Kap. 4.7.3.1 immer zusätzlich zur Anpralllastbemessung eine Schutzeinrichtung (Leitplanke) oder ein Betonsockel vorzusehen. Damit ist der Anprallschutz erfüllt.</p> <p>Werden für sonstige Bauteile zusätzliche Schutzmaßnahmen nach Kap. 4.7.3.4 zwischen Fahrbahn und tragendem Bauteil vorgesehen, können bei Hängern und Seilen die Belastungen infolge Anprall abgemindert werden. Auf wie viel ist nicht angegeben, da lt. Absatz 3 hierfür die zuständige Behörde die geringeren Lasten festlegt. Die zusätzlichen Schutzmaßnahmen sind wie bei Stützen entweder Schutzeinrichtungen (Leitplanken) in festgelegtem Abstand zum Bauteil oder Betonsockel mit festgelegten Abmessungen.</p> <p>Als geeignete Maßnahme zum Anprallschutz von Hängern und Seilen kommen nur Schutzeinrichtungen in Form von Leitplanken oder Schutzwänden in Betracht. Hierfür muss eine genaue Vorgabe im Vorschriftenwerk definiert werden, ob und mit welcher Größe darüber hinaus Anpralllasten zu berücksichtigen sind.</p> <p>Gemäß RPS 2007 (Entwurf) gilt am Fahrbahnrand für einsturzgefährdete Bauwerke (dazu werden Hänger und Seile gezählt) die Gefährdungsstufe 1, und hierfür an Autobahnen o. ä. die höchste Aufhaltstufe H4b. Diese gilt auch für Mittelstreifen bei hohem LKW-Anteil (sonst H2). Für zugelassene Leitplanken mit der Aufhaltstufe H4B ist mit günstigster Wirksamkeitsklasse W4 ein Wirksamkeitsbereich von mind. 1,30 m vorzusehen.</p>			

 <b>Brücke</b>		 <b>Bautechnik</b>	
<b>Merkmale</b>	• Schutzmaßnahme:	<b>Konstruktiver Brandschutz</b>	
	• Schutz vor:	Großunfall / Terrorismus	
	• Umsetzung:	vor Eintritt des Ereignisses	
	• Schutz von:	Nutzer / Bauwerk	
	• Umsetzbarkeit:	derzeit möglich / weitere technische Entwicklung erforderlich	
<p>Derzeit werden in den Brückenbau-Regelwerken keinerlei Maßnahmen im Hinblick auf den Brandschutz gefordert. Durch einen Großunfall, wie dem LKW-Brand auf der A4 bei Gummersbach, kann ein Bauwerk so stark durch Feuereinwirkungen in Mitleidenschaft gezogen werden, dass es gesperrt und in Teilen vollständig ersetzt werden muss. Für den konstruktiven Brandschutz könnten folgende Maßnahmen ergriffen werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Berücksichtigung von Brandszenarien über untenliegenden Verkehrswegen / gesamte Brückenlänge.</li> <li>- In Abhängigkeit vom Höhenabstand des Überbaues zu untenliegenden Verkehrswegen variable Temperaturbeanspruchungen.</li> <li>- Stufe 1: konstruktive Maßnahmen, ausreichend große Betondeckung der Bewehrung.</li> <li>- Stufe 2: Bemessung für den Brandfall. Wie diese anzusetzen wäre und mit welchen Temperaturen müsste noch festgelegt werden. (im Rahmen von SKRIBT?)</li> <li>- Kein Einsatz von Stahl- und Verbundbrücken mit untenliegender Stahlkonstruktion, wenn kein ausreichender (unkritischer) Abstand nach unten. Alternativ Brandschutz-Anstrich.</li> <li>- Seile und Hänger neben dem Fahrweg, für den Fall, dass eine Temperaturgefährdung infolge Brand überhaupt stattfinden sollte, mit Brandschutz-Anstrich versehen (hierzu ist eine Klärung der Relevanz durchzuführen, Versuche bzw. Ergebnisse nicht bekannt).</li> </ul>			







## Brücke Bautechnik

 <b>Brücke</b>		 <b>Bautechnik</b>	
<b>Merkmale</b>	• Schutzmaßnahme:	<b>Ausfallbemessung</b>	
	• Schutz vor:	Großunfall / Terrorismus	
	• Umsetzung:	vor Eintritt des Ereignisses	
	• Schutz von:	Nutzer / Bauwerk	
	• Umsetzbarkeit:	derzeit möglich	
<p>Gemäß DIN-FB 103 Kapitel II-A.2.5 ist bei Brücken der Austausch von Seilen statisch zu berücksichtigen. Gefordert wird der Nachweis für ein auszuwechselndes bzw. fehlendes Seil. Der DIN-FB 103 gilt gemäß Kapitel II-A.1.1 auch für Hänger einer Bogenbrücke, sofern diese aus vollverschlossenen Seilen bestehen (äußerst seltener Fall). Im gesamten DIN-FB-Werk findet sich keine Regelung wie mit Hängern umgegangen werden soll.</p> <p>Als Maßnahme sollte im Regelwerk die Regelung der alten DIN 18809 aufgenommen werden, wonach der „Ausbau jedes Seiles oder Hängers einzeln möglich“ sein soll. Alternativ kann auch der Vorschlag aus der Erfahrungssammlung zum DIN-FB 101 von 2005 umgesetzt werden, der besagt, „falls einzelne Tragglieder für Anpralllasten ... nicht bemessen werden können (z. B. Hänger von Stabbogenbrücken oder Seile), ist das durch den Ausfall eines Traggliedes entstehende neue statische System ... nachzuweisen, ...“.</p> <p>Die für den Bauteilaustausch vorgesehene Regelung greift auch im Falle eines Terroranschlages. Als geeignete Maßnahme für weitergehende Szenarien könnte der Ausfall von zwei Hängern bzw. Seilen anstatt einem bemessungstechnisch nachgewiesen werden. Da die Bauteile schlagartig ausfallen können, wäre zusätzlich ein dynamischer Überhöhungsfaktor (1,5 – 2,0 ausreichend??) zu berücksichtigen.</p>			



 <b>Brücke</b>		 <b>Bautechnik</b>	
<b>Merkmale</b>	• Schutzmaßnahme:	<b>Schnellreparatur</b>	
	• Schutz vor:	Naturkatastrophe / Großunfall / Terrorismus	
	• Umsetzung:	nach Eintritt des Ereignisses	
	• Schutz von:	Bauwerk	
	• Umsetzbarkeit:	derzeit möglich	
<p>Für den Fall, dass ein kritisches Bauwerk nicht oder nur unverhältnismäßig teuer robust gegen Gefahren, insbesondere Terrorereignisse, ausgebildet werden kann, stellt die Strategie der „Schnellreparatur“ einen möglichen Ansatz dar. Dies bedeutet, dass die Brückenkonstruktion beim Neubau bereits so vorgesehen werden muss, dass im Schadensfall ein möglichst schnelles wegräumen des Bestandes und ein schnellstmöglicher Ersatz erreicht werden kann.</p> <p>Mit getrennten Überbauten wird eine Redundanz geschaffen und eine schnelle Umleitungsmöglichkeit für den Gesamtverkehr auf die nicht zerstörten Teile erreicht. Mit Einfeldträgern statt Durchlaufträgern wird der Zerstörungs-Einflussbereich auf ein Minimum lokal begrenzt. Um die Bauwerksreparatur unverzüglich vor Ort umsetzen zu können, ist als flankierende Maßnahme auf eine erneute Planung zu verzichten. Die Reparatur wird ausschließlich nach den Ursprungs-Planungen, egal wie alt sie sind und nach welchen Normen sie erstellt wurden, ausgeführt.</p> <p>Ein weiterer Maßnahmenbaustein ist der Verzicht auf die üblichen Bau-Vergabeverfahren und die freihändige Vergabe der Bauleistungen eventuell gekoppelt mit neuen Vertragsformen ohne Leistungsverzeichnis (z. B. Selbstkosten-Erstattungsvertrag).</p>			



## Brücke Bautechnik

 <b>Brücke</b>		 <b>Bautechnik</b>	
<b>Merkmale</b>	• Schutzmaßnahme:	<b>Pfeilerschutz</b>	
	• Schutz vor:	Terrorismus	
	• Umsetzung:	vor Eintritt des Ereignisses	
	• Schutz von:	Bauwerk	
	• Umsetzbarkeit:	derzeit möglich	
<p>Pfeiler sind im Regelfall für Terroranschläge relativ leicht zugänglich und nicht mit einer Schutz- und/oder Überwachungseinrichtung ausgestattet. Das Szenario Pfeilerausfall ist nicht normativ geregelt und aus ökonomischer und bautechnischer Sicht kaum realisierbar.</p> <p>Neben der Möglichkeit einer nachträglich aufgetragenen Schutzschicht, besteht die Möglichkeit einer Auslegung des Pfeilers für Terrorszenarien bereits beim Neubau der Brücke. Eine effektive Maßnahme ist hierbei eine Stahlverbundkonstruktion mit eingestellten massiven Stahlprofilen, die auf Grund ihrer hohen Duktilität dem Explosionsdruck einer Kontakt- oder Nahdetonation standhält. Der umliegende Beton wirkt dabei als Verschleißschicht und dämpft die auftretenden hohen Stoßwellen ab. Der Einsatz von hochfestem Faserbeton kann zu einer weiteren Steigerung des Bauteilwiderstands führen.</p> <p>Belastungsszenarien sind im Detail noch zu definieren und Bemessungsvorschläge für geeignete Pfeilerkonstruktionen sind zu erarbeiten. Der direkte Pfeilerschutz kann in Kombination mit der Schutzmaßnahme „Abstands- und Erreichbarkeitsvergrößerung“ kombiniert werden und muss dementsprechend nicht zwingend über die gesamte Pfeilerhöhe durchgeführt werden.</p>			



 <b>Brücke</b>		 <b>Bautechnik</b>	
<b>Merkmale</b>	• Schutzmaßnahme:	<b>Oberflächenschutz</b>	
	• Schutz vor:	Terrorismus	
	• Umsetzung:	vor Eintritt des Ereignisses	
	• Schutz von:	Bauwerk	
	• Umsetzbarkeit:	derzeit möglich / weitere technische Entwicklung erforderlich	
<p>Der Einsatz eines Absorberbetonvorsatzes vergrößert den Abstand zwischen der Explosionsquelle und dem eigentlichen tragenden Bauteil. Der Explosionsdruck nimmt mit dem Abstand überproportional ab, so dass diese Maßnahme sehr wirkungsvoll eingesetzt werden kann. Der Absorberbeton ist ein druckfester, aber gleichzeitig stark komprimierbarer Baustoff, der als Verschleißschicht die hohen Stoßwellen einer Kontakt- oder Nahdetonation abdämpfen kann. Als Material für den Absorberbeton kommt z.B. ein Polymerbeton mit Maisspindelzuschlägen in Frage, der bei ca. 10% Stauchungsvermögen eine Druckfestigkeit von 15 MN/m<sup>2</sup> erreicht. [Quelle: M. Gallenmüller, Fraunhofer EMI]</p> <p>Die Maßnahme kann sowohl beim Neubau in Form einer Multi-Layer-Konstruktion in Kombination mit Verbund- bzw. hochfesten Faserbetonstützen als auch zur nachträglichen Ertüchtigung bestehender Einzeltragglieder einer Brücke (Hänger, Pfeiler) verwendet werden.</p> <p>Belastungsszenarien sind im Detail noch zu definieren und Bemessungsvorschläge für geeignete Pfeilerkonstruktionen sind zu erarbeiten. Insbesondere bei der Anwendung zum</p>			

## Brücke Bautechnik



 <b>Brücke</b>		 <b>Bautechnik</b>	
<b>Merkmale</b>	• Schutzmaßnahme:	<b>Hänger-, Seil-, Spanngliedverkleidung</b>	
	• Schutz vor:	Terrorismus	
	• Umsetzung:	vor Eintritt des Ereignisses	
	• Schutz von:	Bauwerk	
	• Umsetzbarkeit:	derzeit möglich	
<p>Freiliegende Tragwerkselemente von Brücken wie Hänger, Seile oder Spannglieder bei unterspannten Tragwerken (hier von unten frei zugängliche Spannglieder und keine externe Vorspannung innerhalb von Hohlkästen) sind relativ leicht erreichbar. Sie sind im Hinblick auf Terroriszenarien somit von besonderer Bedeutung und Schutzwürdigkeit. Da die Sprengwirkung mit zunehmendem Abstand zwischen Ladung und Bauteil abnimmt, ist eine Schutz-Verkleidung als Maßnahme darstellbar. Der Ansatz stellt insofern eine Weiterführung der Strategie „Abstands- / Erreichbarkeitsvergrößerung“ durch Zäune dar.</p> <p>Mit der Schutzverkleidung wird ein direktes Befestigen von Sprengsätzen an den freiliegenden Brückenbauteilen verhindert und ein „Schutzwall“ aufgebaut.</p> <p>Zu klären ist die Frage, welche Schutzverkleidungsabstände sind für welche Szenarien einzuhalten und sind diese geometrisch unterzubringen.</p> <p>Die Schutzverkleidung muss nicht auf gesamter freiliegender Länge vorgesehen werden. Es wird bei Hängern und Seilen, die sich in der Regel unmittelbar neben dem überführten Verkehrsweg befinden, ein Bereich bis 4,50 m über dem Fahrbahnniveau (Lichtraum gemäß RAS-Q) als Schutzzone vorgeschlagen. Darüber ist die Erreichbarkeit sehr erschwert, da ohne Hilfselemente nicht erreichbar.</p> <p>Bei den Spanngliedern unterhalb von Brücken ist die Erreichbarkeit von Natur aus schwieriger. Hier wäre im Einzelfall zu prüfen, in wieweit die Schutzverkleidung Verbesserungen erreicht.</p>			



 <b>Brücke</b>		 <b>Bautechnik</b>	
<b>Merkmale</b>	• Schutzmaßnahme:	<b>Lagerschutz</b>	
	• Schutz vor:	Terrorismus	
	• Umsetzung:	vor Eintritt des Ereignisses	
	• Schutz von:	Bauwerk	
	• Umsetzbarkeit:	derzeit möglich	
<p>Brückenlager befinden sich in der Mehrzahl auf den Widerlagern und auf Stützen- bzw. Wandköpfen. Dadurch ist die Lagererreichbarkeit von vornherein erschwert. Bei einigen Brücken befinden sich aber Lager auch unten in Höhe des Geländeniveaus, z. B. bei Pendelstützen.</p> <p>Zur Erschwerung der Erreichbarkeit sollte auf Brückenlager in Höhe des Geländeniveaus immer verzichtet werden. Dem gemäß sollten auch keine Pendelstützen zum Einsatz kommen.</p> <p>Die Wirkung einer Sprengung reduziert sich stark mit zunehmendem Abstand der Ladung zum Sprenggegenstand. Zum Schutz von Brückenlagern kann eine flächige Abdeckung des Lagerspaltes (OK Lagerbank/Stütze bis UK Überbau) in Analogie zum Vogel-Einflugschutz (sh. Richtzeichnung VES 1) vorgesehen werden.</p> <p>Damit ist die Platzierung von Sprengsätzen unmittelbar an den Brückenlagern unterbunden. Gleichzeitig wird das Nisten von Vögeln verhindert.</p> <p>Durch den Lagerspaltverschluss ergeben sich gewisse Erschwernisse für die Brückenprüfung. Diese werden aber kompensiert durch die Erhöhung an Sauberkeit (kein Vogelkot).</p>			

**Brücke Bautechnik**



 <b>Brücke</b>	 <b>Bautechnik</b>	
<b>Merkmale</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schutzmaßnahme:</li> </ul>	<b>Pfeilerscheibe statt Stütze</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schutz vor:</li> </ul>	Terrorismus
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Umsetzung:</li> </ul>	vor Eintritt des Ereignisses
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schutz von:</li> </ul>	Nutzer / Bauwerk
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Umsetzbarkeit:</li> </ul>	derzeit möglich
<p>Nach DIN-FB 101, Kap. 4.7.3.1 ist bei unterstützenden Bauteilen eine Anprallbemessung durchzuführen. Die Anpralllasten sind nicht anzusetzen bei Stützen mit mindestens 1,60 m Durchmesser bzw. Dicke und bei Wandscheiben mit mind. 0,90 m Dicke und gleichzeitig <math>\geq 3,50</math> m Länge. Aus diesen Mindestabmessungen ist ersichtlich, dass Wandscheiben robuster sind als Einzelstützen, da Sie mit geringerer Dicke das gleiche Schutzziel erreichen.</p> <p>Im Hinblick auf terroristische Szenarien ist zur Gefährdungsminderung bzw. zur Erschwerung der Zerstörungsmöglichkeiten einer Wandscheibe der Vorzug vor Einzelstützen zu geben.</p>		

**Brücke Betrieb**

 <b>Brücke</b>	 <b>Betrieb</b>	
<b>Merkmale</b>	• Schutzmaßnahme:	<b>Zugangsüberwachung</b>
	• Schutz vor:	Terrorismus
	• Umsetzung:	vor Eintritt des Ereignisses
	• Schutz von:	Bauwerk
	• Umsetzbarkeit:	derzeit möglich
<p>Die Hohlkästen von Brücken sowie begehbare Pfeiler größerer Bauwerke sind über Türen oder Einstiegsluken erreichbar (vgl. Richtzeichnungen Zug 1ff). Bislang sind diese Zugänge nur relativ einfach verschlossen. Entweder werden Sie alleine mit speziellen Schubstangenschlüsseln (vgl. RiZ Zug 3) oder zusätzlich mit Durchsteckschlüsseln (vgl. RiZ Zug 5) gesichert.</p> <p>Zur Vermeidung von Terroraktionen innerhalb der Brückenkonstruktion muss deren Zugänglichkeit verhindert werden. Um dies zu erreichen, müssen alle Brückenzugänge von Außen einbruchssicher ausgebildet werden. Dazu gehört eine sichere Verschießtechnik und eine Einbruchsüberwachung mit entsprechender Detektions- und Übertragungsmöglichkeit. Erforderlich ist dazu auch eine entsprechende Leitwarte, wo die Kontaktmeldungen auflaufen und entsprechende Überprüfungen in Gang gesetzt werden können.</p>		



 <b>Brücke</b>	 <b>Betrieb</b>	
<b>Merkmale</b>	• Schutzmaßnahme:	<b>Parkverbot</b>
	• Schutz vor:	Großunfall / Terrorismus
	• Umsetzung:	vor Eintritt des Ereignisses
	• Schutz von:	Nutzer / Bauwerk
	• Umsetzbarkeit:	derzeit möglich
<p>Von Kraftfahrzeugen, die unter Brücken halten oder parken, geht eine potentielle Gefährdung aus. Diese besteht zum einen in einem Brandszenario und zum anderen in Terrorakten. Beide Gefährdungen lassen sich durch ein generelles Halte- und Parkverbot für Kraftfahrzeuge unter Brücken vermeiden.</p> <p>In Frankreich ist diese Maßnahme bereits umgesetzt.</p>		



**Brücke Betrieb**

 <b>Brücke</b>	 <b>Betrieb</b>	
<b>Merkmale</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schutzmaßnahme:</li> </ul>	<b>Glatteisvermeidung durch Geothermie</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schutz vor:</li> </ul>	Großunfall
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Umsetzung:</li> </ul>	vor Eintritt des Ereignisses
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schutz von:</li> </ul>	Nutzer
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Umsetzbarkeit:</li> </ul>	derzeit möglich
<p>In Winterzeiten wird der Straßenverkehr teils empfindlich durch Frost und Schnee behindert. Insbesondere auf Brücken ist die relativ ungeschützte Fahrbahn schon früher als die angrenzende Strecke beeinträchtigt.</p> <p>Zur Vermeidung von Unfällen auf Brücken ist es möglich, Erdwärme für eine Fahrbahnheizung zu nutzen. Dazu werden z. B. Förderbrunnen gebohrt und Grundwasser mit etwa 10°C gefördert und über Wärmepumpen an die Heizregister im Fahrbahnbelag geleitet. Die Belagheizung erwärmt die Fahrbahn in ausreichendem Maße, so dass keine Eisbildung mehr entstehen kann.</p> <p>Ebenso ist es möglich, mit dem System im Sommer die Fahrbahn zu kühlen und die überschüssige Energie temporär in Erdspeichen zwischenzulagern, um sie im Winter wieder zu Heizzwecken zu fördern (vgl. Referenzprojekt SERSO im Zuge der A8, Schweiz).</p>		

## **Anhang 5: Zusatzmaßnahmen Tunnel**



## Tunnel Bautechnik



			
<b>Merkmale</b>	• Schutzmaßnahme:	<b>Erdbebenbemessung</b>	
	• Schutz vor:	Naturkatastrophe	
	• Umsetzung:	vor Eintritt des Ereignisses	
	• Schutz von:	Nutzer / Bauwerk	
	• Umsetzbarkeit:	derzeit möglich / weitere technische Entwicklung erforderlich	
<p>Für Tunnelbauwerke erfolgt in Deutschland derzeit keine Bemessung für Erdbebenbelastungen. Es wird dabei davon ausgegangen, dass die im Untergrund eingebetteten Bauwerke anders als Bauwerke oberhalb des Geländers, nicht durch Querbeschleunigungen angeregt werden und dadurch Schaden erleiden.</p> <p>Vom Regierungspräsidium Tübingen gibt es mit Stand Januar 2008 aufgestellte „Vorläufige Regeln für die Erdbebenbemessung von Brücken“. Diese sollen in Zukunft auch für Tunnelbauwerke angewendet werden.</p> <p>Es wäre abschließend zu klären, ob für Tunnelbauwerke in offener bzw. geschlossener Bauweise in Erdbebengebieten bislang Schäden durch Erdbeben entstanden sind.</p> <p>Es wäre dann der Frage nachzugehen, ob künftig eine Erdbebenbemessung erforderlich ist oder nicht und mit welchen Beanspruchungsgrößen gerechnet werden muss.</p>			

			
<b>Merkmale</b>	• Schutzmaßnahme:	<b>Höhere Bemessungswasserstände</b>	
	• Schutz vor:	Naturkatastrophe	
	• Umsetzung:	vor Eintritt des Ereignisses	
	• Schutz von:	Nutzer / Bauwerk	
	• Umsetzbarkeit:	derzeit möglich	
<p>Tunnelanlagen werden häufig durch außenstehendes Grund- oder Bergwasser beansprucht. Sofern die Wasserdrücke durch den Meeresspiegel, durch Flusswasserstände oder durch allgemein schwankendes Grundwasser beeinflusst werden, sind gesicherte Höchstwerte für die Bauwerksdimensionierung festzulegen. Dazu sind die Erkenntnisse neuerer Klimaerhebungen einzubeziehen.</p> <p>Der Meeresspiegel ist unter Berücksichtigung von Gezeiten und seltenen Hochwasserereignissen und unter Berücksichtigung global steigenden Meeresspiegelniveaus festzulegen. Bei Flussläufen sollte ein von den Landesbehörden anhand der jeweiligen Rahmenbedingungen definiertes Hochwasserszenario zugrunde gelegt werden. Bei schwankenden Grundwasserständen sollte der höchste jemals in der Vergangenheit gemessene Wasserstand plus einem Zuschlag von z. B. 1 m (vgl. U-Bahnbau Düsseldorf) zugrunde gelegt werden. Wichtig ist dabei aber, dass es sich um von Menschenhand unbeeinflusste Wasserstände handelt. Es muss hierzu ggf. recherchiert werden, ob permanente Grundwasserentnahmen durch Industriebetriebe die maßgebenden Grundwasserstände beeinflussen.</p>			







## Tunnel Bautechnik

			
<b>Merkmale</b>	• Schutzmaßnahme:	<b>Hochwasserschutz Tunnelrampen</b>	
	• Schutz vor:	Naturkatastrophe	
	• Umsetzung:	vor Eintritt des Ereignisses	
	• Schutz von:	Nutzer / Bauwerk	
	• Umsetzbarkeit:	derzeit möglich	
<p>Die einen Tunnel vorgelagerten Rampen sind z. B. bei der Querung von Flussläufen hochwasserfrei auszubilden, so dass über die Rampen der Tunnel nicht volllaufen kann.</p> <p>Als Möglichkeit des Schutzes sind entweder entsprechend hoch ausgebildete umlaufende Deiche oder Wände der Rampen-Trogbauwerke vorzusehen. Zu beachten ist auch, dass die oberen Trogeinfahrten hochwasserfrei festgelegt werden.</p> <p>Die maßgebenden Wasserstände müssen unter Beachtung globaler Klimaauswirkungen beim Meeresspiegel sowie Flusswasserständen festgelegt werden.</p>			



			
<b>Merkmale</b>	• Schutzmaßnahme:	<b>Globale Redundanz</b>	
	• Schutz vor:	Großunfall / Terrorismus	
	• Umsetzung:	vor Eintritt des Ereignisses	
	• Schutz von:	Nutzer / Bauwerk	
	• Umsetzbarkeit:	derzeit möglich	
<p>Tunnel im Zuge von Fernstraßen sind gekennzeichnet durch eine hohe Verkehrsbelastung. Demgemäß sind nach RAS-Q ab einem DTV von 20.000 Kfz/24h getrennte Richtungsfahrbahnen auszuführen. Für bergmännisch hergestellte Tunnel werden für jede Richtungsfahrbahn separate Röhren aufgeföhren. Hierdurch ist eine globale Redundanz gegeben und bei Störungen / Unfällen bzw. Reparaturen eine schnelle Umleitungsmöglichkeit zur Abwicklung des Gesamtverkehrs gegeben.</p> <p>Offen hergestellte Tunnelanlagen werden im Normalfall als mehrzellige Rahmentragwerke ausgebildet. Dabei sind die Richtungsfahrbahnen nur durch eine Mittelwand voneinander getrennt. Bei Schädigungen des Tragwerkes in einer Röhre kann es zu Folgeschädigungen in der anderen Tunnelzelle kommen. Somit besitzen derartige Bauwerke keine globale Redundanz.</p> <p>Eine Möglichkeit hierfür Abhilfe zu schaffen, wäre die ergänzende Bemessung jeder Röhre als Einzeltragwerk.</p> <p>Bei Verkehrsstärken unter 20.000 Kfz/24h werden Gegenverkehrstunnel realisiert, die keine globale Redundanz besitzen. Je nach Verkehrsbedeutung ließe sich die globale Redundanz durch den Bau einer zweiten Röhre als Ersatz für den erforderlichen Rettungstollen herstellen.</p>			

## Tunnel Bautechnik

				
<b>Merkmale</b>	• Schutzmaßnahme:	<b>Ausfallbemessung</b>		
	• Schutz vor:	Großunfall / Terrorismus		
	• Umsetzung:	vor Eintritt des Ereignisses		
	• Schutz von:	Nutzer / Bauwerk		
	• Umsetzbarkeit:	derzeit möglich / weitere technische Entwicklung erforderlich		
<p>Bei Tunnelanlagen in Lockergestein und gleichzeitig anstehendem Grundwasser führt eine Schädigung der Tunnelkonstruktion schnell zum Totalverlust der betroffenen Röhre durch eingespültes Boden-/Wassergemisch. Über die Portale kann im ungünstigsten Fall auch die Nachbarröhre überflutet werden.</p> <p>Wenn die Tunnelportale hinter einer Deichlinie angeordnet sind, kann sogar über den zerstörten Tunnel der Hochwasserschutz aufgebrochen werden und das Hinterland überfluten.</p> <p>Eine Möglichkeit wäre die Tunnelröhre bzw. die Konstruktion unmittelbar für einen Sprengstoffanschlag zu dimensionieren (sofern möglich).</p>				

				
<b>Merkmale</b>	• Schutzmaßnahme:	<b>Hochwasser-Querschotts</b>		
	• Schutz vor:	Naturkatastrophe / Großunfall / Terrorismus		
	• Umsetzung:	vor Eintritt des Ereignisses		
	• Schutz von:	Nutzer / Bauwerk		
	• Umsetzbarkeit:	derzeit möglich		
<p>Für den Fall der Zerstörung einer Tunnelröhre (infolge Unfall oder Terroranschlag) mit anschließendem Wassereinbruch wäre der Einbau von Querschotts eine Maßnahme zum Schutz von Hinterland (Polderschutz) und Nachbarröhre.</p> <p>Querschotts im Bereich der Tunnelportale (Wehrkammer) bieten auch einen Schutz der Tunnelanlage vor Hochwasserüberflutung von außen.</p> <p>Kritisch zu bewerten ist, dass die Schotts schnell geschlossen werden müssen, und dass Hindernisse die Schottdichtigkeit beeinträchtigen können.</p> <p>Weitere Querschotts innerhalb der Tunnelstrecke führen zu Sonderbauwerken.</p> <p>Es besteht auch die Möglichkeit, eine Tunnelröhre durch Querschotts zusätzlich in Brandabschnitte zu segmentieren. Innerhalb der Schotts könnte eine Brandbekämpfung mit Schutzgas durchgeführt werden. Das Dichtigkeitsproblem der Schotts besteht auch für diesen Einsatzfall.</p>				

**Tunnel Bautechnik**

			
<b>Merkmale</b>	• Schutzmaßnahme:	<b>Druckentlastung</b>	
	• Schutz vor:	Großunfall / Terrorismus	
	• Umsetzung:	vor Eintritt des Ereignisses	
	• Schutz von:	Nutzer / Bauwerk	
	• Umsetzbarkeit:	derzeit möglich / weitere technische Entwicklung erforderlich	
<p>Durch Unfall oder Terroranschlag verursachte Explosionen innerhalb einer Tunnelröhre führen wegen des „engen und gewehrlaufähnlichen“ Querschnitts zu erheblichen Schäden.</p> <p>Eine Abhilfe könnte eine Vergrößerung des Tunnelquerschnittes sein, um die Druckausbreitung zu minimieren. Alternativ ließe sich dieser Effekt auch durch zusätzliche Entlastungssysteme (z. B. Kavernen mit Abströmkaminen) erzielen.</p>			

**Anhang 6: Wirksame Maßnahmen  
Brückenkonstruktion für  
Initialereignis Explosion**



**Anhang 7: Wirksame Maßnahmen  
Tunnelkonstruktion für  
Initialereignis Explosion**

Arbeitspaket 5:

Wirksame Maßnahmen Tunnelkonstruktion



E: Entwurf  
B: Bemessung  
K: Konstruktion

N: Nachrüstung

für: Initialereignis Explosion

Stand: 05.07.2011 / SP

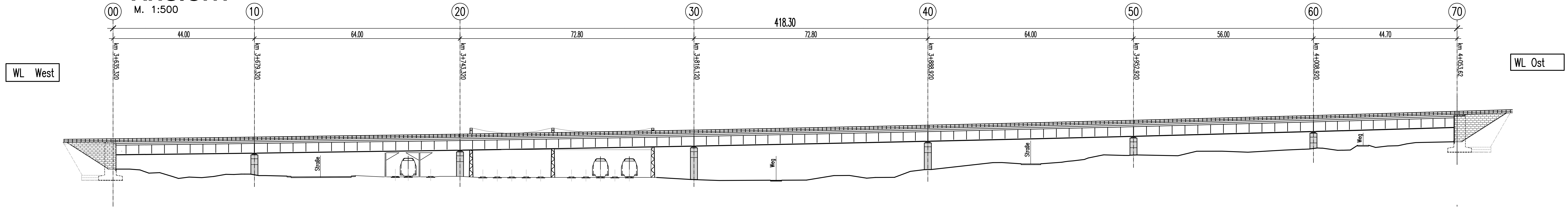
Nr.	Stufe 1 Tunnel	Stufe 1a Bauverfahren	Stufe 2 Hauptbauteil	Beurteilungs-Lf EMI	Sprengstoffmenge	Geologie/GW		Schadensstufe		ID	Maßnahmen - Kurzbeschreibung	Schadensstufe		Maßnahmeumsetzung für Zielgruppe	
						günstig	ungünstig	Bauteil	Bauwerk			Bauwerk	Verbesserungspotential	Eigentümer	Betreiber
1.1	Tunnel in geschlossener Bauweise einröhrig									T02	Mikrobew.Hochleistungsbeton, Vorsatzschale		+	E: Vertretbare Schichtdicken nur für Koffer- und PKW-Ladung umsetzbar, Dicke etwa 15-30 cm (sh.6.2.1.1); B: Dicke Vorsatzschale im Einzelfall festlegen (sh.6.2.1.2)	N: Nachrüstung Vorsatzschale möglich, sofern Lichtraum dies erlaubt (sh.6.2.2.2)
										T05	Dämpferbeton		-	Materialverhalten ähnlich T02, Brandschutz derzeit ungelöst	
										T07	Dimensionierung für Explosionslasten		+	B: Dimensionierung für Innendruck bei PKW-Ladung oder Ausfallbemessung mit spezifischer Fehlstelle bzw. mit Erhalt der szenarioabgewandten Röhre ohne Nachbarröhre (sh.6.2.1.2); K: Symmetrische Bewehrung, Rahmenknoten für positive und negative Momente auslegen, ggf. Zusatzmaßnahmen zur Horizontallastabtragung (sh.6.2.1.3)	N: keine nachträgliche Umsetzung möglich
										T 21	Globale Redundanz		+	E: Rettungsstollen durch Fahröhre ersetzen, Sonderquerschnitt (sh. 6.2.1.1)	N: Ersatz Rettungsstollen durch Fahröhre; zus.Fahröhre (sh.6.2.2.2)
1.1.6			Zwischenwand					Beispiele							
						ja		4	4	T21					
1.2	Tunnel in geschlossener Bauweise zweiröhrig														
		Spritzbetonbauweise								T02	Mikrobew.Hochleistungsbeton, Vorsatzschale		+	E: Vertretbare Schichtdicken nur für Koffer- und PKW-Ladung umsetzbar, Dicke etwa 15-30 cm (sh.6.2.1.1); B: Dicke Vorsatzschale im Einzelfall festlegen (sh.6.2.1.2)	N: Nachrüstung Vorsatzschale möglich, sofern Lichtraum dies erlaubt (sh.6.2.2.2)
										T07	Dimensionierung für Explosionslasten		+	B: Dimensionierung für Innendruck bei PKW-Ladung oder Ausfallbemessung mit spezifischer Fehlstelle bzw. mit Erhalt der szenarioabgewandten Röhre ohne Nachbarröhre (sh.6.2.1.2); K: Symmetrische Bewehrung, Rahmenknoten für positive und negative Momente auslegen, ggf. Zusatzmaßnahmen zur Horizontallastabtragung (sh.6.2.1.3)	N: keine nachträgliche Umsetzung möglich
1.2.2			Wandung					Beispiele							
						ja	ja	4	3	T02_07					
1.2.2.6			Konstruktionsstiel Raumfuge mit Band												
				bei allen Konstruktionen											
1.2.4			Zwischendecke					Beispiele							
						ja		4	4						
						ja	ja	5	3	T02_07	keine Maßnahme wirtschaftlich				
1.2.5			Fahrbahnplatte ca. 25cm	dünnere Aufbau											

**Anhang 8: Demonstrationsobjekt  
Brücke Ohne-Fall**



### ANSICHT

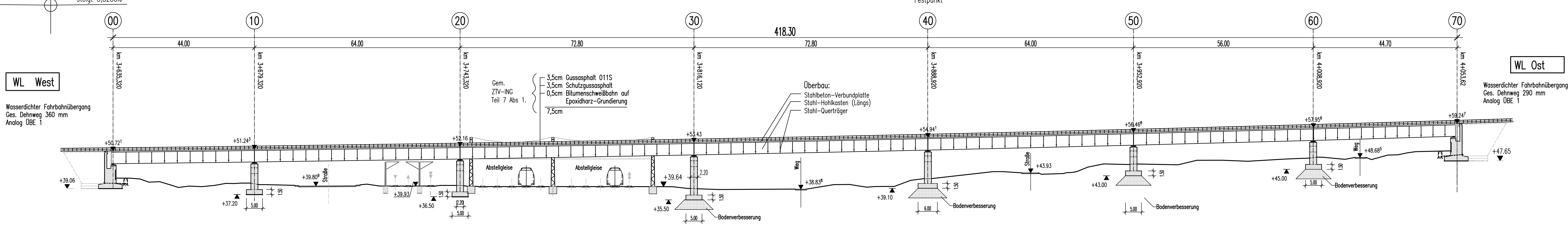
M. 1:500



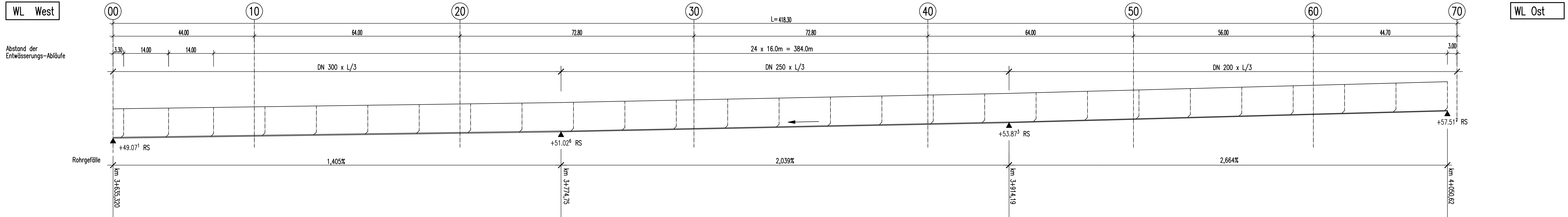
**ZUGEHÖRIGE PLÄNE:**  
 Blatt 2: Überbauquerschnitte  
 Blatt 3: Widerlager West, Achse 00  
 Blatt 4: Korrosionsschutzplan

### LÄNGSSCHNITT A-A

(in Gradiente Überbau Nord)  
 M. 1:500

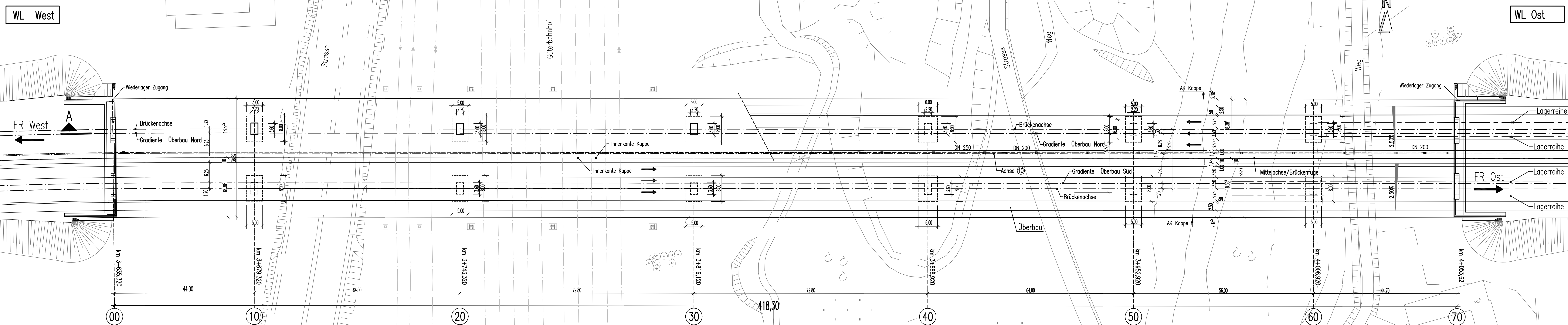


### BRÜCKENENTWÄSSERUNG



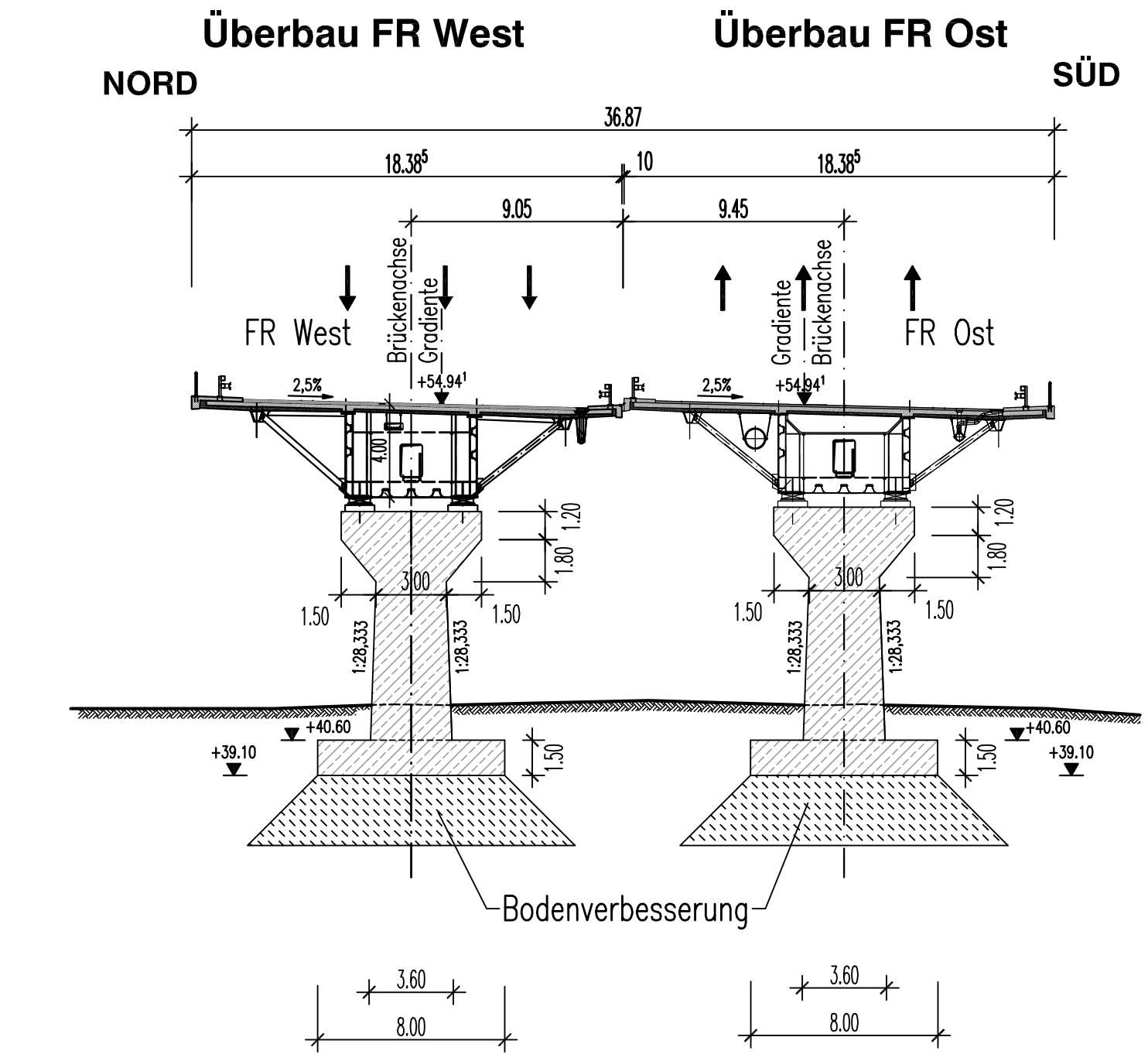
### DRAUFSICHT

M. 1:500



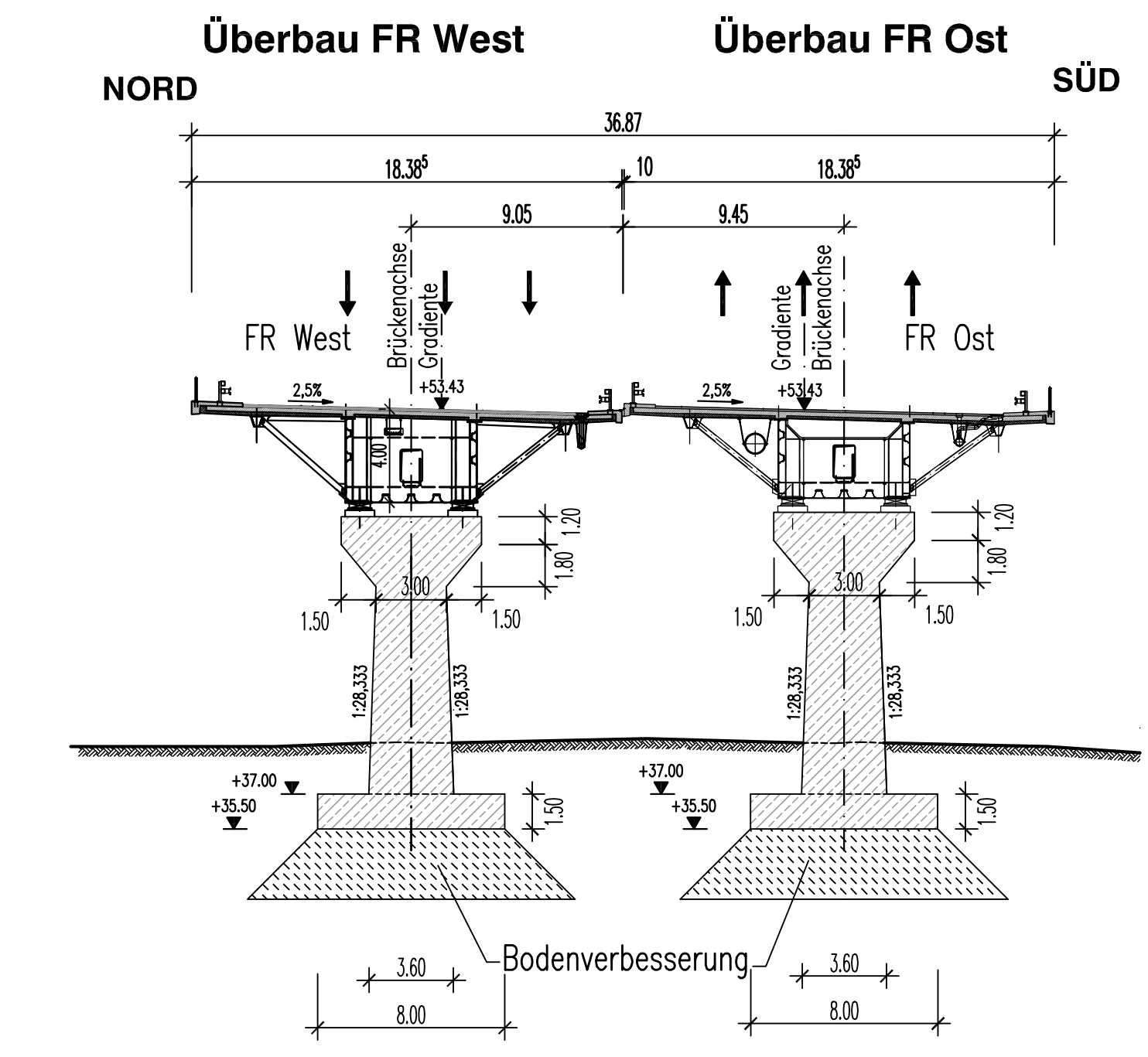
### Querschnitt in Achse 40

M. 1:250



### Querschnitt in Achse 30

M. 1:250



### ANGABEN ZUR LAGERUNG

REIHE	ACHSE	00	10	20	30	40	50	60	70	
1	FR A									
2										
ständige Lasten		$F_{sd}$	2,7	9,7	12,0	12,9	12,0	9,8	9,3	2,9
max [MN]		$F_{sd}$	6,7	19,0	23,0	24,0	23,0	20,0	16,5	6,8
min [MN]		$F_{sd}$	0,05	2,5	2,9	3,2	2,6	2,4	0,15	
VERSCHIEBEGE [mm]		$v_{sd}$	$\pm 180$	$\pm 140$	$\pm 80$	$\pm 40$	$\pm 10$	$\pm 10$	$\pm 10$	$\pm 10$
HORIZONTALKRÄFTE LÄNGS [MN]		$F_{x,rd}$	---	---	---	---	$\pm 1,0$	---	---	---
HORIZONTALKRÄFTE QUER [MN]		$F_{y,rd}$	$\pm 0,7$	$\pm 2,2$	$\pm 2,6$	$\pm 2,8$	$\pm 2,7$	$\pm 2,3$	$\pm 2,0$	$\pm 0,8$

\*) Bemessungswerte GZT nach Gleichung (9.10) gemäß DIN-Fachbericht 101, Kapitel II  
 \*\*) Verschiebung unter Berücksichtigung Entwurf Neufassung Anhang O von DIN-Fachbericht 101

### BAUSTOFFKENNWERTE

BAUTEIL	EPENKLAGEN	BETON	BAUSTAHL	BETONSTAHL
KAPPEN	XF4; XD3; XC4	C 25/30 LP	---	B500B
ÜBERBAU	XF2; XD1; XC4	C 35/45	---	B500B
LAGERSOCKEL	XF2; XD1; XC4	C 35/45	---	B500B
PFEILER	XF2; XD1; XC4	C 30/37	---	B500B
WIDERLAGER, STÜTZWÄNDE	XF2; XD1; XC4	C 30/37	---	B500B
FUNDAMENTE	XF1; XA2, XC2	C 30/37	---	B500B
SAUBERKEITSSCHICHT	---	C 8/10	---	---

LP = mit Luftporenbildner

### BAUWERKSDATEN

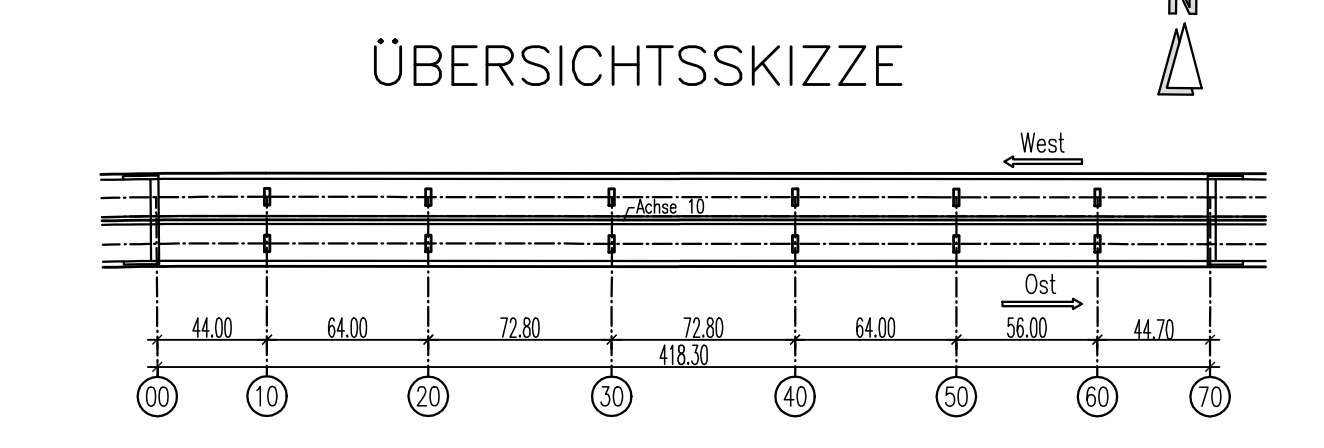
BAUART:	VERBUND
BRÜCKENKASSE	gem. DIN-Fb 101
BRÜCKENSTÜTZWEIEN	44,00+64,00+72,80+72,80+64,00+56,00+44,70 m
GESAMTLÄNGE ZW. ENDAUFLAGERN	418,30 m
LICHTE WEITE ZW. WIDERLAGERN	416,30 m
KLEINSTE LICHTWE HOHE	ca. 4,50 m
BREITE ZWISCHEN GELÄNDERN	18,45 m
BRÜCKENFLÄCHE	7717,64 m²

**WAHRSCHEINLICHE STÜTZSENKUNG**  
 $\Delta s_w = 1,0$  cm JE STÜTZUNG, IN UNGÜNSTIGER KOMBINATION  
 ("ZICKZACKFÖRMIG") VOLLELASTISCH EINRECHNEN  
**MÖGLICHE STÜTZSENKUNG**  
 $\Delta s_m =$  GEMÄSS BODENGÜTACHTEN EINRECHNEN

### BODENKENNWERTE

BAUTEIL	$\gamma$	$\rho^s$	$\delta$	Ea, Eo	Ig, Is	zul ds	c'
GRÜNDUNG	---	---	---	---	---	---	---
WIDERLAGER HINTERF.	---	---	---	---	---	---	---

### ENDGÜLTIGE ABMESSUNGEN NACH STATISCHEN, KONSTRUKTIVEN UND WIRTSCHAFTLICHEN ERFORDERNISSEN



Proj.-Nr.	Datum	Zust.
20.66.2011	GZ1	

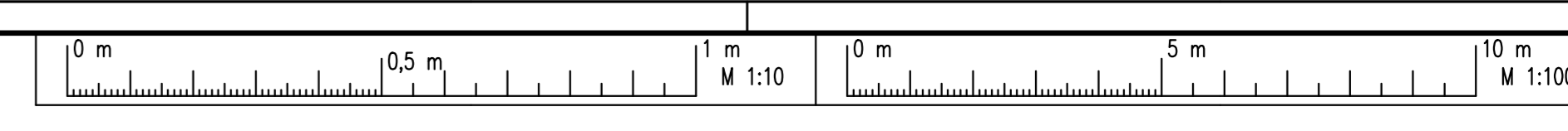
Verbandprojekt SKRIBT		Proj.-Nr.	Datum	Zust.
Schutz kritischer Brücken und Tunnel im Zuge von Straßen		2007121	20.06.2011	GZ1
Bearb.	02.03.2011	Herzke		
Gez.	02.03.2011	G.Zweilen		
Gepr.	02.03.2011	Coppell		

Anlage		Blatt-Nr.	1
Strasse: BAB Neubau		Proj.-Nr.	
Bauwerk: Musterbrücke Ohne -Fall		Datum	
Planerstellung: Übersichtsplan, Draufsicht, Längsschnitt, Ansicht, Querschnitt		Zust.	
Anhang zu: Arbeitspaket 6 : Demonstration Version 1, Stand: 15.07.2011		Bauwerksplan	
		Mehrteil	1500, 1250,



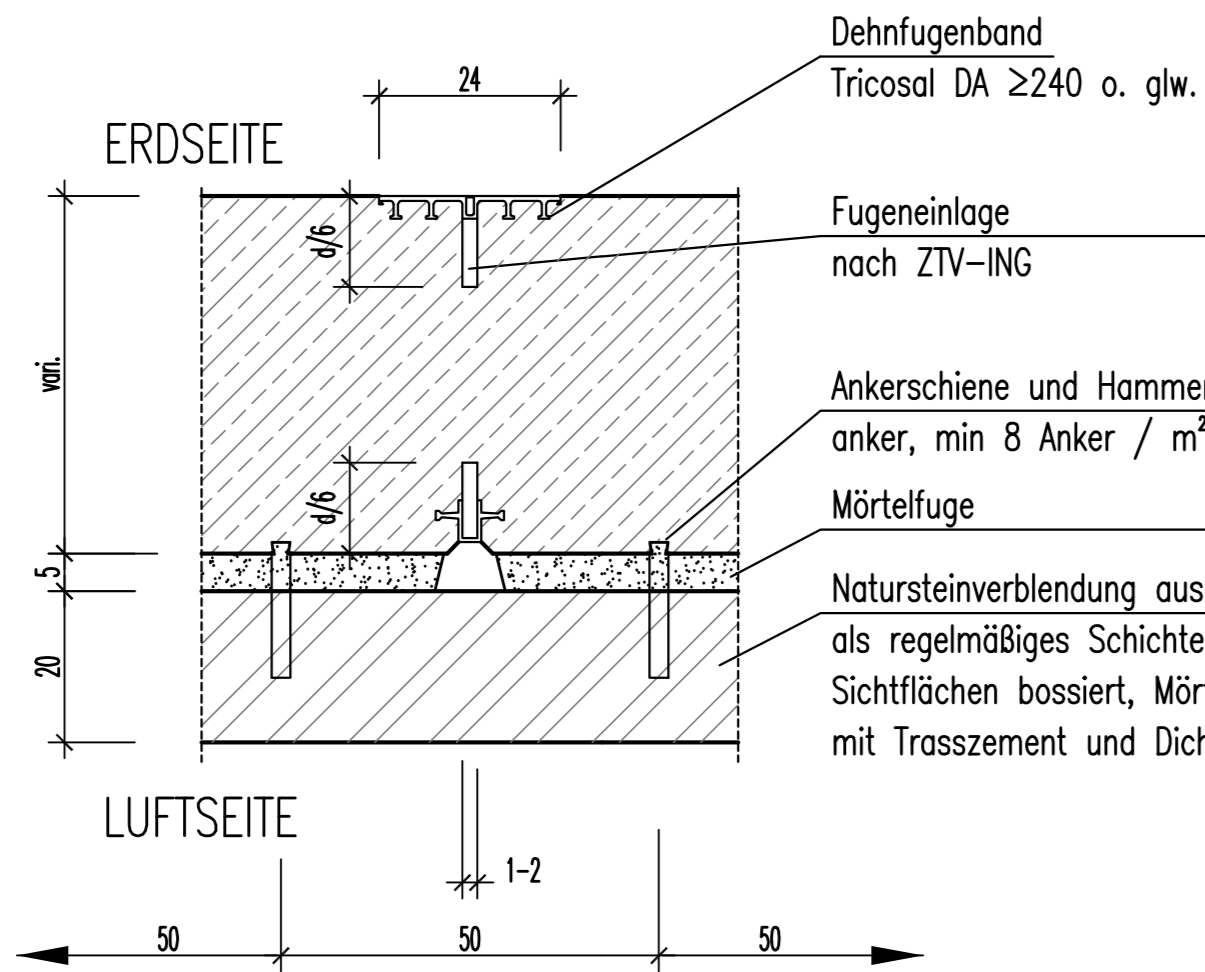
Gefördert durch:  
 Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Berlin  
 Projektträger:  
 VDI Technologiezentrum GmbH, Düsseldorf





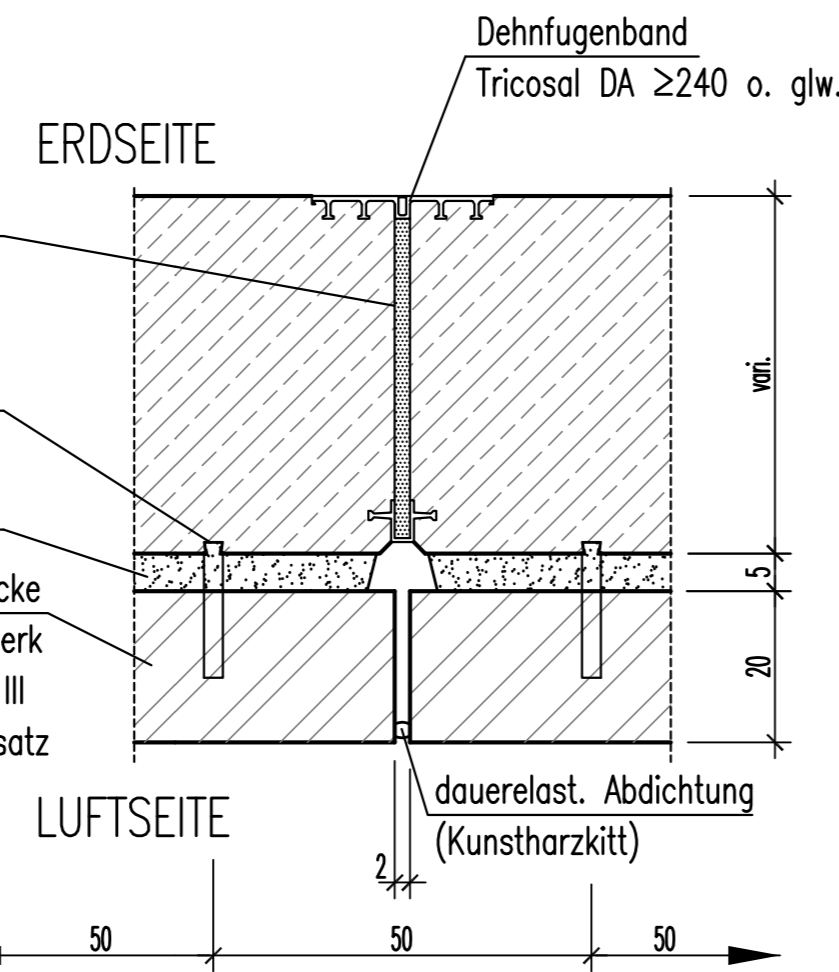
### SCHEINFUGE

gem. Fug 2, Bild 2  
Verblend MW gem. Verb 1  
M 1:10



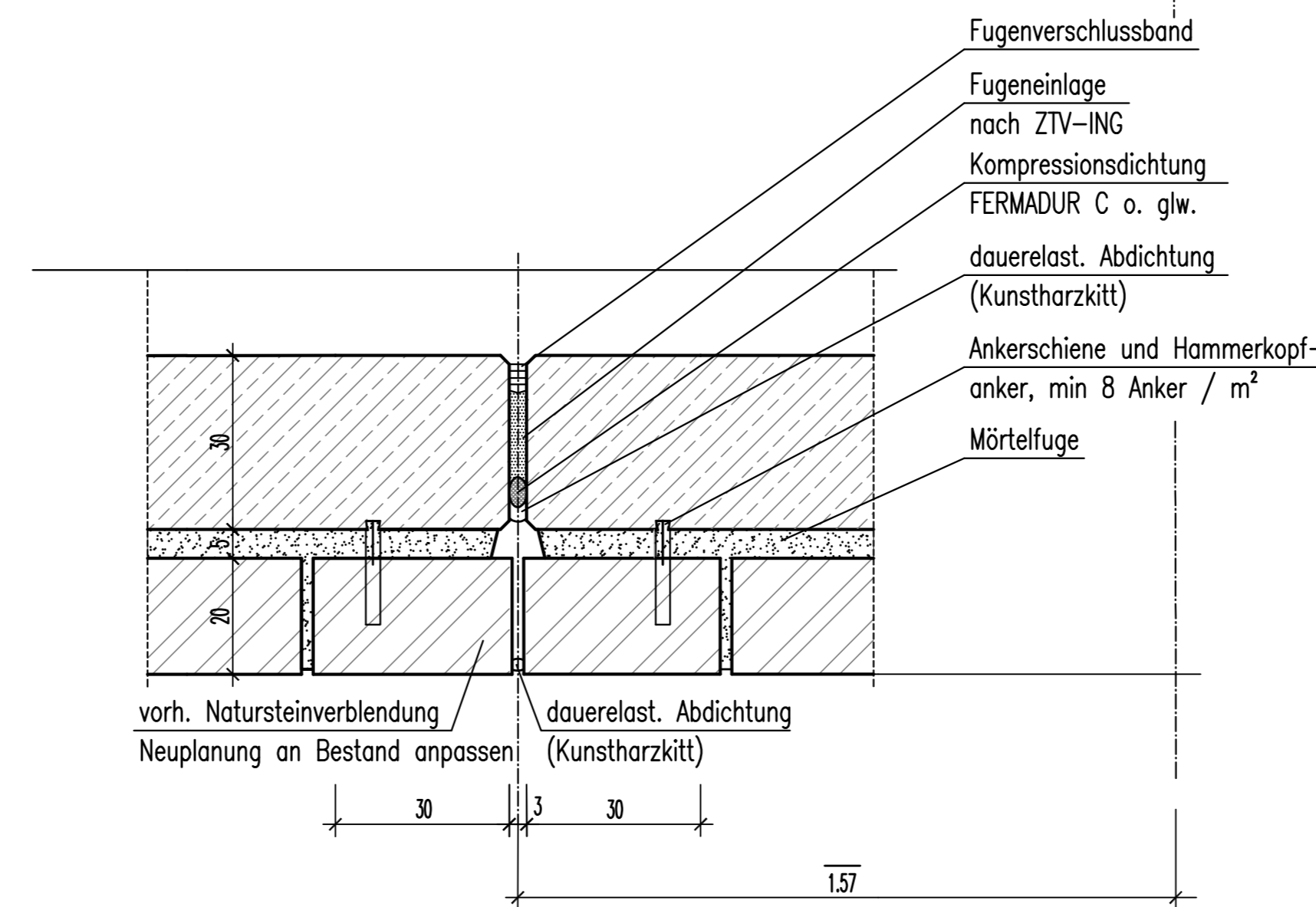
### RAUMFUGE

gem. Fug 1, Bild 2  
Verblend MW gem. Verb 1  
M 1:10



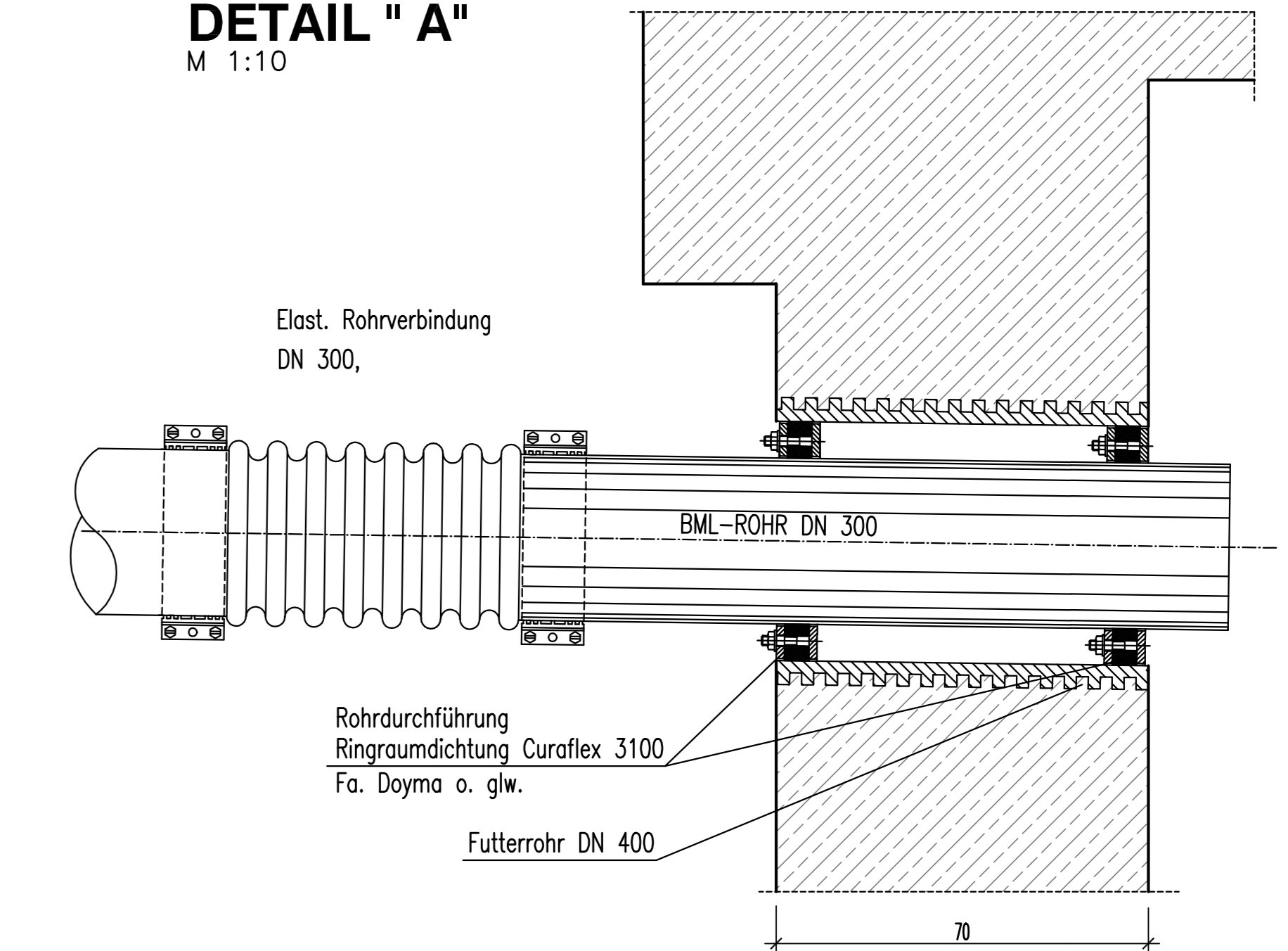
### DETAIL "B"

M 1:10



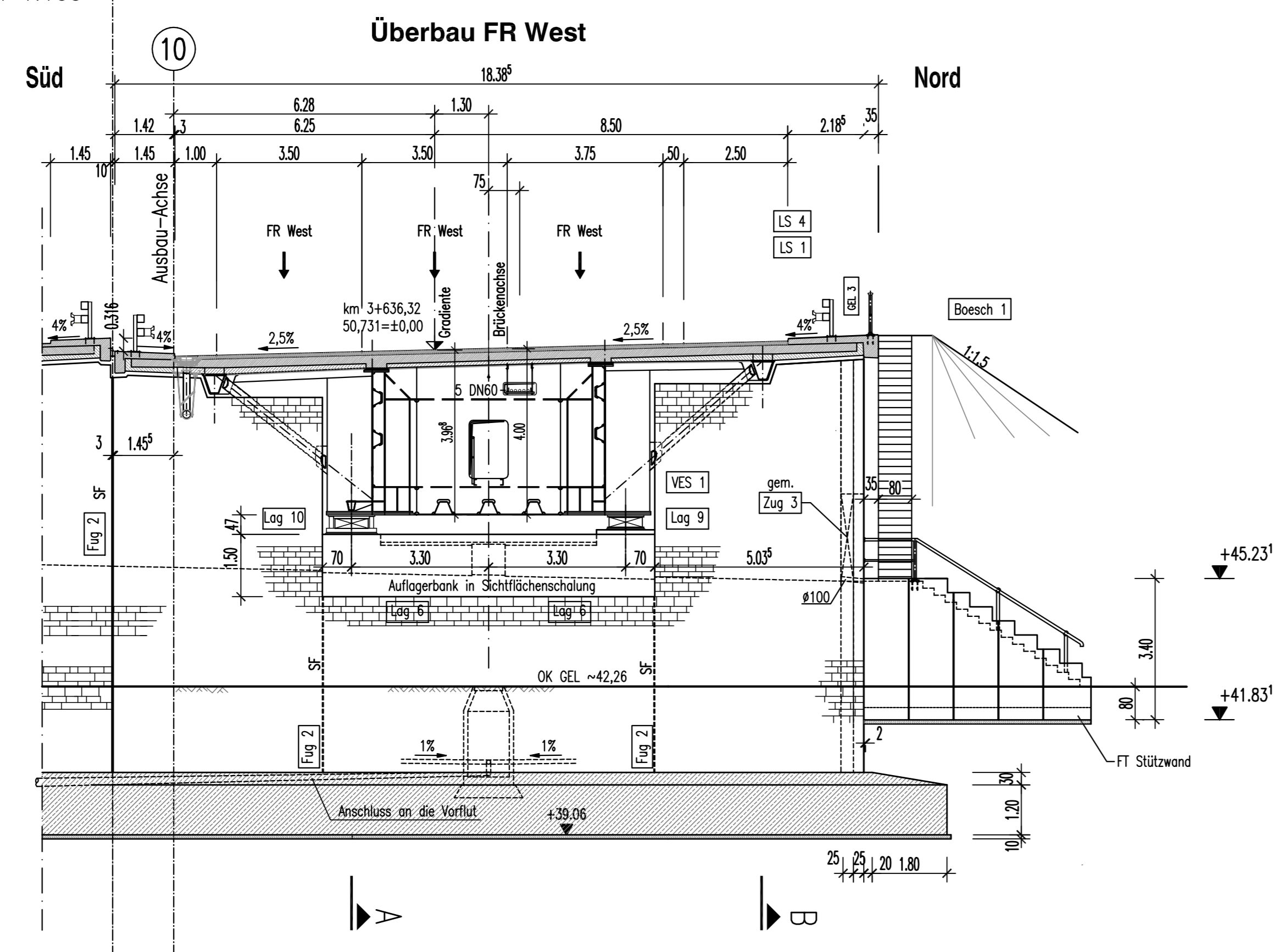
### DETAIL "A"

M 1:10



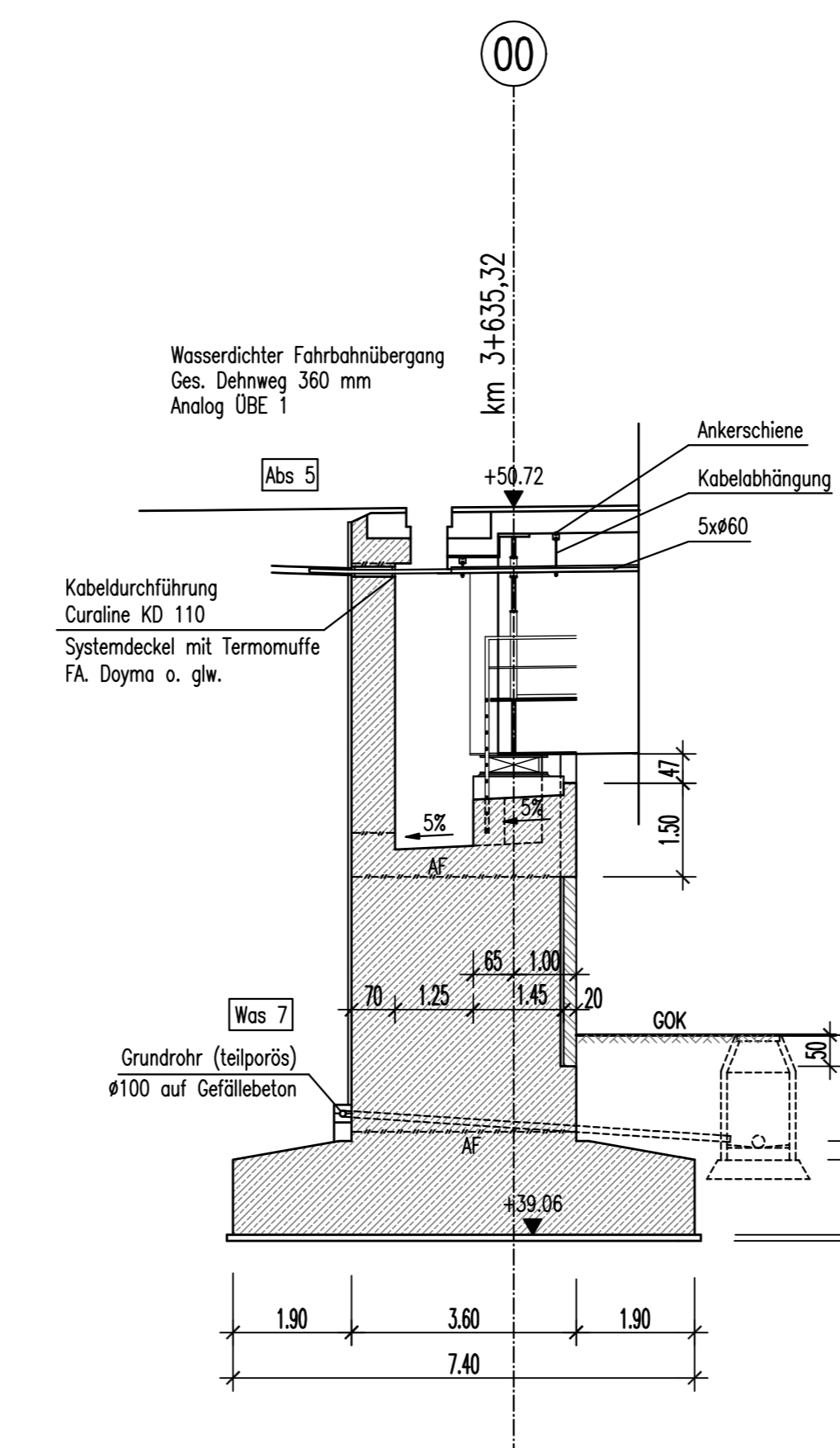
### QUERSCHNITT

Wiederlager West- nördlicher Teil  
M 1:100



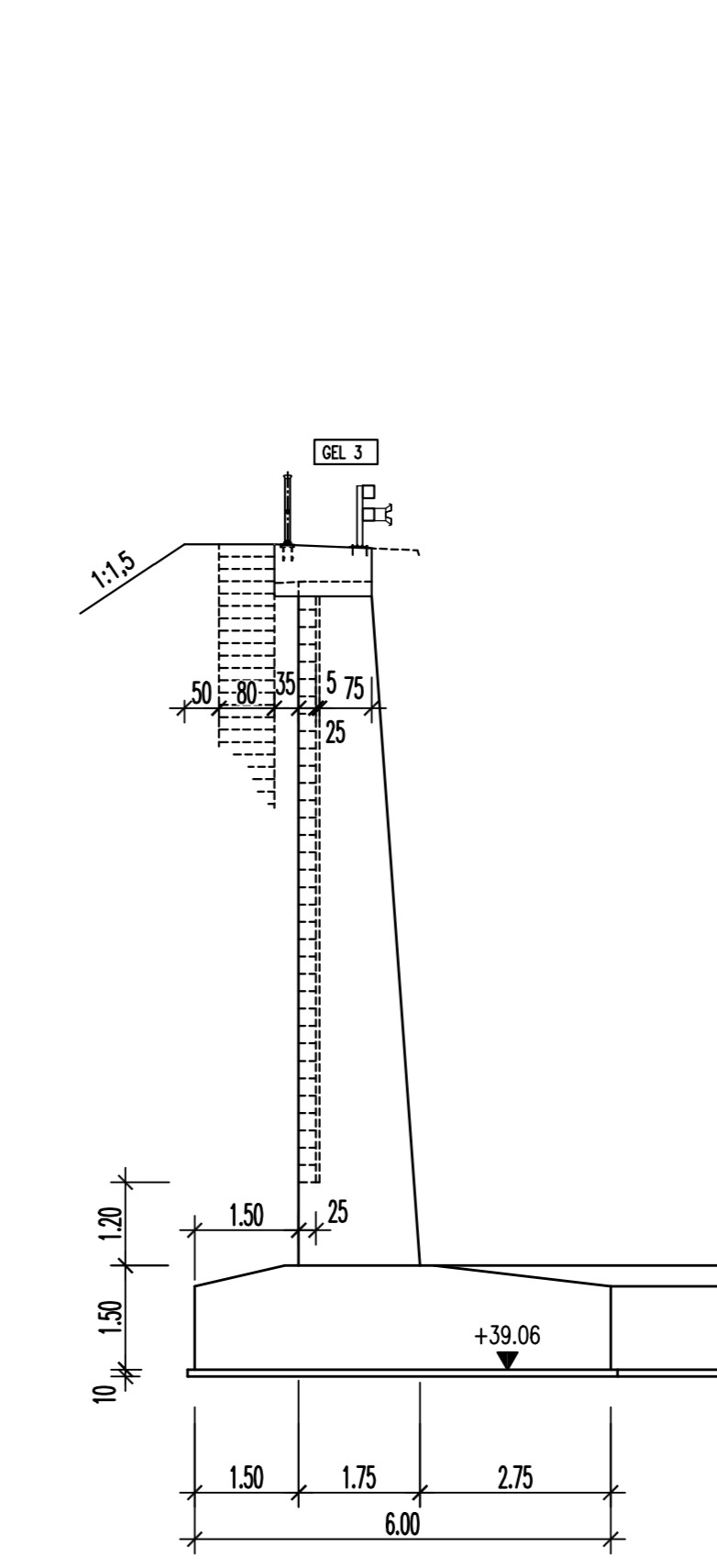
### SCHNITT A-A

M 1:100



### SCHNITT C-C

M 1:100

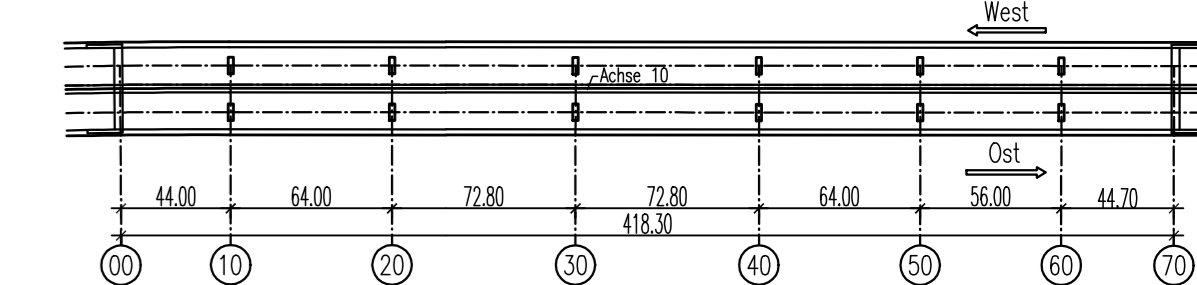


Hinweis zur Gründung der Fundamente  
Wiederlager und Flügel die Flachgründung auf festem Fels mit Verzahrung ausführen  
Bereiche zwischen stark geführten Felsspalten bzw. Lockerbodenbereichen unter der Gründungssohle sind bei Bedarf durch Einbau von Unterbeton C 25/30 (Füllbeton) zu ersetzen!

ZUGEHÖRIGE PLÄNE:  
Blatt 1: Übersichtsplan  
Blatt 2: Überbauerschutzplatte  
Blatt 4: Korrosionsschutzplan

ENDGÜLTIGE ABMESSUNGEN NACH STATISCHEN, KONSTRUKTIVEN UND WIRTSCHAFTLICHEN ERFORDERNISSEN

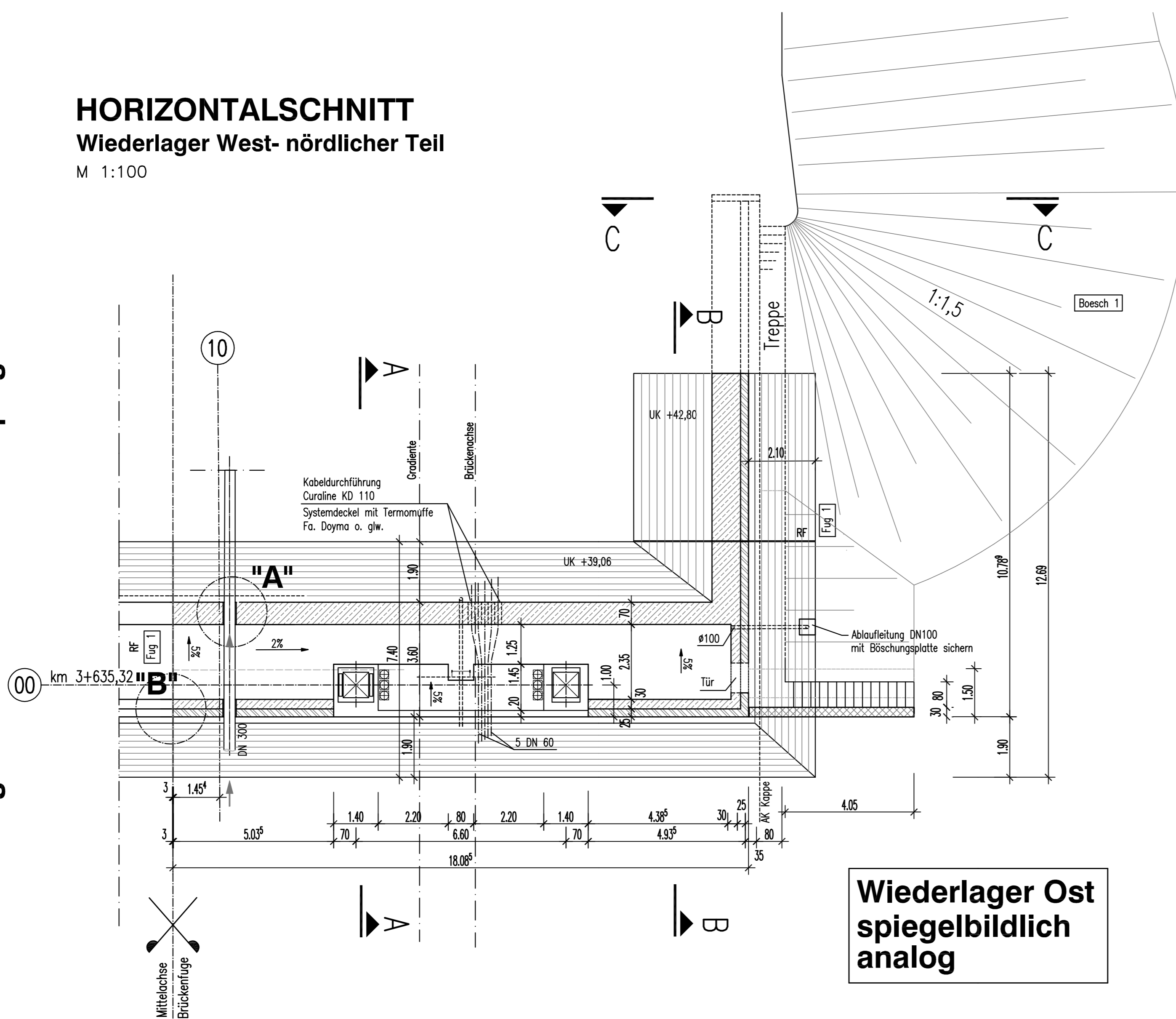
ÜBERSICHTSSKIZZE



### HORIZONTALSCHNITT

Wiederlager West- nördlicher Teil  
M 1:100

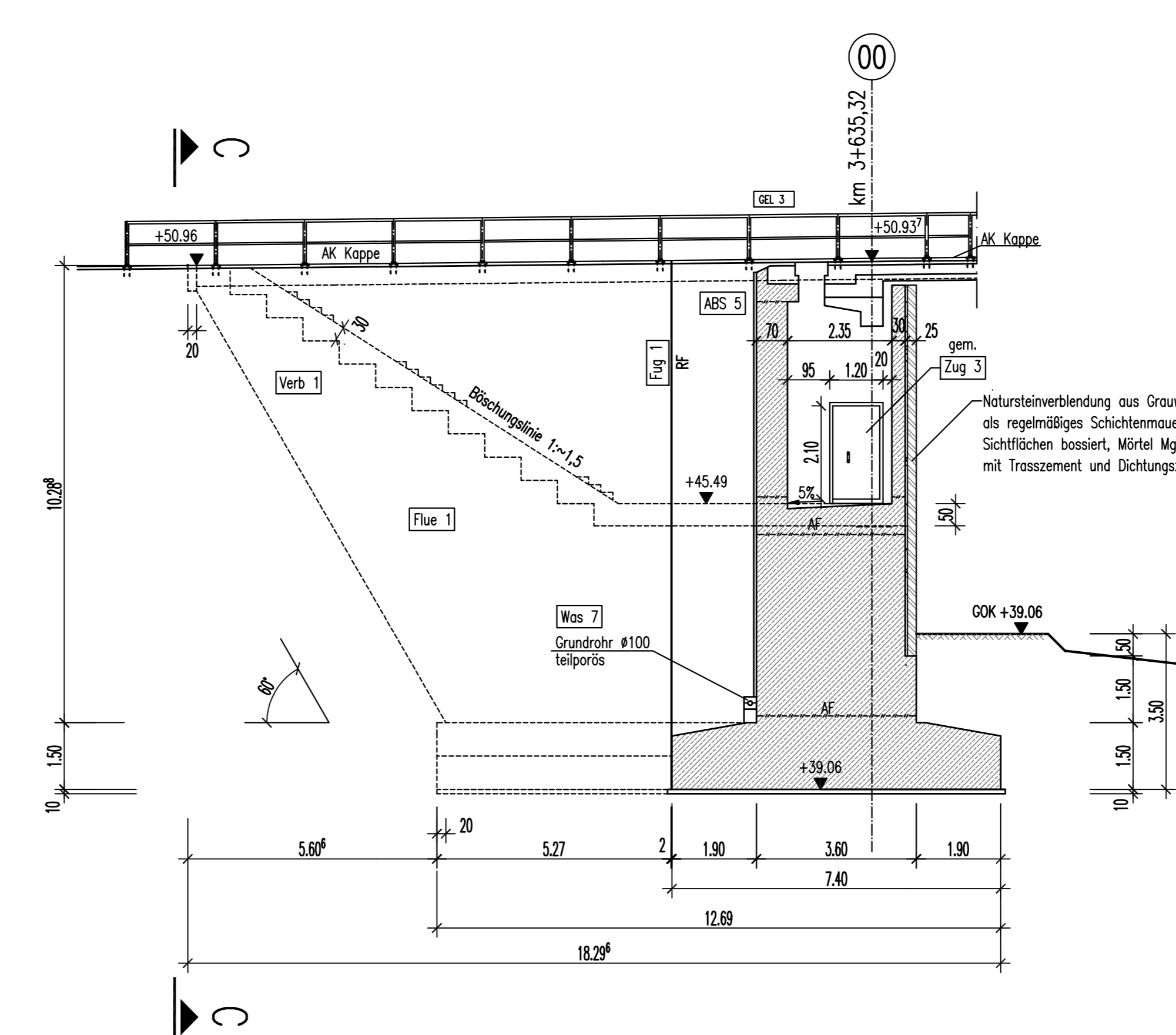
Wiederlager West- südlicher Teil spiegelbildlich



Wiederlager Ost spiegelbildlich analog

### SCHNITT B-B

M 1:100



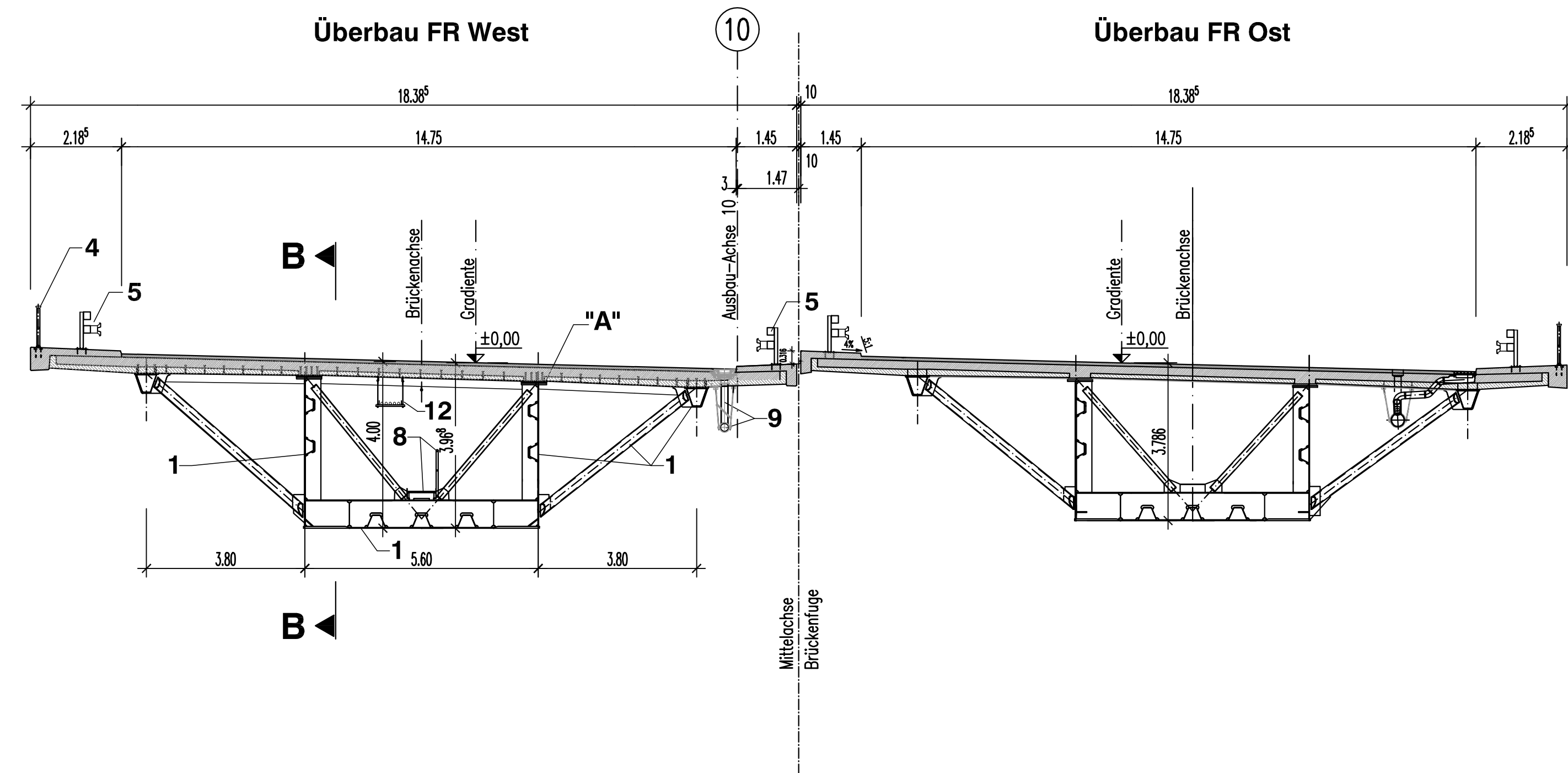
Index	Änderung	Datum	Zeichen
Entwurfsbearbeitung			
Verbandprojekt SKRIBT Schutz kritischer Brücken und Tunnel im Zuge von Straßen			
Projekt-Nr. 2007121		Blatt-Nr.	
Datum 08.02.2011		Zeichen	
Beauf. 08.02.2011		Hemke	
Gez. 08.02.2011		C. Zehden	
Gepr. 08.02.2011		C. Zehden	
Anlage			
Straße BAB		Blatt-Nr. 3	
Neubau		Projekt-Nr.	
Bauwerk: Musterbrücke Ohne -Fall			
Plandarstellung: Widerlager West, Achse 00			
Anhang zu: Arbeitspaket 6 : Demonstration Version 1, Stand: 15.07.2011			



Gefördert durch:  
Bundesministerium für  
Bildung und Forschung (BMBF), Berlin  
Projekträger:  
VDI Technologiezentrum GmbH, Düsseldorf

# KORROSIONSSCHUTZAUFBAU DES STAHLÜBERBAUS

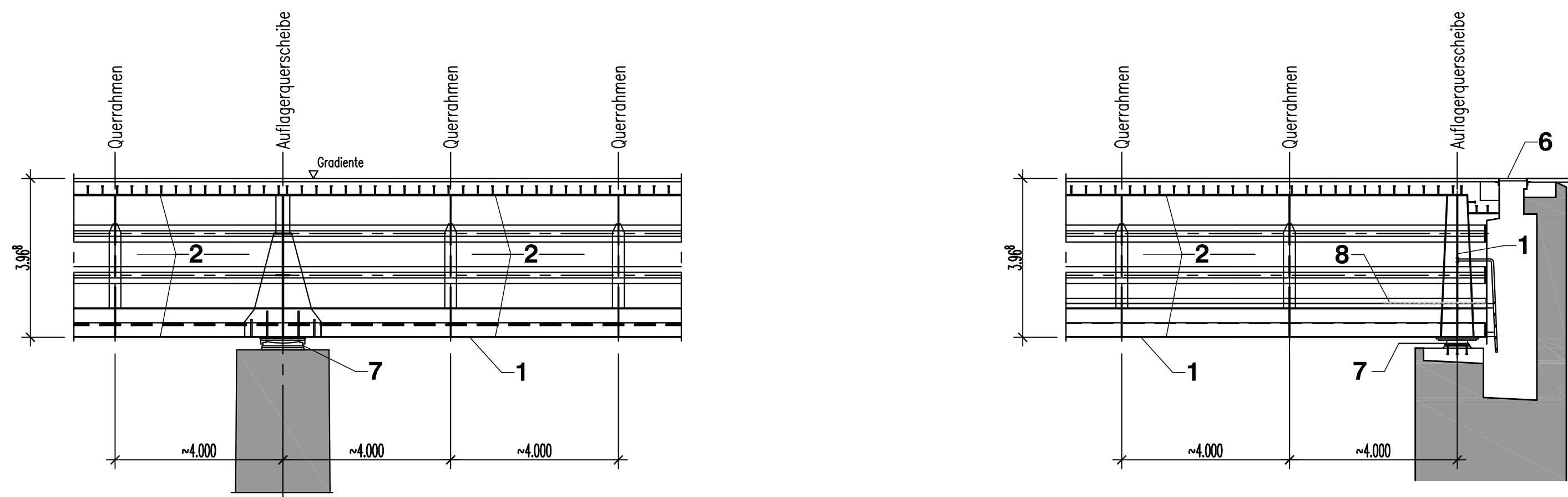
## FELDQUERSCHNITT



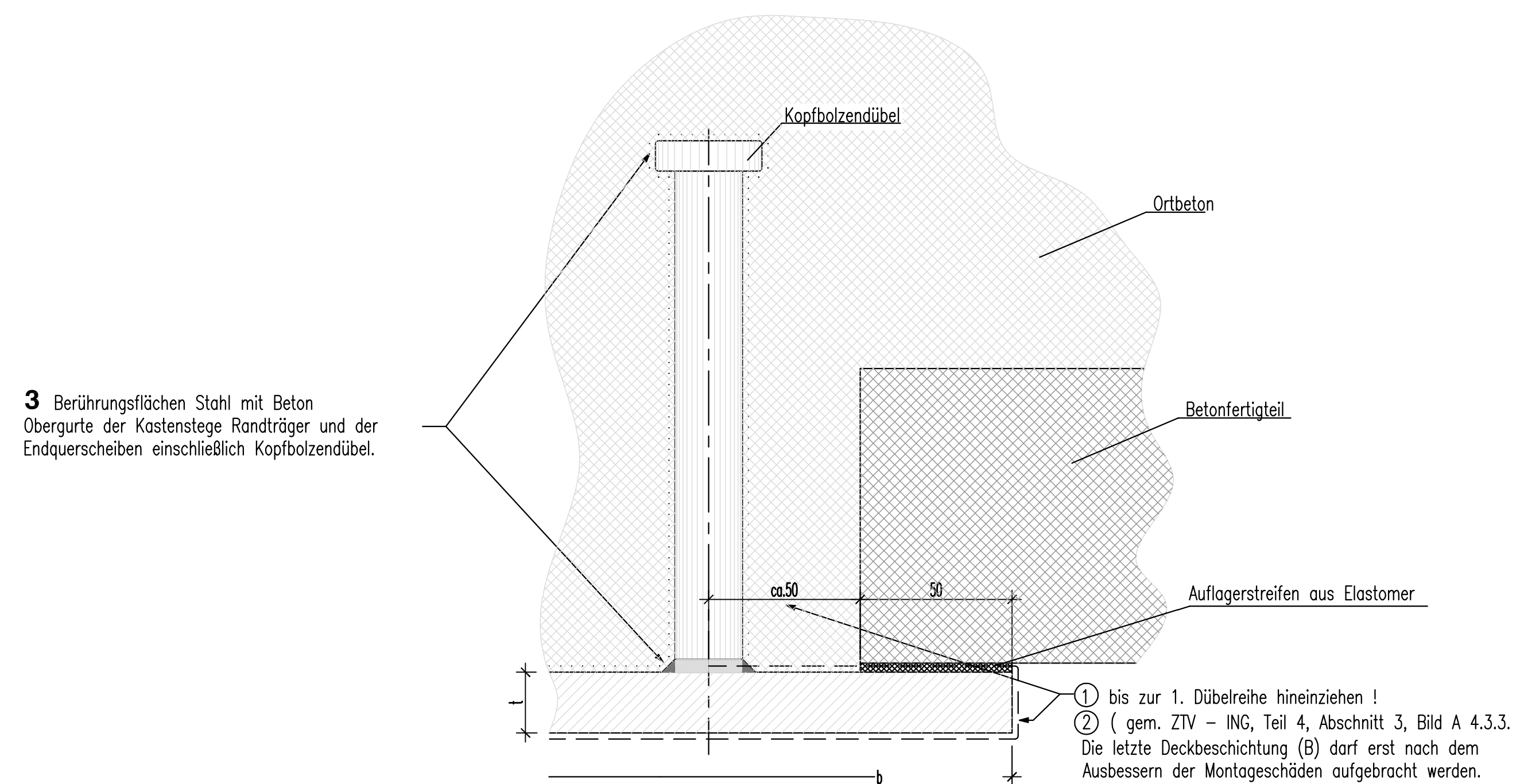
## LÄNGSSCHNITT B - B

am Pfeiler

am Widerlager



## DETAIL "A"



LV.Pos.	Nr.	Menge	Bauteil	Ort	Beschichtung	Beschichtungsstoffe	nach TL 918, 300 Bl.	Stoff Nr.	Soltschichtdicke mm	Farbton
1			Außenflächen Hohlkästen, Druckstreben, Stützträger, Auflagerquerschnitt und Beschichtungsträger s. auch Detail "A"	W	GB	Entrostung SA 2½, mittel (G)	87	687.03	70	grau
						Epoxidharz - Zinkstaub				
						Epoxidharz - Zinkphosphat				
						Epoxidharz - Eisenglimmer				
						Epoxidharz - Eisenglimmer				
B	DB	Polyurethan - Eisenglimmer **	87	687. ...	80	blau DB 510				
Σ=310										
2			Innenflächen Hohlkästen (ständig belüftet)	W	GB	Entrostung SA 2½, mittel (G)	87	687.03	70	grau
						Epoxidharz - Zinkstaub				
						Epoxidharz - Zinkphosphat				
						Epoxidharz - Eisenglimmer				
						Epoxidharz - Eisenglimmer **				
Σ=230										
3			Oberflansche der Stahlkonstruktion einschließlich Kopfholzendübel (Berührungsfächen von Stahl und Ortbeton) s. Detail "A"	W	GB	Entrostung SA 2½ mittel (G)	87	687.03	50	grau
						Epoxidharz - Zinkstaub				
4			Geländer	W	GB	Vorbereitung	87	687.13	80	grau DB 703
						Beizen, Norm-Reinheitsgrad BE				
						Feuerverzinkung				
						EP - Grundlage ***				
						PUR - Grundlage				
Σ=245										
5			Schutzplanke Montageplatte Doppelständermast	W	GB	Vorbereitung	87	687.03	70	grau
						Beizen, Norm-Reinheitsgrad BE				
6			Übergänge (nicht betonberührte Flächen)	W	GB	Entrostung SA 2 1/2, mittel (G)	87	687.03	70	grau
						Epoxidharz - Zinkstaub				
						wie 1				
						1.ZB wie 1				
						2.ZB Epoxidharz - Eisenglimmer				
						3.ZB Epoxidharz - Eisenglimmer				
						DB Epoxidharz - Eisenglimmer				
Σ=390										
7			Lager (nicht betonberührte Flächen)	W	GB	Entrostung SA 3, grob (G)	87	687.13	80	grau DB 703
						Spitzverzinkung (thermisch)				
						Epoxidharz - Eisenglimmer				
						Polyurethan				
Σ=260										
8			Begehung Gitterrost, Leitern, Handlauf Beschichtigungsang (im WL) (im Hohlkasten)	W	GB	Vorbereitung	87	687.13	80	rot DB 310
						Beizen, Norm-Reinheitsgrad BE				
9			Überbauentwässerung	W	GB	Entrostung SA 3 (außen) grob (G)	87	687.13	80	grau DB 703
						Entrostung SA 2 ½ (innen+ Formstücke) mittel (G)				
						Spitzverzinkung (thermisch/zweischichtig)				
						DB Epoxidharz - Eisenglimmer				
						ZB Polyurethan				
						DB Epoxidharz - Kombination				
						GB Epoxidharz - Zinkstaub				
9a			Formstücke - innen + außen	W	DB	Epoxidharz - Eisenglimmer	87	687.13	80	grau DB 703
						Epoxidharz - Eisenglimmer				
						Polyurethan				
						DB Epoxidharz - Kombination				
Formstücke - nur außen										
Zubehör: Spannhülsen und Aufhängungen										
10			Montageöse (gemäß Profillieferung) temporärer Schutz	B	GB	wie Nr. 1	87	wie Nr. 1	wie Nr. 1	wie Nr. 1
						PVC - AK - Zinkph.				
11			Kontaktflächen GV-, GVP-Verbindungen	W	GB	Entrostung SA 3, grob (G)	87	685.03	40	grau
						ASI-Zinkstaub				
12			Kabelbahn	W	GB	ASI-Zinkstaub	87	685.03	40	grau
						Feuerverzinkt				

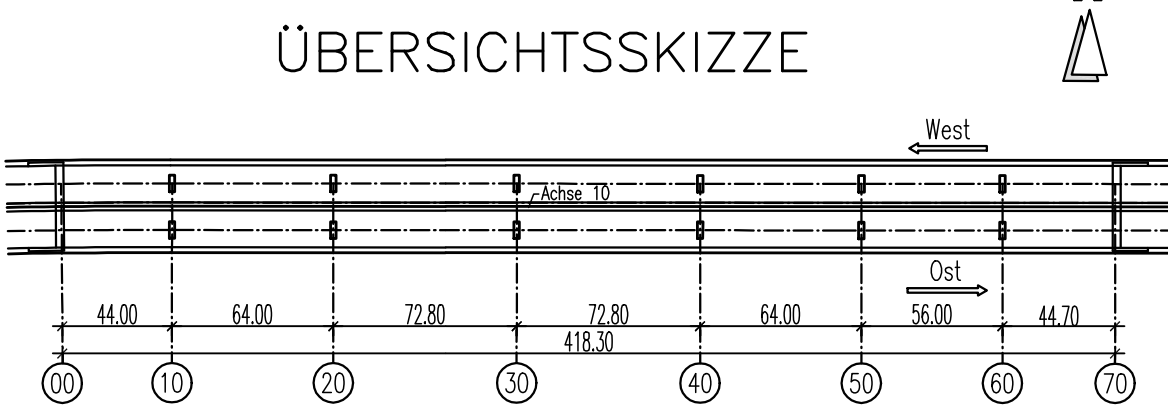
\*\* Reinigung vor Aufbringung der Deckbeschichtung nach Wahl des AN

\*\*\* Zur Haftverbesserung Sweep-Strahlen nach DIN EN ISO 12944, Teil 4

### ZUGEHÖRIGE PLÄNE:

- Blatt 1: Übersichtsplan
- Blatt 2: Überbauquerschnitte
- Blatt 3: Widerlager West, Achse 00

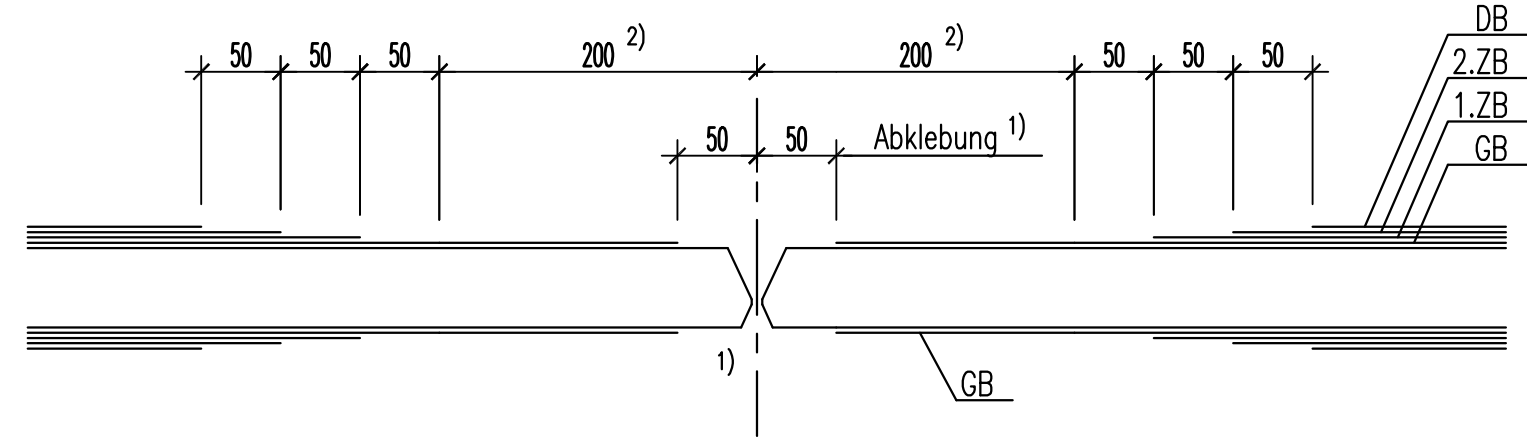
### ENDGÜLTIGE ABMESSUNGEN NACH STATISCHEN, KONSTRUKTIVEN UND WIRTSCHAFTLICHEN ERFORDERNISSEN



Kontrollflächen nach ZIV-ING anlegen!

- W = Beschichtung im Werk
- B = Beschichtung auf Baustelle
- KS = Kantenschutz
- GB = Grundbeschichtung
- ZB = Zwischenbeschichtung
- DB = Deckbeschichtung (= Schlussschicht)

### MONTAGESTOSS Abstufung der Beschichtung im Stoßbereich (abkleben)



- 1) Fläche nach dem Schweißen temporär schützen
- 2) Vor Fertigbeschichtung abstrahlen und erneut GB aufbringen

Index	Änderung	Datum	Zeichen
Entwurfsbearbeitung		2007/21	
Verbundprojekt SKRIBT			
Schutz kritischer Brücken und Tunnel im Zuge von Straßen			

Projekt-Nr.	2007/21
Blatt-Nr.	4
Bearb.	04.02.2011
Datum	04.02.2011
Zeichen	02/01
Gepr.	04.02.2011
Draht	

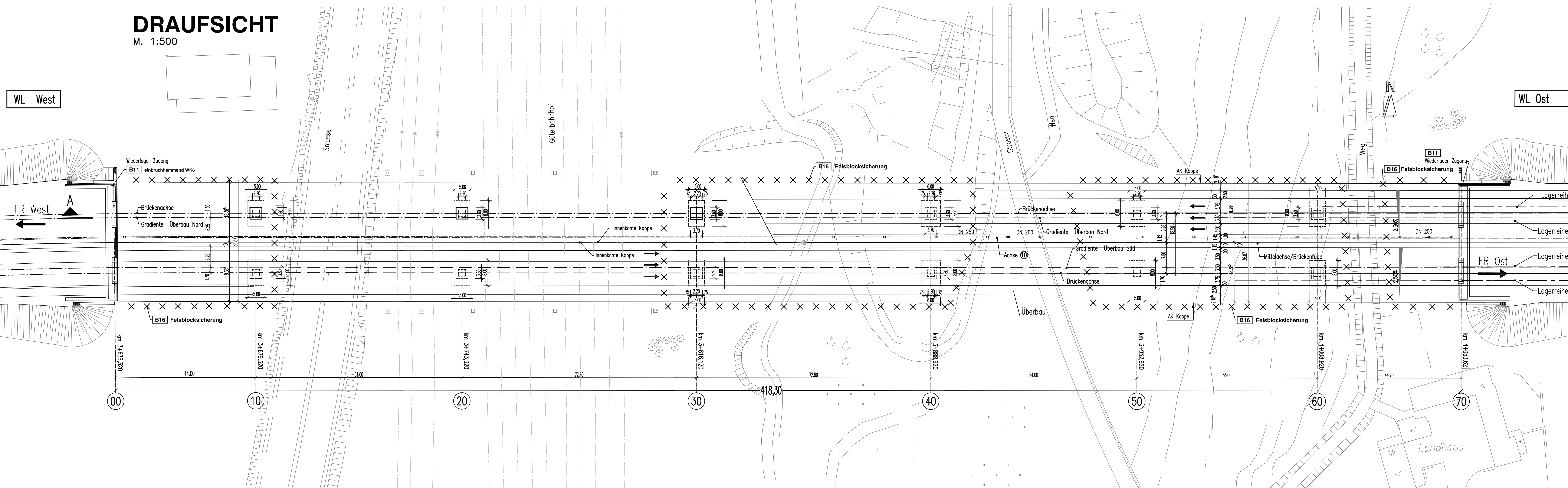
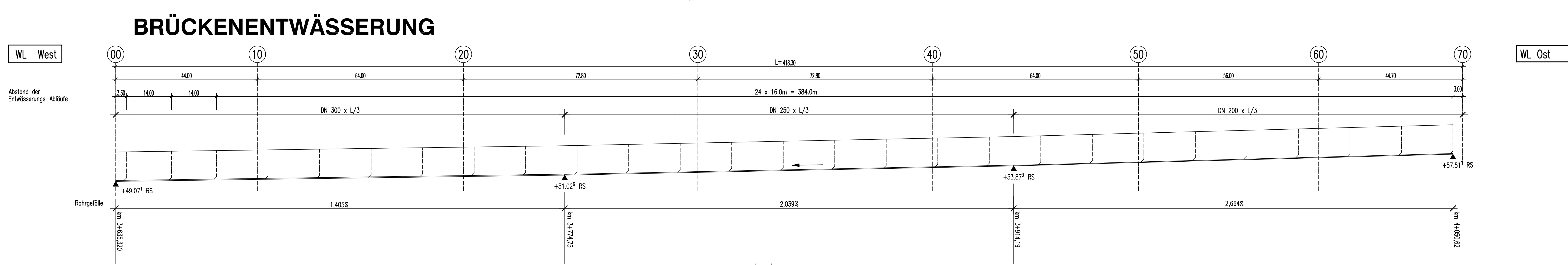
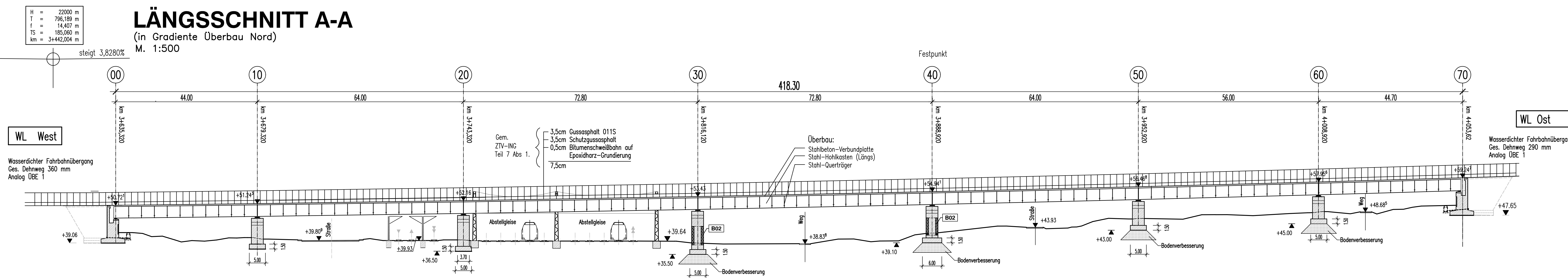
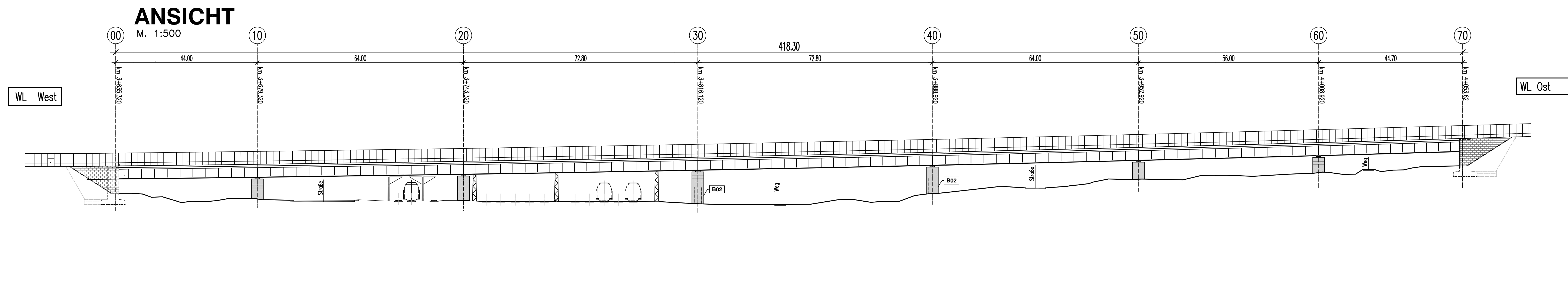
Straße	BAB
Bauvorhaben	Neubau
Gemarkung	
Bauwerk	Musterbrücke Ohne -Fall
Planarstellung	
Korrosionsschutzplan	

Anhang zu:  
Arbeitspaket 6 : Demonstration  
Version 1, Stand: 15.07.2011



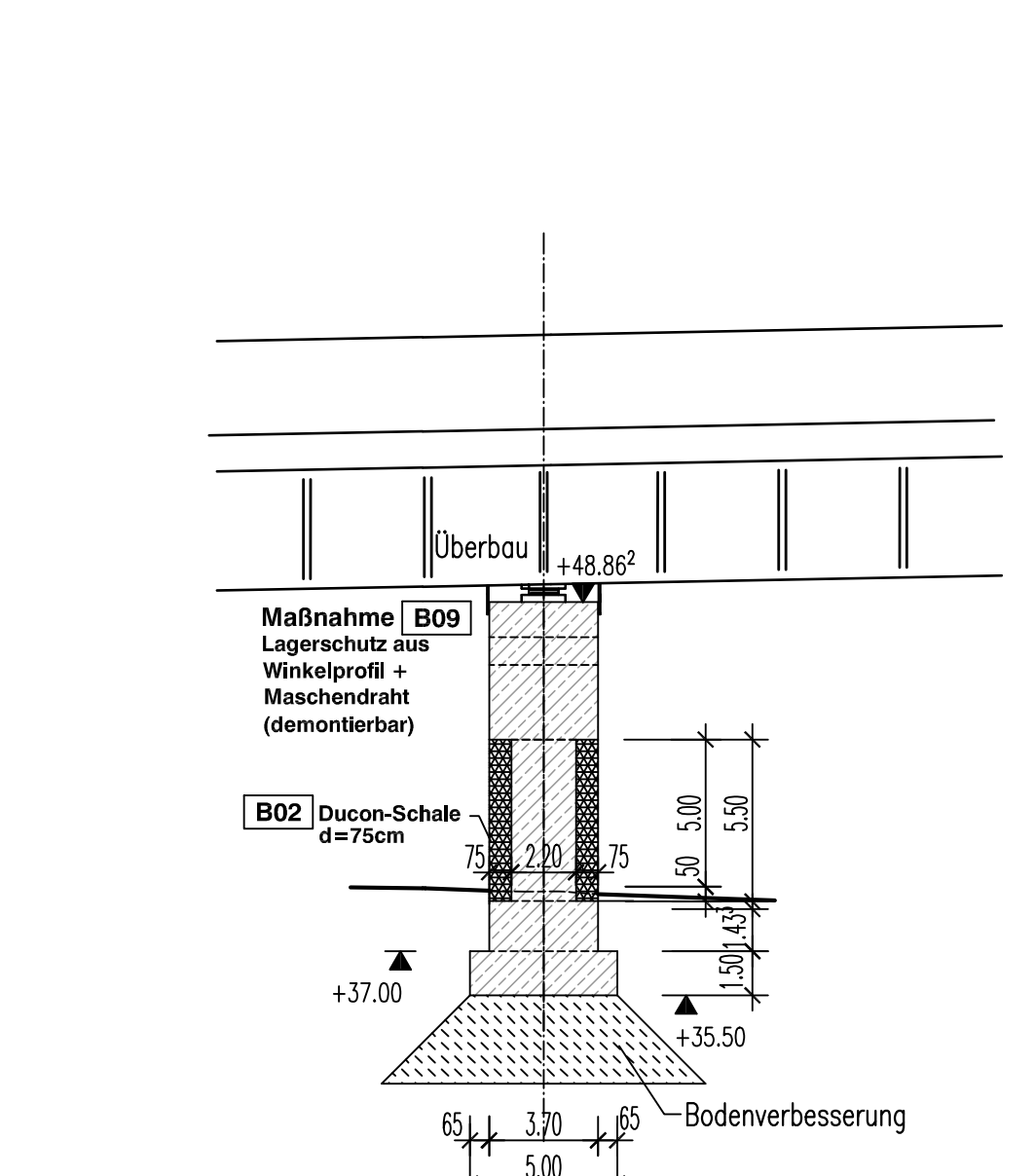
Gefördert durch:  
Bundesministerium für  
Bildung und Forschung (BMBF), Berlin  
Projektträger:  
VDI Technologiezentrum GmbH, Düsseldorf

**Anhang 9: Demonstrationsobjekt  
Brücke Mit-Fall**



### Schnitt B-B

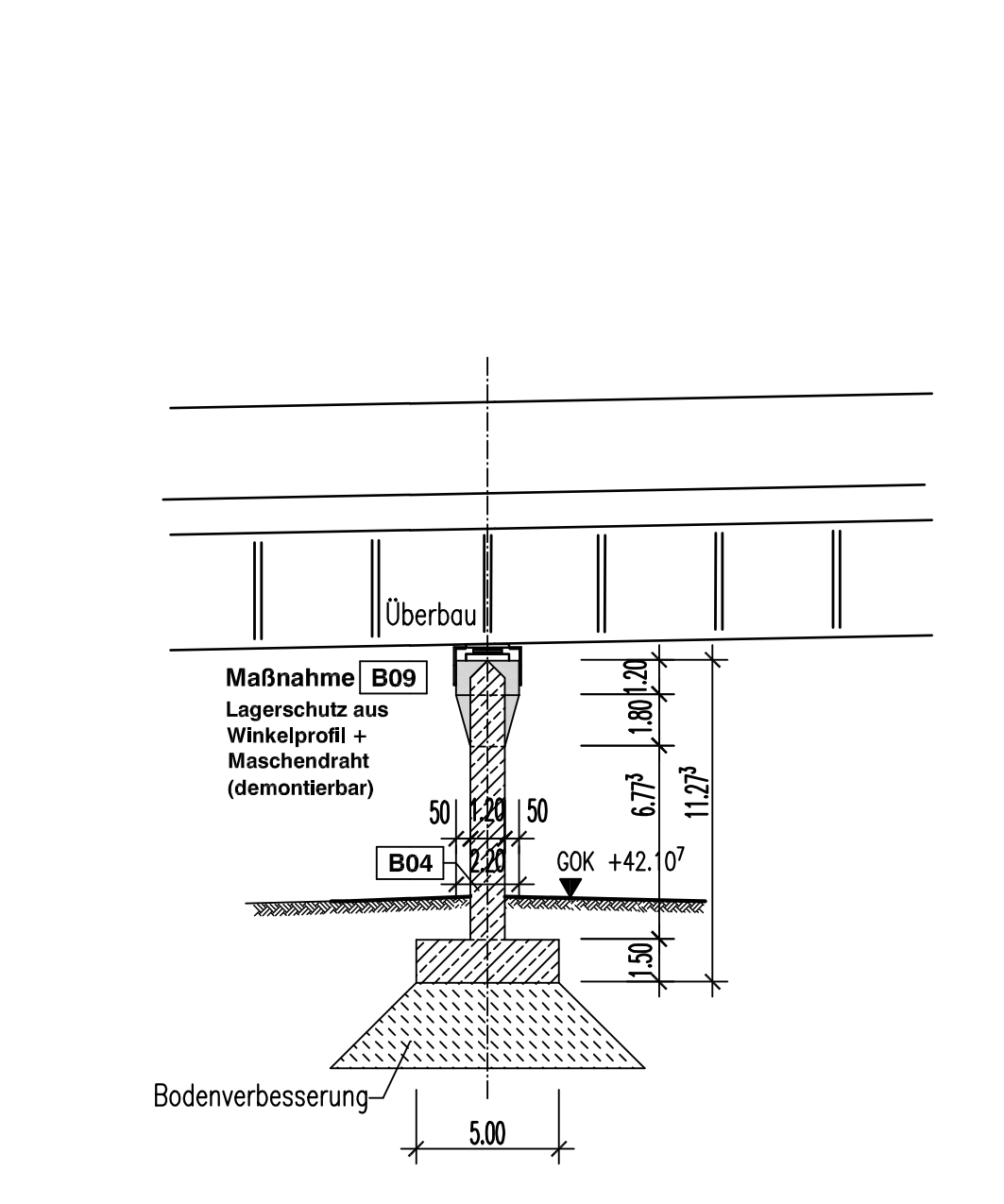
Maßnahme B0 2  
Ducon - Schale  
M. 1:250



- #### Umsetzbare Maßnahmen SKRIBT
- [B02] Ducon-Schale
  - [B03] Ausfallbemessung
  - [B04] Pfeilerschleife
  - [B05] Windschutzwand
  - [B09] Lagerschutz
  - [B11] Zugungsverhinderung
  - [B16] Felsblockssicherung

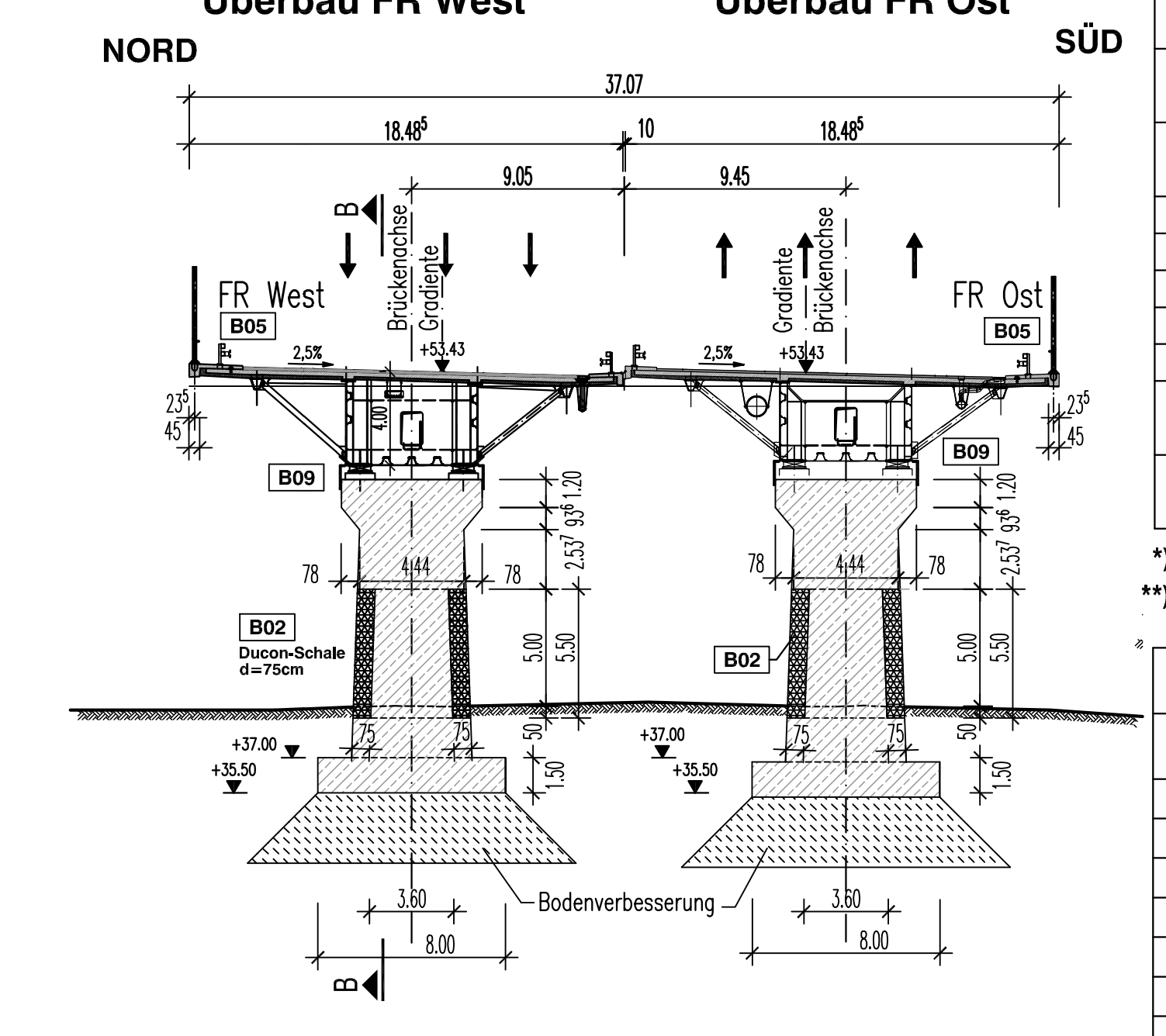
### Schnitt C-C

Maßnahme B0 4  
Pfeilerschleife  
M. 1:250



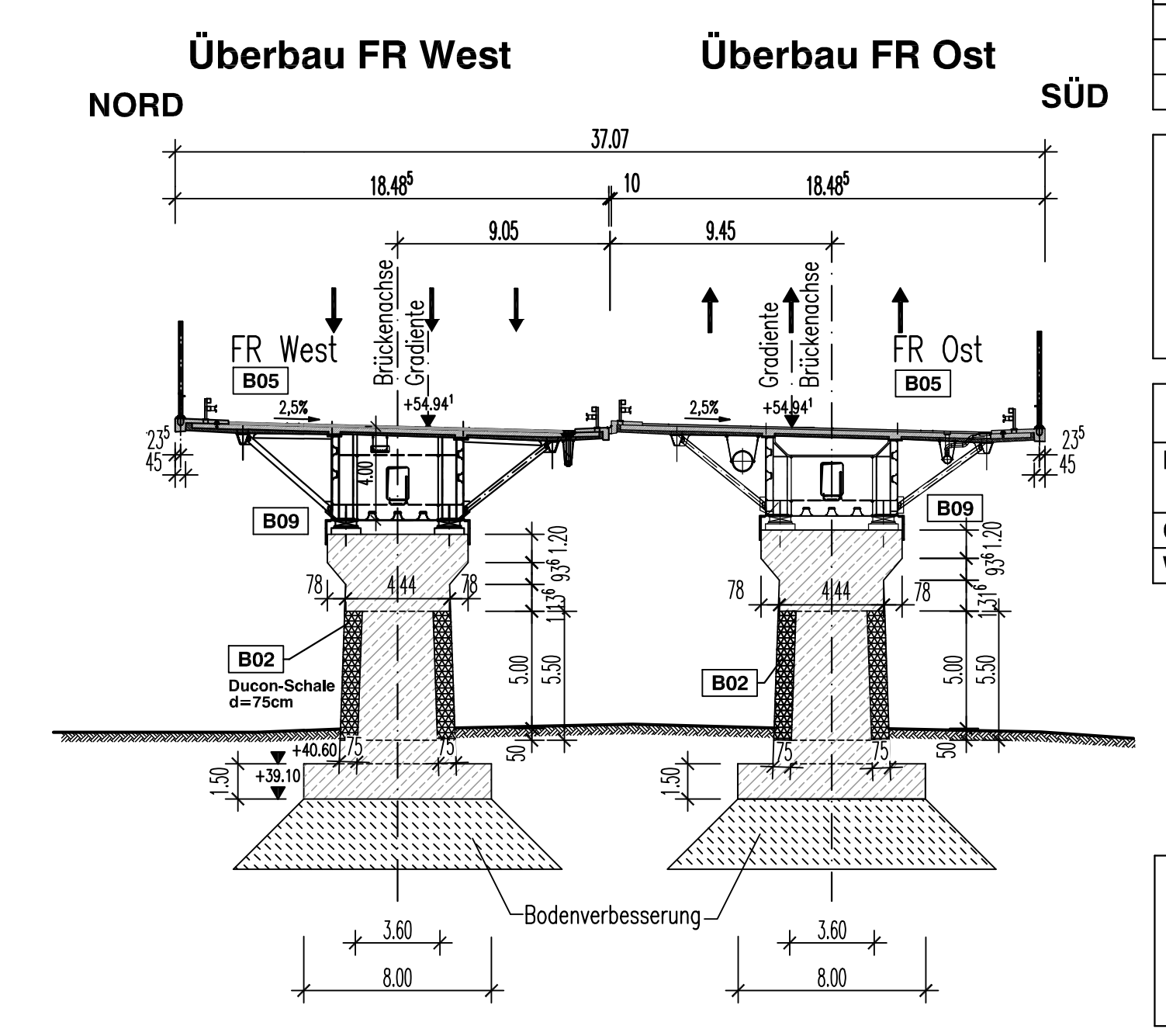
### Querschnitt in Achse 30

Maßnahme B0 2  
Ducon - Schale  
M. 1:250



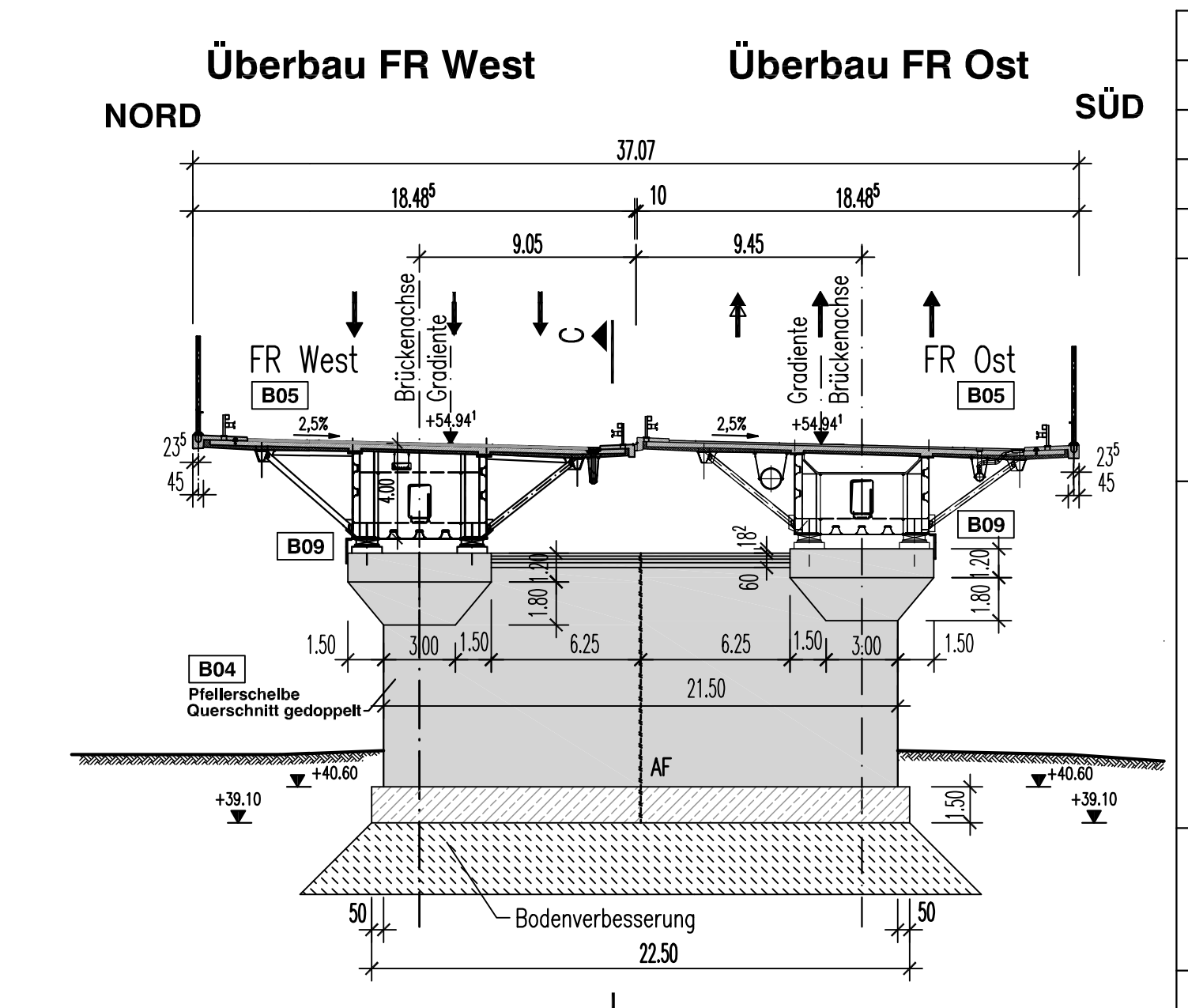
### Querschnitt in Achse 40

Maßnahme B0 2  
Ducon - Schale  
M. 1:250



### Querschnitt vor Achse 40

Maßnahme B0 4  
Ansicht - Pfeilerschleife  
M. 1:250



#### ANGABEN ZUR LAGERUNG

REIHE	ACHSE	00	10	20	30	40	50	60	70
1	FR A	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	FR A	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ständige Lasten F <sub>sd</sub>									
		2,7	9,7	12,0	12,9	12,0	9,8	9,3	2,9
max [MN] F <sub>sd</sub>									
		6,7	19,0	24,0	24,0	20,0	16,5	6,8	
min [MN] F <sub>sd</sub>									
		0,05	2,5	2,9	3,2	2,8	2,5	2,1	0,15
VERSCHIEBEBEWEGE [mm] V <sub>sd</sub>									
		±10	±10	±10	±10	±10	±10	±10	±10
HORIZONTALKRÄFTE LÄNGS [kN] F <sub>sd</sub>									
		—	—	—	—	—	±1,0	—	—
HORIZONTALKRÄFTE QUER [kN] F <sub>sd</sub>									
		±0,7	±2,2	±2,6	±2,6	±2,7	±2,3	±2,0	±0,8

\* Bemessungswerte QZT nach Gleichung (8.10) gemäß DIN-Fachbericht 101, Kapitel II  
 \*\* Verschiebung unter Berücksichtigung Entwurf-Nutzung Anhang D von DIN-Fachbericht 101

#### BAUSTOFFKENNWERTE

BAUTEIL	DRUCKVERLEGER	BETON	BAUSTAHL	BETONSTAHL
KAPPEN	XF4; XD3; XC4	C 25/30 LP	—	B500B
ÜBERBAU	XF2; XD1; XC4	C 35/45	—	B500B
LAGERSOCKEL	XF2; XD1; XC4	C 35/45	—	B500B
PFEILER	XF2; XD1; XC4	C 30/37	—	B500B
WIDERLAGER, STÜTZWÄNDE	XF2; XD1; XC4	C 30/37	—	B500B
FUNDAMENTE	XF1; XA2; XC2	C 30/37	—	B500B
SAUBERKEITSSCHICHT	—	C 8/10	—	—

LP = mit Luftporenbildner

#### BAUWERKSDATEN

BAUART	VERBUND
BRÜCKENKLASSE	gem. DIN-Fb 101
EINZELSTÜTZWEITEN	44,00+64,00+72,80+72,80+64,00+56,00+44,70 m
GESAMTLÄNGE ZW. ENDAUFLAGERN	418,30 m
LICHTE WEITE ZW. WIDERLAGERN	418,30 m
KLEINSTE LICHTE HOHE	ca. 4,50 m
BREITE ZWISCHEN GELÄNDERN	18,45 m
BRÜCKENFLÄCHE	7717,64 m <sup>2</sup>

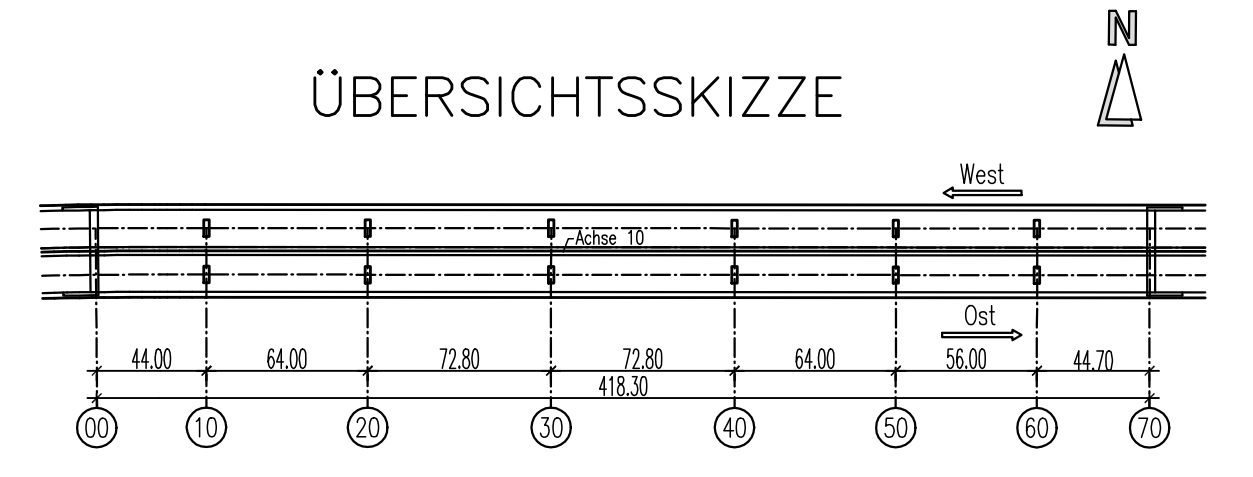
WAHRSCHEINLICHE STÜTZSENKUNG  
 Δsw = 1,0 cm JE STÜTZUNG, IN UNGÜNSTIGER KOMBINATION  
 (CIPOLZAKFORMIG) VOLLELASTISCH EINRECHNEN  
 MÖGLICHE STÜTZSENKUNG  
 ΔSm = GEMÄSS BODENUNTERTACHTEN EINRECHNEN

#### BODENKENNWERTE

BAUTEIL	γ	φ'	δ	Es, Eo	I <sub>g</sub>	ds	zul. ds	c'
GRÜNDUNG	—	—	—	—	—	—	—	—
WIDERLAGER HINTERF.	—	—	—	—	—	—	—	—

ZUGEHÖRIGE PLÄNE:  
 Blatt 2.1: Überbauquerschnitte  
 Blatt 3.1: Widerlager West, Achse 00  
 Blatt 4.1: Korrosionsschutzplan

ENDGÜLTIGE ABMESSUNGEN NACH STATISCHEN KONSTRUKTIVEN  
 UND WIRTSCHAFTLICHEN ERFORDERNISSEN



Index	Änderung	Datum	Zustand

Entwurfsbearbeitung: **Verbandprojekt SKRIBT**  
 Schutz kritischer Brücken und Tunnel  
 im Zuge von Straßen

Straße: **BAB**  
 Bauverfahren: **Neubau**

Bauwerk: **Musterbrücke - mit Fall**

Planungsstellung: **Übersichtsplan, Draufsicht, Längsschnitt, Ansicht, Querschnitt**

Anhang zu: Arbeitspaket 6 : Demonstration  
 Version 1, Stand: 15.07.2011



Gefördert durch:  
 Bundesministerium für  
 Bildung und Forschung (BMBF), Berlin  
 Projektträger:  
 VDI Technologiezentrum GmbH, Düsseldorf

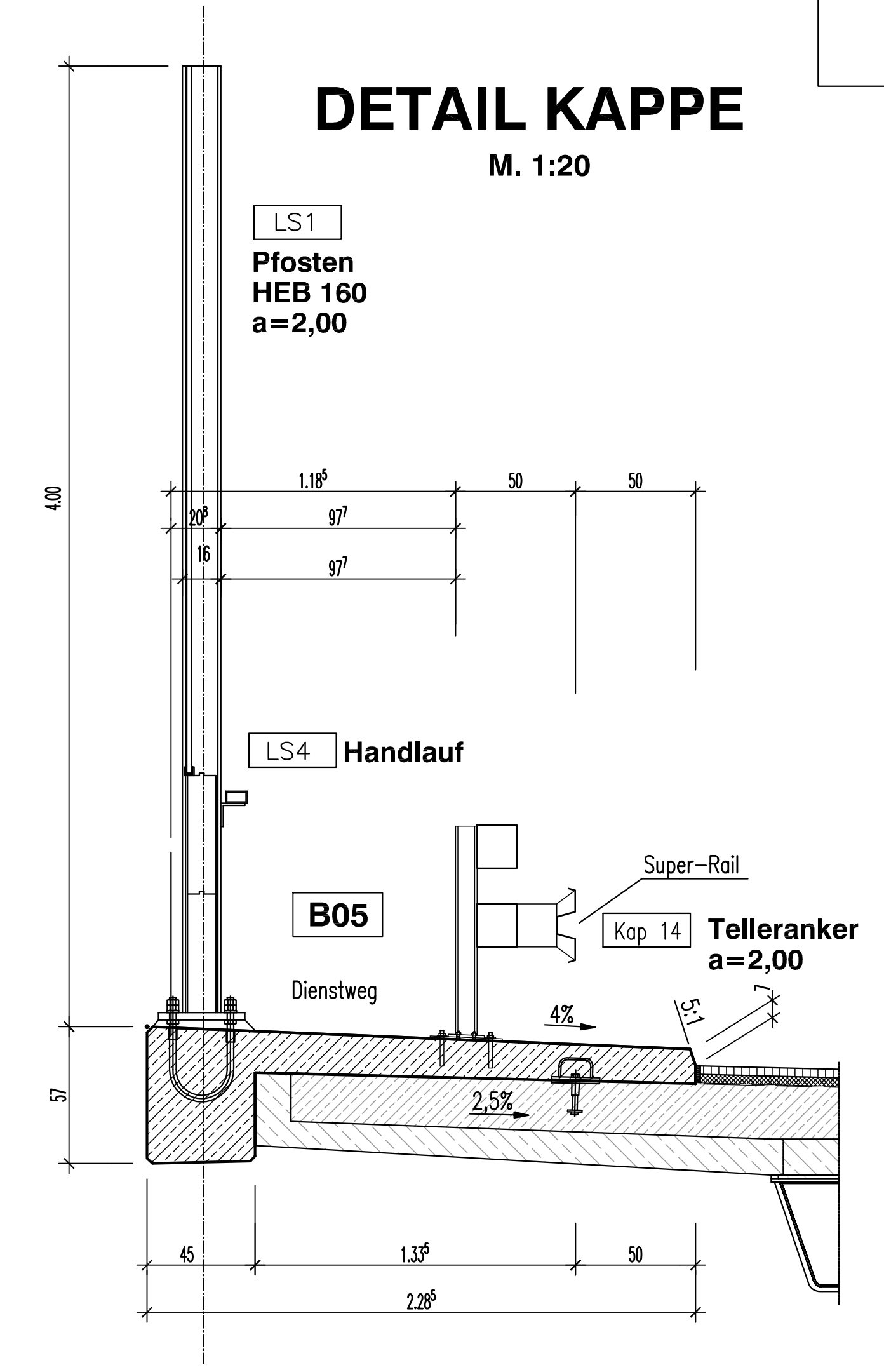
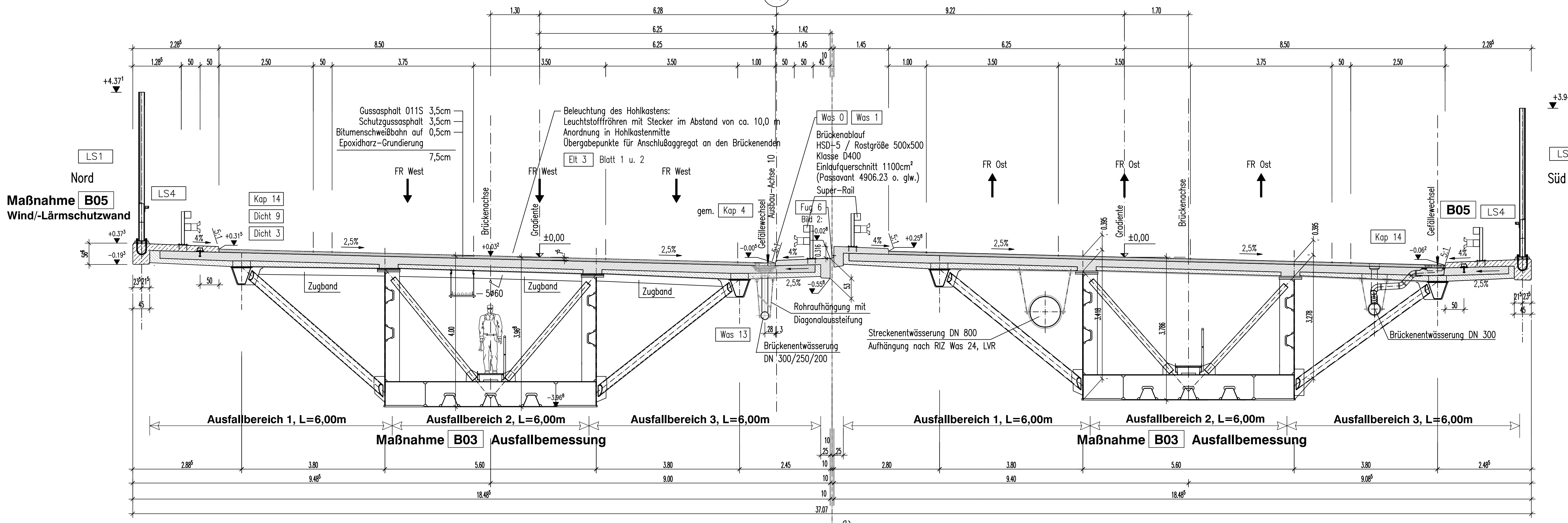
### FELDQUERSCHNITT

Regelbereich

M. 1:50

### Überbau FR West

### Überbau FR Ost

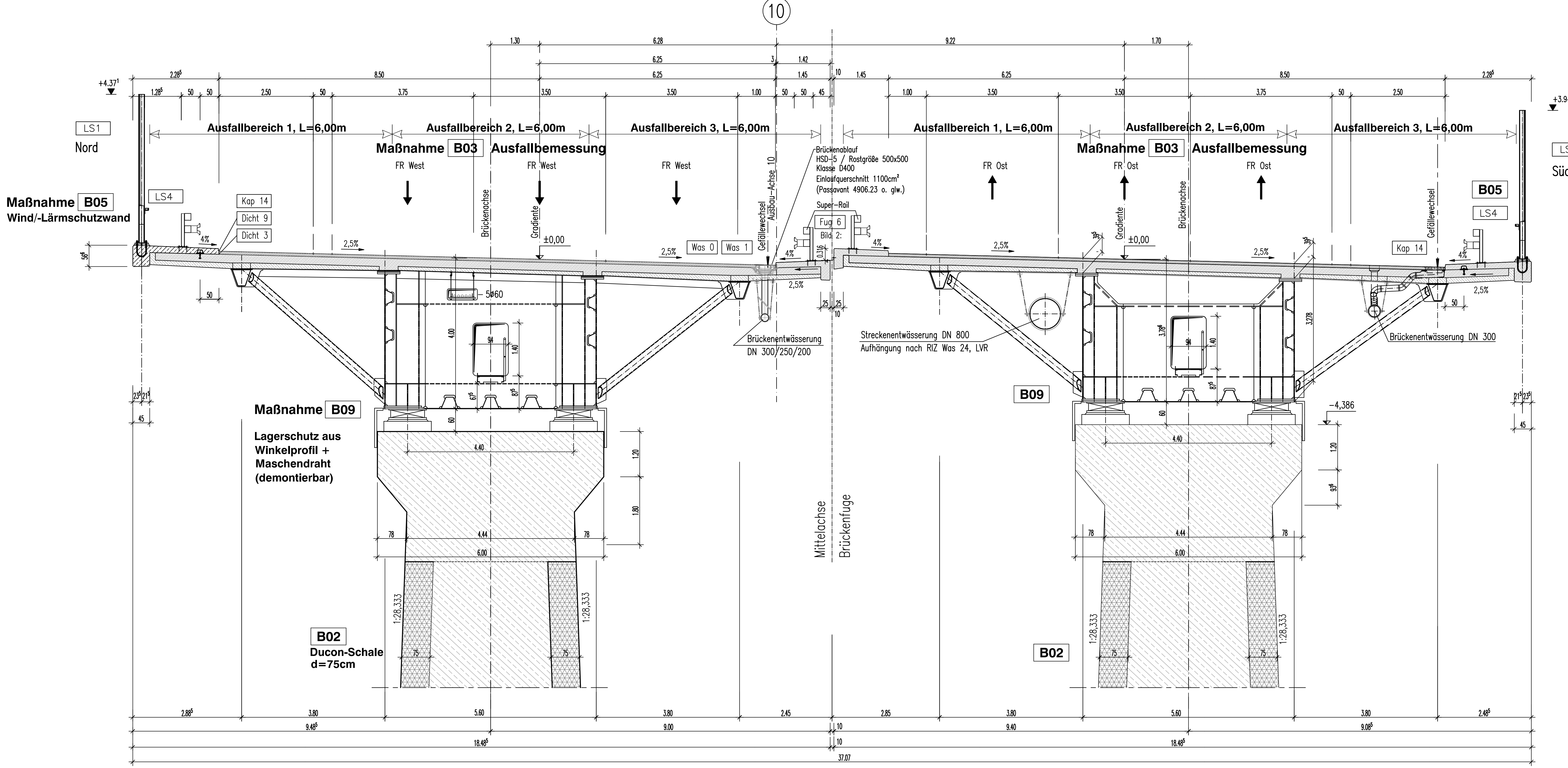


### PFEILERQUERSCHNITT

M. 1:50

### Überbau FR West

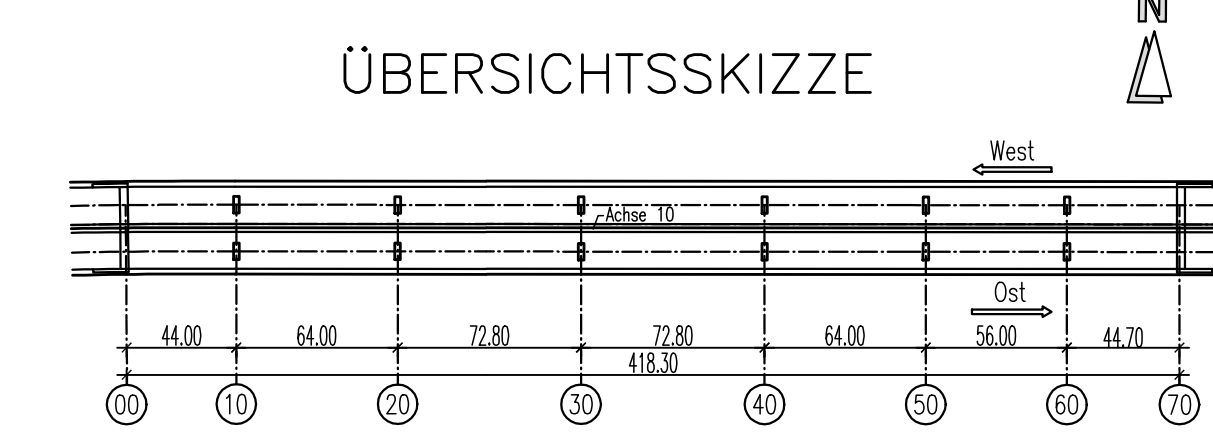
### Überbau FR Ost



ZUGEHÖRIGE PLÄNE:  
 Blatt 1.1: Übersichtsplan  
 Blatt 3.1: Widerlager West, Achse 00  
 Blatt 4.1: Korrosionsschutzplan

Umsetzbare Maßnahmen SKRIBT	
B02	Ducon-Schale
B03	Ausfallbemessung
B04	Pfeilerscheibe
B05	Windschutzwände
B09	Lagerschutz
B11	Zugungsverhinderung
B16	Felsblockicherung

ENDGÜLTIGE ABMESSUNGEN NACH STATISCHEN, KONSTRUKTIVEN UND WIRTSCHAFTLICHEN ERFORDERNISSEN



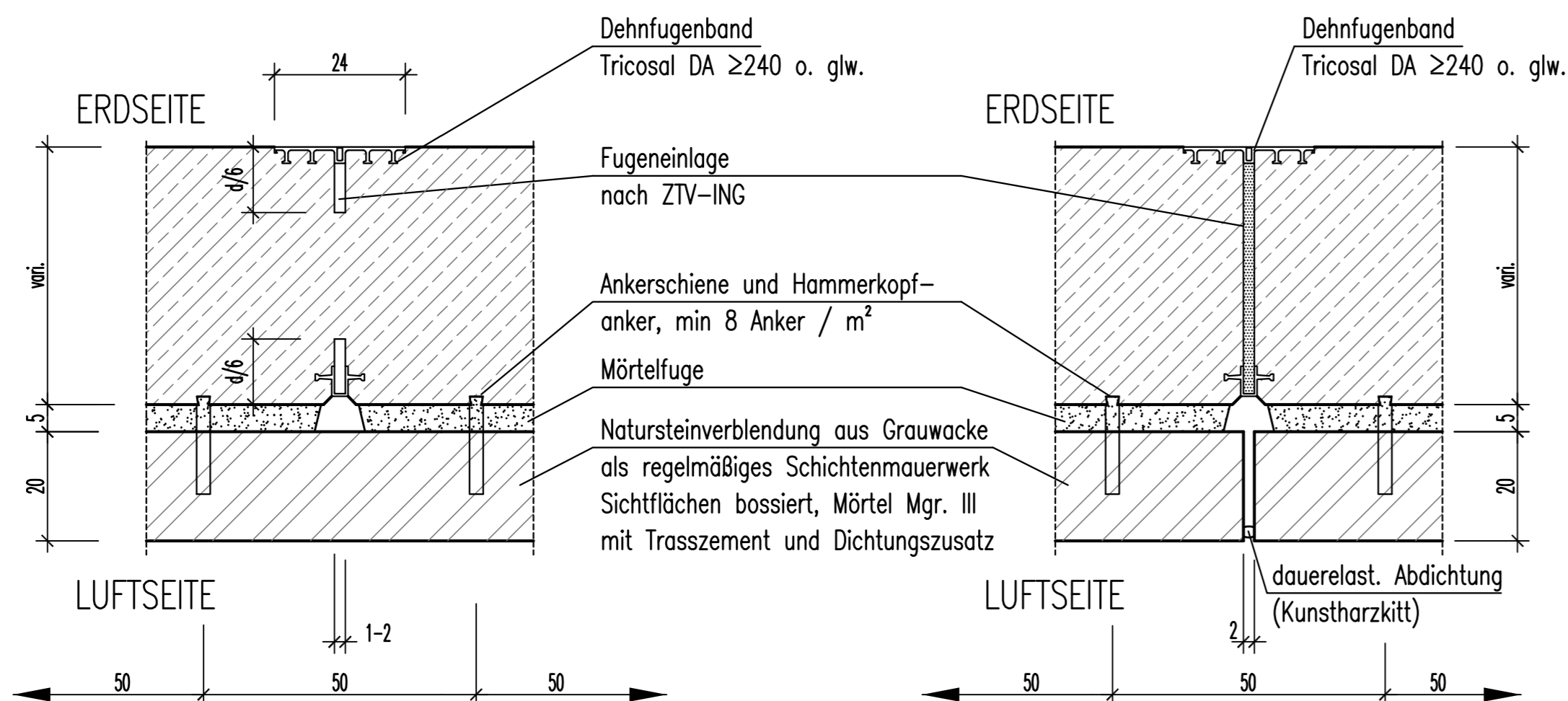
Index	Änderung	Datum	Zeichen
Entwurfsbearbeitung			
Verbundprojekt SKRIBT Schutz kritischer Brücken und Tunnel im Zuge von Straßen			
Projekt-Nr. 2007/21			Blatt-Nr.
Datum 20.06.2011			Zeichen Henke
Gez. 20.06.2011			Dr. Thelen
Gepr. 20.06.2011			Dispori
Anlage			
Straße: BAB			
Bauvorhaben: Neubau			
Gemarkung:			
Bauwerk: Musterbrücke - mit Fall			
Pflanzdarstellung:			
Überbauquerschnitte			
Anhang zu: Arbeitspaket 6 : Demonstration Version 1, Stand: 15.07.2011			
Datum			Zeichen
ASB-Nr.			Bauerfeldplan
Mafstab			150 / 120



Gefördert durch:  
 Bundesministerium für  
 Bildung und Forschung (BMBF), Berlin  
 Projektträger:  
 VDI Technologiezentrum GmbH, Düsseldorf

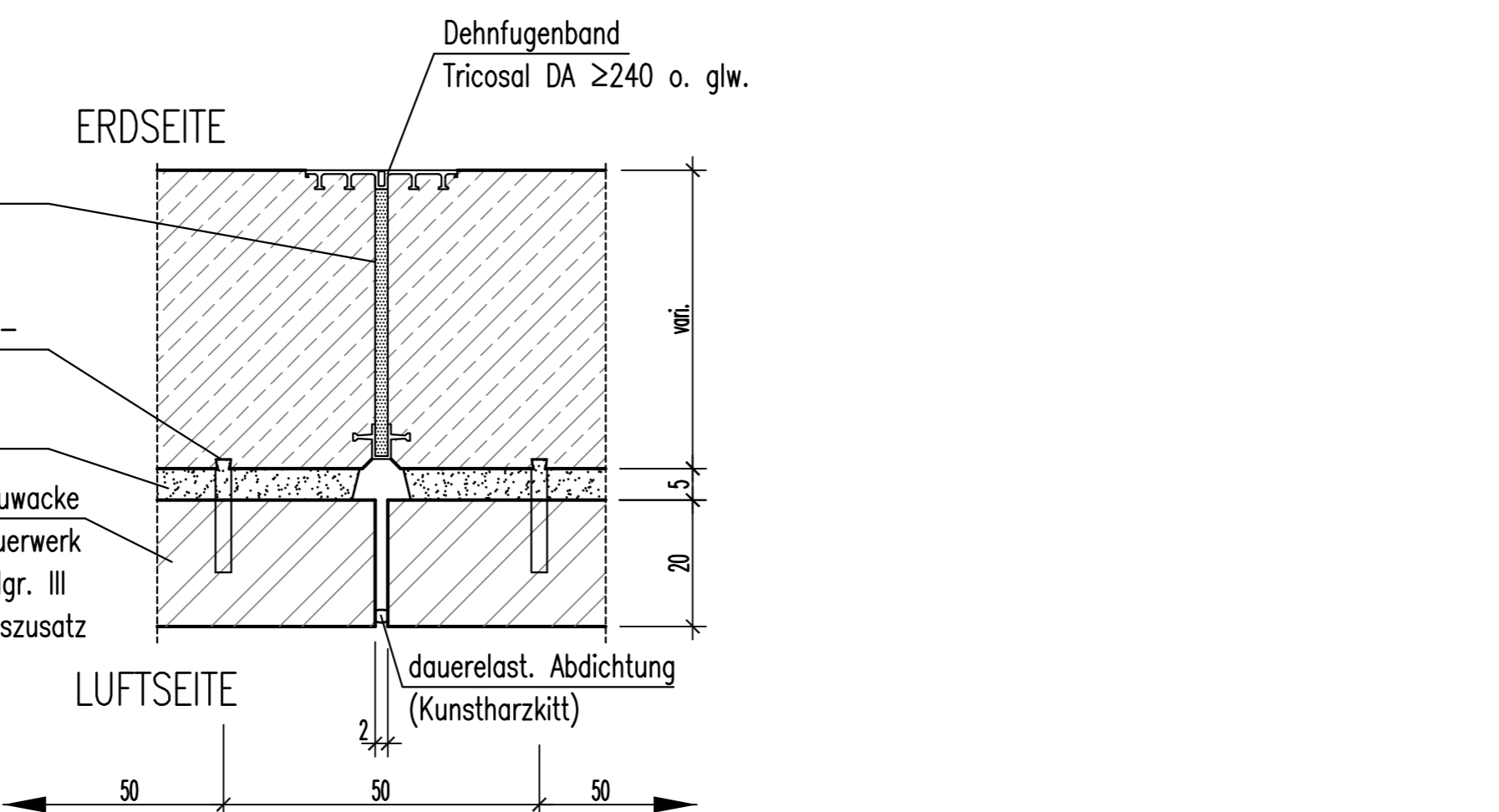
### SCHEINFUGE

gem. Fug 2, Bild 2  
Verblend MW gem. Verb 1  
M 1:10



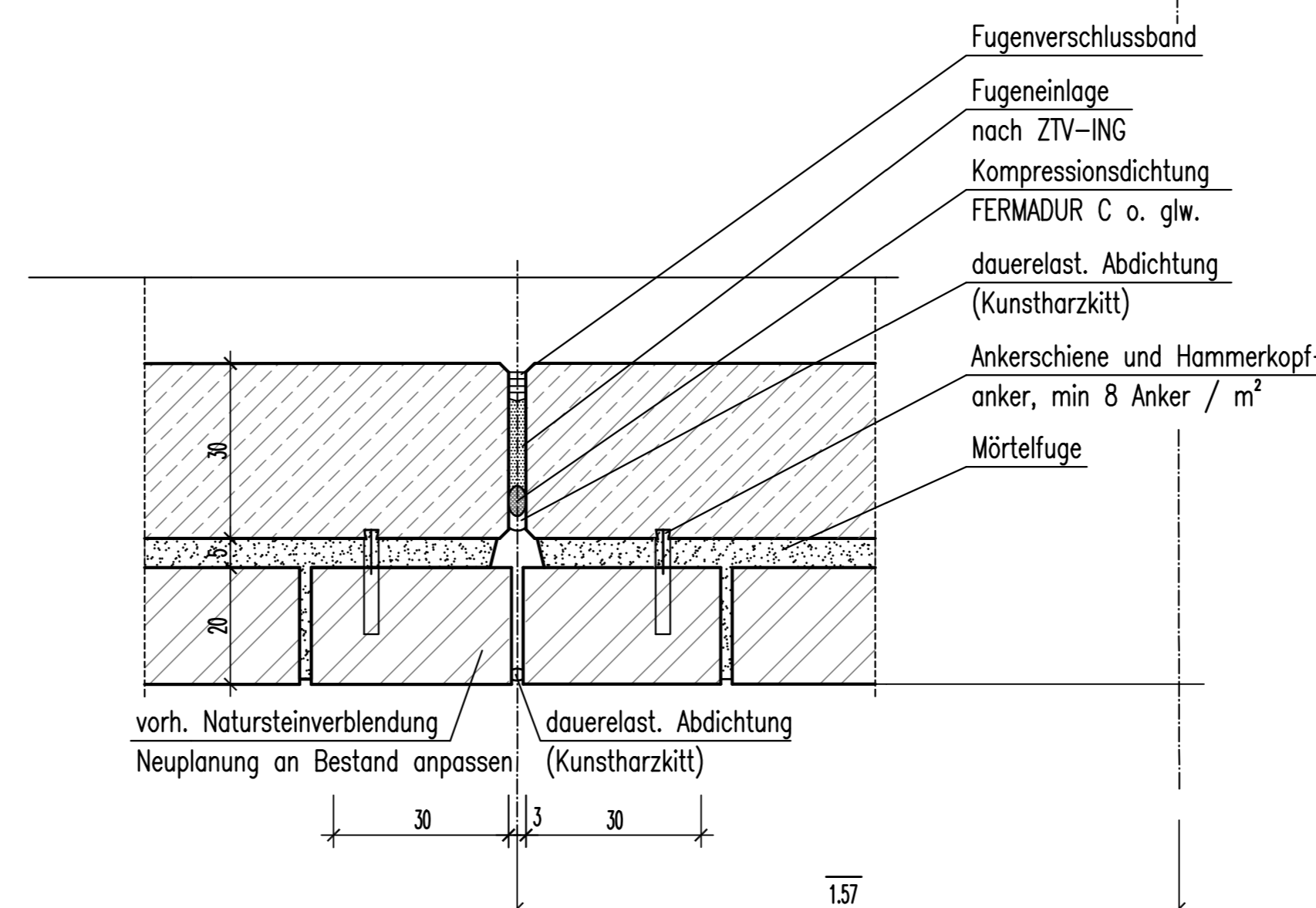
### RAUMFUGE

gem. Fug 1, Bild 2  
Verblend MW gem. Verb 1  
M 1:10



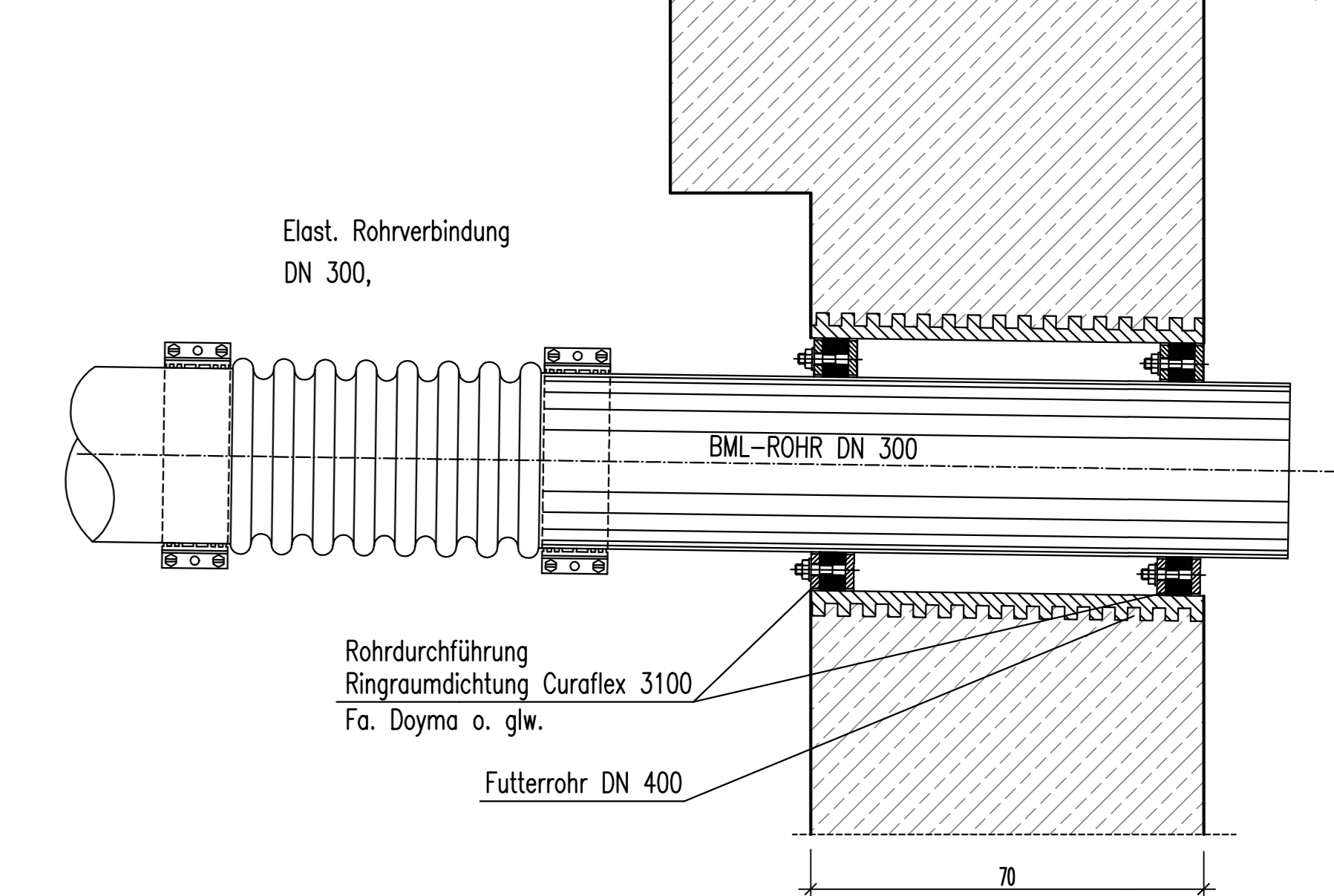
### DETAIL "B"

M 1:10



### DETAIL "A"

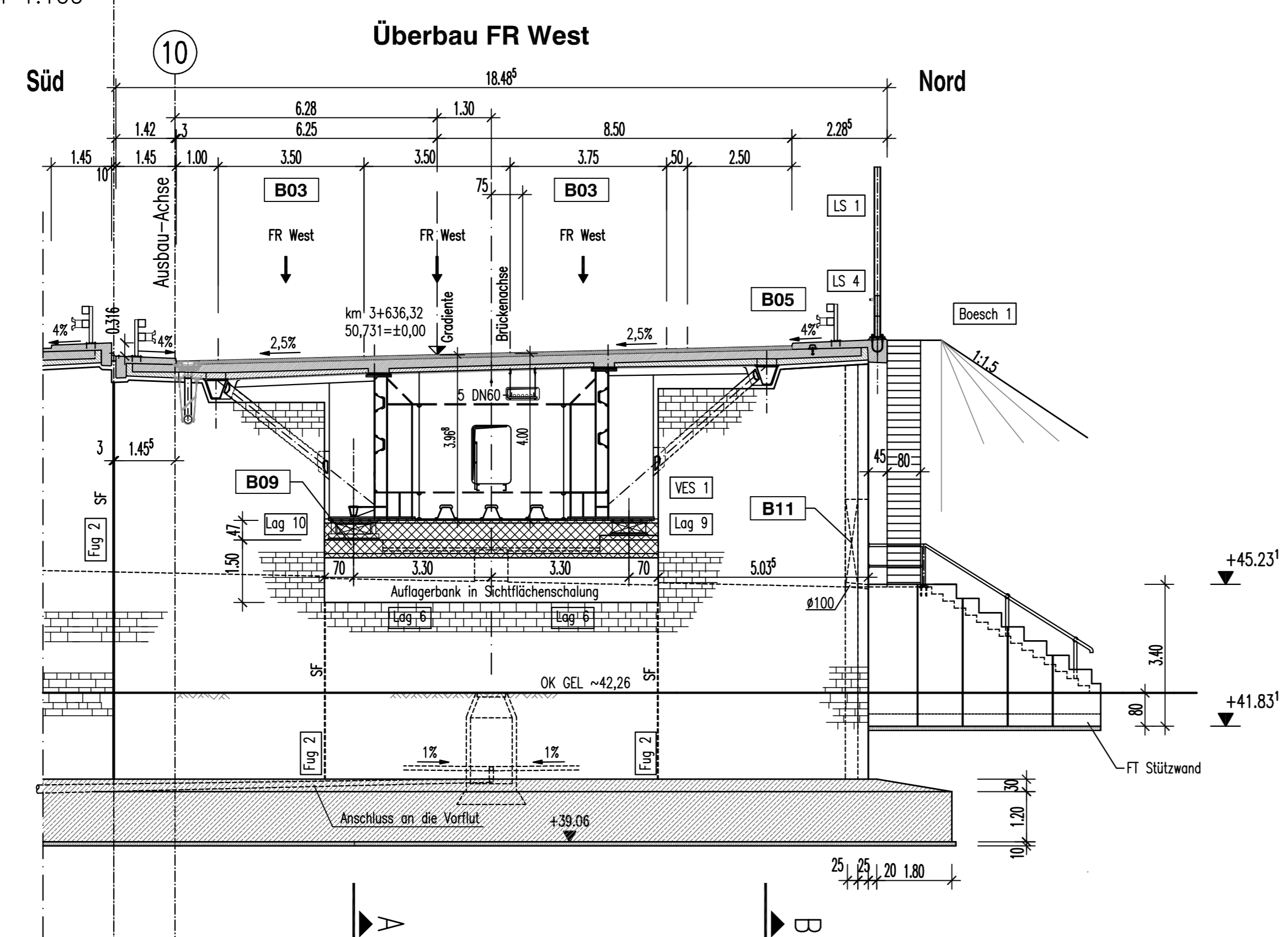
M 1:10



### QUERSCHNITT

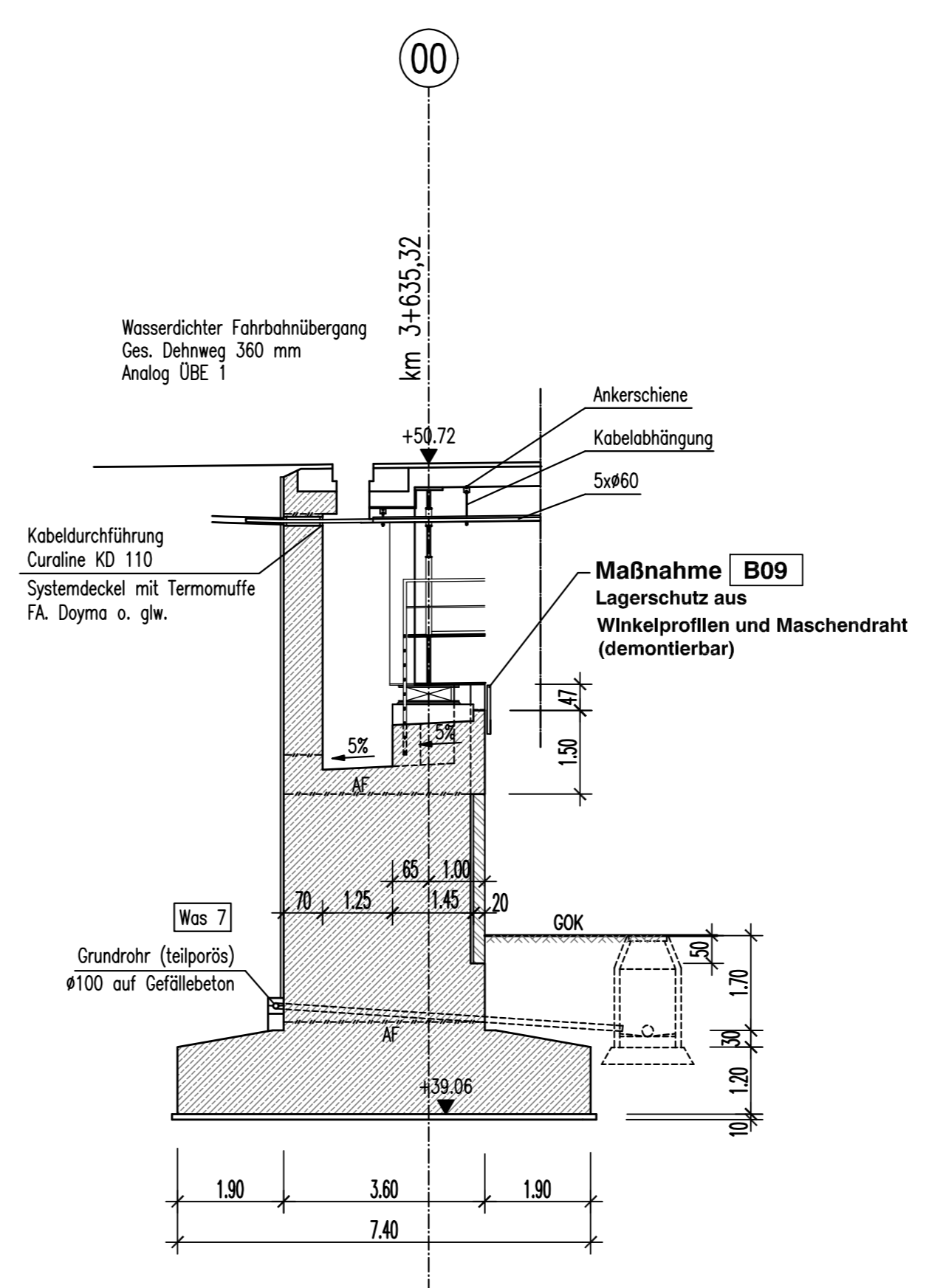
Wiederlager West- nördlicher Teil

M 1:100



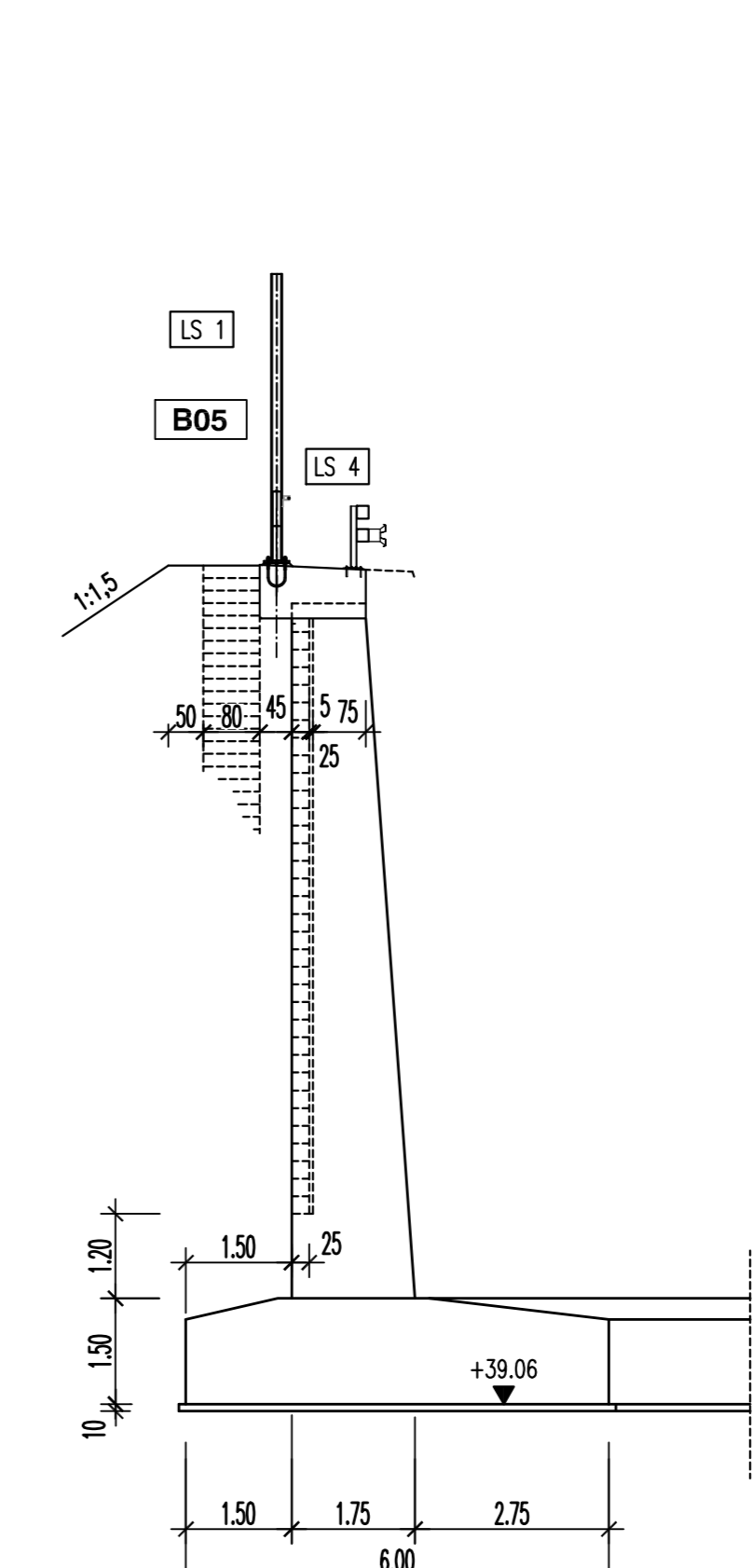
### SCHNITT A-A

M 1:100



### SCHNITT C-C

M 1:100



Hinweis zur Gründung der Fundamente  
Wiederlager und Flügel als Flachgründung auf festem Fels mit Verzahnung ausführen!  
Bereiche zwischen stark geneigten Teilpartien bzw. Lockerbodenbereichen unter der Gründungsohle sind bei Bedarf durch Einbau von Unterbeton C 25/30 (Füllbeton) zu ersetzen!

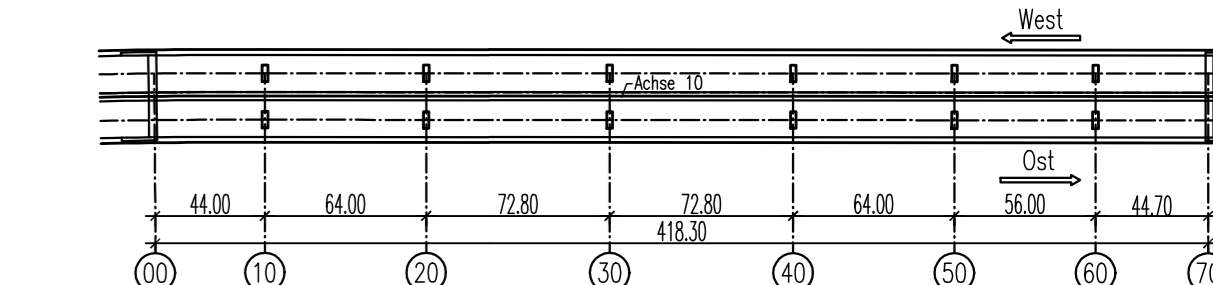
#### Umsetzbare Maßnahmen SKRIBT

B02	Ducon-Schale
B03	Ausfallbemessung
B04	Pfellerscheibe
B05	Windschutzwände
B09	Lagerschutz
B11	Zugangsverhinderung
B16	Felsblocksicherung

ZUGEHÖRIGE PLÄNE:  
Blatt 1:1: Übersichtsplan  
Blatt 2:1: Überbauquerschnitte  
Blatt 4:1: Korrosionsschutzplan

ENDGÜLTIGE ABMESSUNGEN NACH STATISCHEN, KONSTRUKTIVEN UND WIRTSCHAFTLICHEN ERFORDERNISSEN

### ÜBERSICHTSSKIZZE

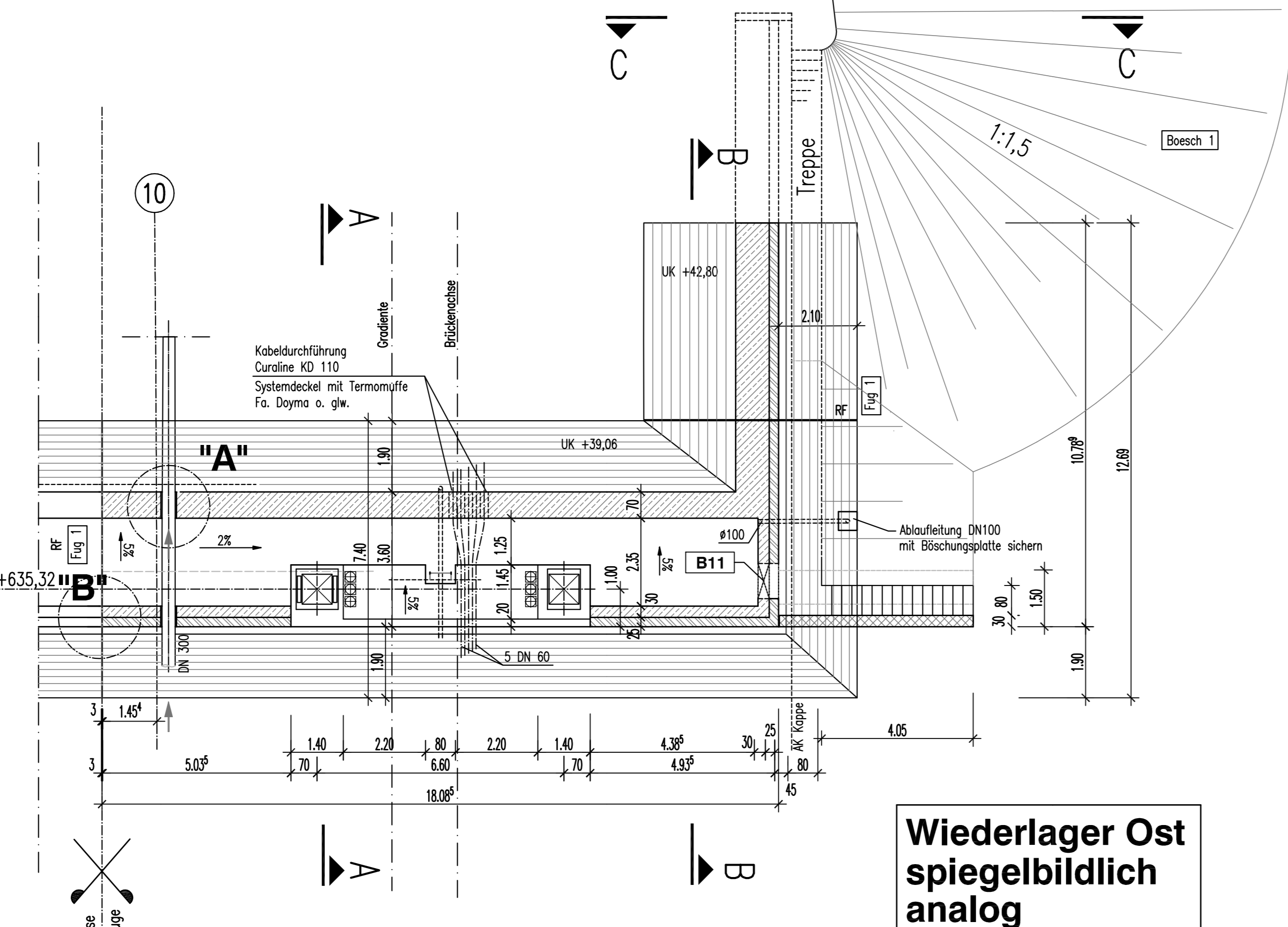


### HORIZONTALSCHNITT

Wiederlager West- nördlicher Teil

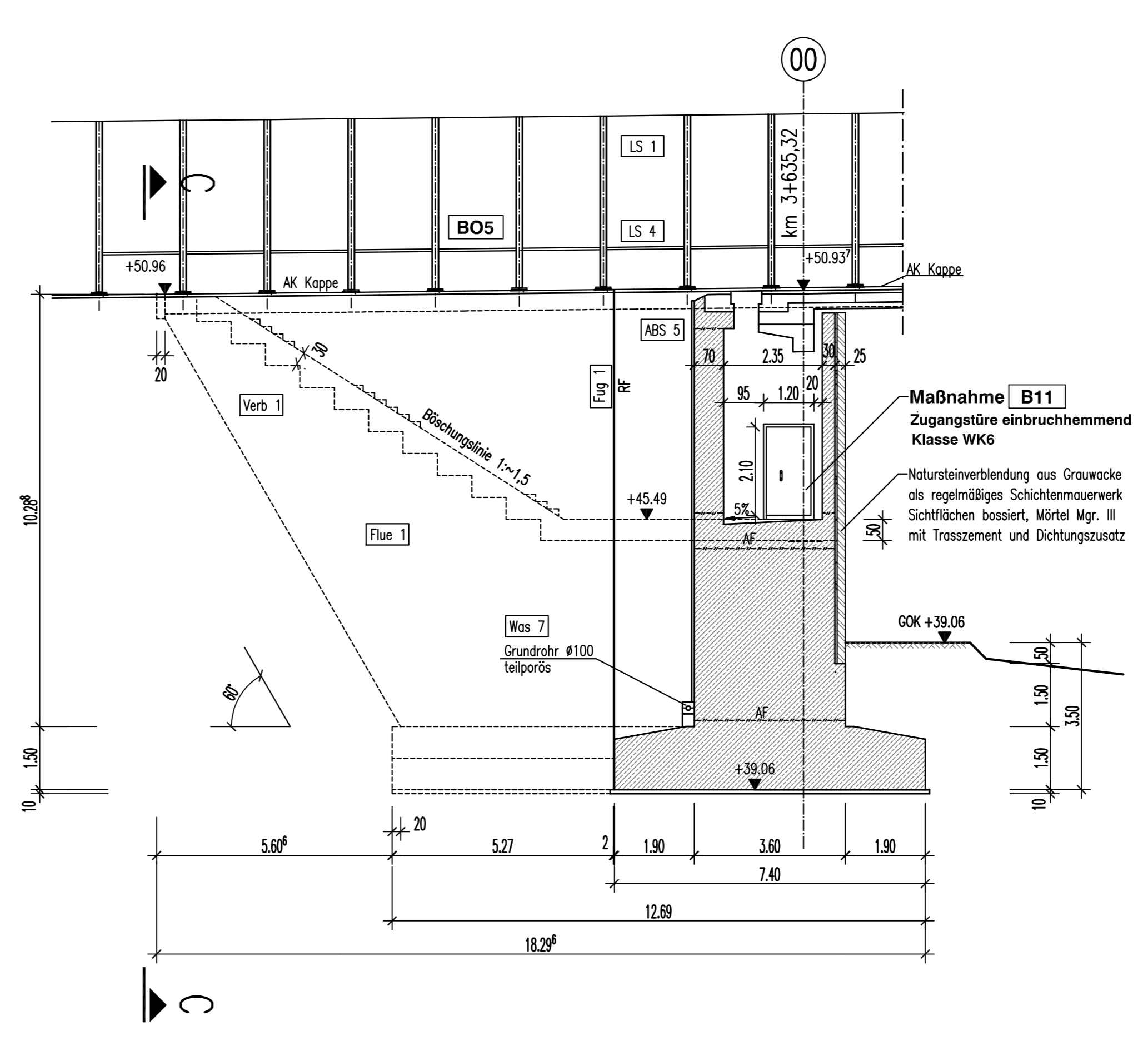
M 1:100

Wiederlager West- südlicher Teil spiegelbildlich



### SCHNITT B-B

M 1:100

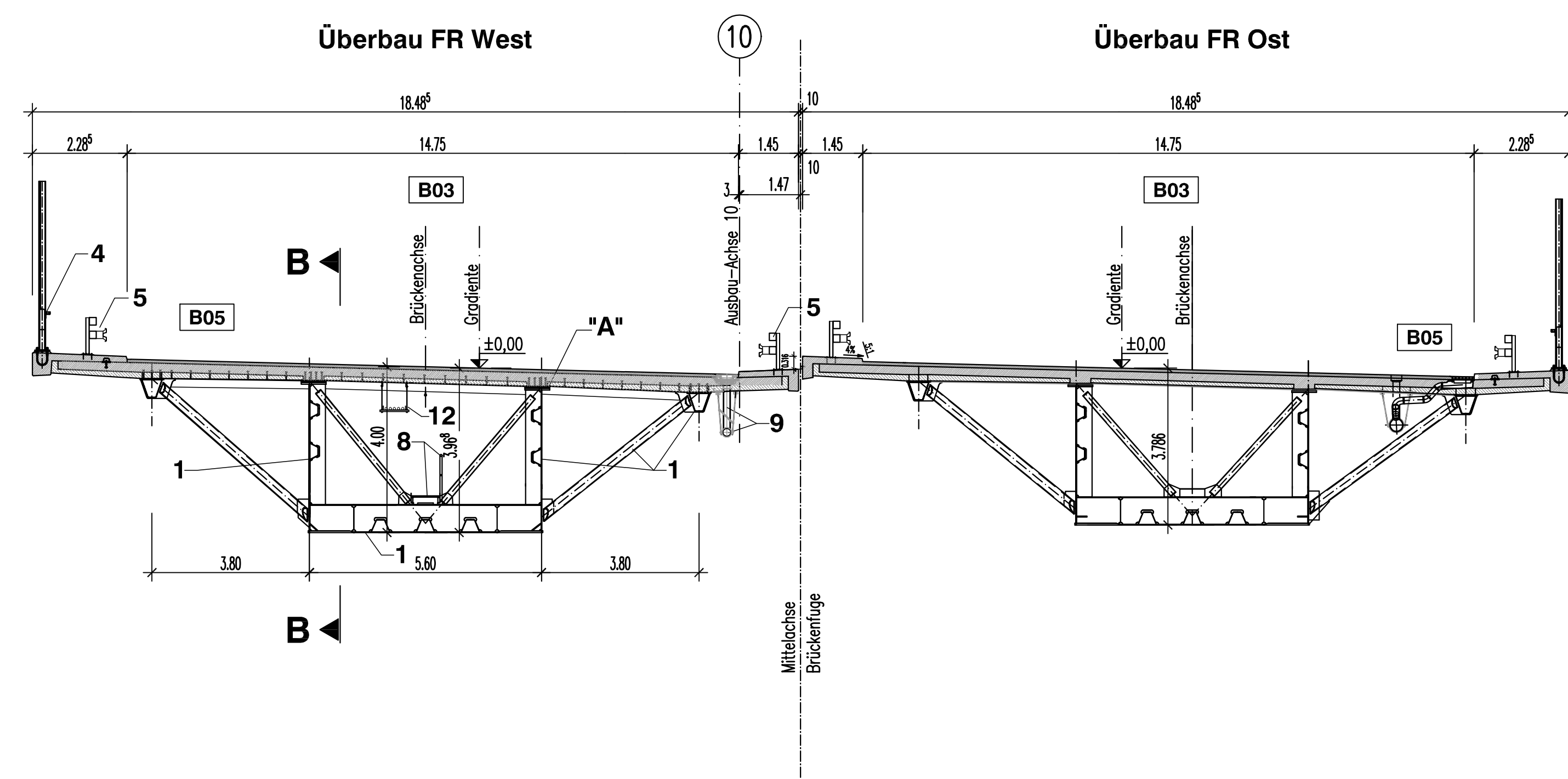


Gefördert durch:  
Bundesministerium für  
Bildung und Forschung (BMBF), Berlin  
Projektträger:  
VDI Technologiezentrum GmbH, Düsseldorf



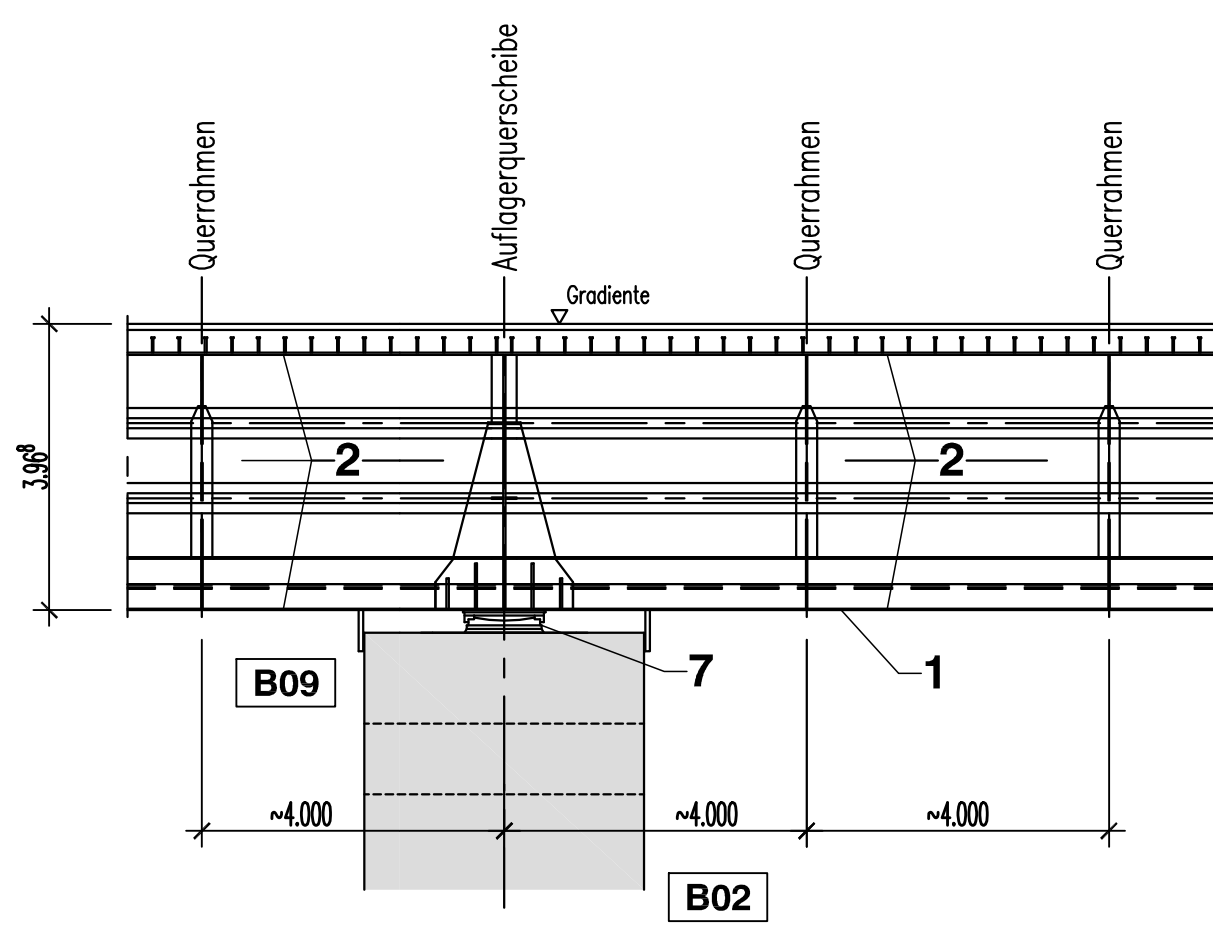
# KORROSIONSSCHUTZAUFBAU DES STAHLÜBERBAUS

## FELDQUERSCHNITT

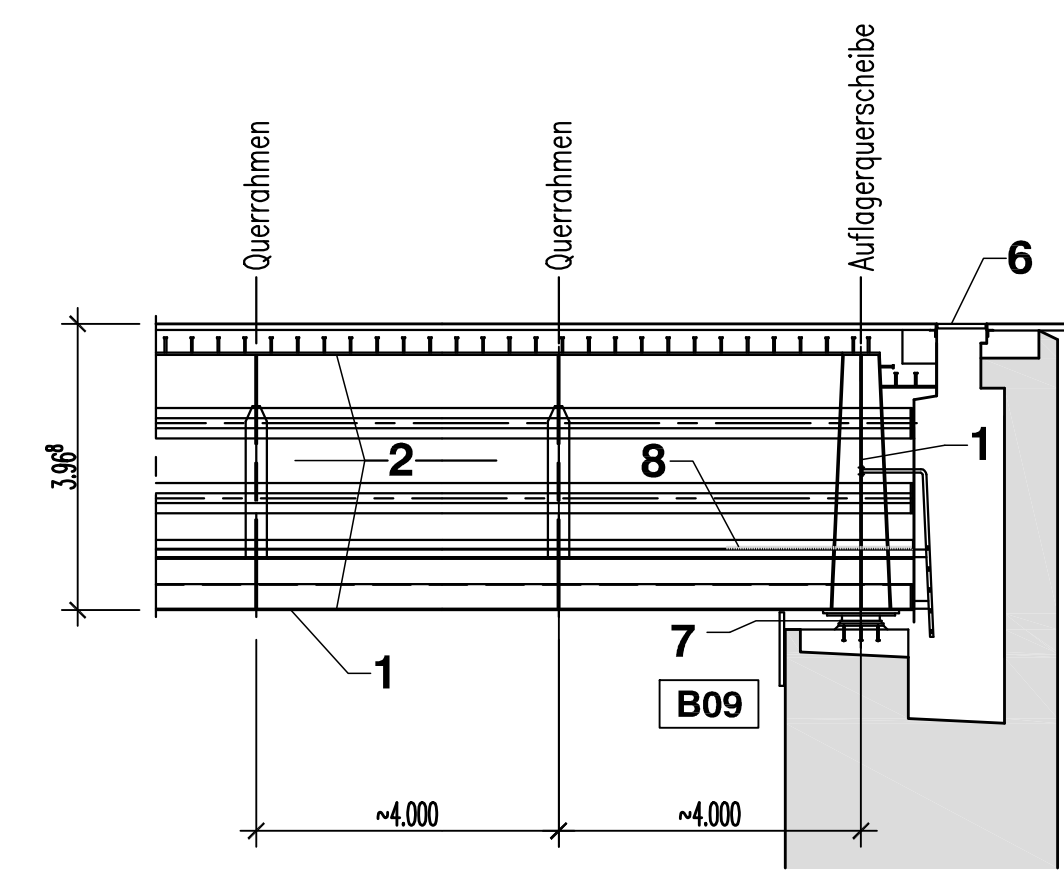


## LÄNGSSCHNITT B - B

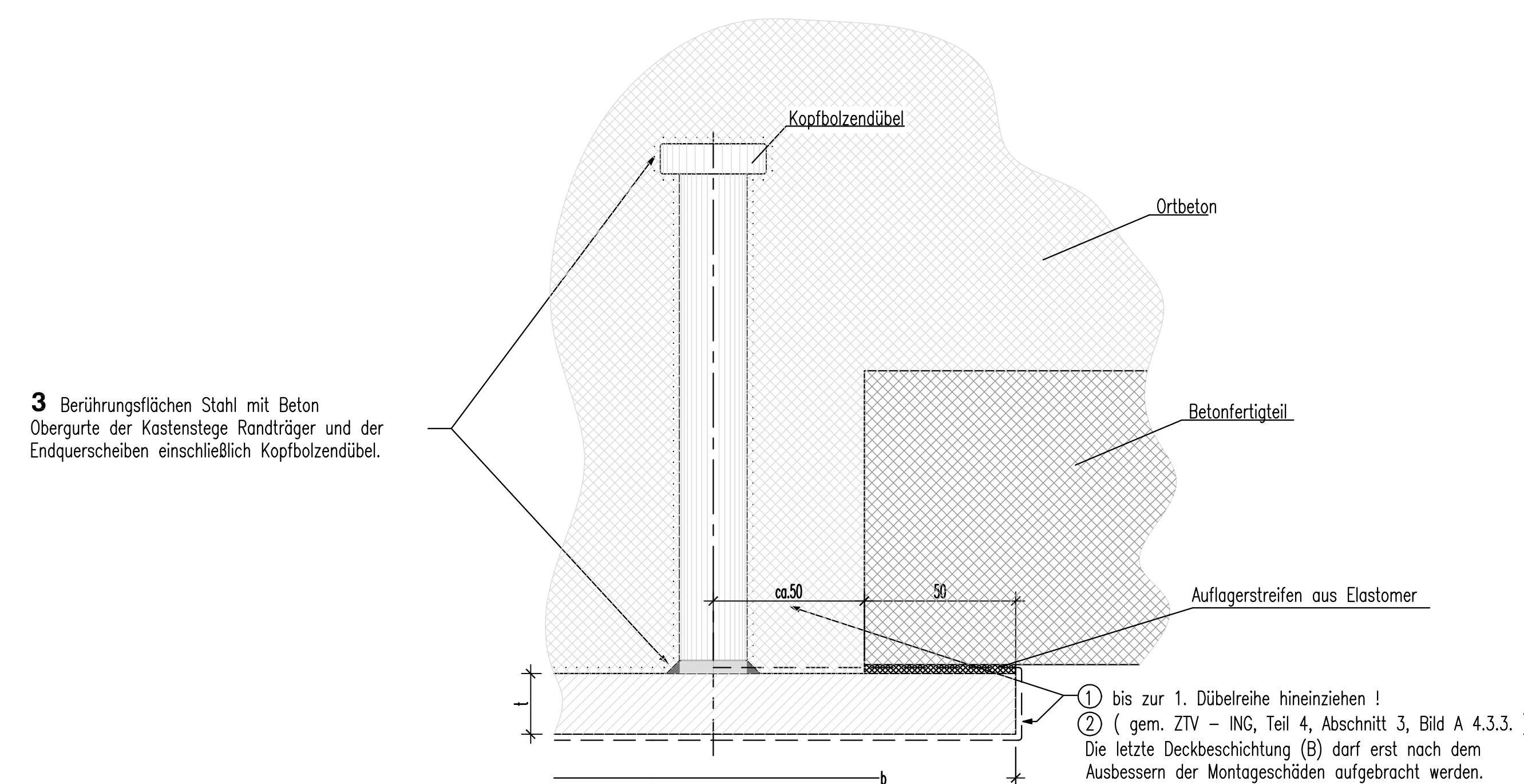
am Pfeiler



am Widerlager



## DETAIL "A"



LV.Pos.	Nr.	Menge	Bezeichnung	Ort	Beschichtung	Beschichtungstoffe	nach TL 918, 300 Bl.	Stoff Nr.	Schichtdicke mm	Farbton
1	1	1	Außenflächen Hohlkästen, Druckstreben, Stützträger, Auflagerquerschnitt und Beschichtungsträger s. auch Detail "A"	W		Entrostung SA 2½, mittel (G)				
				W	GB	Epoxidharz - Zinkstaub	87	687.03	70	grau
				W	KS	Epoxidharz - Zinkphosphat	87	687.06	(80)	rotbraun RAL 8012
				W	1.ZB	Epoxidharz - Eisenglimmer	87	687.13	80	grau DB 703
				W	2.ZB	Epoxidharz - Eisenglimmer	87	687.12	80	grau DB 702
			B	DB	Polyurethan - Eisenglimmer **	87	687. ...	80	blau DB 510	
									Σ=310	
2	2	1	Innenflächen Hohlkästen (ständig belüftet)	W		Entrostung SA 2½, mittel (G)				
				W	GB	Epoxidharz - Zinkstaub	87	687.03	70	grau
				W	KS	Epoxidharz - Zinkphosphat	87	687.06	(80)	rotbraun RAL 812
				W	1.ZB	Epoxidharz - Eisenglimmer	87	687.13	80	grau DB 703
				W	2.ZB	Epoxidharz - Eisenglimmer	87	687.12	80	grau DB 702
			B	DB	Epoxidharz - Eisenglimmer **	87	687.12	80	grau DB 702	
									Σ=230	
3	3	1	Oberflächen der Stahlkonstruktion einschließlich Kopfbolzendübel (Berührungsflächen von Stahl und Ortbeton) s. Detail "A"	W		Entrostung SA 2½ mittel (G)				
				W	GB	Epoxidharz - Zinkstaub	87	687.03	50	grau
4	4	1	Geländer	W	Vorbereitung	Beizen, Norm-Reinheitsgrad BE				
				W	GB	Feuerverzinkung	DIN EN ISO 1461		85	
				B	ZB	EP - Grundlage ***	87	687.13	80	grau DB 703
				B	DB	PUR - Grundlage	87	687.12	80	grau DB 702
									Σ=245	
5	5	1	Schutzplatten Montageplatte Doppelständermast	W	Vorbereitung	Beizen, Norm-Reinheitsgrad BE				
				W	GB	Feuerverzinkung	DIN EN ISO 1461		70	
6	6	1	Übergänge (nicht betonberührte Flächen)	W		Entrostung SA 2 1/2, mittel (G)				
				W	GB	Epoxidharz - Zinkstaub	87	687.03	70	grau
				W	KS	wie 1	87	687.06	(80)	rotbraun
				W	1.ZB	wie 1	87	687.13	80	grau DB 703
				W	2.ZB	Epoxidharz - Eisenglimmer	87	687.14	80	grau DB 601
				W	3.ZB	Epoxidharz - Eisenglimmer	87	687.12	80	grau DB 702
			B	DB	Epoxidharz - Eisenglimmer	87	687.13	80	grau DB 703	
									Σ=390	
7	7	1	Lager (nicht betonberührte Flächen)	W		Entrostung SA 3, grab (G)				
				W	GB	Spritzverzinkung (thermisch)	DIN EN 22063		100	
				W	ZB	Epoxidharz - Eisenglimmer	87	687.13	80	grau DB 703
				B	DB	Polyurethan	87	687.30	80	rot DB 310
									Σ=260	
8	8	1	Begehung Gitterrost, Leitern, Handlauf Beschichtungsgang (im WL) (im Hohlkasten)	W	Vorbereitung	Beizen, Norm-Reinheitsgrad BE				
				W	GB	Feuerverzinkung	DIN EN ISO 1461		85	
9	9a	1	Überbauentwässerung	W		Entrostung SA 3 (außen) grab (G)				
				W		Entrostung SA 2 1/2 (innen+ Formstücke) mittel (G)				
				W	GB	Spritzverzinkung (thermisch/zweischichtig)	DIN EN 22063		40	
				W	ZB	Epoxidharz - Eisenglimmer	87	687.13	80	grau DB 703
				W	DB	Polyurethan	87	687. ...	80	Festlegung durch AG
				W	DB	Epoxidharz - Kombination	81	681.11	120	schwarz
				W	GB	Epoxidharz - Zinkstaub	87	687.03	70	grau DB 703
				W	DB	Epoxidharz - Eisenglimmer	87	687.13	80	grau DB 703
				W	2.DB	Polyurethan	87	687. ...	80	Festlegung durch AG
10	10	1	Montageböle (gemäß Profilanlieferung) temporärer Schutz	B	wie Nr. 1	wie Nr. 1	87	wie Nr. 1	wie Nr. 1	
				B	GB	PVC - AK - Zinkph.	77	677.02	80	RAL 1002 (sandgelb)
11	11	1	Kontaktflächen GV-, GVP-Verbindungen	W		Entrostung SA 3, grab (G)				
				W	GB	ASI-Zinkstaub	85	685.03	40	grau
12	12	1	Kabelbahn	W		Feuerverzinkt				

Kontrollflächen nach ZIV-ING anlegen!

W = Beschichtung im Werk  
B = Beschichtung auf Baustelle  
KS = Kantenbeschichtung  
GB = Grundbeschichtung  
ZB = Zwischenbeschichtung  
DB = Deckbeschichtung (= Schlußbeschichtung)

### Umsetzbare Maßnahmen SKRIBT

- B02** Ducon-Schale
- B03** Ausfallbemessung
- B04** Pfeilerscheibe
- B05** Windschutzwände
- B09** Lagerschutz
- B11** Zugangsverhinderung
- B16** Felsblocksicherung

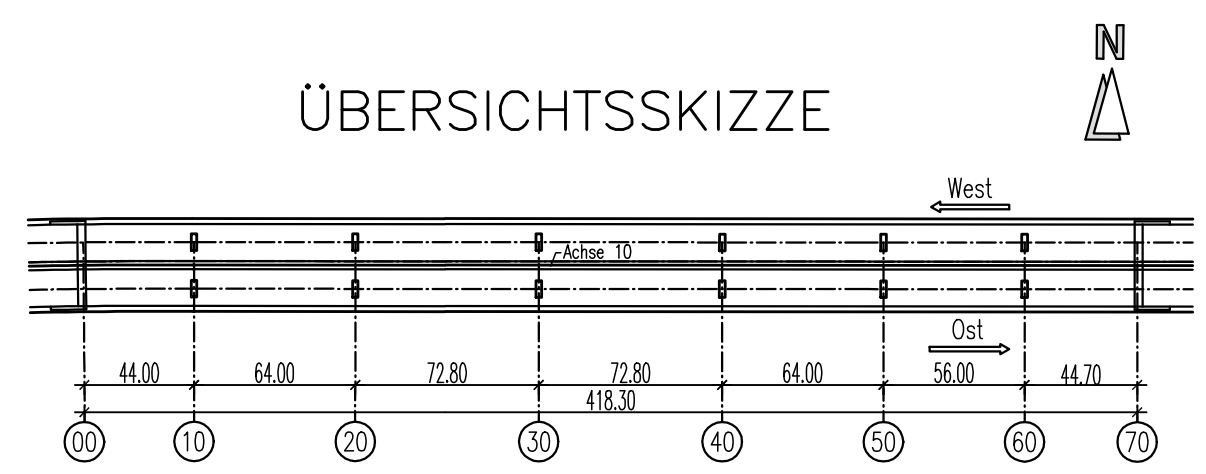
\*\* Reinigung vor Aufbringung der Deckbeschichtung nach Wahl des AN

\*\*\* Zur Haftverbesserung Sweep-Strahlen nach DIN EN ISO 12944, Teil 4

### ZUGEHÖRIGE PLÄNE:

- Blatt 1.1 : Übersichtsplan
- Blatt 2.1 : Überbauquerschnitte
- Blatt 3.1 : Widerlager West, Achse 00

### ENDGÜLTIGE ABMESSUNGEN NACH STATISCHEN, KONSTRUKTIVEN UND WIRTSCHAFTLICHEN ERFORDERNISSEN



Index	Änderung	Datum	Zeichen

Index	Änderung	Datum	Zeichen

Index	Änderung	Datum	Zeichen

Index	Änderung	Datum	Zeichen

Gefördert durch:  
Bundesministerium für  
Bildung und Forschung (BMBF), Berlin  
Projekträger:  
VDI Technologiezentrum GmbH, Düsseldorf



**Anhang 10: Demonstrationsobjekt  
Brücke Nachrüstung**







## **Anhang 11: Zielerreichung**

# Anhang 11

## Erbrachte Leistungen: Allgemein

- Klärung / Abstimmung der Bearbeitungsstruktur (gmP)  
[welche Ergebnisse, wie kommt man dahin]
- Klärung / Abstimmung der Arbeitsthemen und deren Bearbeiter (gmP)  
[wer macht was]
- Klärung Vorgehensweise Gruppenarbeit (gmP)
- Sichten der Ergebnisse Vorlaufarbeiten / Partnerbeiträge, Abstimmen der Endergebnisse hinsichtlich aktuellem AP (SP)
- Laufende Abstimmung mit Co-Bearbeitern im AP (SP)

Legende:

AP		
2.1		
2.2		

= bearbeitetes Arbeitsthema

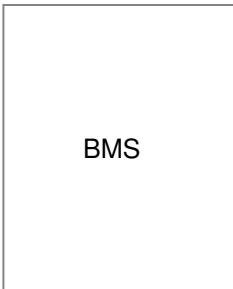
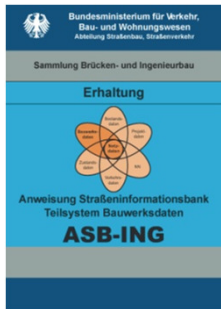
= erledigtes Arbeitsthema

AP		
2.1	4.1	5.8
2.2	4.2	6.1
2.3	4.3	6.2
2.4	4.4	6.3
2.5	4.5	6.4
2.6	4.6	6.5
2.7	5.1	6.6
3.1	5.2	6.7
3.2	5.3	7.1
3.3	5.4	7.2
3.4	5.5	ZL
3.5	5.6	
3.6	5.7	

# Anhang 11

## Erbrachte Leistungen: AP2 - Bauwerkskategorisierung

### Unterlagenanalyse



⇒ Regelung zu Bauwerksüberprüfungen (Standicherheit, Verkehrssicherheit, Dauerhaftigkeit)

⇒ Regelung zur vereinheitlichten Prüfergebnisdarstellung, Ergebnisauswertung

⇒ Allgemein eingeführte EDV-Oberfläche für Bauwerksbücher, Schadenserfassung, Zustandsnote, Bereitstellung Daten

⇒ Regelung zur Erhaltung, Prozessmanagement der Verwaltung für Bauwerke (Aktueller Bestandsstand)


⇒ Bauwerksmanagementsystem (im Aufbau) als Überblick Bauwerksbestand, Finanzbedarf Unterhaltung, Strategieinstrument

AP		
2.1	4.1	5.8
2.2	4.2	6.1
2.3	4.3	6.2
2.4	4.4	6.3
2.5	4.5	6.4
2.6	4.6	6.5
2.7	5.1	6.6
3.1	5.2	6.7
3.2	5.3	7.1
3.3	5.4	7.2
3.4	5.5	ZL
3.5	5.6	
3.6	5.7	



# Anhang 11

## Erbrachte Leistungen: AP2 - Bauwerkskategorisierung Kategorisierungskatalog


Arbeitspaket 2: Maßnahmen Kategorisierung Brücken					
 Anhang 10					
Nr.	Stufe 1 Brücke	Stufe 2a Hauptbauteil Überbau/ Unterbau	Stufe 2b Stat.System	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsteil
1.1	Plattenbrücke einzügig				
1.1.1		Überbau Vollquerschnitt einsteigig	Einfeldrig freiauflegend	Stahlbeton / Spannbeton	
1.1.1.1					interne Vorspannung
1.1.1.2					feste Lager
1.1.1.3					bewegliche Lager
1.1.2			Mehrfeldrig freiauflegend ohne	Stahlbeton / Spannbeton	
1.1.2.1					
1.1.2.2					
1.1.2.3					
1.1.3					
1.1.3.1					
1.1.3.2					
1.1.3.3					
1.1.4					
1.1.4.1					Notrufeinrichtung
1.1.4.2					Schutz- und Brandschutzeinrichtung
1.1.4.3					Videoüberwachung
1.1.4.4					Signalanlagen
1.1.5					Brandschutzverkleidung
1.1.5.1					Raumfuge mit Band
1.1.6					
1.1.6.1					
1.1.6.2					Schutz- und Brandschutzeinrichtung
1.1.6.3					Videoüberwachung
1.1.6.4					Signalanlagen
1.1.7					Brandschutzverkleidung
1.1.7.1					
1.1.8					
1.1.8.1					Schutz- und Brandschutzeinrichtung
1.1.8.2					Videoüberwachung
1.1.8.3					Signalanlagen
					Brandschutzverkleidung
				Betriebsgebäude	Beton / Stahlbeton
				Lüftergebäude	Beton / Stahlbeton
				Fluchtstollen	Beton / Stahlbeton
					Videoüberwachung

AP		
2.1	4.1	5.8
2.2	4.2	6.1
2.3	4.3	6.2
2.4	4.4	6.3
2.5	4.5	6.4
2.6	4.6	6.5
2.7	5.1	6.6
3.1	5.2	6.7
3.2	5.3	7.1
3.3	5.4	7.2
3.4	5.5	ZL
3.5	5.6	
3.6	5.7	

# Anhang 11

## Erbrachte Leistungen: AP2 - Maßnahmenkatalog

### Klären / Entwickeln / Untersuchen von Maßnahmenmöglichkeiten

Arbeitspaket 2: Maßnahmenanalyse Sammlung von Zusatzmaßnahmen					
betrifft das Bauwerk:		Brücke			
Kategorie der Zusatzmaßnahme:		Bautechnik			
Bearbeitung durch:		HT, SP			
Ifd. Nr.	Schlagwort zur Identifizierung der Zusatzmaßnahme	Beschreibung der Zusatzmaßnahme	Schutz v.		Bemerkungen (z.B. Quelle, Einschränkungen etc.)
			Bauwerk	Nutzer	
7	Ausfallbemessung	Bemessung des Tragwerkes für Bauteilausfall über den bisherigen Rahmen hinaus (z.B. Ausfall von 2 statt 1 Hänger)	X	X	
8	Brandschutz	Über untenliegenden Verkehrswegen höhenabhängig statisch oder konstruktiv Brandtemperaturen berücksichtigen; Verbundbrücken mit untenliegendem Stahlbau nur bei ausreichendem Höhenabstand einsetzen	X		
9		Brandschutzvorkehrungen (z.B. Anstrich) für Seile und Hänger	X		
		<b>Terror</b>			
10	Globale Redundanz	Autobahnbrücken oder andere mit hoher Verkehrsbedeutung mit getrennten Überbauten je Fahrtrichtung, dh. Schnelle Umleitungsmöglichkeit	X	X	
11	innere Redundanz, unempfindliche Tragwerksstruktur	Einsatz von unempfindlichen Tragwerken ggü. Sprengstoffanschlägen, z.B. externe Schutzmaßnahmen wie Opferbauteil/ -vorsatzschale, Begrenzung des progressiven Kollaps durch Überbausegmentierung	X	X	
12	Ausfallbemessung	Bemessung des Tragwerkes für Bauteilausfall über den bisherigen Rahmen hinaus (z.B. Ausfall von 2 statt 1 Hänger), Berücksichtigung dynamischer Überhöhungsfaktor (1,5 - 2,0)	X	X	

AP		
2.1	4.1	5.8
2.2	4.2	6.1
2.3	4.3	6.2
2.4	4.4	6.3
2.5	4.5	6.4
2.6	4.6	6.5
2.7	5.1	6.6
3.1	5.2	6.7
3.2	5.3	7.1
3.3	5.4	7.2
3.4	5.5	ZL
3.5	5.6	
3.6	5.7	

# Anhang 11

## Erbrachte Leistungen: AP2 - Maßnahmenkatalog

### Abgleich Maßnahmenvorschläge mit Differenzierung

Arbeitspaket 2: Maßnahmenanalyse Sammlung von Zusatzmaßnahmen					
betrifft das Bauwerk: Kategorie der Zusatzmaßnahme: Bearbeitung durch:		Brücke Bautechnik HT, SP	→ BBA		
Kurzbezeichnung	Schlagwort zur Identifizierung der Zusatzmaßnahme	Beschreibung der Zusatzmaßnahme	Schutz von		Bemerkungen (z.B. Quelle, Einschränkungen etc.)
Ausarbeitung Schübler-Plan (SP)					
<b>Naturkatastrophe</b>					
BBa-SP-1	Erdbenenbemessung	Dimensionierung für ungünstigste Belastungsangabe, Überprüfung der Prognosesicherheit heutiger (Normen-)Ansätze, ggf. anpassen	X	X	
BBa-SP-2	Hochwasser-sicherung	Ansatz höherer Bemessungswasserstände (z.B. HQ 500 statt HQ 100), Überprüfung der Prognosesicherheit heutiger (Normen-)Ansätze, ggf. anpassen und/oder	X		
BBa-SP-3		konstruktive Berücksichtigung eines ausreichenden Freibordes unterhalb Überbau, ggf. vergrößern bestehender Vorgaben	X	X	
BBa-SP-4	Flutwelle	Ansatz von Hochwasser-Anspralassen auf Überbau	X	X	
<b>Unfall</b>					
BBa-SP-5	Globale Redundanz	Autobahnbrücken oder andere mit hoher Verkehrsbedeutung mit getrennten Überbauten je Fahrtrichtung ausbilden, dh. schnelle Umleitungsmöglichkeit	X	X	
BBa-SP-6	Ansprallschutz	Eingelenken von abwesenden Einrichtungen oder Anprallschweilen (vor Stützen, Hänger, Seile) oder vergrößern des Stützenabstandes zum Verkehrsweg im Bereich von Seilstützen	X	X	
BBa-SP-7	Ausfallbemessung	Bemessung des Tragwerkes für Bauteilaustritt über den bisherigen Rahmen hinaus (z.B. Ausfall von 2 statt 1 Hänger)	X	X	
BBa-SP-8	Brandschutz	Über unterliegenden Verkehrswegen höhenabhängig statisch oder konstruktiv Brandtemperaturen berücksichtigen, Verbundbrücken mit unterliegendem Stahlbau nur bei ausreichendem Höhenabstand einsetzen	X		
BBa-SP-9	Brandschutzvorkehrungen (z.B. Anstrich) für Seile und Hänger		X		
<b>Terror</b>					
BBa-SP-10	Globale Redundanz	Autobahnbrücken oder andere mit hoher Verkehrsbedeutung mit getrennten Überbauten je Fahrtrichtung, dh. schnelle Umleitungsmöglichkeit	X	X	
BBa-SP-11	innere Redundanz, unempfindliche Tragwerkstruktur	Einsatz von unempfindlichen Tragwerken ggü. Sprengstoffanschlägen, z.B. externe Schutzmaßnahmen wie Opferbeton/-vorsatzschale, Begrenzung des progressiven Kollaps durch Überauslegung	X	X	
BBa-SP-12	Ausfallbemessung	Bemessung des Tragwerkes für Bauteilaustritt über den bisherigen Rahmen hinaus (z.B. Ausfall von 2 statt 1 Hänger), Berücksichtigung dynamischer Überhöhungsfaktor (1.5 - 2.0)	X	X	
BBa-SP-13	Schnellreparatur	Wenn robustes Tragwerk nicht realisierungsfähig, Einsatz von Systemen, die im Schadensfall schnell und einfach repariert werden können (z.B. Einheits- statt Durchlaufsystem bzw. Gelenkstellen mit Überauslegung)	X	X	
BBa-SP-14	Pfierschutz	Verbundstützen mit tragendem Stahlkern, Einsatz hochfester Betone mit Stahlfasern (Duktilitätsverbesserung), Opferschicht zur Aufnahme der Explosionslasten	X		
BBa-SP-15	Oberflächenschutz	Einsatz von Absorbertbetonvortatz (Polymerbeton mit Mastlaserzusatz/Mastspinneln, ca. 10%Stüchungsvermögen), Einbau von Abstandselementen zur Verhinderung von Kontaktladungen (z.B. Beschütten von Hänger/Seilen), Zaun zur Vergrößerung Abstand vom Bauteil, Problem Bauwerksprüfung	X		Gallenmüller, M. Naturfaserverstärkter Polymerbeton – Entwicklung, Eigenschaften und Anwendung, Heft 10, Hrg. Fraunhofer Institut für Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut EM, Freiburg/Brsg., Fraunhofer IBS Verlag, ISBN 3-8167-7053-3, <a href="http://www.itdrefekt.de/irfbuch/">http://www.itdrefekt.de/irfbuch/</a>
<b>Entwurfgrundsätze</b>					
BBa-SP-16	Verstärkung gefährdeter Bauteile	welche??? wie???	X		einzelne Maßnahmen / Bauteile aufführen
BBa-SP-17	Spanngliedschutz		X		
BBa-SP-18	Pfierscheibe statt Stütze	Verzicht auf einzelne Mittelstützen, stattdessen geschlossene Wandstrebene mit geringerer Anfalligkeit	X		
BBa-SP-19	Lagerschutz	Anordnung der Lager immer am Pfierskopf zur Ersicherung der Zugänglichkeit oder Verschleiben des Lagerspaltes (Nachteil für Bauwerksprüfung)	X		
BBa-SP-19	Zugangsüberwachung	Zugänge von begrenzten Pfeilern und Hohlkästen einbruchsicher ausbilden und überwachen um Zugang zu verhindern	X		→ BBA
BBa-SP-20	Parkverbot	Generelles Parkverbot unter Brücken mit geringer Durchfahrtsnähe damit keine Autobombe platziert werden kann	X	X	→ BBA



Arbeitspaket 2: Maßnahmenanalyse Sammlung von Zusatzmaßnahmen					
betrifft das Bauwerk: Kategorie der Zusatzmaßnahme: Bearbeitung durch:		Tunnel Bautechnik HT, SP, TLB	→ TBA		
Kurzbezeichnung	Schlagwort zur Identifizierung der Zusatzmaßnahme	Beschreibung der Zusatzmaßnahme	Schutz von		Bemerkungen (z.B. Quelle, Einschränkungen etc.)
Ausarbeitung Schübler-Plan (SP)					
<b>Naturkatastrophe</b>					
TBa-SP-1	Erdbenenbemessung	Überprüfung der Prognosesicherheit heutiger (Normen-)Ansätze, ggf. anpassen	X	X	
TBa-SP-2	Hochwasser-sicherung	Ansatz höherer Bemessungswasserstände (z.B. HQ 500 statt HQ 100), Überprüfung der Prognosesicherheit heutiger (Normen-)Ansätze, ggf. anpassen und/oder	X		
TBa-SP-3	Starkregen	Erhöhen der Deckhöhe um Portalkanten	X		
<b>Unfall</b>					
TBa-SP-4	Globale Redundanz	Autobahnbrücken oder andere mit hoher Verkehrsbedeutung mit getrennten Röhren je Fahrtrichtung ausbilden, dh. schnelle Umleitungsmöglichkeit	X	X	
TBa-SP-5	Brandschutz	Einsatz von Feuerfischschichten/ Veredelungsanlagen zur Reduzierung Rauchgasmenge und Temperatur	X	X	→ TBe
TBa-SP-6	Gefahrgrädektion	Feststellen von Gefährdungen durch scannen der orangen LKW-Windler, Problem der schnellen Aussortierung für Durchfahrverbot	X	X	→ TBe
TBa-SP-7	LKW-Vereinzelung	Vereinzelung von LKW-Durchfahrten bei Gegenverkehrsmaßnahmen zur Senkung des Gefährdungspotenzials wenn ein Durchfahrverbot ausscheidet, wahrscheinlich nicht bedeutsam, da diese Tunnel nur eine geringe Verkehrsbelastung aufweisen	X	X	→ TBe
<b>Terror</b>					
TBa-SP-8	Globale Redundanz	Autobahnbrücken oder andere mit hoher Verkehrsbedeutung mit getrennten Röhren (getrennte Konstruktion) je Fahrtrichtung ausbilden, dh. schnelle Umleitungsmöglichkeit	X	X	
TBa-SP-9	Ausfallbemessung	insbesondere bei Tunneln in Lockergestein unter Grundwasser Dimensionierung gegen Sprengstoffanschlag	X	X	
TBa-SP-10	Oberflächenschutz	Einsatz von Absorbertbetonvortatz (Polymerbeton mit Mastlaserzusatz/Mastspinneln, ca. 10%Stüchungsvermögen), Einbau von Abstandselementen zur Verhinderung von Kontaktladungen (z.B. Verkleiden); Problem Bauwerksprüfung	X		Gallenmüller, M. Naturfaserverstärkter Polymerbeton – Entwicklung, Eigenschaften und Anwendung, Heft 10, Hrg. Fraunhofer Institut für Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut EM, Freiburg/Brsg., Fraunhofer IBS Verlag, ISBN 3-8167-7053-3, <a href="http://www.itdrefekt.de/irfbuch/">http://www.itdrefekt.de/irfbuch/</a>
TBa-SP-11	Zugangsüberwachung	Zugänge von begrenzten Betriebsgebäude und Tunnelzugängen/Stollen einbruchsicher ausbilden und überwachen um Zugang zu verhindern	X		→ TBe
TBa-SP-12	Gaswarnung	???	X		→ TBe
TBa-SP-13	Sprengstoffdetektion	Feststellen von Sprengstoffen???, Problem der schnellen Aussortierung für Durchfahrverbot	X	X	→ TBe
TBa-SP-14	Brandschutz, Hochwasserschutz	Einbau von Querschichten	X		
TBa-SP-15	Druckentlastung	Vergrößerung des Tunnelquerschnittes oder zusätzliche Entlastungssysteme	X	X	
<b>Ausarbeitung Lehrstuhl Tunnelbau (TLB)</b>					
TBa-TLB	Planung und Bau der Belüftung	Bei der Planung sind alle Details zur Installation einer Belüftung nach dem derzeitigen Stand der Technik zu berücksichtigen. Dazu gehören die erforderlichen Belüftungspassagen sowie Nischen und Aussparungen zur Installation der Belüftungstechnik. Installationselemente wie Kabel und Schaltschränke müssen den geforderten Brandschutzklassen entsprechen. Die Absperrung von Lüftungsbauwerken oder -schächten für Fremde (z.B. Terroristen) ist durch bauliche (und betriebliche) Maßnahmen sicherzustellen.	X	X	
TBa-TLB	Spernung des Tunnels in Gefahrensituationen	Effiziente Maßnahme, die unmittelbar nach Meldung einer Gefahrensituation im Tunnel den zufließenden Verkehr am Tunnelportal stoppt. Videoanalysen haben gezeigt, dass der Verkehr beim Umschalten einer Signalanlage am Portal auf "RSt" nur sehr zögerlich zum Stillstand kommt. Daher werden zur Unterstützung von Signalanlagen schon heute mobile Barrieren eingesetzt. Eine neue Entwicklung stellt z.B. die beim Sydney Harbour Tunnel eingesetzte "Softstop"-Installation dar.	X		Internet-Pfad "Softstop": <a href="http://www.lasencol.com.au/pubs/and/Docs/Issue-Proposals/Issue-Parameters-Attractions/Softstop-Softstop">http://www.lasencol.com.au/pubs/and/Docs/Issue-Proposals/Issue-Parameters-Attractions/Softstop-Softstop</a> → TBe

AP		
2.1	4.1	5.8
2.2	4.2	6.1
2.3	4.3	6.2
2.4	4.4	6.3
2.5	4.5	6.4
2.6	4.6	6.5
2.7	5.1	6.6
3.1	5.2	6.7
3.2	5.3	7.1
3.3	5.4	7.2
3.4	5.5	ZL
3.5	5.6	
3.6	5.7	

# Anhang 11

## Erbrachte Leistungen: AP2 - Maßnahmenkatalog

### Endgültige differenzierte Maßnahmandarstellung in vorgegebenen Karten

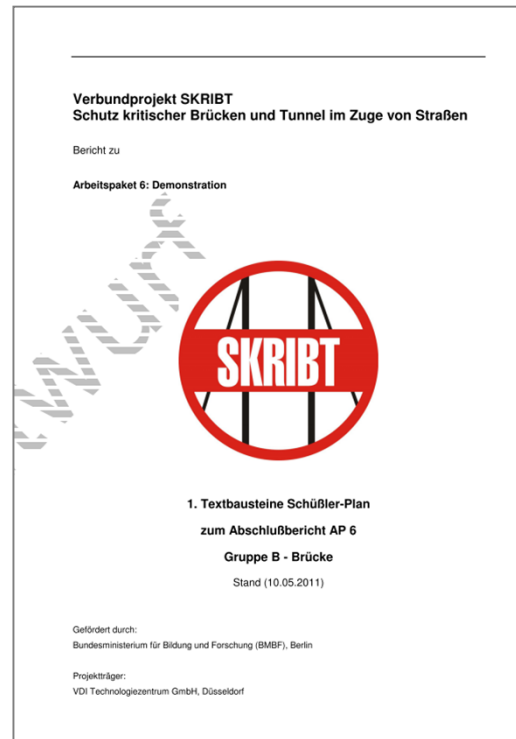
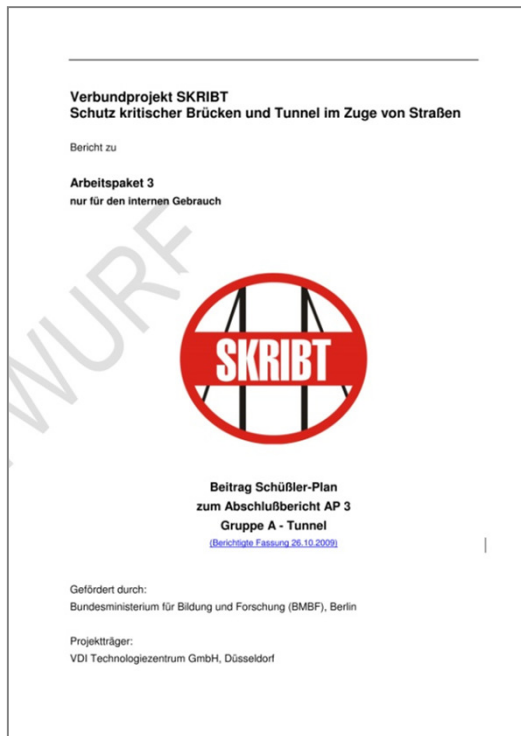
 <b>Brücke</b>		 <b>Bautechnik</b>	
<b>Merkmale</b>	• Schutzmaßnahme:	<b>Globale Redundanz</b>	
	• Schutz vor:	Naturkatastrophe / Großunfall / Terrorismus	
	• Umsetzung:	vor Eintritt des Ereignisses	
	• Schutz von:	Nutzer / Bauwerk	
	• Umsetzbarkeit:	derzeit möglich	
<p>Aus herstellungstechnischen Gründen wird häufig eine Überbau-Trennung durch eine Längsfuge umgesetzt, da ein Ersatz-Brückenneubau unter Betrieb nur hälftig erfolgen kann. Der Kfz-Verkehr wird dabei während der Bauzeit mit einer provisorischen Verkehrsführung über den verbliebenen Überbau abgewickelt. Diese Möglichkeit, auf nur einem von zwei Überbauten, den gesamten Verkehr provisorisch weiterführen zu können, wird als globale Redundanz verstanden.</p> <p>Wenn es aus Herstellungsgründen nicht erforderlich ist, die Brücke hälftig zu bauen, wie z. B. bei neuen Autobahntrassen, besteht die Möglichkeit, das Tragwerk ohne eine Längsfuge auszubilden.</p> <p>Bei großen Talbrücken (z. B. Ruhrtalbrücke, Moseltalbrücke, Europabrücke Innsbruck) wird aus Herstellungsgründen gerne auf die Längsfuge verzichtet und für den gesamten Straßenquerschnitt ein einteiliger Überbau ausgeführt. Herstellungstechnisch bietet er z. B. beim Taktchieben oder beim Freivorbau Vorteile. Bedenkt man, dass derartige Talbrücken auch eine gewisse Exponiertheit besitzen, ist ein einteiliger Überbau im Hinblick auf ein Schadensereignis ungünstig. Er besitzt keine globale Redundanz.</p> <p>Abhilfe und damit die Möglichkeit den Gesamtverkehr im Schadensfall auf den nicht beeinträchtigten Überbau weiterführen zu können, bieten zweigeteilte Überbauten. In den Entwurfsgrundsätzen der Straßenbauverwaltung könnte festgelegt werden, dass grundsätzlich Brücken in Bundesfernstraßen mit zwei durch Längsfugen voneinander getrennte Überbauten auszuführen sind.</p>			

AP		
2.1	4.1	5.8
2.2	4.2	6.1
2.3	4.3	6.2
2.4	4.4	6.3
2.5	4.5	6.4
2.6	4.6	6.5
2.7	5.1	6.6
3.1	5.2	6.7
3.2	5.3	7.1
3.3	5.4	7.2
3.4	5.5	ZL
3.5	5.6	
3.6	5.7	

# Anhang 11

## Erbrachte Leistungen: AP2 – AP6

### Berichtsbeiträge



plus Gesamtberichtsbegeleitung / -prüfung

AP		
2.1	4.1	5.8
2.2	4.2	6.1
2.3	4.3	6.2
2.4	4.4	6.3
2.5	4.5	6.4
2.6	4.6	6.5
2.7	5.1	6.6
3.1	5.2	6.7
3.2	5.3	7.1
3.3	5.4	7.2
3.4	5.5	ZL
3.5	5.6	
3.6	5.7	

# Anhang 11

## Erbrachte Leistungen: AP3 - Identifizieren / Vorkategorisieren Bauwerke

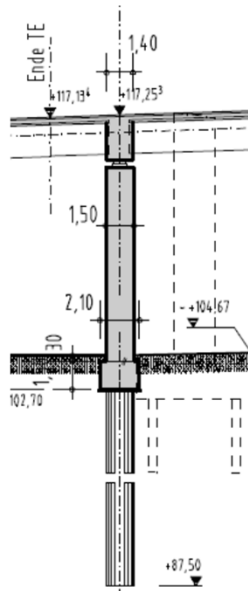
### Repräsentative Abmessungen Brücken-Unterbauten

(Überbauten durch ILEK)

#### 1. Unterbauten

##### 1.1-h,k Pfeiler/Pfeilerreihe (stützenartig)

Stahlbeton  
 $h = 0,70 \text{ m} - 2,50 \text{ m}$   
 $\rho = 150 \text{ kg/m}^3 - 250 \text{ kg/m}^3$

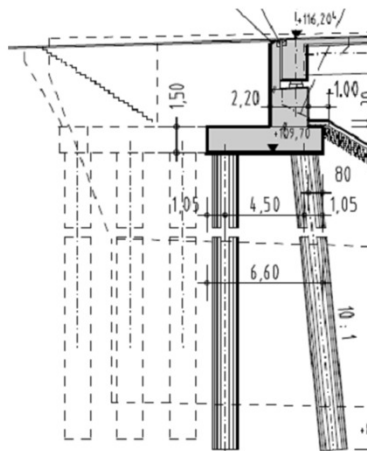


##### 1.1-i Pfeiler (wandartig)

Stahlbeton  
 $h = 0,60 \text{ m} - 1,50 \text{ m}$   
 $\rho = 100 - 150 \text{ kg/m}^3$

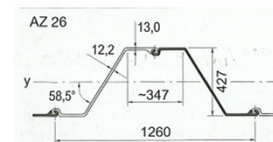
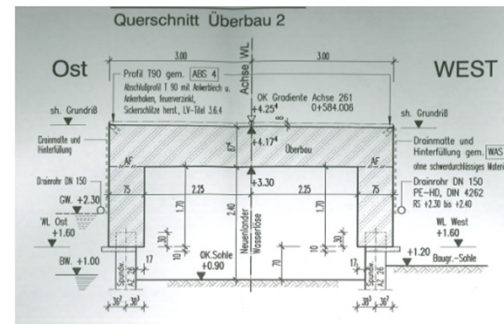
##### 1.1-f Widerlager

Stahlbeton  
 $h = 1,00 \text{ m} - 3,00 \text{ m}$   
 $\rho = 80 - 100 \text{ kg/m}^3$



##### 1.1-g Widerlager

Stahl (Spundwand)  
 z.B. AZ 26

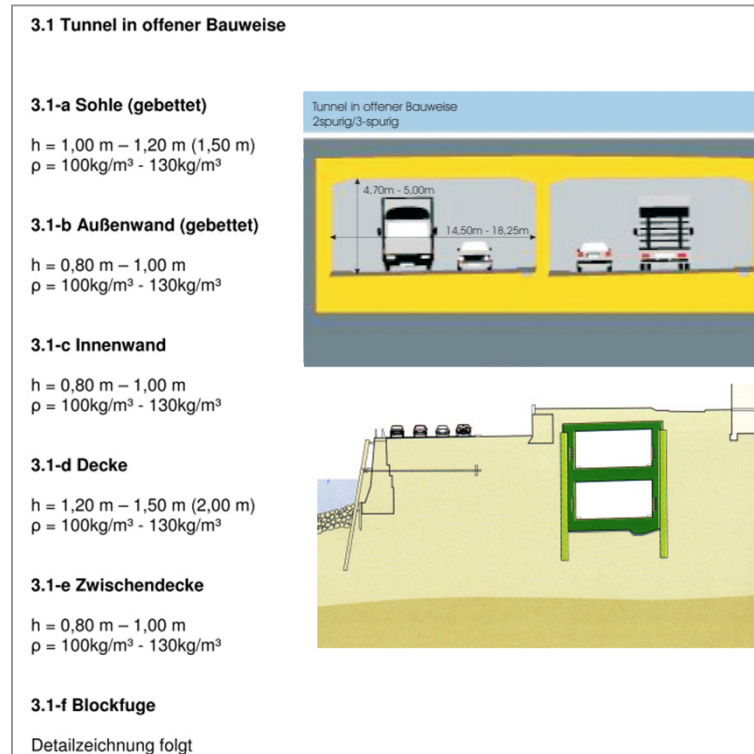
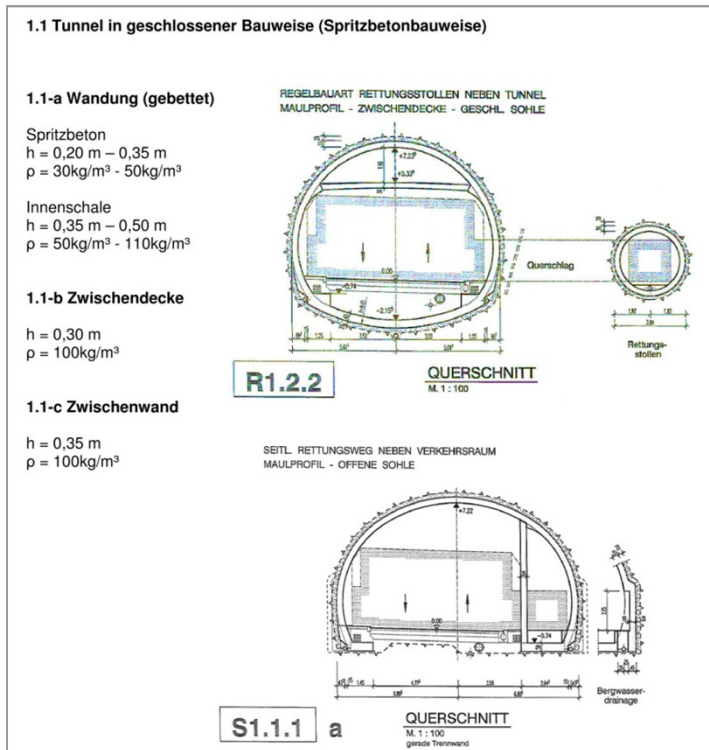


AP		
2.1	4.1	5.8
2.2	4.2	6.1
2.3	4.3	6.2
2.4	4.4	6.3
2.5	4.5	6.4
2.6	4.6	6.5
2.7	5.1	6.6
3.1	5.2	6.7
3.2	5.3	7.1
3.3	5.4	7.2
3.4	5.5	ZL
3.5	5.6	
3.6	5.7	

# Anhang 11

## Erbrachte Leistungen: AP3 - Identifizieren / Vorkategorisieren Bauwerke

### Repräsentative Abmessungen Tunnel



AP		
2.1	4.1	5.8
2.2	4.2	6.1
2.3	4.3	6.2
2.4	4.4	6.3
2.5	4.5	6.4
2.6	4.6	6.5
2.7	5.1	6.6
3.1	5.2	6.7
3.2	5.3	7.1
3.3	5.4	7.2
3.4	5.5	ZL
3.5	5.6	
3.6	5.7	

# Anhang 11

## Erbrachte Leistungen: AP3 - Identifizieren / Vorkategorisieren Bauwerke Vorkategorisieren Brücke, Tunnel

AP		
2.1	4.1	5.8
2.2	4.2	6.1
2.3	4.3	6.2
2.4	4.4	6.3
2.5	4.5	6.4
2.6	4.6	6.5
2.7	5.1	6.6
3.1	5.2	6.7
3.2	5.3	7.1
3.3	5.4	7.2
3.4	5.5	ZL
3.5	5.6	
3.6	5.7	

Arbeitspaket 3: Maßnahmen Kategorisierung Brücken											
Step 1: Vorkategorisierung Schüller-Plan						Step 2: Bewertung Berechnung EM					
Anlage SP1						Scenario A		Scenario B		Scenario C	
Nr.	Stufe 1 Brücke	Stufe 2a Hauptbauteil Überbau/ Unterbau	Stufe 2b Stat.System	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsstil	Relevanz für Szenario Explosion	Bauteil Konstruktionsart Definition	Große Explosion von brennbaren Gasen in Kleinsystemen und leicht flüchtigen Flüssigkeiten in Tanks	große Explosion mit kleinen Explosivstoffen	sehr große Explosion mit großen Explosivstoffen und brennbaren Gasen in Tanks	
1.1	Plattenbrücke einseitig	Überbau Vollquerschnitt einseitig	Einfeldig freiaufliegend	Stahlbeton / Spannbeton		x	1.3-a				
1.1.1					interne Vorspannung	x	1.3-b				
1.1.2					fest Lager bewegliche Lager	x	1.3-c				
1.1.3						x	1.3-d				
1.2			Mehrfeldig freiaufliegend ohne Durchlaufwerkung	Stahlbeton / Spannbeton		x	1.3-e				
1.2.1						x	1.3-f				
1.2.2						x	1.3-g				
1.2.3						x	1.3-h				
1.2.4						x	1.3-i				
1.2.5						x	1.3-j				
1.2.6						x	1.3-k				
1.2.7						x	1.3-l				
1.2.8						x	1.3-m				
1.2	Plattenbrücke mehrseitig					x	1.3-n				
2.1	Plattenbalken / Trägerrost einseitig	Überbau Vollquerschnitt zweiseitig	Einfeldig freiaufliegend	Stahlbeton / Spannbeton		x	2.1-a				
2.1.1					interne Vorsp.	x					
2.1.2						x					
2.1.3						x					
2.1.3.1					interne Vorsp.	x					
2.1.4						x					
2.1.4.1						x					
2.1.4.2						x					
2.1.5					Gelenke	x					
2.1.9		Stahlbeton				x					
2.1.10		Widerlager Massivwand				x					
2.1.11		Widerlager Spundwand				x					
2.1.12		Plattler / Stütze massiv				x					
2.1.13		Plattler / Stütze Spundwand				x					
2.1.13.1		Sitzstange massiv				x					
2.2	Plattenbalken / Trägerrost mehrseitig					x					
3.1	Hohlkastenbrücke einseitig	Überbau Hohlkasten einseitig	Einfeldig freiaufliegend	Stahlbeton / Spannbeton		x					
3.1.1					interne Vorsp.	x					
3.1.1.1					externe Vorsp.	x					
3.1.1.2					Fluchtweg Tr. Sprengkamm	x					
3.1.1.5						x					
3.1.1.6						x					
3.1.2					Metall Stahl	x					
3.1.3						x					
3.1.3.1						x					
3.1.3.1.1						x					
3.1.3.2						x					
3.1.3.2.1						x					
3.1.3.2.2						x					
3.1.4						x					
3.1.4.1						x					
3.1.4.1.5						x					
3.1.4.2						x					
3.1.4.2.3						x					
3.1.5						x					
3.1.6						x					
3.1.6.2						x					
3.1.7						x					
3.1.8						x					
3.2	Hohlkastenbrücke mehrseitig					x					
4.1	Säulen/Platten-Mischsystem einseitig	Überbau Vollquerschnitt zweiseitig	Einfeldig freiaufliegend	Verbund		x					
4.1.1					interne Vorsp.	x					
4.1.2						x					
4.1.2.1					interne Vorsp.	x					
4.1.2.2					interne Vorsp.	x					
4.1.3						x					
4.1.4						x					

Arbeitspaket 3: Maßnahmen Kategorisierung Tunnel												
Step 1: Vorkategorisierung Schüller-Plan						Step 2: Bewertung Berechnung EM						
Anlage SP2						Scenario A		Scenario B		Scenario C		
Nr.	Stufe 1 Tunnel	Stufe 1a Bauverfahren	Stufe 1b Gefährguttransporte	Stufe 2 Hauptbauteil	Stufe 4 Hauptbaustoff	Stufe 3 Konstruktionsstil	Relevanz für Szenario Explosion	Bauteil Konstruktionsart Definition	Große Explosion von brennbaren Gasen in Kleinsystemen und leicht flüchtigen Flüssigkeiten in Tanks	große Explosion mit kleinen Explosivstoffen	sehr große Explosion mit großen Explosivstoffen und brennbaren Gasen in Tanks	
1.1	Tunnel in geschlossener Bauweise einröhrig	Spritzbetonbauweise	ja / nein				x					
1.1.1				Sohle	Beton / Stahlbeton		x					
1.1.2				Wandung	Beton / Stahlbeton		x					
1.1.2.6						Raumfuge mit Band	x					
1.1.3				Portal	Beton / Stahlbeton		x					
1.1.4				Zwischendecke	Beton / Stahlbeton		x					
1.1.5				Fahrbahnplatte	Beton / Stahlbeton		x					
1.1.6				Zwischenschwund	Beton / Stahlbeton		x					
1.1.7				Betriebsgebäude	Beton / Stahlbeton		x					
1.1.8				Lüftergebäude	Beton / Stahlbeton		x					
1.1.9				Fluchtstollen	Beton / Stahlbeton		x					
1.2	Tunnel in geschlossener Bauweise zwei- bis vier- röhrig	Spritzbetonbauweise	ja / nein				x					
1.2.1				Querstellen	Beton / Stahlbeton		x					
2.1	Tunnel in geschlossener Bauweise einröhrig	Schichtbauweise	ja / nein				x					
2.1.1				Wandung	Tübbing		x					
2.1.2				Portal	Beton / Stahlbeton		x					
2.1.3				Zwischendecke	Beton / Stahlbeton		x					
2.1.4				Fahrbahnplatte	Beton / Stahlbeton		x					
2.1.5				Betriebsgebäude	Beton / Stahlbeton		x					
2.1.6				Lüftergebäude	Beton / Stahlbeton		x					
2.1.7				Fluchtstollen	Beton / Stahlbeton		x					
2.2	Tunnel in geschlossener Bauweise zwei- bis vier- röhrig	Schichtbauweise	ja / nein				x					
2.2.1				Querstellen	Beton / Stahlbeton		x					
2.2.2							x					
3.1	Tunnel in offener Bauweise mit Rechteckquerschnitt einseitig		ja / nein				x					
3.1.1				Sohle	Beton / Stahlbeton		x					
3.1.2				Außenwand	Beton / Stahlbeton		x					
3.1.2.1						Raumfuge mit Band	x					
3.1.2.1.6							x					
3.1.2.2							x					
3.1.3				Innen- oder Trennwand	Stahl / Glas		x					
3.1.4				Decke	Beton / Stahlbeton		x					
3.1.4.1							x					
3.1.4.1.5							x					
3.1.4.2							x					
3.1.5				Portal	Beton / Stahlbeton		x					
3.1.6				Zwischendecke	Beton / Stahlbeton		x					
3.1.7				Fahrbahnplatte	Beton / Stahlbeton		x					
3.1.8				Betriebsgebäude	Beton / Stahlbeton		x					
3.1.9				Lüftergebäude	Beton / Stahlbeton		x					
3.1.10				Fluchtstollen	Beton / Stahlbeton		x					





# Anhang 11

Erbrachte Leistungen: AP3 - Verfahren z. Identifizierung kritischer Bauwerke  
 AP5 - Bewertungssystem

## Erste Überlegungen

AP 3 – Kritische Brücken und Tunnel  
 1. Arbeitssitzung

**Schritt 3**  
 1. Überlegung „Gefährdungsklassen“

- Steigende Gefahr führt zur potentiellen Erhöhung Verletzbarkeit → Verschlechterungsklasse

Szenario

Maß der Verletzbarkeit

Steigende Gefahr  
Gefährdungspotential

Gefährdungskriterien

Gefährdungs-klasse	Punkte ?
1	
2	
3	
4	

Schüßler-Plan 5 21. Oktober 2008

AP 3 – Kritische Brücken und Tunnel  
 1. Arbeitssitzung

**Schritt 5**

- Ermittlung Kritikalität

- Gefährdung nur szenarienabhängig
- Widerstand ist nur bauwerks-/bauteilabhängig

→ Kritikalität immer bauwerks-/bauteilbezogen

Widerstands-klasse / -index

Niedrig

Normal

Hoch

Gefährdungsklasse / -index

Schüßler-Plan 8 21. Oktober 2008

AP		
2.1	4.1	5.8
2.2	4.2	6.1
2.3	4.3	6.2
2.4	4.4	6.3
2.5	4.5	6.4
2.6	4.6	6.5
2.7	5.1	6.6
3.1	5.2	6.7
3.2	5.3	7.1
3.3	5.4	7.2
3.4	5.5	ZL
3.5	5.6	
3.6	5.7	

# Anhang 11

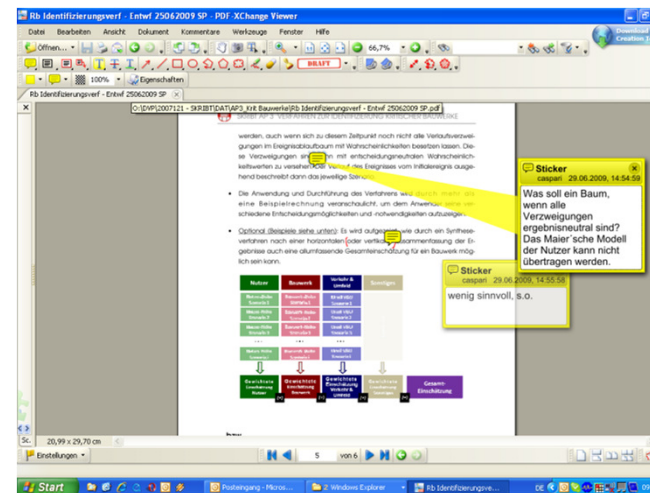
## Erbrachte Leistungen: AP3 - Verfahren z. Identifizierung kritischer Bauwerke AP5 - Bewertungssystem

### Folgevorschlag

Ergebnis-ebene		Bewertungszahl	jeweils für Kernszenario Explosion, Brand, Naturkatastrophe, mechanische Einwirkungen													
1	1	1	<b>Gesamtbewertung</b>													
			abschließende Klärung, ob sinnvoll, muß noch herbeigeführt werden													
2 (= Kategorie)	3	3	<b>Bauwerk</b>				<b>Nutzer</b>				<b>Organisation</b>					
			Bewertungszahl 1				Bewertungszahl 2				Bewertungszahl 3					
3 (=Bewertungskriterium)	12	nach Möglichkeit nicht mehr	Symbolik (einschl. übergeordnete/strategische Bedeutung)	Zerstörungsgrad	Wiederherstellungskosten	??	Tote	Verletzte	Eintrittswahrscheinlichkeit	Ausfallzeit	Nutzer-Folgekosten	Ereigniserkennung	Einsatzplanung (einschl. Erreichbarkeit)	Anrückzeit	Ressourcen (Ersatzzufahrt, Behandlungsplätze)	??
			Bewertungszahl 1.1	Bewertungszahl 1.2	Bewertungszahl 1.3	Bewertungszahl XX	Bewertungszahl 2.1	Bewertungszahl 2.2	Bewertungszahl 2.3	Bewertungszahl 2.4	Bewertungszahl 2.5	Bewertungszahl 3.1	Bewertungszahl 3.2	Bewertungszahl 3.3	Bewertungszahl 3.4	Bewertungszahl XX
			Eingangswerte = Kernszenario													
			Für jedes Teilergebnis (Bewertungszahl) muß das gleiche (Kern-)szenario zu Grunde gelegt werden													
			offenes Problem: Es muß ein Grenzwert für jede Bewertungszahl definiert werden													
			<sup>1)</sup> mit geeignetem Verfahren													



### Weitergehende Diskussion



AP		
2.1	4.1	5.8
2.2	4.2	6.1
2.3	4.3	6.2
2.4	4.4	6.3
2.5	4.5	6.4
2.6	4.6	6.5
2.7	5.1	6.6
3.1	5.2	6.7
3.2	5.3	7.1
3.3	5.4	7.2
3.4	5.5	ZL
3.5	5.6	
3.6	5.7	

# Anhang 11

## Erbrachte Leistungen: AP3 – Bewertungskatalog AP4 / AP5 - Bewertungssystem

### Schadensstufen Tunnel (Brücke)

Arbeitspaket 3: Schadensstufen Tunnel für Szenario Explosion, Zusammenfassung verschiedener Quellen									
SKRIT- Schadens- stufe	Bauteilebene				Bauwerksebene				
	Kategorie	Definition	Beschreibung	Bewertung	Beschreibung	Beschreibung	Schadensfolge	Wahrscheinlichkeit	Beschreibung
1	1	Geringer Schaden	Feine Rissbildung	0	Bauteil nahezu unbeschädigt; kein Einfluß auf Standsicherheit; kein Einfluß auf Verkehrssicherheit; kein Einfluß auf Dauerhaftigkeit; Schadensbeseitigung im Rahmen regulärer Bauwerksunterhaltung;	Bauwerk unbeschädigt; kein Einfluß auf Standsicherheit; kein Einfluß auf Verkehrssicherheit; kein Einfluß auf Dauerhaftigkeit	Sehr niedrig	>0,1	Geringfügiger lokaler Schaden
2	2	Leichter Schaden	Kraterbildung Vorderseite, Abplatzung bis Bewehrung Rückseite	1	Bauteil leicht beschädigt; Standsicherheit des Bauteils beeinträchtigt, Beeinträchtigung liegt <b>deutlich</b> im Rahmen zulässiger Toleranzen; ( Klärungsbedarf, ob die Schädigung lt. EM1 dies noch erfüllt oder bereits darüber liegt ) geringer Einfluß auf Verkehrssicherheit/ Verkehrssicherheit gegeben, lokale Baustelle ohne nennenswerte Verkehrsbehinderung; Dauerhaftigkeit Bauteil beeinträchtigt, Folgeschaden anderer Bauteile nicht zu erwarten; Schadensbeseitigung im Rahmen regulärer Bauwerksunterhaltung	Bauwerk nahezu unbeschädigt; kein Einfluß auf Standsicherheit; geringer Einfluß auf Verkehrssicherheit/ Verkehrssicherheit gegeben; langfristig nur geringer Einfluß auf Dauerhaftigkeit, Schadensausbreitung nicht zu erwarten	Niedrig	0,01	Lokaler Schaden
3	3	Mittlerer Schaden	Sprengkrater Vorderseite, Teilzertrümmerung bis gewisse Bauteile, starke Abplatzung Rückseite	2	Bauteil beschädigt; Standsicherheit des Bauteils beeinträchtigt, Beeinträchtigung liegt <b>noch</b> im Rahmen zulässiger Toleranzen bzw. im Einzelfall darüber; ( Klärungsbedarf, ob die Schädigung lt. EM1 dies noch erfüllt oder bereits darüber liegt ) geringfügige Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit/ Verkehrssicherheit noch gegeben, Warnhinweise erforderlich, Baustelle mit geringer Verkehrsbehinderung; Dauerhaftigkeit Bauteil beeinträchtigt, Folgeschaden anderer Bauteile nicht auszuschließen Schadensbeseitigung mittelfristig erforderlich	Bauwerk leicht beschädigt; geringer Einfluß auf Standsicherheit; geringfügige Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit/ Verkehrssicherheit noch gegeben, Warnhinweise erforderlich; langfristig Beeinträchtigung der Dauerhaftigkeit, Schadensausbreitung nicht auszuschließen	Mittel	0,001	Teilversagen des Tragwerks. Total oder Teileinsturz Tragwerk unwahrscheinlich. Geringe Möglichkeit von Personenschäden und Nutzungsausfall.
4	4	Schwerer Schaden	Kein Durchbruch, Ortlich durchgehende Bauteilzertrümmerung, Beton wird durch Bewehrung gehalten	3	Bauteil stark beschädigt; Standsicherheit des Bauteils beeinträchtigt, Beeinträchtigung übersteigt zulässige Toleranzen; Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit, Warnhinweise kurzfristig erforderlich, Baustelle mit Verkehrsbehinderung; Dauerhaftigkeit Bauteil beeinträchtigt, Folgeschaden anderer Bauteile zu erwarten; kurzfristige Schadensbeseitigung erforderlich	Bauwerk beschädigt; Beeinträchtigung der Standsicherheit; Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit, Warnhinweise kurzfristig erforderlich; mittelfristig Beeinträchtigung der Dauerhaftigkeit, Schadensausbreitung ist zu erwarten; Umgehende Nutzungseinschränkung erforderlich	Hoch	0,0001	Versagen von Teilen des Tragwerks mit großer Möglichkeit eines Teileinsturzes. Möglichkeit von Personenschäden und Nutzungsausfall.
5	5	Durchbruch	Durchgehendes Sprengloch mit verbogener/ gerisener Bewehrung	4	Bauteil zerstört Standsicherheit des Bauteils nicht mehr gegeben; Verkehrssicherheit nicht mehr gegeben, Warnhinweise sofort erforderlich, Baustelle mit starker Verkehrsbehinderung; Dauerhaftigkeit Bauteil nicht mehr gegeben, Folgeschaden an anderen Bauteilen tritt ein; sofortige Schadensbeseitigung erforderlich	Bauwerk stark beschädigt/ zerstört; Standsicherheit nicht mehr gegeben; Verkehrssicherheit nicht mehr gegeben, Warnhinweise sofort erforderlich; Dauerhaftigkeit nicht mehr gegeben, Schadensausbreitung tritt ein; Umgehende Nutzungseinschränkung, Erneuerung/ Instandsetzung einleiten	Schwer	0,00001	Plötzliches Versagen des Tragwerks. Große Möglichkeit von Personerverlusten und -schäden.

AP		
2.1	4.1	5.8
2.2	4.2	6.1
2.3	4.3	6.2
2.4	4.4	6.3
2.5	4.5	6.4
2.6	4.6	6.5
2.7	5.1	6.6
3.1	5.2	6.7
3.2	5.3	7.1
3.3	5.4	7.2
3.4	5.5	ZL
3.5	5.6	
3.6	5.7	

# Anhang 11

## Erbrachte Leistungen: AP3 - Sonstiges

### Ablauf - / Gliederungsvorschläge

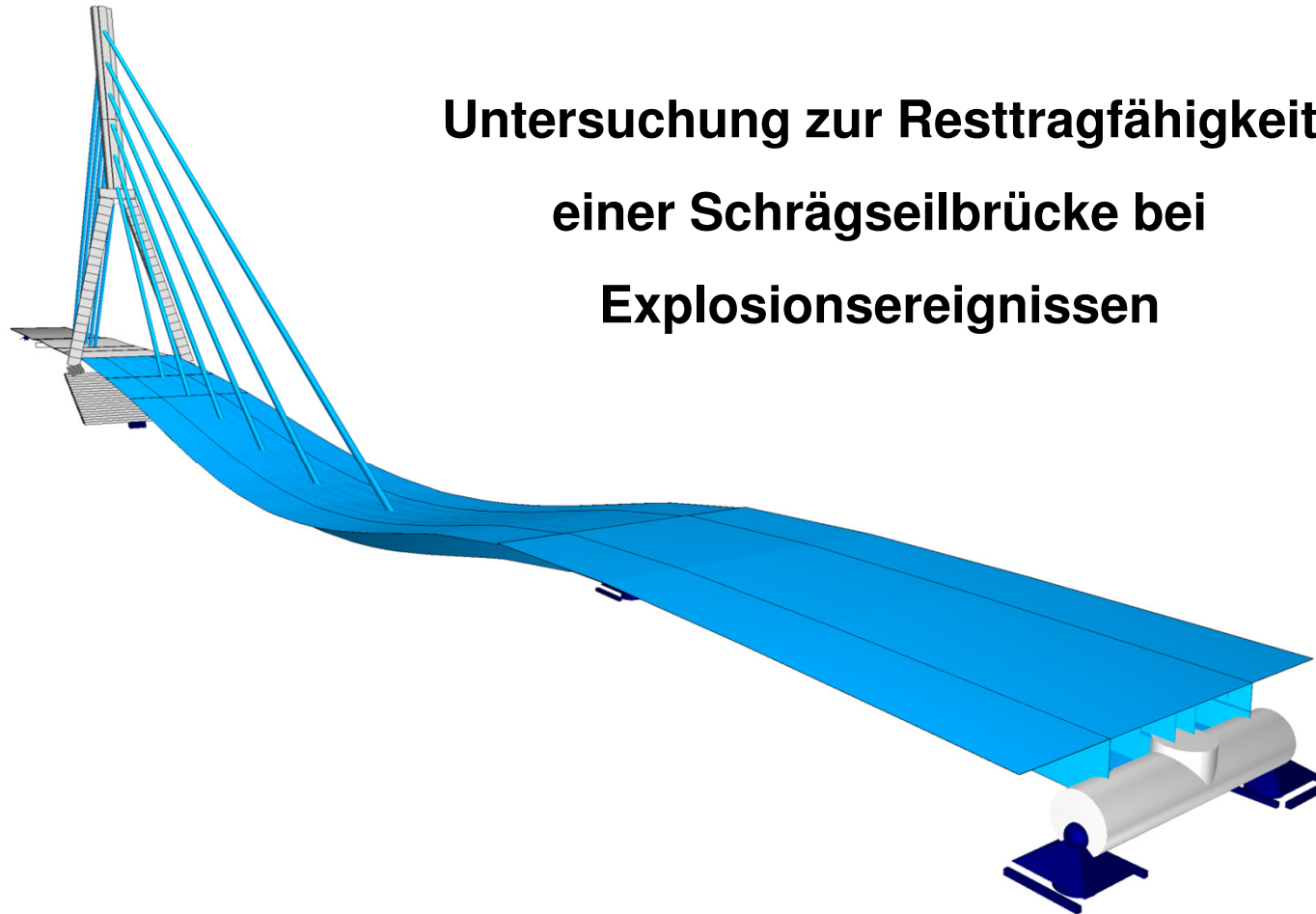
Arbeitspaket 3:			
Arbeitsschritte Brücke			
für: Kernszenario Explosion		Stand: 07.01.2009	
Nr.	Aktivität	Bearbeiter	Kommentar
1	Minimieren des Untersuchungsrahmens getrennt für die Kernszenarien: - Explosion - Brand - Naturkatastrophe, z.B. Erdbeben - Unfall, z.B. Anprall	- SP - HT ?	Reduzierung der Kategorisierung Brücke aus AP 2 auf maßgebende Bauteile, Ergebnis: Untersuchungsrelevante Bauteile (Definition kritischer Bauteile)
1.1	Verabschiedung Untersuchungsrahmen	alle	
2	Angaben zur Zerstörung abhängig von Ladungsgröße und -abstand	EMI	z.B. Verlustquerschnitt für die stat. Untersuchungen, Vorschlag Ladungsabstand: 0, 1, 2, 5m
2.1	Ersteinschätzung der Zerstörungsgröße	EMI	vorhanden
2.2	Definition typ. Querschnittsabmessungen	ILEK, SP, HT	vorhanden/ zu vervollständigen
2.3	Genauere Angaben zu Zerstörungen für die definierten kritischen Bauteile	EMI	
3	Definition/ Abstimmung der Berechnungsgrundsätze	alle	Was, Wo zerstört, wie berechnen
4	Plausibilitätsbetrachtung bzw. Berechnen von Systemen/ Typen zu relev. Bauteilen	ILEK, SP, HT	Arbeitsverteilung klären
5	Ergebnis zu Schädigungen	ILEK, SP, HT	
6	Ergebnisbewertung der Schäden bzgl. Schädigungsgrad, Wirkung, Folgeschäden	ILEK, SP, HT, EMI?	Vorschlag noch abzustimmen mit der TLB- Matrix: Stufe 1: keine Zerstörung Stufe 2: leichte Teilzerstörung Stufe 3: mittlere Teilzerstörung Stufe 4: starke Teilzerstörung Stufe 5: Völlig zerstört/ Neubau
7	Herausfiltern passender Maßnahmen gem. AP 2/ ggf. Definieren neuer Maßnahmen zu vg. Schäden	ILEK, SP, HT, EMI	
8	Neue Plausibilitätsbetrachtung bzw. Berechnen von Systemen/ Typen mit Maßnahmen		gehört eigentlich zu AP 4
9	Definition der Meßbarkeit der Maßnahmen	alle	gehört eigentlich zu AP 4,
10	Ergebnis zur Wirksamkeit der Maßnahmen		gehört eigentlich zu AP 4,

Arbeitspaket 3:		
Vorschlag Inhaltsverzeichnis Bericht AP 3		
Inhalt	Bearbeiter	
<b>1</b>	<b>Berichtstruktur und Zielsetzung AP 3</b>	
<b>2</b>	<b>Ergebnisse AP 1</b>	
2.1	Szenarien	
2.2	Kernszenarien	
<b>3</b>	<b>Einwirkungen</b>	
3.1	Bauwerke Brücke und Tunnel	
3.1.1	Reguläre Einwirkungen	
3.1.1.1	Verkehr	
3.1.1.2	Wind	
3.1.1.3	Anprall	
3.1.1.4	usw.	
3.1.2	Außergewöhnliche Einwirkungen	
3.1.2.1	Explosion	EMI
3.1.2.2	Brand	
3.1.2.3	Naturkatastrophe	
3.1.2.4	Menschliches Versagen	
3.1.3	Relevante Einwirkungen	
3.2	Nutzer	
3.3	Organisation	
<b>4</b>	<b>Schwachstellenanalyse</b>	
4.1	Bauwerke	
4.1.1	Relevante Bauteile Brücke	SP
4.1.1.1	Explosion	
4.1.1.2	Brand	
4.1.1.3	Naturkatastrophe	
4.1.1.4	Menschliches Versagen	
4.1.2	Relevante Betriebstechnik Brücke	
4.1.3	Relevante Bauteile Tunnel	SP
4.1.3.1	Explosion	
4.1.3.2	Brand	
4.1.3.3	Naturkatastrophe	
4.1.3.4	Menschliches Versagen	
4.1.4	Relevante Betriebstechnik Tunnel	
4.2	Nutzer	
4.3	Organisation	
<b>5</b>	<b>Schädigungsanalyse Bauwerk</b>	
5.1	Brücke Konstruktion	
5.1.1	Explosion	
5.1.1.1	Untersuchungsrelevante Bauteile	SP
5.1.1.2	Typische Abmessungen	ILEK, SP, HT
5.1.1.3	Leitgrößen/ Belastungen	ILEK, SP, HT, EMI
5.1.1.4	Globaluntersuchung	ILEK
5.1.1.4.1	Lager	
5.1.1.4.2	Überbaugelenke	
5.1.1.4.3	Sprengkammer	
5.1.1.4.4	Widerlager- Massiv	
5.1.1.4.5	Widerlager- Spundwand	
5.1.1.4.6	Pfeiler/ Stütze- Massiv	

AP		
2.1	4.1	5.8
2.2	4.2	6.1
2.3	4.3	6.2
2.4	4.4	6.3
2.5	4.5	6.4
2.6	4.6	6.5
2.7	5.1	6.6
3.1	5.2	6.7
3.2	5.3	7.1
3.3	5.4	7.2
3.4	5.5	ZL
3.5	5.6	
3.6	5.7	

# Anhang 11

## Zusätzlich erbrachte Leistungen AP3:



### Untersuchung zur Resttragfähigkeit einer Schrägseilbrücke bei Explosionsereignissen

AP		
2.1	4.1	5.8
2.2	4.2	6.1
2.3	4.3	6.2
2.4	4.4	6.3
2.5	4.5	6.4
2.6	4.6	6.5
2.7	5.1	6.6
3.1	5.2	6.7
3.2	5.3	7.1
3.3	5.4	7.2
3.4	5.5	ZL
3.5	5.6	
3.6	5.7	

# Anhang 11

## Erbrachte Leistungen: AP4 – Maßnahme- / Wirksamkeitskatalog

Arbeitspaket 4:													
Zusammenstellung Schadensstufen Tunnel mit Maßnahmen													
für: Initialereignis Explosion													
Stand: 05.07.2011 / SP													
Nr.	Stufe 1 Tunnel	Stufe 1a Bauverfahren	Stufe 2 Hauptbauteil	Beurteilungs-Lf EMI	Sprengstoff-menge	Geologie/GW		Schadensstufe		ID	Maßnahmen - Kurzbeschreibung	Schadensstufe	
						günstig	un-günstig	Bauteil	Bauwerk			Bauwerk	Verbesserungspotential
1.1	Tunnel in geschlossener Bauweise einröhrig									T02	Mikrobew.Hochleistungsbeton, Vorsatzschale		+
										T05	Dämpferbeton		-
										T07	Dimensionierung für Explosionslasten		+
										T 21	Globale Redundanz		+
1.1.6			Zwischenwand			ja		<b>Beispiele</b>		T21		4	4
1.2	Tunnel in geschlossener Bauweise zweiröhrig												
		Spritzbetonbauweise								T02	Mikrobew.Hochleistungsbeton, Vorsatzschale		+
										T07	Dimensionierung für Explosionslasten		+
1.2.2			Wandung			ja	ja	<b>Beispiele</b>		T02, 07		4	3
			Konstruktionsteil										
1.2.2.6			Raumfuge mit Band			bei allen Konstruktionen							
1.2.4			Zwischendecke			ja		<b>Beispiele</b>					
						ja	ja			T02, 07	keine Maßnahme wirtschaftlich	4	4
												5	3
1.2.5			Fahrbahnplatte ca. 25cm			dünner Aufbau							




AP		
2.1	4.1	5.8
2.2	4.2	6.1
2.3	4.3	6.2
2.4	4.4	6.3
2.5	4.5	6.4
2.6	4.6	6.5
2.7	5.1	6.6
3.1	5.2	6.7
3.2	5.3	7.1
3.3	5.4	7.2
3.4	5.5	ZL
3.5	5.6	
3.6	5.7	

# Anhang 11

## Erbrachte Leistungen: AP4 – Kosten (Tunnel)

Arbeitspaket 4:  
Grundfaktor Wiederherstellung für die Kostenermittlung



20.10.2010 SP


Bauweise	Querschnitt nach RABT	Breite zwischen Borden	Typ	Untertyp	Länge			Günstige Randbedingungen Explosion, Brand			Ungünstige Randbedingungen Explosion		
					400 / 900 m	900 / 3000 m (1200 m)	> 3000 m (> 1200 m RQ 10,5 t)	Tunnel € / m	Wiederherstellungskosten € / m	Wiederherstellungskostenfaktor %	Tunnel € / m	Wiederherstellungskosten € / m	Wiederherstellungskostenfaktor %
					Spritzbeton	26t	7,50 m	G1	- 1	ja		32.300	7.600
- 2		ja	30.700	7.800					25%	67.700	21.600	32%	
- 3		ja	35.900	9.700					27%	74.400	23.800	32%	
26T	10,00 m	G2	- 1	ja			38.400	8.600	22%	85.100	25.000	29%	
			- 2			ja	36.200	8.600	24%	82.800	25.000	30%	
			- 3			ja	39.800	10.500	26%	86.700	26.900	31%	
33t	11,00 m	G3	- 1	ja			51.600	12.300	24%	108.500	31.800	29%	
			- 2			ja	49.400	12.300	25%	106.200	31.800	30%	
			- 3			ja	53.800	14.500	27%	110.700	34.000	31%	
10,5t mit Rettungsstollen	7,50 m	G4	- 1	ja			21.400	7.600	36%	44.600	21.200	48%	
			- 2			ja	20.300	7.800	38%	43.700	21.600	49%	
			- 3			ja	22.900	9.700	42%	47.000	23.800	51%	

AP		
2.1	4.1	5.8
2.2	4.2	6.1
2.3	4.3	6.2
2.4	4.4	6.3
2.5	4.5	6.4
2.6	4.6	6.5
2.7	5.1	6.6
3.1	5.2	6.7
3.2	5.3	7.1
3.3	5.4	7.2
3.4	5.5	ZL
3.5	5.6	
3.6	5.7	



# Anhang 11

## Erbrachte Leistungen: AP4 – Kosten (Brücke, Tunnel)

Arbeitspaket 4:					
Einheitspreise für Verkehrssicherung					
					
14.10.2010 SP					
Pos	Artikelbezeichnung	Menge	Einheit	EP A	EP B
A	Verkehrssicherung nach RSA herstellen und nach Gebrauch vollständig beseitigen			V-Sicherung	
B	Vorhaltung und Unterhaltung für 1 Monat				Unterhaltg/Mt
1.1	für 6-streifigen Urquerschnitt auf 5 s + 0				
1.1.1	Baustellenlänge	100 m	Psch	44.000 €	5.500 €
1.1.2	Baustellenlänge	500 m	Psch	65.000 €	5.500 €
1.1.3	Baustellenlänge	1000 m	Psch	101.000 €	5.500 €
1.1.4	Baustellenlänge	2000 m	Psch	152.000 €	6.500 €
1.2	für 6-streifigen & 4-streifigen Urschnitt auf 4 + 0 / 4 s + 0				
1.2.1	Baustellenlänge	100 m	Psch	42.000 €	5.500 €
1.2.2	Baustellenlänge	500 m	Psch	61.000 €	5.500 €
1.2.3	Baustellenlänge	1000 m	Psch	112.000 €	5.500 €
1.2.4	Baustellenlänge	2000 m	Psch	127.000 €	6.500 €
1.3	für 4-streifigen Urquerschnitt auf 3 + 0				
1.3.1	Baustellenlänge	100 m	Psch	38.000 €	5.500 €
1.3.2	Baustellenlänge	500 m	Psch	56.000 €	5.500 €
1.3.3	Baustellenlänge	1000 m	Psch	104.000 €	5.500 €
1.3.4	Baustellenlänge	2000 m	Psch	113.000 €	6.500 €
1.4	für 4-streifigen Urquerschnitt auf 2 + 0				
1.4.1	Baustellenlänge	100 m	Psch	34.000 €	5.500 €
1.4.2	Baustellenlänge	500 m	Psch	52.000 €	5.500 €
1.4.3	Baustellenlänge	1000 m	Psch	98.000 €	5.500 €
1.4.4	Baustellenlänge	2000 m	Psch	103.000 €	6.500 €

AP		
2.1	4.1	5.8
2.2	4.2	6.1
2.3	4.3	6.2
2.4	4.4	6.3
2.5	4.5	6.4
2.6	4.6	6.5
2.7	5.1	6.6
3.1	5.2	6.7
3.2	5.3	7.1
3.3	5.4	7.2
3.4	5.5	ZL
3.5	5.6	
3.6	5.7	

# Anhang 11

## Erbrachte Leistungen: AP4 – Ausfallzeiten Tunnel (Brücke)

Aktivität	Dauer	Monate																				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Ereignis	0																					
Schadenserhebung	6 Wo	█	█																			
beschl. Planerbeauftragung	3 Wo	█	█																			
Planungszeit o. Zusti-Verfahren	4 Mt		█	█	█	█																
Ausschreibung, beschl. Vergab	3 Mt						█	█	█													
Bautechnische Arbeiten	8 Mt									█	█	█	█	█	█	█	█	█				
Betriebstechnische Arbeiten	9 Mt																		█	█	█	█

Zeitbedarf Tunnelwiederherstellung Schadensstufe 5, Länge 100m

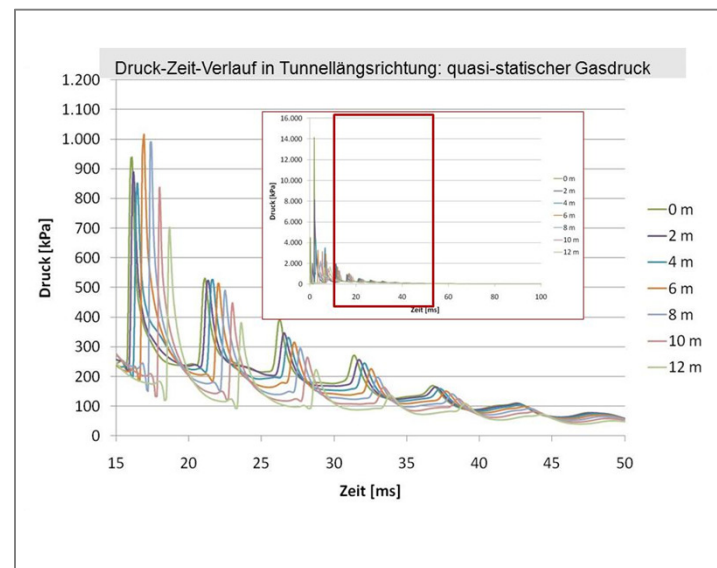
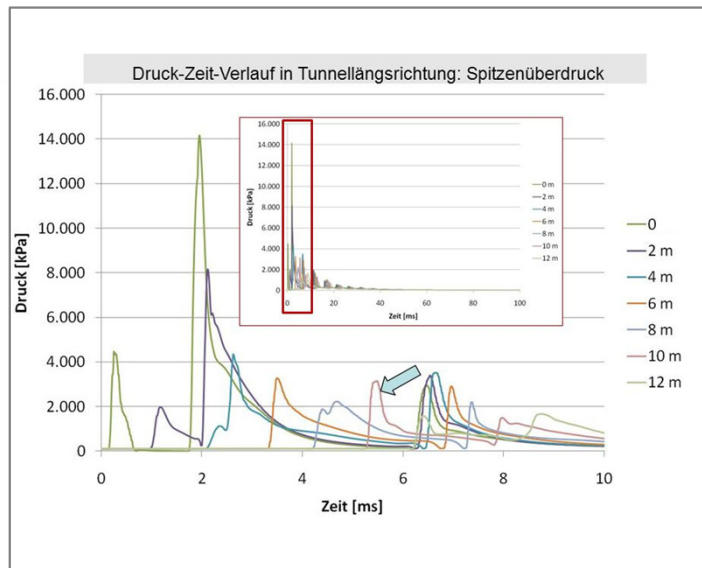
Aktivität	Dauer	Monate																				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Ereignis	0																					
Schadenserhebung	4 Wo	█	█																			
beschl. Planerbeauftragung	3 Wo	█	█																			
Planungszeit o. Zusti-Verfahren	3 Mt		█	█	█																	
Ausschreibung, beschl. Vergab	2,5 Mt						█	█	█													
Bautechnische Arbeiten	3,5 Mt									█	█	█	█									
Betriebstechnische Arbeiten	2,5 Mt																				█	█

AP		
2.1	4.1	5.8
2.2	4.2	6.1
2.3	4.3	6.2
2.4	4.4	6.3
2.5	4.5	6.4
2.6	4.6	6.5
2.7	5.1	6.6
3.1	5.2	6.7
3.2	5.3	7.1
3.3	5.4	7.2
3.4	5.5	ZL
3.5	5.6	
3.6	5.7	

# Anhang 11

## Zusätzlich erbrachte Leistungen AP4: Neue Größen für Kurzzeitdynamische Einwirkungen bei Tunneln

### Tatsächliche Blast-Beanspruchung



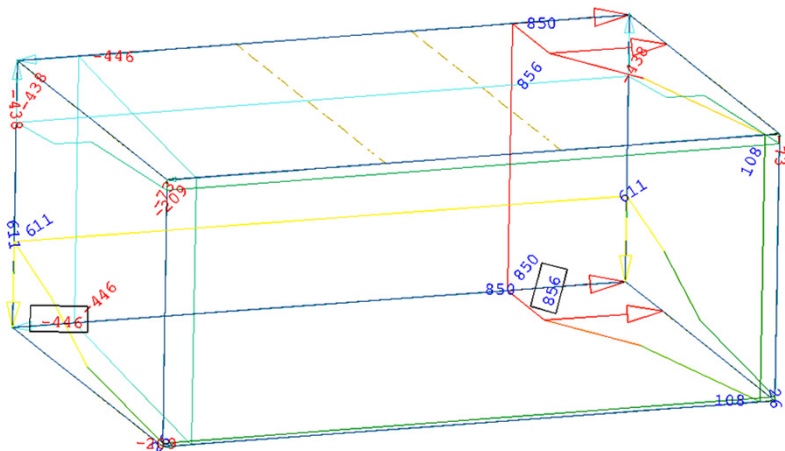
AP		
2.1	4.1	5.8
2.2	4.2	6.1
2.3	4.3	6.2
2.4	4.4	6.3
2.5	4.5	6.4
2.6	4.6	6.5
2.7	5.1	6.6
3.1	5.2	6.7
3.2	5.3	7.1
3.3	5.4	7.2
3.4	5.5	ZL
3.5	5.6	
3.6	5.7	

# Anhang 11

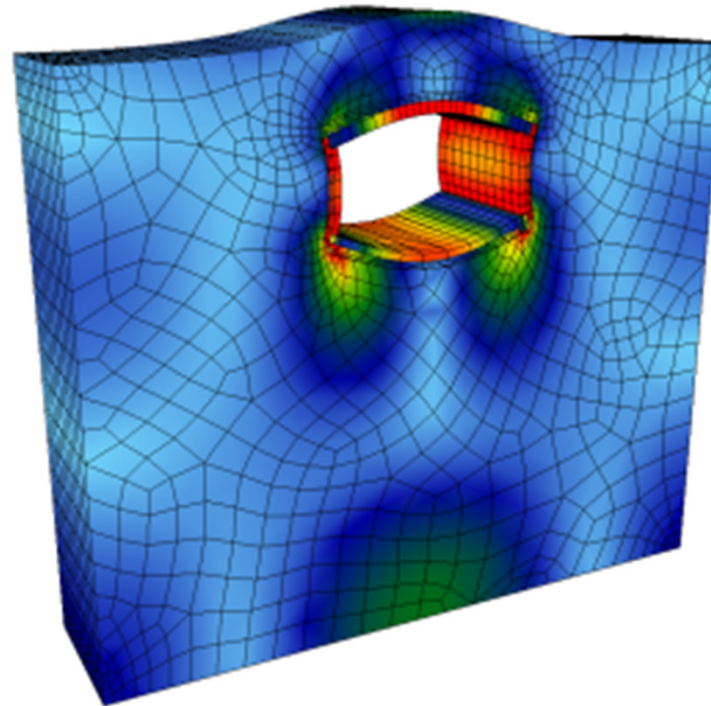
## Zusätzlich erbrachte Leistungen AP4: Neue Größen für Kurzzeitdynamische Einwirkungen bei Tunneln

- 1.) Finden statischer Ersatzlasten für den Druck-Zeit-Verlauf im Tunnelinnenraum  
→ Hilfsgröße Eigenfrequenz

$$P_{stat}(t_1, t_n, f_e, f_{max}) = P_{dyn} \cdot \lambda(t_1, t_n, f_e, f_{max})$$



- 2.) Bestimmen Eigenfrequenz  
→ Nichtlineare statische Berechnung der Szenarien

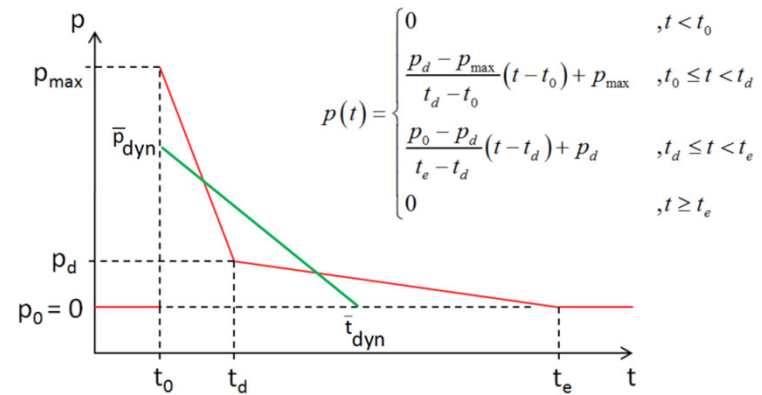
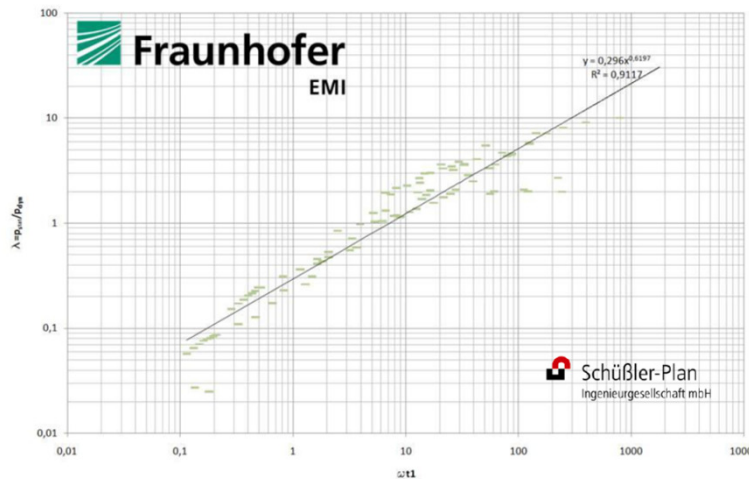


AP		
2.1	4.1	5.8
2.2	4.2	6.1
2.3	4.3	6.2
2.4	4.4	6.3
2.5	4.5	6.4
2.6	4.6	6.5
2.7	5.1	6.6
3.1	5.2	6.7
3.2	5.3	7.1
3.3	5.4	7.2
3.4	5.5	ZL
3.5	5.6	
3.6	5.7	

# Anhang 11

## Zusätzlich erbrachte Leistungen AP4: Neue Größen für Kurzzeitdynamische Einwirkungen bei Tunneln

### 3.) Finden neuer statischer Ersatzlasten auf Basis der Eigenfrequenzen der jeweiligen Bauteile



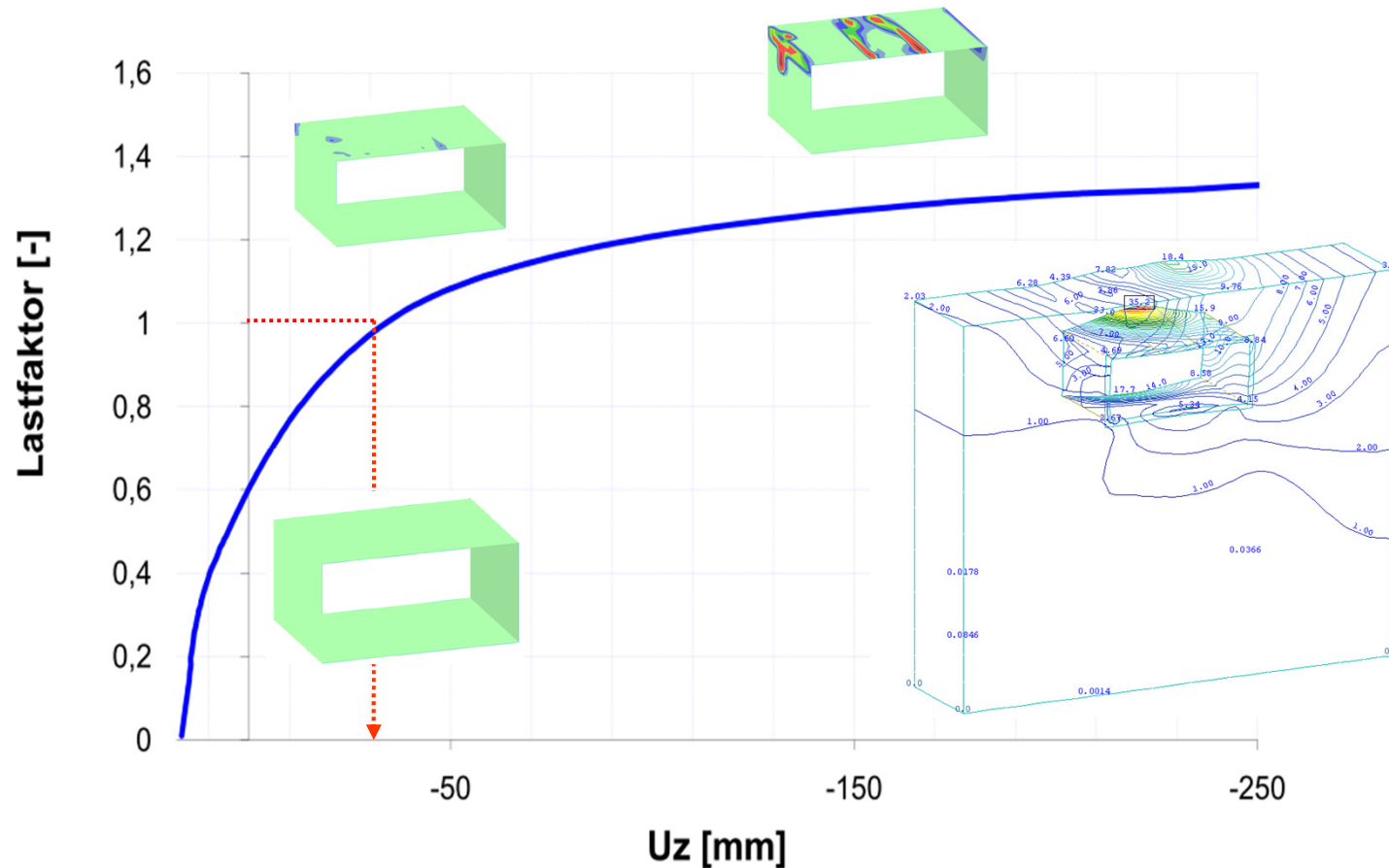
**Basis: linearer Druck-Zeit-Verlauf**

AP		
2.1	4.1	5.8
2.2	4.2	6.1
2.3	4.3	6.2
2.4	4.4	6.3
2.5	4.5	6.4
2.6	4.6	6.5
2.7	5.1	6.6
3.1	5.2	6.7
3.2	5.3	7.1
3.3	5.4	7.2
3.4	5.5	ZL
3.5	5.6	
3.6	5.7	

# Anhang 11

## Zusätzlich erbrachte Leistungen AP4: Neue Größen für Kurzzeitdynamische Einwirkungen bei Tunneln

### 4.) Statische Traglastanalyse ( $\lambda$ -Ersatzlast) zur Klärung Schädigungsbereiche




AP		
2.1	4.1	5.8
2.2	4.2	6.1
2.3	4.3	6.2
2.4	4.4	6.3
2.5	4.5	6.4
2.6	4.6	6.5
2.7	5.1	6.6
3.1	5.2	6.7
3.2	5.3	7.1
3.3	5.4	7.2
3.4	5.5	ZL
3.5	5.6	
3.6	5.7	

# Anhang 11

## Erbrachte Leistungen: AP5 – Entwurfsgrundsätze / -vorgaben Brücke

SKRIBT – UAG B



**Maßnahmenbeschreibung**  
Bearbeitungsstand: 30.06.2011


**Bezeichnung der Maßnahme**  
B09 – Lagerschutz [BBa - 22]

**Wirkungsbereich der Maßnahme**  
Die Maßnahme wirkt gegen Explosionsszenarien und dient Schutz.

**Wirkungsbeschreibung der Maßnahme**

Initialereignis	Beschreibung

Brücke

SKRIBT – UAG B 


**Ereignisbezogene Wirksamkeit der Maßnahme**

**Fall 1: Neubau**

<b>BRAND</b>	keine Wirksamkeit
<b>EXPLOSION</b>	Die Maßnahme dient dem Bauwerkschutz und untergeordnet dem Nutzer-schutz, in dem Bauwerksschädigungen verhindert werden. Mit dem Lagerspalt-Verschluss wird das unmittelbare Plazieren einer Kofferbombe verhindert und eine zwangsweise Abstandsvergrößerung erreicht. Ab etwa 2 m Abstand treten bei einer Kofferbombe keine maßgeblichen Lagerschädigungen mehr auf.
<b>KONTAMINATION</b>	keine Wirksamkeit
<b>WASSER/TEMP./WIND</b>	keine Wirksamkeit
<b>MECHANISCHE EREIGNISSE</b>	keine Wirksamkeit

**Fall 2: Ertüchtigung**

<b>BRAND</b>	keine Wirksamkeit
<b>EXPLOSION</b>	Eine Nachrüstung ist leicht möglich, ansonsten keine Wirksamkeit.
<b>KONTAMINATION</b>	keine Wirksamkeit
<b>WASSER/TEMP./WIND</b>	keine Wirksamkeit
<b>MECHANISCHE EREIGNISSE</b>	keine Wirksamkeit

SKRIBT – UAG B 

**Umsetzung der Maßnahme**

- 1. Entwurfempfehlung**  
Sofern nicht bereits aus Vogelschutz-Gründen ein Lagerspaltverschluss vorgesehen wird, sollte dieser zum Explosionsschutz bei Brücken vorgesehen werden.
- 2. Bemessungsempfehlung**  
Keine.
- 3. Konstruktionsempfehlungen**  
Lagerschutzkonstruktion z. B. gemäß Richtzeichnung VES 1 oder Maschendrahtblenden. Mit speziellen gelochten Elementen als Ersatz für Maschendrahtblenden lassen sich Explosionseinwirkungen weiter reduzieren.

AP		
2.1	4.1	5.8
2.2	4.2	6.1
2.3	4.3	6.2
2.4	4.4	6.3
2.5	4.5	6.4
2.6	4.6	6.5
2.7	5.1	6.6
3.1	5.2	6.7
3.2	5.3	7.1
3.3	5.4	7.2
3.4	5.5	ZL
3.5	5.6	
3.6	5.7	

# Anhang 11

## Erbrachte Leistungen: AP5 – Entwurfsgrundsätze / -vorgaben Tunnel

SKRIBT – UAG A

**Maßnahmenbeschreibung**  
 Bearbeitungsstand: 30.06.2011

**Bezeichnung der Maßnahme**  
 T 07 – Dimensionierung für Explosionslasten [TBa - 12]

**Wirkungsbereich der Maßnahme**  
 Die Maßnahme wirkt gegen Explosionsszenarien mittlerer Größe und dient in erster Linie dem Bauwerksschutz.

**Wirkungsbeschreibung**

**Initialereignis**

SKRIBT – UAG A

**Umsetzung der Maßnahme**

1. Entwurfsempfehlung  
keine
2. Bemessungsempfehlung
  1. Klären der lokalen Schädigung
  2. Klären der globalen dynamischen Innendruckbelastung
  3. Ableiten der dynamischen Lastfaktoren zur Berechnung statischer Ersatzlasten anhand einer Eigenfrequenzanalyse der Tunnel(sub-)strukturen (Söhle, Wand, Decke).
  4. Bemessung des Tunnels für die Innen- und Außenbelastung oder als ein-zelliger Restquerschnitt für alle äußeren Lasten (Ausfallbemessung)

$P_{\text{in}}(t, t, f) = P_{\text{out}} \cdot \lambda(t, t, f)$

SKRIBT – UAG A

**Kosten der Maßnahme**

**Fall 1: Maßnahmenumsetzung bei Bauwerkserstellung**

Theoretische Nutzungsdauer [a]	Investitionskosten [€]	Jährliche Unterhaltskosten [€]
Identisch der veranschlagten Nutzungsdauer des Bauwerkes.	Kosten für erhöhte Stahlaufwand geometrieabhängig. Überschlägige Mehrkosten 10–15 % der Tunnelneubaukosten.	keine

**Fall 2: Maßnahmenumsetzung bei Bauwerkserichtigung**

Theoretische Nutzungsdauer [a]	Investitionskosten [€]	Jährliche Unterhaltskosten [€]
Entfällt	Entfällt	Entfällt

SKRIBT – UAG A

**3. Konstruktionsempfehlungen**

1. Symmetrische Ausbildung der Biegezugbewehrung auf beiden Bauteilseiten
2. Duktile Ausbildung von Rahmenecken für negatives und positives Eckmoment gleichermaßen
3. Ggf. Maßnahmen zur Horizontallastabtragung vorsehen (Erdsporne)

AP		
2.1	4.1	5.8
2.2	4.2	6.1
2.3	4.3	6.2
2.4	4.4	6.3
2.5	4.5	6.4
2.6	4.6	6.5
2.7	5.1	6.6
3.1	5.2	6.7
3.2	5.3	7.1
3.3	5.4	7.2
3.4	5.5	ZL
3.5	5.6	
3.6	5.7	



# Anhang 11

## Erbrachte Leistungen: AP5 - Bauwerksinstandsetzung

- Phase 1: Vorlaufende Arbeiten  
(Bauwerkssperrung, Sicherungsmaßnahmen usw.)
- Phase 2: Planung  
(Planersuche –VOF, Planung)
- Phase 3: Ausschreibung und Vergabe  
(Ausschreibungsinhalte und -art, Vergabe)
- Phase 4: Baudurchführung  
⇒ kein allgemeiner Lösungsansatz  
für angemessene Lösungen möglich

AP		
2.1	4.1	5.8
2.2	4.2	6.1
2.3	4.3	6.2
2.4	4.4	6.3
2.5	4.5	6.4
2.6	4.6	6.5
2.7	5.1	6.6
3.1	5.2	6.7
3.2	5.3	7.1
3.3	5.4	7.2
3.4	5.5	ZL
3.5	5.6	
3.6	5.7	

# Anhang 11

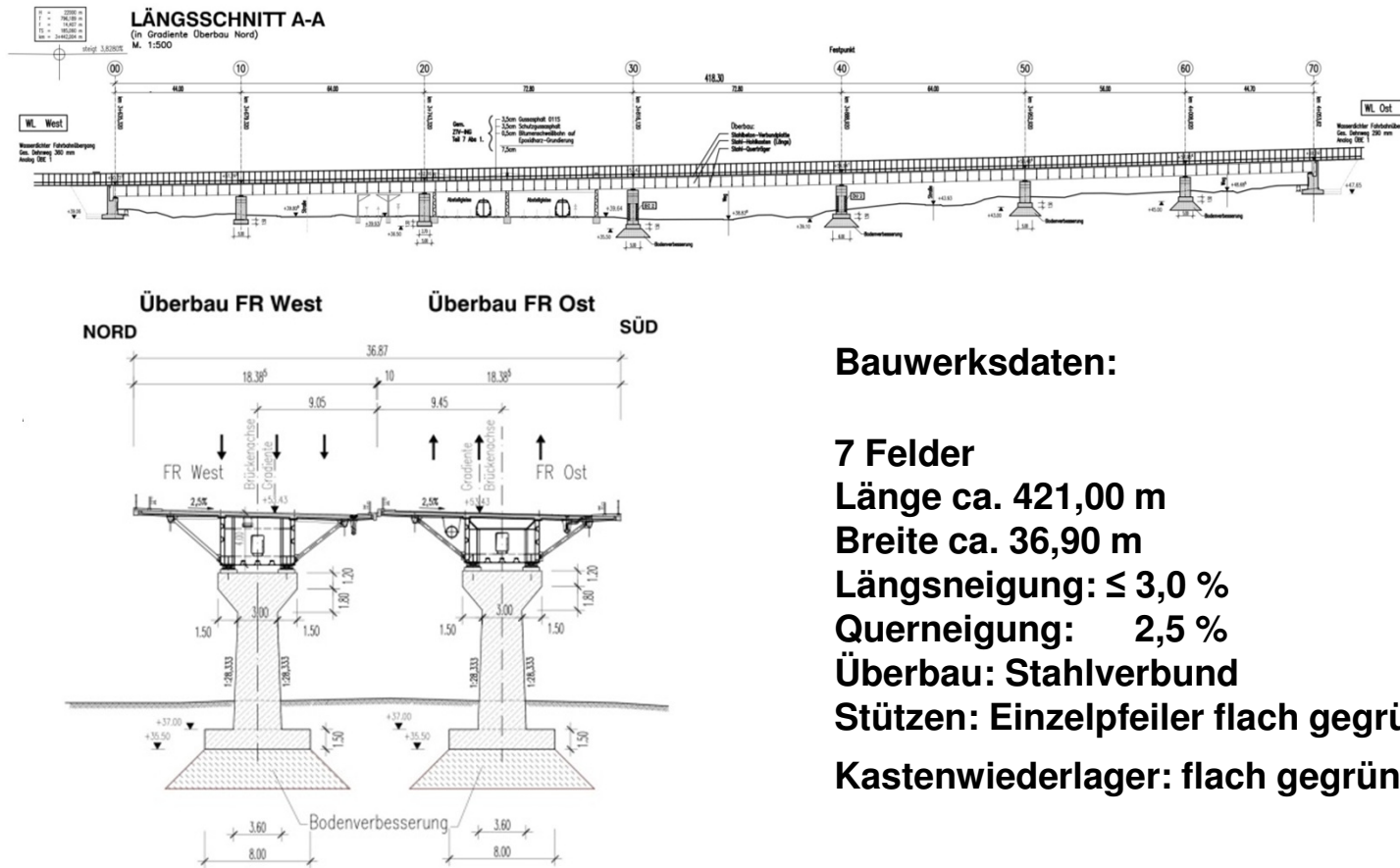
## Erbrachte Leistungen: AP5 – Führen der Arbeitsgruppe

Arbeitspaket 5: Wirksame Schutzmaßnahmen für Brücken u. Tunnel											
AP- Strukturierung											
Berichtsgliederung mit Arbeitsverteilung											
Version 3 23.11.10											
	Gruppe	SP	TLB	ILEK	HT	EMI	PTV	Uni Wü	BBK	BASt	Sie
1. Allgemeines		X								X	
2. Ergebnis Wirksamkeitsanalyse AP 4 oder Auswahl wirksamer Maßnahmen											
(evtl. kürzer fassen und Anhang anlegen)											
2.1 Brücken											
2.1.1 B 01, Hochleistungsbeton (BBa-1)	B			X	X	X					
2.1.2 B 02, Verstärkung/ Aufbetonschicht Mikrobew. Hochleistungsbeton (BBa-2)	B			X	X	X					
2.1.3 B 03, Verbesserter Entwurf - statisch unbestimmtes System (BBa-7)	B			X	X						
2.1.4 B 04, Pfeilerscheibe statt Stütze (BBa-10)	B	X									
2.1.5 B 05, Windschutzwände, Überprüfung Bemessungsansätze (BBa-12)	B			X			X				
2.1.6 B 06, Freibordvergrößerung (BBa-14)	B			X							
2.1.7 B 07, Höhere Anpralllasten (BBa-17)	B			X							
2.1.8 B 08, Anprallschutz (BBa-20)	B			X						X	
2.1.9 B 09, Lagerschutz (BBa-22)	B	X									
2.1.10 B 10, Globale Redundanz (BBa-25)	B	X									
2.1.11 B 11, Zugangsverhinderung (BBe-1)	B									X	
2.1.12 B 12, Verschleßen Bestandsunterlagen (BOR-2)	B									X	
2.1.13 B 13, Pegelmessung (BBE-17)	C						X				
2.1.14 B 14, Spezieller Brückennotruf (BBE-16, BOR-4)	C								X		
2.1.15 B 15, Sperreinrichtungen (BBE-15)	C						X				
2.1.16 B 16, Parkverbot unter Brücken (BBE-2)	B									X	
2.1.17 B 17, Notfallübung	C								X	X	
2.1.18 B 18, Windgeschwindigkeitswarmanlage	C										X
2.2 Tunnel											
2.2.1 T 01, Hochleistungsbeton (ohne Mikrobewehrung) als Konstruktionsbeton	A		X		X	X					
2.2.2 T 02, Hochleistungsbeton (ohne oder mit Mikrobewehrung) als	A		X		X	X					
2.2.3 T 03, Brandschutzbeton (TBa-4)	A				X					X	
2.2.4 T 04, Brandschutzverkleidung (TBa-4)	A				X					X	
2.2.5 T 05, Dämplerbeton (Tba-5)	A					X					EMI geht von dem eigenentwickelten Polymerbeton aus. Nicht von der HT-Entwicklung.
2.2.6 T 06, Designvorgaben Tunnelbrand (TBa-11)	A				X					X	
2.2.7 T 07, Dimensionierung für Explosionslasten (TBa-12)	A	X				X					
2.2.8 T 08, Zweischalige Bauweise (TBa-15)	A		X								
2.2.9 T 09, ITCC Integration (TBe-6 & 27 & 28)	C										X
2.2.10 T 10, Überhitzte Fahrzeuge (TBe-10 & 11)	C										X
2.2.11 T 11, Gasdetektion (TBe-13)	C										X
2.2.12 T 12, Gefahrgutererkennung Video (TBe-15 & 16 & 23)	C										X
2.2.13 T 13, Gefahrgutererkennung RIFD (TBe-17 & 23)	C										X
2.2.14 T 14, Sperrung Tunnel (TBe-25)	C		X								X
2.2.15 T 15, Optimierte Fluchtwege (TBe-21)	C									X	
2.2.16 T 16, Tunnelkommunikation (TBe-37)	C										X
2.2.17 T 17, Dynamische Fluchtwege (TBe- 44)	C								X		X
2.2.18 T 18, Vorinformation Tunnelnutzer (TBe-6)	C								X		
2.2.19 T 19, Situationstraining Tunnelnutzer (neu)	C								X		
2.2.20 T 20, Automatische Löschanlage (TBe-26)	C		X								
2.2.22 T 21, Globale Redundanz (TBa-27)	A	X									

AP		
2.1	4.1	5.8
2.2	4.2	6.1
2.3	4.3	6.2
2.4	4.4	6.3
2.5	4.5	6.4
2.6	4.6	6.5
2.7	5.1	6.6
3.1	5.2	6.7
3.2	5.3	7.1
3.3	5.4	7.2
3.4	5.5	ZL
3.5	5.6	
3.6	5.7	

# Anhang 11

## Erbrachte Leistungen: AP6 - Demonstration Neubau und Nachrüstung Beispielbrücke

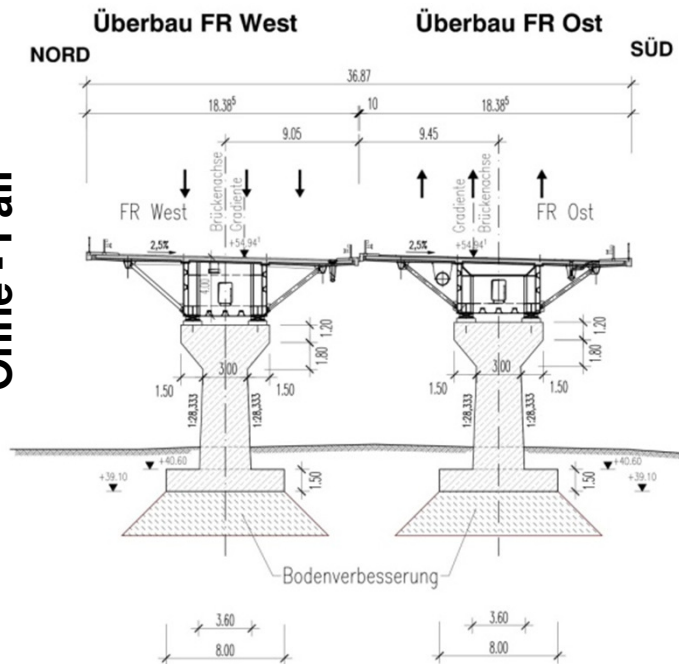


AP		
2.1	4.1	5.8
2.2	4.2	6.1
2.3	4.3	6.2
2.4	4.4	6.3
2.5	4.5	6.4
2.6	4.6	6.5
2.7	5.1	6.6
3.1	5.2	6.7
3.2	5.3	7.1
3.3	5.4	7.2
3.4	5.5	ZL
3.5	5.6	
3.6	5.7	

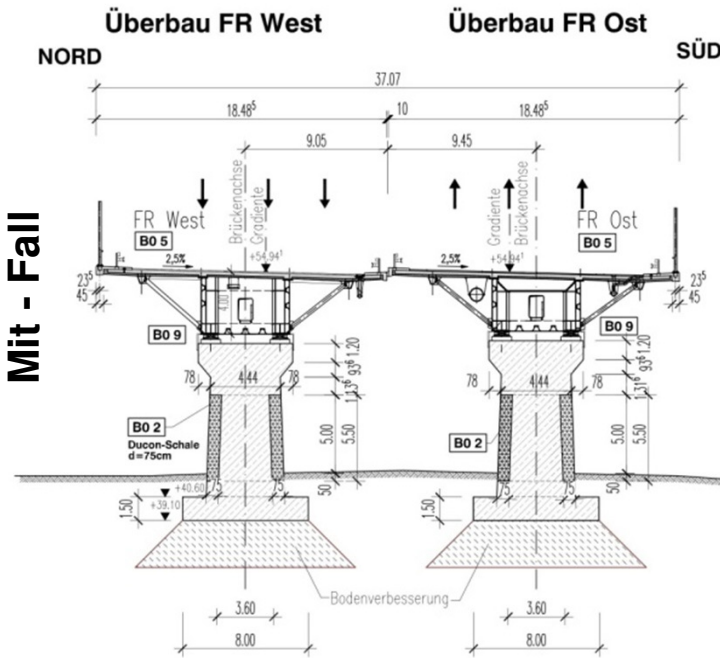
# Anhang 11

## Erbrachte Leistungen: AP6 - Demonstration Neubau B 02 – DUCON-Schale für Pfeiler

Ohne - Fall



Mit - Fall



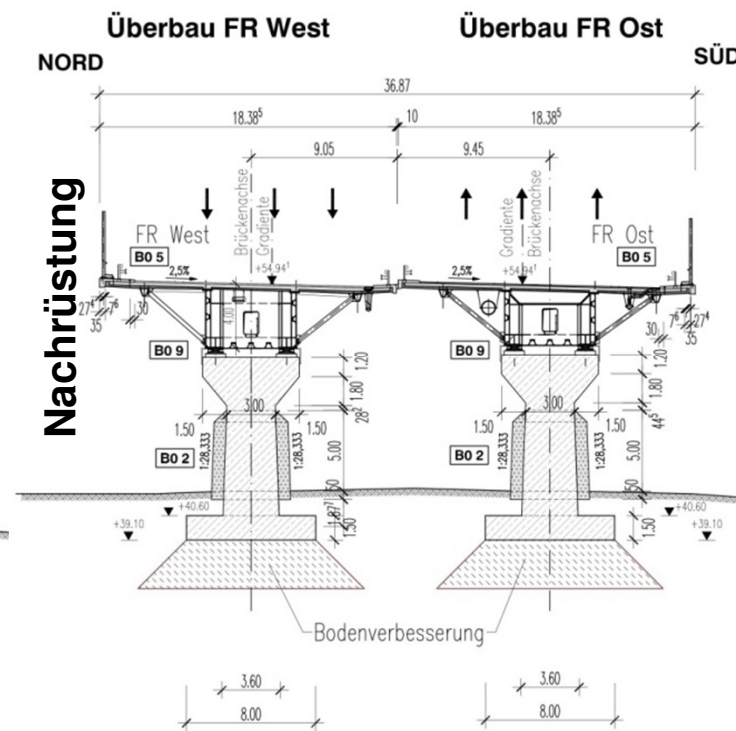
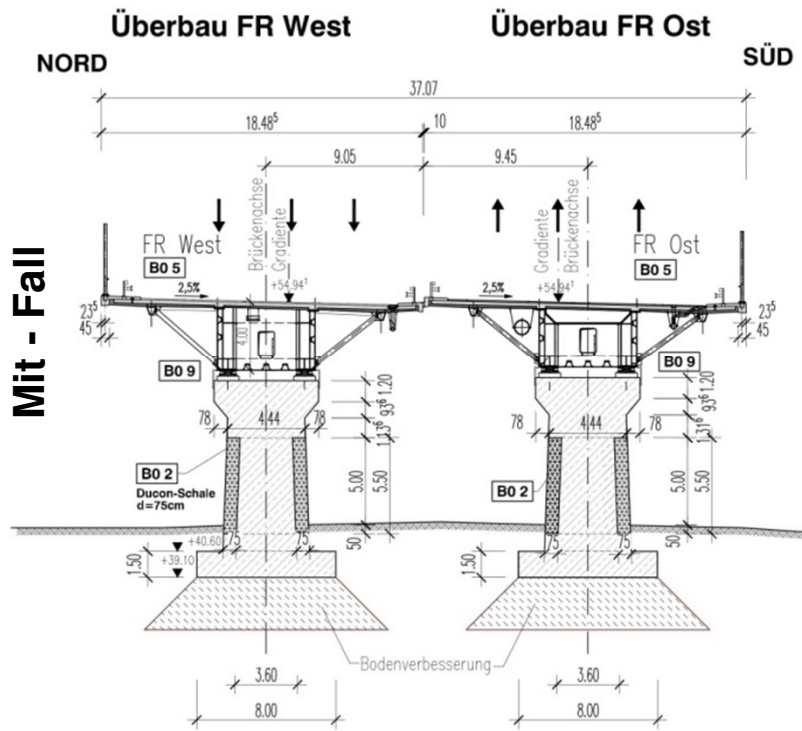
Mehrkosten: ca. 1.730.000,- € netto  
Maßnahme für Überbau zu teuer  
Maßnahme für Wiederlager zu teuer

→ B 03 günstiger  
→ B 16 günstiger

AP		
2.1	4.1	5.8
2.2	4.2	6.1
2.3	4.3	6.2
2.4	4.4	6.3
2.5	4.5	6.4
2.6	4.6	6.5
2.7	5.1	6.6
3.1	5.2	6.7
3.2	5.3	7.1
3.3	5.4	7.2
3.4	5.5	ZL
3.5	5.6	
3.6	5.7	

# Anhang 11

## Erbrachte Leistungen: AP6 - Demonstration Nachrüstung B 02 – DUCON-Schale für Pfeiler

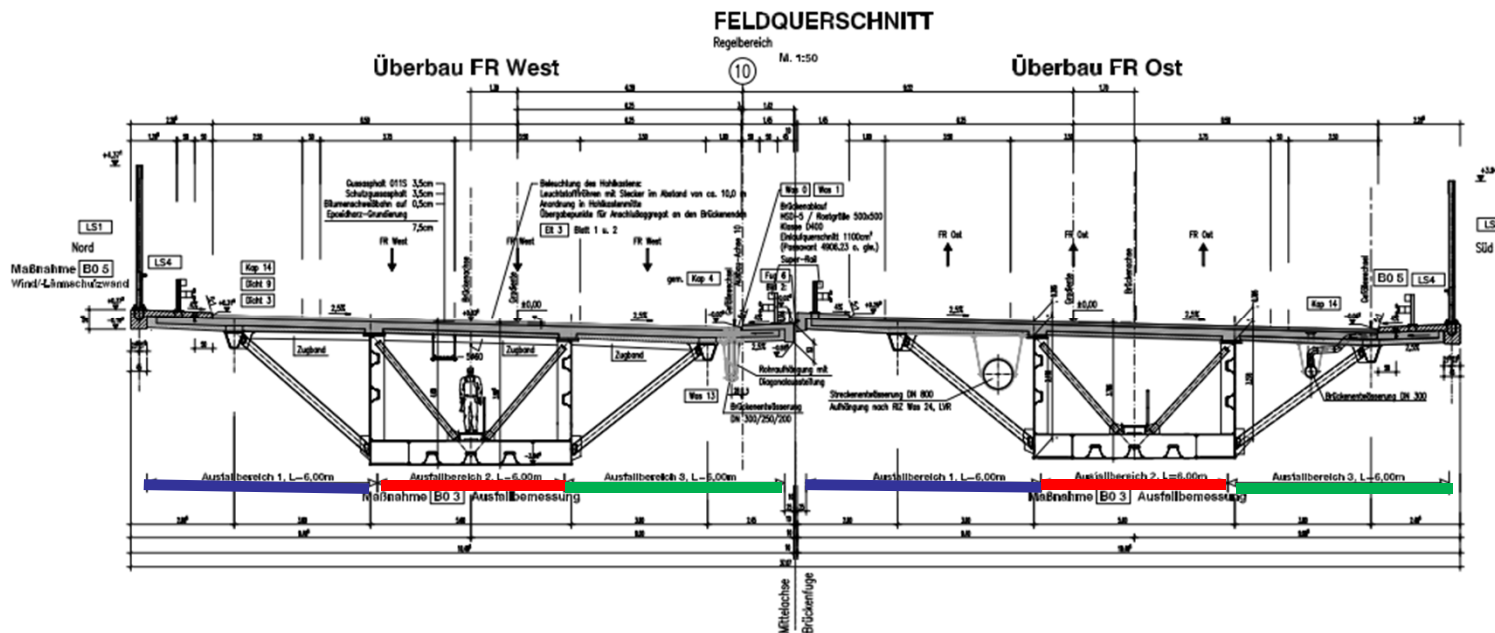


Mehrkosten: ca. 1.786.000,- € netto

AP		
2.1	4.1	5.8
2.2	4.2	6.1
2.3	4.3	6.2
2.4	4.4	6.3
2.5	4.5	6.4
2.6	4.6	6.5
2.7	5.1	6.6
3.1	5.2	6.7
3.2	5.3	7.1
3.3	5.4	7.2
3.4	5.5	ZL
3.5	5.6	
3.6	5.7	

# Anhang 11

**Erbrachte Leistungen: AP6 - Demonstration Neubau und Nachrüstung**  
**B 03 – Ausfallbemessung Überbau**  
**B 05 – Windschutzwände (Lärmschutzwände)**

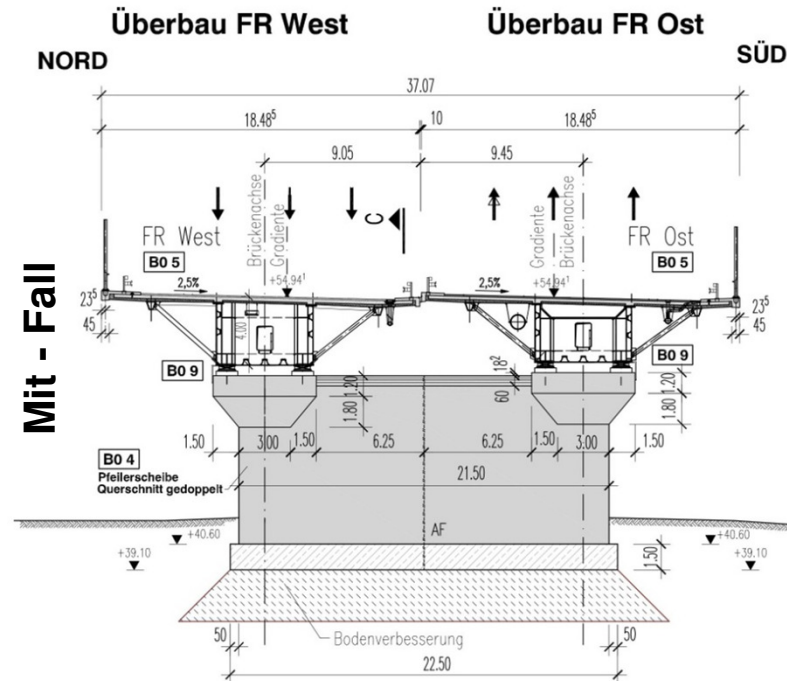
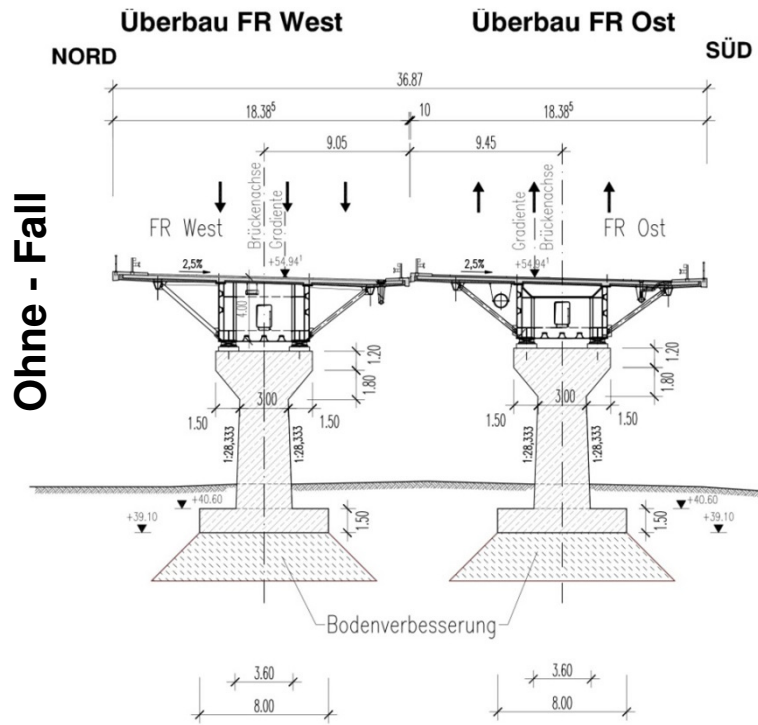


**Mehrkosten B 03: ca. 126.000,- € netto**  
**Mehrkosten B 05: ca. 1.080.000,- € netto**

AP		
2.1	4.1	5.8
2.2	4.2	6.1
2.3	4.3	6.2
2.4	4.4	6.3
2.5	4.5	6.4
2.6	4.6	6.5
2.7	5.1	6.6
3.1	5.2	6.7
3.2	5.3	7.1
3.3	5.4	7.2
3.4	5.5	ZL
3.5	5.6	
3.6	5.7	

# Anhang 11

## Erbrachte Leistungen: AP6 - Demonstration Neubau und Nachrüstung B 04 – Pfeilerscheibe statt Stütze

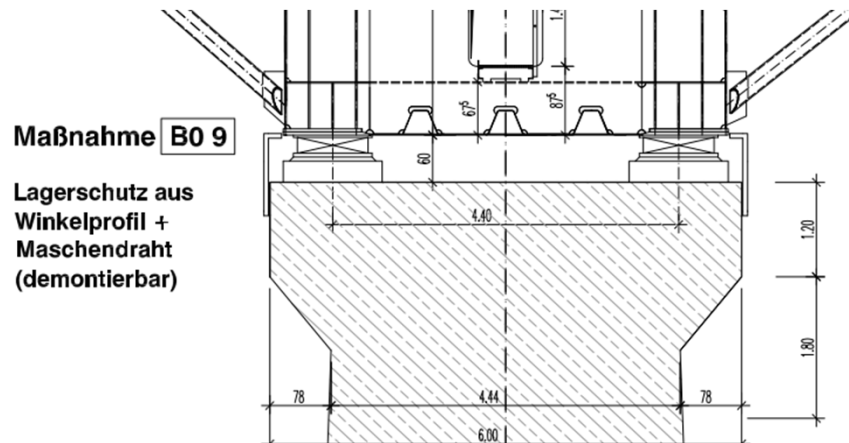


Mehrkosten: ca. 1.800.000,- € netto

AP		
2.1	4.1	5.8
2.2	4.2	6.1
2.3	4.3	6.2
2.4	4.4	6.3
2.5	4.5	6.4
2.6	4.6	6.5
2.7	5.1	6.6
3.1	5.2	6.7
3.2	5.3	7.1
3.3	5.4	7.2
3.4	5.5	ZL
3.5	5.6	
3.6	5.7	

# Anhang 11

## Erbrachte Leistungen: AP6 - Demonstration Neubau und Nachrüstung B 09 – Lagerschutz



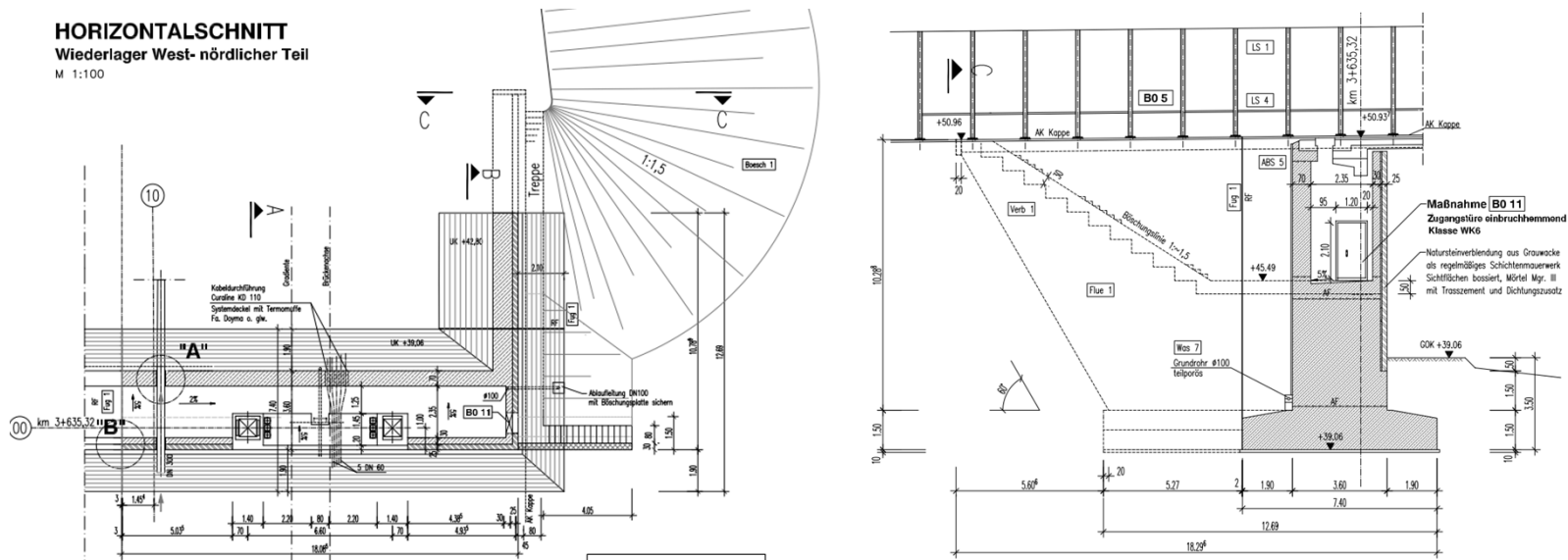
**Mehrkosten: ca. 70.000,- € netto Neubau und Nachrüstung**

AP		
2.1	4.1	5.8
2.2	4.2	6.1
2.3	4.3	6.2
2.4	4.4	6.3
2.5	4.5	6.4
2.6	4.6	6.5
2.7	5.1	6.6
3.1	5.2	6.7
3.2	5.3	7.1
3.3	5.4	7.2
3.4	5.5	ZL
3.5	5.6	
3.6	5.7	



# Anhang 11

## Erbrachte Leistungen: AP6 - Demonstration Neubau und Nachrüstung B 11 – Zugangsverhinderung Wiederlager

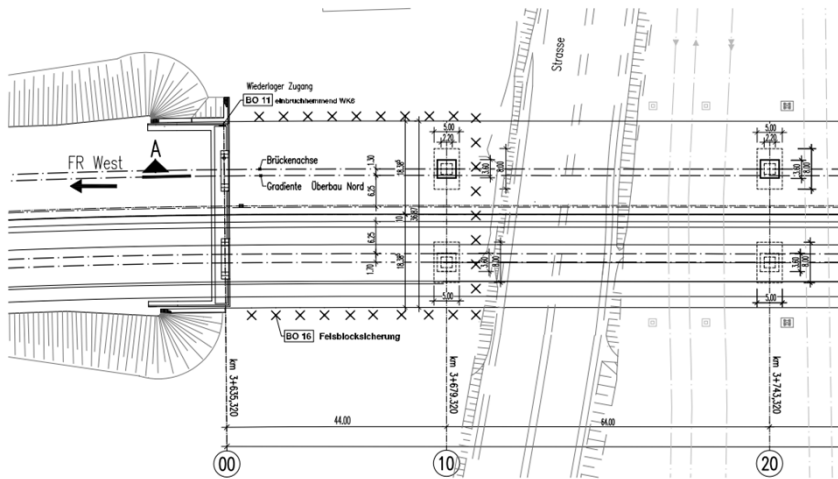


Mehrkosten: ca. 33.000,- € netto Neubau  
 Mehrkosten: ca. 38.000,- € netto Nachrüstung

AP		
2.1	4.1	5.8
2.2	4.2	6.1
2.3	4.3	6.2
2.4	4.4	6.3
2.5	4.5	6.4
2.6	4.6	6.5
2.7	5.1	6.6
3.1	5.2	6.7
3.2	5.3	7.1
3.3	5.4	7.2
3.4	5.5	ZL
3.5	5.6	
3.6	5.7	

# Anhang 11

## Erbrachte Leistungen: AP6 - Demonstration Neubau und Nachrüstung B 16 – Parkverhinderung unter Brücke



Mehrkosten: ca. 131.000,- € netto Neubau und Nachrüstung

AP		
2.1	4.1	5.8
2.2	4.2	6.1
2.3	4.3	6.2
2.4	4.4	6.3
2.5	4.5	6.4
2.6	4.6	6.5
2.7	5.1	6.6
3.1	5.2	6.7
3.2	5.3	7.1
3.3	5.4	7.2
3.4	5.5	ZL
3.5	5.6	
3.6	5.7	

## Anhang 11

Erbrachte Leistungen: AP6 - Demonstration Neubau und Nachrüstung  
Fazit:

- **Es gibt hoch wirksame einfache Maßnahmen (z. B. Zugangsverhinderung, Parkverhinderung)**
- **Einfache Maßnahmen sind kostengünstig**
- **Wirkungsvollste Schutzmaßnahme für Überbauten = B 03 – Verbesserter Entwurf; hier Ausfallbemessung**
- **Mögliche Nachrüstungen sind nur unwesentlich teurer**

AP		
2.1	4.1	5.8
2.2	4.2	6.1
2.3	4.3	6.2
2.4	4.4	6.3
2.5	4.5	6.4
2.6	4.6	6.5
2.7	5.1	6.6
3.1	5.2	6.7
3.2	5.3	7.1
3.3	5.4	7.2
3.4	5.5	ZL
3.5	5.6	
3.6	5.7	

# Anhang 11

**Erbrachte Leistungen: AP7 – Menschliches Verhalten**

**Es wurden im AP7 keine bautechnischen Beratungsleistungen erbracht**

AP		
2.1	4.1	5.8
2.2	4.2	6.1
2.3	4.3	6.2
2.4	4.4	6.3
2.5	4.5	6.4
2.6	4.6	6.5
2.7	5.1	6.6
3.1	5.2	6.7
3.2	5.3	<del>7.1</del>
3.3	5.4	<del>7.2</del>
3.4	5.5	ZL
3.5	5.6	
3.6	5.7	

## Liste der Veröffentlichungen im Rahmen des F+E Vorhabens

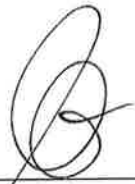
FKZ: 13 N 9642

Außerhalb des Abschlussberichtes sind die Ergebnisse des o.g. F+E Vorhabens in folgenden Beiträgen publiziert worden:

- M. Nöldgen , A. Stolz, Ein deterministisches Beurteilungsverfahren zur lokalen und globalen Standsicherheit von Tunnelkonstruktionen bei Explosionsereignissen 50 Jahre STUVA, Tagungsband 2010, Bauverlag BV GmbH, Gütersloh,
- M. Nöldgen , A. Stolz, Ein deterministisches Beurteilungsverfahren zur lokalen und globalen Standsicherheit von Tunnelkonstruktionen bei Explosionsereignissen, Felsbau magazin, 2010, Heft 5, S. 298-303, VGE Verlag
- M. Nöldgen, Robustheitsanalysen für Straßentunnel in offener Bauweise bei Explosionsbeanspruchung, Tagungsband Symposium Straßentunnel in Deutschland – Neuheiten zur Sicherheit, 2011, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch-Gladbach
- M. Nöldgen, W. Caspari, J. Krieger, Relevance and efficiency of protective measures for bridge structures under severe loading, IABMAS 10, Bridge Maintenance, Safety, Management and Life-Cycle Optimization, Conference Proceedings, 2010, CRC Press, Taylor & Francis Group, p.517 and pp. 2625-2632, ISBN 9780415877862
- A. Stolz, W. Riedel, Ch. Mayrhofer, M. Nöldgen, K. Dörendahl, Tunnel structures subjected to explosions, 5th Security Research Conference, Berlin, Sept. 7th – 9th, 2010, Conference Proceedings, S2.2

**Eine Kopie der jeweiligen Veröffentlichungen kann auf Anfrage nachgeliefert werden.**

Düsseldorf, den 19.1.2012  
Ort und Datum

  
\_\_\_\_\_  
Unterschrift (Caspari)

## Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart: Schlussbericht
3. Titel  Verbundprojekt SKRIBT Schutz Kritischer Brücken und Tunnel im Zuge von Straßen  Teilvorhaben: Wirksame Schutzmaßnahmen und Bauwerksentwurf	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)]  Caspari, Wilfried  Nöldgen, Markus	5. Abschlussdatum des Vorhabens Juli 2011
	6. Veröffentlichungsdatum Verschiedene
	7. Form der Publikation Tagungsband
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse)  Schübler-Plan Ingenieurgesellschaft mbH Sankt-Franziskus-Straße 148 40470 Düsseldorf	9. Ber. Nr. Durchführende Institution --
	10. Förderkennzeichen 13N9642
	11. Seitenzahl Bericht: 96, Anhang: 124
12. Fördernde Institution (Name, Adresse)  Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben 28
	14. Tabellen 7
	15. Abbildungen 80
16. Zusätzliche Angaben --	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) 50 Jahre STUVA, Düsseldorf, 6/2010; Symposium Straßentunnel in Deutschland – Neuheiten zur Sicherheit, Bergisch-Gladbach 11/2011	
18. Kurzfassung In Bezug auf das Teilvorhaben „Wirksame Schutzmaßnahmen und Bauwerksentwurf“ werden nach derzeitigem Stand der Technik lediglich bei Tunnelbauwerken Brandszenarien statisch und konstruktiv beim Bauwerksentwurf berücksichtigt. Für weitergehende Bedrohungsszenarien bestehen derzeit keine Vorgaben. Ob wirksame Schutzmaßnahmen für Brücken und Tunnel möglich sind, ist bislang wissenschaftlich nicht untersucht. Das Ziel des Teilvorhabens ist, für kritische Bauwerke wirksame Schutzmaßnahmen aufzuzeigen und anhand eines Bauwerksentwurfs zu demonstrieren bzw. zu untersetzen. Dazu wurden in mehreren Stufen zunächst die möglichen Bedrohungen und die dazu möglichen Schutzmaßnahmen ungeachtet deren Einsatz-Reifegrads definiert. Anschließend wurden die Kriterien für kritische Bauwerke herausgearbeitet und deren szenarienbezogenes Widerstandsverhalten ermittelt (Ohne-Fall). Im Weiteren erfolgte für die realisierungsfähigen Maßnahmen die Ermittlung des veränderten Schadensausmaßes (Mit-Fall). Abschließend wurde an einem Beispielobjekt Brücke die wirksamen Maßnahmen planerisch umgesetzt und technisch/monetär bewertet. Es wurde nachgewiesen, dass Schutzmaßnahmen nur für bestimmte Szenarien wirtschaftlich realisiert werden können und dass bei den realisierungsfähigen wirtschaftliche Unterschiede bestehen. Neben dem Neubau wurde auch die Nachrüstung betrachtet. Es lassen sich im Ergebnis diverse Schutzmaßnahmen direkt bei einem entsprechenden Gefährdungspotential umsetzen. Zu weiteren Schutzmaßnahmen besteht vor deren Umsetzung weiterer Forschungsbedarf.	
19. Schlagwörter Außergewöhnliche Bedrohung, Schutzmaßnahmen, Maßnahmenumsetzung, Bauwerksentwurf Brücke	
20. Verlag Bauerlag BV Gütersloh u. a.	21. Preis

## Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Final Report	
3. title  Cooperative project SKRIBT Protection of Critical Bridges and Tunnels in the Course of Roads Partial project: Effective Protective Measurements and Design of Constructions		
4. author(s) (family name, first name(s))  Caspari, Wilfried  Nöldgen, Markus	5. end of project July 2011	6. publication date Several
8. performing organization(s) (name, address)  Schübler-Plan Ingenieurgesellschaft mbH Sankt-Franziskus-Straße 148 40470 Düsseldorf		7. form of publication Conference proceedings
12. sponsoring agency (name, address)  Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn		9. originator's report no. - -
13. no. of references 28		10. reference no. 13N9642
14. no. of tables 7		11. no. of pages Report: 96, Annexe: 124
15. no. of figures 80		16. supplementary notes
17. presented at (title, place, date) 50 Years STUVA, Düsseldorf, 6/2010; Symposium Road Tunnel in Germany – News Concerning Safety, Bergisch-Gladbach 11/2011		
18. abstract Regarding the partial project „Effective Protective Measurements and Design of Constructions“, the state of the art is to design tunnels against fire using statics and certain types of detailing. Other hazard scenarios are normally not taken into account. The question whether effective protective measurements exist is still discussed by scientists. The objective of this partial project is to present protective measurements for constructions and to demonstrate their effectiveness using a design of a generic construction. In a first step all possible hazard scenarios and possible protective measurements were listed regardless their development status. Afterwards, criteria for critical constructions were worked out and their resistance for every hazard scenario was determined (without-case). During the next step the resistances were again determined, but this time the different protective measurements were taken into consideration as well (with-case). Finally, a generic bridge was designed implementing the effective protective measurements which were technically and financially assessed. It was shown that certain protective measurements are only effective against certain hazard scenarios and that the effective measurements generate different levels of costs. The effectiveness of the protective measurements was investigated for new and existing constructions. Several protective measurements can directly be applied if a certain hazard exists, but for other protective measurements further research is needed.		
19. keywords Accidental hazards, protective measurements, application of measurements, bridge design		
20. publisher Bauverlag BV Gütersloh	21. price	