Erfahrungen bei der Bearbeitung von Brücken in Sachsen

Dipl.-Ing. Holger Svensson,
Leonhardt, Andrä & Partner GmbH Stuttgart, Dresden, Berlin, Erfurt

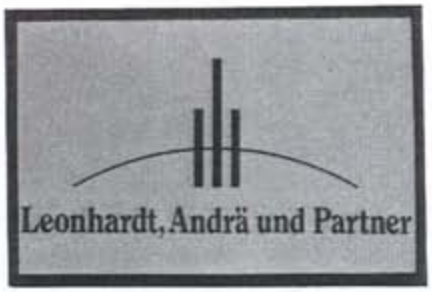


Bild 1: Logo der LAP

Leonhardt, Andrä & Partner GmbH (LAP) haben vor drei Jahren eine Zweigniederlassung in Dresden gegründet, die heute 18 Mitarbeiter beschäftigt. In den drei Jahren wurden ca. 75 Brückenprojekte bearbeitet, die von Schadensgutachten für Durchlässe bis zum Entwurf, der Prüfung und der Bauüberwachung von großen Autobahnbrücken reichen.
Im folgenden sollen Besonderheiten beim Entwurf von vier Brücken in Sachsen erläutert werden.

Bild 2: Bauschild Landbergbrücke

Bei dem ersten Projekt handelt es sich um die Landbergbrücke bei Niederoderwitz, die wir im Auftrag des Landes Sachsen bearbeitet haben. Das besondere Problem bei dieser Brücke besteht in den sehr ungünstigen Gründungsverhältnissen.

Bild 3: Alte Brücke

Die alte Brücke mit zwei Fahrspuren und Fußgängerwegen wurde Mitte der 30er Jahre mit drei Feldern von 18,95 m - 25 m - 18,95 m errichtet. Aus Kostengründen wurden Flachgründungen gewählt, obwohl die oberste Schicht aus etwa 15m tiefem Lehm besteht.

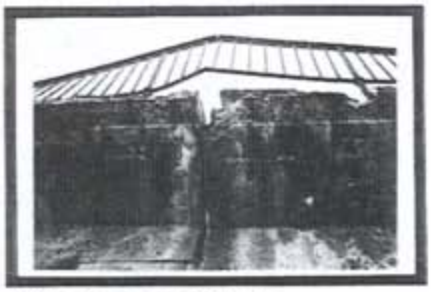


Bild 4: Ausgeknicktes Geländer

Bereits während des Baus verschob sich das nördliche Widerlager um 70 mm zur Brückenmitte. Die eingebaute Rückwärts-verankerung erwies sich als zu kurz und damit als wirkungslos. Im Laufe der Jahre wurden durch weitere Widerlagerverschiebungen und -verdrehungen die Überbaufugen an den Brückenenden und dem Einhängeträger im Mittelfeld zusammengeschoben. Dabei knickte sogar das Geländer aus.

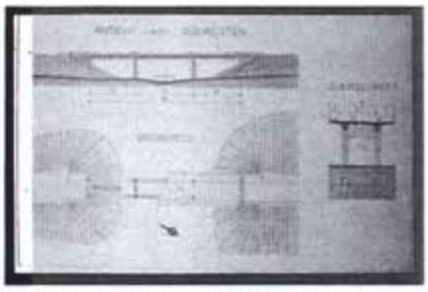


Bild 5: Zeichnung neue Brücke

Da außerdem der Beton sehr schadhaft war, wurde der Bau einer neuen Brücke erforderlich. Diese besteht aus einem Durchlaufträger mit Spannweiten von 20m - 25 m - 20 m. Alle Gründungen wurden diesmal auf Rammpfählen ausgeführt, bei deren Herstellung eine Verdichtung des bindigen Bodens erfolgt. Um den Horizontaldruck auf die Widerlagergründungen (und damit die Anzahl der Pfähle) zu verringern, wurden über die gesamte Brückenlänge zwei Druckbalken zwischen den Pfahlkopfplatten angeordnet.

Bild 6: Fertige Brücke

Mit diesen zwei Verbesserungen gegenüber der Erstausführung - Pfahlgründungen und Druckbalken - wurden die besonderen Gründungsschwierigkeiten bei der Landbergbrücke überwunden.

Bild 7: Logo Verkehrsprojekt Deutsche Einheit

Die nächsten drei Projekte haben wir im Auftrag der DEGES für den Bund und das Land Sachsen bearbeitet.
Für die sieben Verkehrsprojekte Straße wurde eine Managementgesellschaft, die DEGES, gegründet, die formal eine GmbH ist, d.h. die Mitarbeiter dort sind keine Beamten, sondern GmbH Angestellte. Die Eigentümer sind der Bund, die Rhein-Main-Donau AG und die fünf neuen Bundesländer.

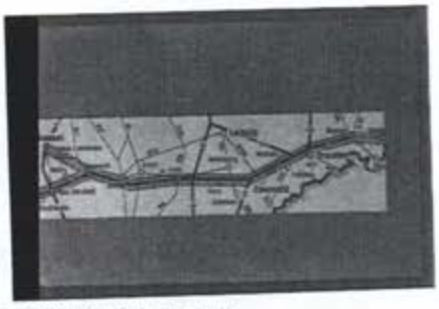


Bild 8: Autobahnabschnitt Kassel - Dresden

Ein Beispiel für diese Verkehrsprojekte Deutsche Einheit Straße ist die Autobahn von Kassel nach Dresden und weiter bis an die polnische Grenze. Mit einer Gesamtlänge von 513 km ist es das längste der Verkehrsprojekte und wird ca. 7 Mrd. DM kosten. Diese Straße wird einmal 61000 Autos täglich mit einem Anteil Lastwagen von 20 % bewältigen müssen und wird damit eine der am stärksten befahrendsten Autobahnen der Bundesrepublik sein. Dafür muß sie zum Teil ausgebaut, zum Teil neugebaut werden.

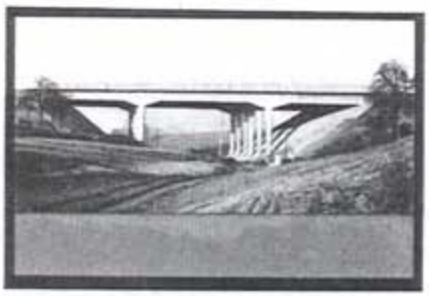


Bild 9: Lotzebachtalbrücke, 1936

Auf dem Abschnitt Chemnitz-Dresden befinden sich drei große Brücken, die von LAP bearbeitet werden bzw. wurden. Jede dieser Brücken hat ihre Besonderheiten.
Die erste Brücke ist die Lotzebachtalbrücke. Das Bild zeigt sie als Stahlbetonrahmen, wie sie im Jahr 1936 gebaut wurde.

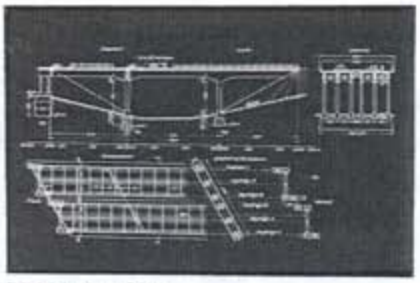


Bild 10: Draufsicht

Das besondere Problem dieser Brücke liegt darin, die richtige Anpassung an das Tal nach Winkel und Länge zu finden. Wir sehen hier in der Draufsicht die in den 30er Jahren gewählte schiefe Lagerung, die sich durch das schräg gegenüber der Autobahn einfallende Tal ergibt. Die Brückenlänge betrug 85 m.

Bild 11: Alter Damm

Nach dem Krieg, als die Brücke zerstört war, hat man in der DDR zur Überwindung des Tals einen Damm gewählt. Liegt im Winter Schnee, ist an den Spuren deutlich zu sehen, daß das Wild über den Damm wechselt und somit den Verkehr und sich selbst gefährdet. Aus diesen und allgemeinen landschaftspflegerischen Gründen hat man sich jetzt entschlossen, bei der Verbreiterung der Autobahn auf 6 Spuren wieder eine Brücke zu bauen.

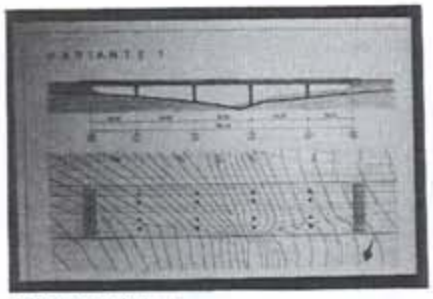


Bild 12: Variante 1

Die Fragen der Länge und der Schiefe wurden in vier Varianten untersucht. Wir sehen an den Höhenlinien, wie das Tal an der linken Seite schräg einfällt. Diese Variante 1 hat eine Länge von 184 m - stellt also eine recht großzügige Lösung dar. Die beiden Brücken sind rechtwinklig über 5 Felder nebeneinander angeordnet. Es zeigte sich, daß diese großzügige Lösung zu teuer wird.

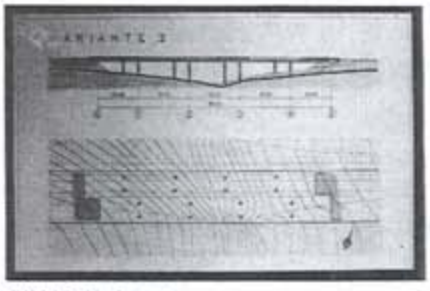


Bild 13: Variante 2

Die nächste Variante hat eine Länge von 166 m. Hier hat man versucht, der Talschiefe dadurch Rechnung zu tragen, daß man die beiden Brücken rechtwinklig gegeneinander versetzt, so wie es hier in der Draufsicht dargestellt ist.

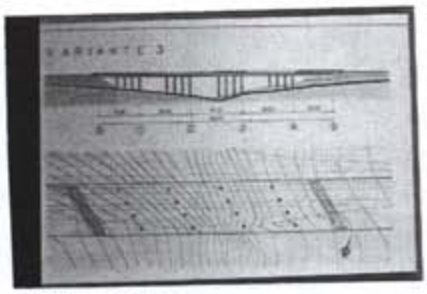


Bild 14: Variante 3

Die Variante 3 hat ebenfalls eine Länge von 166 m, ist aber eine schiefwinklige Brücke. Problematisch sind die ca. 30 m langen bzw. breiten Betonwände der Widerlager, die sich nur schwer in die Landschaft einfügen.

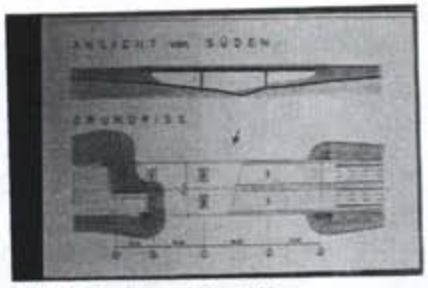


Bild 15: Ansicht und Grundriß

Am Ende hat man sich in Zusammenarbeit mit der DEGES, dem Land Sachsen und dem BMV auf diese Lösung geeinigt. Die vordere Brücke ist ca. 120 m lang und rechtwinklig. Der Schiefe wird dadurch Rechnung getragen, daß man ein zusätzliches Feld an der hinteren Brücke anhängt. Es wurde damit eine Lösung gewählt, die noch genügend die Landschaft öffnet und von den Kosten her noch im vertretbaren Rahmen liegt.

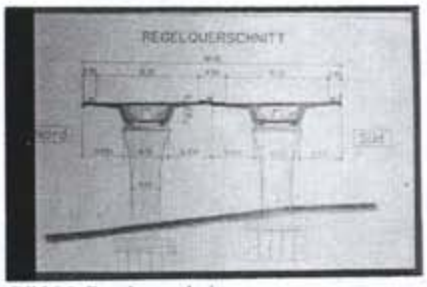


Bild 16: Regelquerschnitt

Als Überbauquerschnitt wurden zwei Hohlkästen gewählt, die für das Taktschieben geeignet sind. Für die Pfeiler wurde eine geschwungene Form gewählt, die unten nur den statisch erforderlichen Querschnitt besitzt, sich nach oben jedoch auf den für die Lager erforderliche Breite aufweitet.

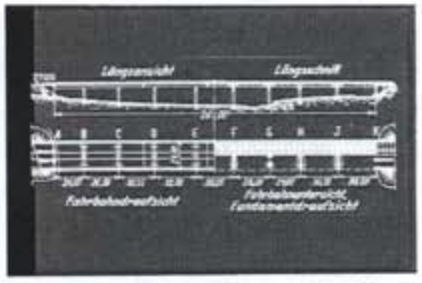


Bild 17: Erste Saubachtalbrücke Wilsdruff

Die zweite Brücke, die hier vorgestellt werden soll, ist die Saubachtalbrücke Wilsdruff. Die ursprüngliche Brücke wurde Mitte der 30er Jahre gebaut, ist 261 m lang und rechtwinklig. Auch diese Brücke wurde während des Krieges zerstört.

Im Jahre 1952 entschloß sich die DDR-Regierung zum Wiederaufbau als Bogenbrücke. Es läßt sich gut durch die Literatur verfolgen, wie jeweils die Lösung der jeweiligen Epoche als besonders naturverbunden dargestellt wird. Aus unserer heutigen Sicht wird das Tal durch die Bögen zu sehr zugemacht. Damals wurde das anders gesehen. Die Zeichnung zeigt die Bogenfelder mit rund 50m Spannweite. 1972 wurden dann die nächsten zwei Fahrbahnen danebengestellt, logischerweise wieder in Bogenform. Dies entspricht dem heutigen Zustand.

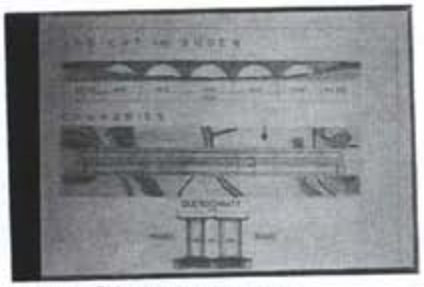


Bild 18: Übersicht Bogenbrücken

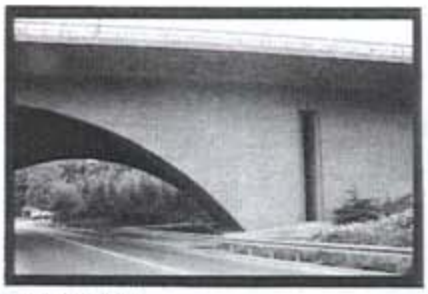


Bild 19: Fugen

Beim ersten, dem nördlichen Überbau, wurden die Bögen statisch bestimmt gemacht. Man hatte Angst vor den Temperaturzwängungen, die sich bei einer langen kontinuierlichen Bogenreihe ergeben. Wir sehen hier die Fugen, die sich als stark unterhaltungsbedürftig erwiesen.

Bild 20: Neue Brücke von 1972

Im Jahre 1972 wurde deshalb erst die neue Brücke danebengebaut und dann die Fugen der alten Brücke saniert. Hier sehen wir die neue Brücke von 1972, jetzt als Durchlaufträger gebaut. Die besondere Fragestellung für diese Brücke war, ob und wie diese Bogen erhalten werden können.

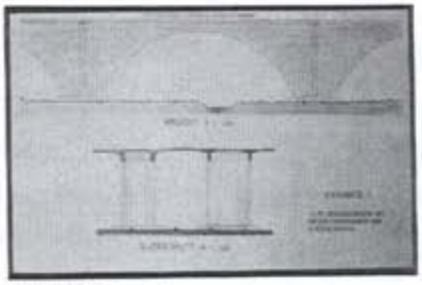


Bild 21: Variante 1

Die erste Antwort auf diese Frage bestand darin, die Fahrbahnen durch neue in der erforderlichen Breite zu ersetzen. Da die Bögen nicht stark genug waren, einen unsymmetrischen Überbau zu tragen, war es erforderlich, die Bögen auseinanderzurücken. Es ist damals ein Querverschub überlegt und dargestellt worden, mit dem sich diese Lösung hier ergeben hätte.

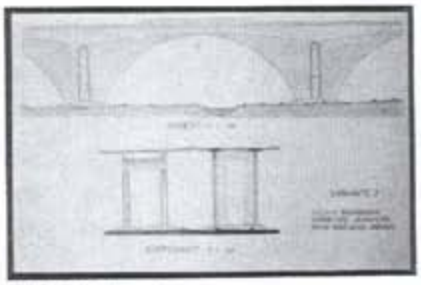
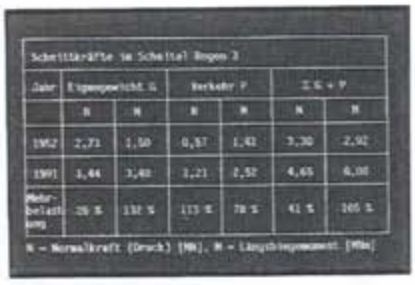


Bild 22: Variante 2

Um den nächsten Querverschub zu vermeiden, wurde als nächste Variante überlegt, die 1972er Bogenreihe zu verbreitern, die 1952er Bögen abzureißen und durch eine neue gevoutete Brücke zu ersetzen. Dafür wäre ein Hohlkasten nicht unbedingt erforderlich gewesen, es hätte wahrscheinlich auch ein Plattenbalken genügt.



Schnittkräfte im Scheitel Bogen 3

Jahr	Eigengewicht G		Verkehr P		G + P	
	N	M	N	M	N	M
1952	2,71	1,50	0,57	1,42	3,30	2,92
1991	3,44	3,40	1,21	2,52	4,65	6,00
Mehrbelastung	26 %	132 %	113 %	78 %	41 %	105 %

N = Normalkraft (Druck) [MN], M = Längsbiegemoment [MNm]

Bild 23: Schnittkräfte

Eine Schwierigkeit stellten die erheblich höheren Schnittkräfte dar. Vergleicht man die ursprünglichen Momente im Bogenscheitel mit denen bei einer Verbreiterung, so verdoppeln sie sich, d. h., es wären erhebliche Verstärkungen, wahrscheinlich außenliegende Spannglieder, zusätzlich erforderlich gewesen. Auch die Auflagerbereiche hätten verstärkt werden müssen, weil die erhöhten Auflagerkräfte nicht hätten untergebracht werden können.

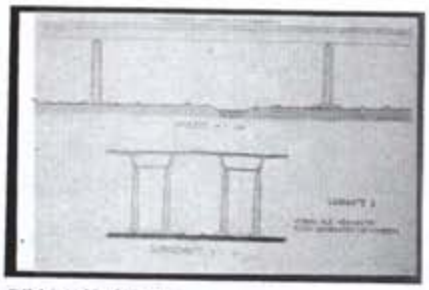


Bild 24: Variante 3

Die Variante 3 sah vor, die beiden Bögen abzureißen und neu zu bauen. Das wäre zum einen wohl die kostengünstigste Lösung, zum zweiten hätte man den Vorteil neuer Brücken ohne sanierungsbedingte Kompromisse und reduzierte Lebenserwartung. Und zum dritten ermöglichte sie mehr Freiheiten in der Trassierung. So konnte die Autobahn um 16 m nach Norden verlegt werden, um den Lärmschutz in Wilsdruff zu verbessern.

Bild 25: Kostenvergleich

Interessant und exemplarisch für diese Überlegungen zum Erhalt oder Neubau ist der Kostenvergleich: die alte Brücke von 1952 zu sanieren und quer zu verschieben hätte 18,5 Mio. DM gekostet. Wird sie allein abgebrochen und neu gebaut, ergibt das eine Kostenersparnis von 2,2 Mio. DM und Gesamtkosten von 29,8 Mio. DM bei Erhalt der 1972er Brücke. Wenn wir beide Brücken abreißen und komplett neu bauen, kostet es nur 28,8 Mio. DM. Auch hier bestätigt sich, daß Abriß und Neubau oftmals billiger sind als Umbau und Sanierung.

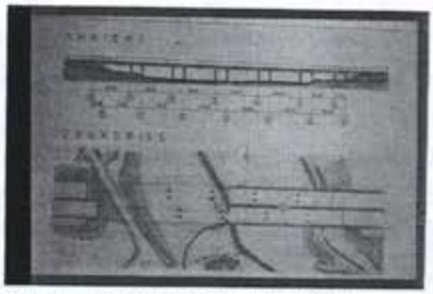


Bild 26: Ansicht und Grundriß der Brücke

In diesem Fall wäre die Erhaltung nicht nur sehr problematisch, sondern auch teurer gewesen. Hinzu kommt, daß es sich bei der Brücke in Wilsdruff mit ihren Betonbögen nicht unbedingt um ein Baudenkmal handelt, wie es bei der nächsten Brücke der Fall ist. Die Entscheidung ist also letztendlich zugunsten einem Neubau gefallen. Wir sehen hier den ausgeschriebenen Durchlaufträger, der das Tal wieder durchsichtiger macht.

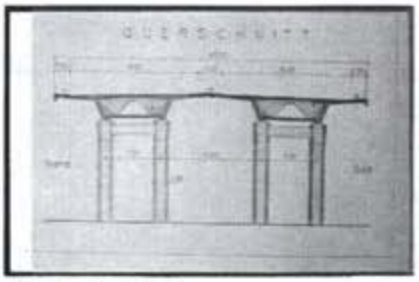


Bild 27: Querschnitt

Der Überbau besteht wieder aus zwei Betonhohlkästen, die sich fürs Taktschiebeverfahren eignen. Bei den Pfeilern hat man sich entschlossen, die Inspizierbarkeit der Lager dadurch sicherzustellen, daß man durch die Betonplatte in die dafür ausgehöhlten Querträger geht. Das bedeutet allerdings, daß die Pressen zum Lagerauswechseln nicht mehr auf die Querträger abgesetzt werden können, sondern außen auf die Pfeilerköpfe. Daher mußte untersucht werden, wie diese Verdickung der Pfeilerköpfe ansprechend gestaltet werden kann.

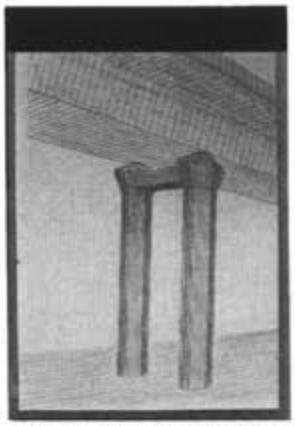


Bild 28: Ellipsenförmige Pfeilerkopfdichtung

Mehrere Alternativen sind untersucht. Am Ende wurde einer mehr ellipsenartigen Form gegenüber prägnanten „Ohren" in Abstimmung mit den Beteiligten der Vorzug gegeben.

Bild 29: Modellbild

Die fertige Brücke, die zur Zeit im Bau ist, wird wie auf dieser Modellaufnahme aussehen.

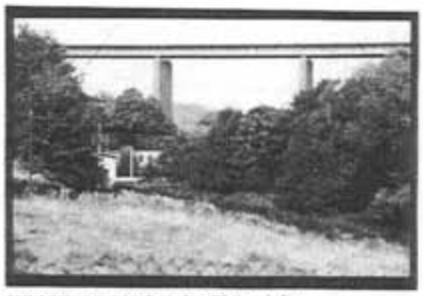


Bild 30: Muldenbrücke Siebenlehn

Eine ähnliche Problematik - Abbruch oder Erhalt einer bestehenden Brücke - stellt sich auch bei der Muldebrücke Siebenlehn. Im Gegensatz zur Brücke Wilsdruff wurde sie im 2. Weltkrieg nicht zerstört, sondern das Photo zeigt den jetzigen Stand.

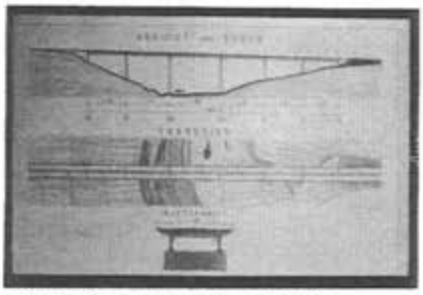


Bild 31: Übersicht bestehende Brücke

Das Bauwerk war zu seiner Bauzeit Mitte der 30er Jahre ebenso wie heute eine bedeutende Brücke mit einer Gesamtlänge von 450 m, einer größten Spannweite von 80 m und Pfeilerhöhen bis zu 60 m.

Bild 32 Natursteinpfeiler

Von besonderer Bedeutung sind die Natursteinpfeiler aus Meißner Granit. Sie wurden hergestellt, indem die Natursteinwände täglich ca. 1 m hochgemauert wurden und deren Inneres dann mit Stampfbeton verfüllt wurde. Läufer- und Binderschichten sowie Stahlanker sicherten das Mitwirken der Granitwände bei der Lastabtragung (im Gegensatz zu heute nur vorgesetzten Natursteinverblendung). Es sollte versucht werden, die Pfeiler zu erhalten.

Bild 33: Verbundplatte mit Fuge

Im Gegensatz zu den Pfeilern zeigte sich bald, daß der Überbau wohl nicht sinnvoll erhalten werden könnte. Die Betonfahrbahnplatte ist sehr unterhaltungsaufwendig. Darüber hinaus ist der zweistegige Plattenbalken nicht sinnvoll zu verbreitern.

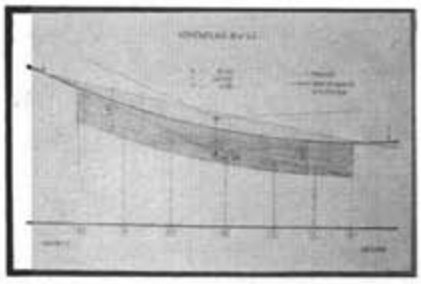


Bild 34: Höhenplan

Dazu kommt noch, daß die bestehende Gradiente eine sogenannte "Brettwirkung" des geraden Überbaus hat. In den 30er Jahren war man der Meinung, man könnte aus ästhetischen Gründen keine nach unten durchhängende Brücke bauen. Das entspricht jedoch nicht den heutigen Trassierungsvorschriften. Will man nun eine vertikale Kurve mit ungefähr 1,5 m Höhendifferenz in der Gradiente hineinlegen, so kann der Überbau schon aus diesem Grund nicht erhalten werden.

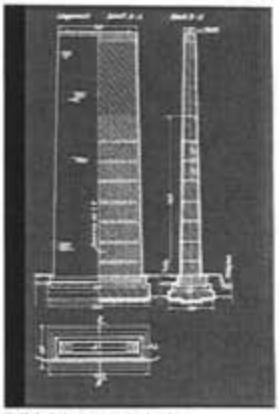


Bild 35: Längsschnitt

Aus der ursprünglichen Veröffentlichung Mitte der 30er Jahre sieht man, daß die Granitwände mittragen. Interessant an Pfeiler 3 ist eine "Bewehrung" über 2/3 der Höhe, die aus 120 mm starken I-Profilen (= Doppel-T-Profilen) besteht. Damals befand sich der Festpunkt an Pfeiler 2, es mußten also Horizontalkräfte aus Bremsen aufgenommen werden. Wir haben den Festpunkt auf das Widerlager verlegt.

Als erstes galt es zu untersuchen, ob die Pfeiler in gutem Zustand sind. Begonnen wurde außen mit der mittragenden Granitwand. Der Granit wurde mit Kernbohrungen untersucht und ist in Ordnung. Da sich jedoch die zulässigen Spannungen bei einem Mauerwerk aus dem Zusammenwirken von Stein und Fuge ergeben, mußten Kernbohrungen auch an den Fugen entnommen und untersucht werden. Auch die Fugen befinden sich in einem hervorragenden Zustand. Man hat damals sehr guten Mörtel benutzt, und die Steine waren vor dem Vergießen sorgfältig mit Keilen von hinten unterstopft worden.

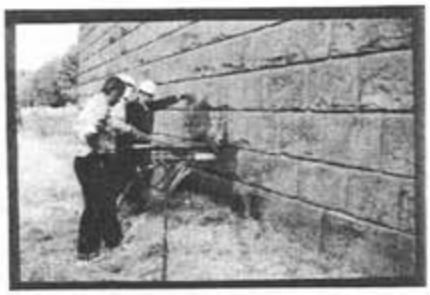


Bild 36: Kernbohrungen

Bild 37: Befahrgerät

Um den guten Gesamtzustand sicherzustellen, ist die gesamte Fläche des Pfeilers befahren worden, und es sind in engem Abstand Vergleichsuntersuchungen gemacht worden, hauptsächlich indem man mit einem Handbohrer die Fugen durchbohrt hat. Es hat sich bei diesen Vergleichsuntersuchungen gezeigt, daß die Pfeiler durchgehend von Kopf bis Fuß in ebenso gutem Zustand sind wie unten. Das ergab dann auch nach heutigen Vorstellungen eine hohe Mauerwerkspressung.

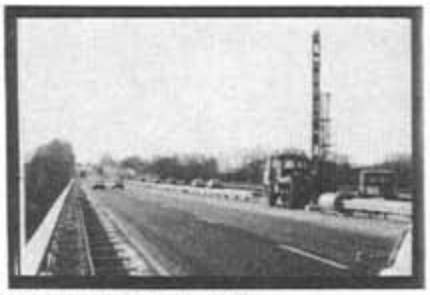


Bild 38: Vertikalbohrungen

Um den mittragenden massiven inneren Stampfbeton zu untersuchen, ist jeder Pfeiler über seine gesamte Höhe durchbohrt worden. Dafür wurden die Bohrgeräte im Mittelstreifen der Fahrbahn aufgestellt.

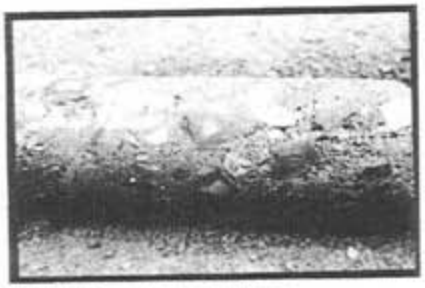


Bild 39: Kern mit Ausfallkörnung

Einen typischen Bohrkern zeigt die damals sehr häufig benutzte und heute ein wenig in Vergessenheit geratene Ausfallkörnung, die aus stark abgestuftem Material besteht. Die Grundidee dieser Ausfallkörnung ist keine gleichmäßige Sieblinie, sondern eine Abstufung im Verhältnis 1 : 6, um immer wieder die Zwickel gerade auszufüllen. So entstehen weniger Hohlräume, womit die Anforderungen an die Zementmenge verringert werden.

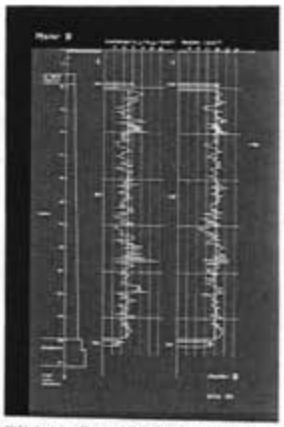


Bild 40: Druckbefestigungsdiagramm für Pfeiler III

Auf dem Diagramm sind die Ergebnisse der Bohrkernuntersuchung über die Pfeilerhöhe und das Fundament aufgetragen. Die Druckfestigkeit dieser Kerne beträgt im Mittel B15, und die Rohdichte zeigt mit im Mittel 22 kN/m³ akzeptable, gleichmäßige Werte. Soviel zur Tragfähigkeitsseite.

Bild 41: Überbauvarianten

Auf der Lastseite mußte geklärt werden, was der Pfeiler nach dem Umbau tragen muß. Für den geforderten Regelquerschnitt RQ 37,5 wurden drei Überbauvarianten untersucht: ein einteiliger Stahlüberbau, zwei getrennte Stahlüberbauten und zwei getrennte Verbundüberbauten. Vorteil des einteiligen Stahlüberbaus ist, daß der Pfeilerkopf nicht verbreitert werden muß. Außerdem ist er der leichteste Überbau. Als Nachteil sind der hohe Preis der orthotropen Platte und die erhöhte Glatteisgefahr im Winter zu nennen. Bei zwei getrennten Stahlüberbauten muß man den Pfeiler verbreitern, und hat immer noch die o.a. Nachteile. Die zwei Verbundüberbauten nebeneinander verlangen zwar eine kräftige Verbreiterung des Pfeilerkopfes und sind schwerer als der Stahlüberbau, dafür aber in den Gesamtkosten günstiger.

Für den Nachweis der Standsicherheit wurden der Bruchzustand nach DIN 1045 und Spannungen im Gebrauchszustand untersucht. Der innere Stampfbeton bekommt im Bruchzustand eine Druckspannung von 5.4 MN/m² gegenüber den zulässigen 8 MN/m². Auch die Dehnungen stellten kein Problem dar. Für die Vormauerung ergab sich eine maximale Druckspannung von σ_u=28MN/m², was nach den Untersuchungsergebnissen der im Bruchzustand zulässigen entsprach. Gewisse Unsicherheiten ergaben sich in der Annahme der E-Moduli. Nimmt man einen sehr hohen E-Modul für die Granitwand an und einen niedrigen für den Beton, dann setzt sich sehr viel mehr Last auf die Vormauerung. Es war insbesondere schwierig, für den Beton einen zutreffenden E-Modul zu finden, weil durch die lagenweise Herstellung der Beton geschichtet ist.

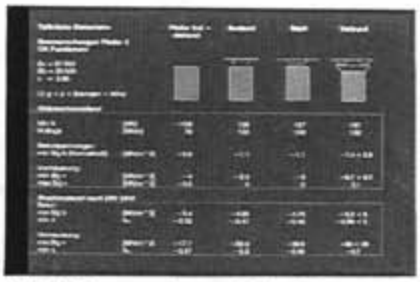


Bild 42: Beanspruchungen Pfeiler III

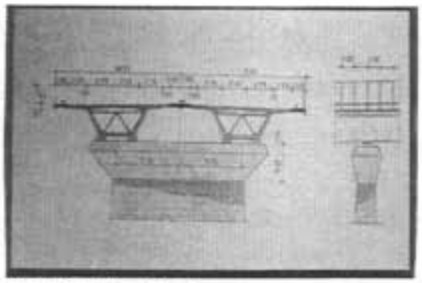


Bild 43: Verbundüberbau

So sieht der gewählte Verbundüberbau aus. Es war erforderlich, dafür die Pfeilerköpfe wegen der Gradientenabsenkung, und um die größere Breite zu schaffen, abzureißen. Die neuen Überbauten werden auf neuen Auflagerbalken mit Quervorspannung ruhen.

Bild 44: Modellbild Auflagerbalken schräg

Um die richtige Form zu finden, wurden verschiedene Modelle angefertigt, an denen die Neigungen und die Höhe dieser neuen Auflagerbalken variiert wurden. Am Ende entschied man sich nach Abstimmung mit allen Beteiligten für diese Form.

Bild 45: Modellbild Auflagerbalken quer

In der Seitenansicht erkennt man die zur besseren Lagerkrafteinleitung gewählten Stegverstärkungen, die außerdem optisch den Kraftfluß verdeutlichen.

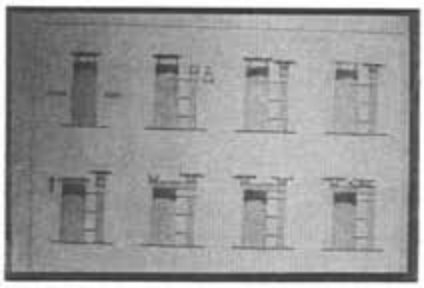


Bild 46: Bauablauf

Noch eine kurze Bemerkung zum Bauvorgang. Erhält man die Pfeiler und muß ein 4-0-Verkehr während der Bauzeit aufrechterhalten werden, ist ein Querverschub eines Überbaus erforderlich. Die verschiedenen Baustufen sind auf dem Bild dargestellt.

Bild 47: Modellbild Siebenlehn

Nach Fertigstellung des neuen Überbaus wird sich die Brücke Siebenlehn so darstellen wie auf diesem Modellbild.

An den Beispielen der Brücken Lotzebach, Wilsdruff und Siebenlehn zeigt sich, daß die Frage Erhalt und Umbau von bestehenden Brücken oder ihr Abriß und der Bau von neuen Brücken für jedes Bauwerk gesondert untersucht werden muß.

Zum Abschluß möchte ich mich bei unseren Auftraggebern, der DEGES, dem Land Sachsen und dem Bundesministerium für Verkehr, bedanken, daß ich die mit ihnen zusammen erarbeiteten Ergebnisse vortragen durfte.