

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Article, Published Version

Haferburg, Hans-Jörg; Müller, Dietrich

Instandsetzung der Mittellandkanalbrücke 144 b über die Weser in Minden

Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102876>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Haferburg, Hans-Jörg; Müller, Dietrich (1987): Instandsetzung der Mittellandkanalbrücke 144 b über die Weser in Minden. In: Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau 61. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 99-152.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

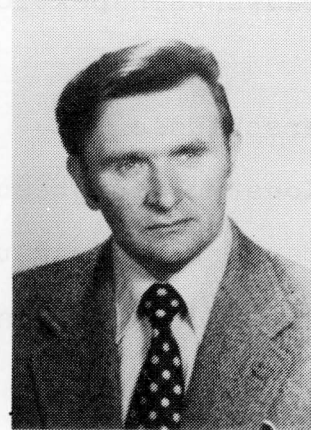
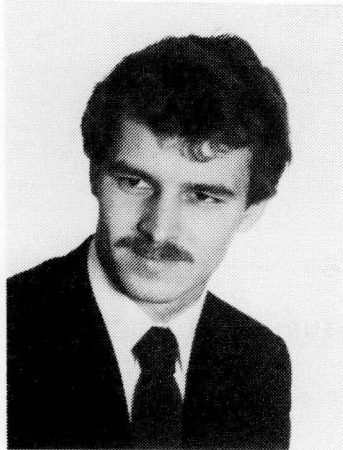
Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Dipl.-Ing. Hans-Jörg Haferburg
und
Dipl.-Ing. (FH) Dietrich Müller

INSTANDSETZUNG DER MITTELLANDKANALBRÜCKE 144b
ÜBER DIE WESER IN MINDEN

Repair of the Mittelland Canal Bridge 144b
across the river Weser in Minden



Hans-Jörg Haferburg, Dipl.-Ing., Baureferendar in der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes.

Geboren 1960, Studium des Bauingenieurwesens von 1979 bis 1986 an der Universität Hannover; Vertiefungsrichtung: Konstruktiver Ingenieurbau, weitere Schwerpunkte: Baubetrieb mit Baurecht und Betriebswirtschaftslehre, Verkehrswasserbau und Küsteningenieurwesen sowie Unterirdisches Bauen; Tätigkeit als wissenschaftlicher Angestellter in der Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe. Seit April 1987 Referendarausbildung in der WSD Nord, Kiel.

Dietrich Müller, Dipl.-Ing. (FH), Techn. Angestellter in der Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe.

Geboren 1937, Studium des Bauingenieurwesens von 1957 bis 1960 an der Fachhochschule Karlsruhe; Tätigkeit als Statiker und leitender Angestellter in einem Ingenieurbüro für Tragwerksplanung im konstruktiven Ingenieurbau von 1960 bis 1979, seit 1979 in der Bundesanstalt für Wasserbau im Referat Massivbau.

Inhaltsangabe:

Das für den Verkehrswasserbau historische und als Wahrzeichen geltende Brückenbauwerk zur Überführung des Mittellandkanals über die Weser wurde 1979 auf seinen baulichen Zustand hin umfassend untersucht. Aus den örtlichen Aufnahmen reparaturbedürftiger Bereiche sowie aus dem Ergebnis der Messungen, der Materialprüfungen und der statisch-konstruktiven Überlegungen ergaben sich zwar keine akuten Gefährdungen der für die Betriebs- und Standsicherheit maßgebenden Bauwerksteile, für eine weitere mittelfristige Nutzungsdauer von etwa 20 Jahren waren jedoch eine Reihe von Reparaturmaßnahmen erforderlich:

- Erneuerung der Notverschlüsse
- Instandsetzung von Betonoberflächen der Trogunterkonstruktion
- Instandsetzung von Betonoberflächen der Trogseitenkonstruktion
- Instandsetzung des Troges mit Dichtung und Fenderung

Während der Arbeiten an den Trogwänden zum Einbau einer neuen Fenderung sowie für die Instandsetzung der Gelenkfugen und der Fugenübergänge mußte der Schiffsverkehr zum Trockenlegen des Troges zeitweilig umgeleitet werden. Schwerpunkte der Instandsetzungsmaßnahmen bildeten die Erneuerung der seitlichen Fenderung, der Trogdichtung und der Umbau der Betriebswege.

Summary

Being valued as a historical building and landmark the bridge construction leading the Mittellandkanal over the River Weser was analysed with regard to its architectural condition. The local taking of zones in need of repair as well as the results of measurements, material analyses and statical constructive considerations indeed gave no acute endangerment of the authoritative elements of construction concerning safety in operation and stability; nevertheless a number of repairs became necessary to guarantee further medium-term using:

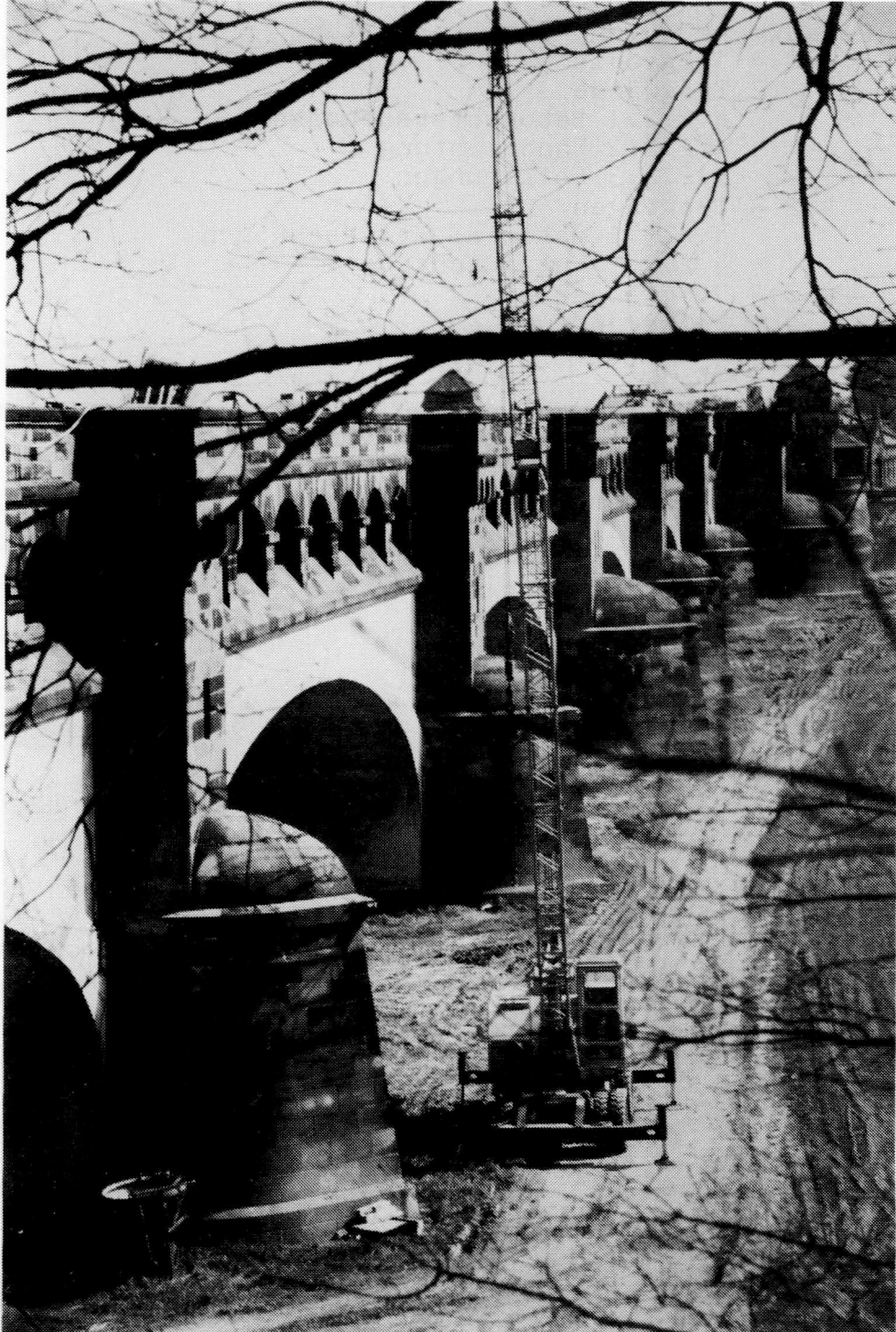
- renewal of gates and frames
- reconditioning of the surface of concrete
- renewal of isolation and fendering of the trough and the operating ways

During the work at the troughwalls for the installation of a new fendering as well as the reconditioning of the tying of the joint transitions navigation had to be restricted and diverted for a time to render possible the drying-up of the trough. Focal points of the reconditioning works were formed by the renewal of the lateral trough proofing and the reconstruction of the operating way.

<u>I N H A L T</u>	Seite
0 Einführung	103
0.1 Allgemeines	103
0.2 Konstruktion	104
0.3 Bauwerksinspektion und Folgerungen	107
1 Notverschlüsse	109
1.1 Konstruktionsbeschreibung	109
1.2 Bauwerksprüfung und Beurteilung	109
1.3 Instandsetzungsmaßnahmen und Bauausführung	109
2 Trogunterkonstruktion	112
2.1 Konstruktionsbeschreibung	112
2.2 Bauwerksprüfung und Beurteilung	112
2.2.1 Bauwerksmessungen	112
2.2.2 Betonuntersuchungen	115
2.2.3 Betonschäden und Folgerungen	115
2.3 Instandsetzungsmaßnahmen und Bauausführung	118
3 Trogseitenkonstruktion	120
3.1 Konstruktionsbeschreibung	120
3.2 Bauwerksprüfung und Beurteilung	122
3.2.1 Bauwerksschäden	122
3.2.2 Bauphysikalische Überlegungen	123
3.2.3 Statisch-konstruktive Überlegungen	123
3.2.4 Weitere Schäden und Folgerungen	124
3.3 Instandsetzungsmaßnahmen und Bauausführung	125
3.3.1 Allgemeines	125
3.3.2 Betriebswege und Brüstungen im Strombrückenbereich	126
3.3.3 Betriebswege im Flutbrückenbereich	131
3.3.4 Übergangsfugen	132
3.3.5 Arkadengänge	132

	Seite
4 Trog	134
4.1 Konstruktionsbeschreibung	134
4.2 Bauwerksprüfung und Beurteilung	135
4.2.1 Trogsohle	135
4.2.2 Trogwände	137
4.2.2.1 Betonuntersuchungen	137
4.2.2.2 Wanddichtung	137
4.2.2.3 Folgerungen	138
4.2.3 Trogfugen	138
4.2.3.1 Materialuntersuchungen	138
4.2.3.2 Fugendichtung	138
4.2.4 Trogfenderung	141
4.2.5 Folgerungen	141
4.3 Instandsetzungsmaßnahmen und Bauausführung	141
4.3.1 Allgemeines	141
4.3.2 Trogsohle	142
4.3.3 Trogwände	143
4.3.4 Trogfugen	146
4.3.5 Trogfenderung	147
5 Sonstige Arbeiten	149
6 Schlußbemerkungen	151

Bildnachweis (Zeichnungen und Fotos): Privat-Archiv Haferburg,
Minden



0 Einführung

0.1 Allgemeines

In den Jahren 1906 bis 1916 wurde der heutige Mittellandkanal gebaut, wobei in Minden die Weser überbrückt werden mußte. Der früher als Ems-Weser-Kanal bezeichnete Schifffahrtsweg verband zunächst den Rhein mit Hannover und später auch mit der Elbe.

An der Kreuzungsstelle liegt der Kanalwasserspiegel 13,00 m über dem Mittelwasser der Weser und 10,00 m über dem Gelände. Im Zuge der dadurch erforderlich gewordenen Dammstrecke wird das Weserbett mit der Kanalbrücke überquert.

Zu dieser Weserüberquerung gehören zwei Abstiege vom Mittellandkanal zur Weser. Westlich der Kanalbrücke schließt sich zur Weser der Nordabstieg durch die Schachtschleuse, östlich der Südabstieg über die Ober- und Unterschleuse an. Durch diese Anordnung kann bei einer Vollsperrung der Kanalbrücke die Schifffahrt über die beiden Abstiege die Weser kreuzen.

Die Kanalbrücke wurde als eines der markantesten Wasserbauwerke Deutschlands in den Jahren 1911 bis 1914 gebaut und bis zum Ende des Zweiten Weltkrieges ohne wesentliche Störungen befahren. Kurz vor Ende des Krieges wurden die beiden Strombögen mit dem Stropfpfeiler gesprengt. Zur möglichst schnellen Wiederherstellung der Wasserstraßenverbindung zwischen dem Ruhrgebiet und Hannover wurde die Kanalbrücke in den Jahren 1945 bis 1949 wieder aufgebaut.

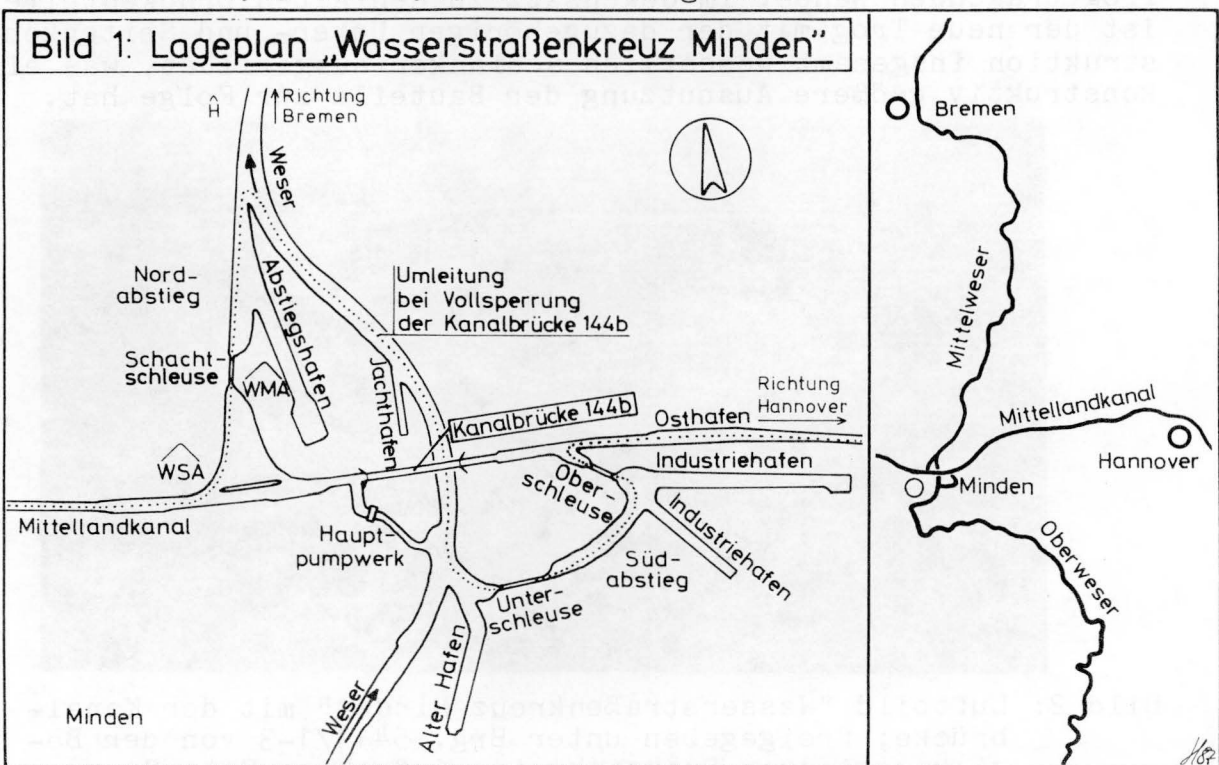


Bild 1: Lageplan "Wasserstraßenkreuz Minden"

0.2 Konstruktion

Das Brückenbauwerk ist mit seinen 6 Flutöffnungen von je 32,50 m und 2 Stromöffnungen von je 50,50 m Spannweite in jedem Feld als Dreigelenk-Gewölbebogen ausgebildet. Die Gewölbetischhöhen betragen bei den Flutöffnungen 3,65 m und bei den Stromöffnungen 4,60 m. Über den in Stahlbeton ausgeführten Gewölbebögen ist auf einzelnen Stahlbeton-Rippen der Kanaltrog aufgeständert, dem beidseitig arkadenförmig angelegte Fußgängerwege zugeordnet sind. Die Decken der Arkadengänge werden als Betriebswege genutzt.

Die Brückenkonstruktion ruht auf den beiden Endwiderlagern, auf sechs Flutpfeilern und einem Strompfeiler. Der östlichste Flutpfeiler zwischen Flut- und Stromöffnung wird auch als Übergangspfeiler bezeichnet. Der Übergangspfeiler und das östliche Widerlager sind im anstehenden Schieferton, die übrigen Flutpfeiler und das westliche Widerlager im darüberliegenden Kiessand gegründet. Die Gewölbbebreite beträgt 30,74 m. Der Trog hat eine lichte Weite von 24,00 m sowie eine Wassertiefe von 3,00 m bei einer Gesamthöhe von 3,50 m.

Während die alten Flutbögen von 1911/14 aus Ort beton aufgebaut sind, wurden 1945/49 beim Wiederaufbau der beiden gesprengten Strombögen in großem Umfang Fertigteilträger für den Aufbau der Bögen verwendet. Die Fertigteile erforderten keine aufwendigen Lehrgerüste und erleichterten damit schalungstechnisch die Überquerung der Weser. Auf den durch Querrippen und Ort beton miteinander verbundenen Fertigteilträgern ruhen die den Trog tragenden Wände. Im Gegensatz zu den alten Brückenteilen ist der neue Trog mit der dazugehörigen Unter- und Seitenkonstruktion insgesamt wesentlich schlanker ausgebildet, was eine konstruktiv größere Ausnutzung der Bauteile zur Folge hat.

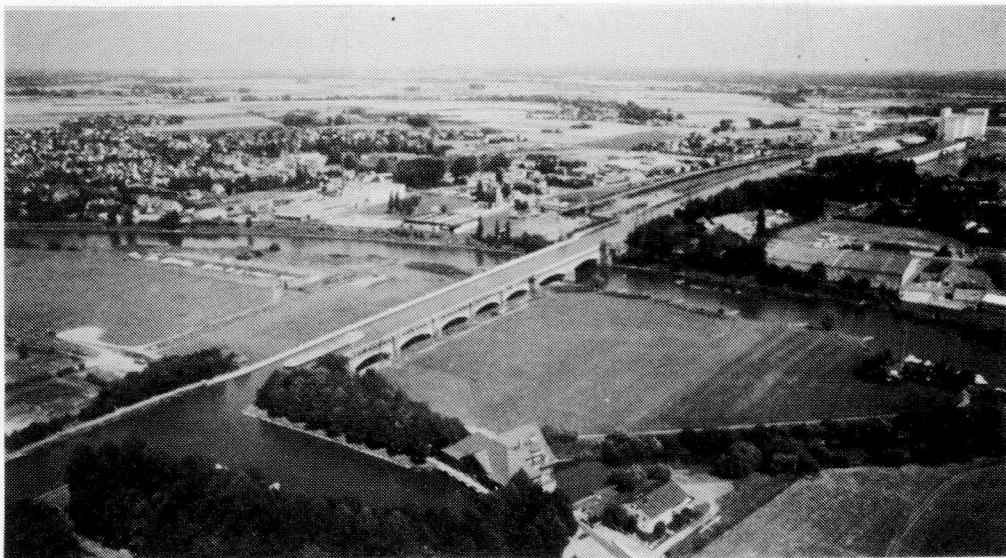


Bild 2: Luftbild "Wasserstraßenkreuz Minden" mit der Kanalbrücke; freigegeben unter Brg. 5411/1-3 von der Bezirksregierung Braunschweig; Aufnahme: Foto Genz Hannover

Technische Daten der Kanalbrücke 144b, Minden:

<u>Länge:</u>	insgesamt:	370,00 m
	von Widerlager zu Widerlager	322,00 m
<u>Breite:</u>	insgesamt	32,40 m
	Trogbreite ohne Fenderung	24,50 m
	lichte Weite (Schiffahrtsprofil)	24,00 m
<u>Höhe:</u>	Troghöhe ohne Schutzsohle	3,70 m
	lichte Höhe (Wasserhöhe)	3,00 m

Bogenausbildung

<u>Flutbogen</u>	Stützweite:	$l = 32,50 \text{ m}$
	Scheitelstärke:	$d_s = 0,90 \text{ m}$
	Kämpferstärke:	$d^k = 1,65 \text{ m}$
	Gewölbestich:	$f^k = 3,65 \text{ m}$

<u>Strombogen</u>	Stützweite:	$l = 50,50 \text{ m}$
	Scheitelstärke:	$d_s = 1,00 \text{ m}$
	Kämpferstärke:	$d^k = 1,65 \text{ m}$
	Gewölbestich:	$f^k = 4,60 \text{ m}$

Trogausbildung

<u>Flutbrücke</u>	Sohle:	$d = 0,25 \text{ m}$
	Wände:	i. M. $d = 0,85 \text{ m}$

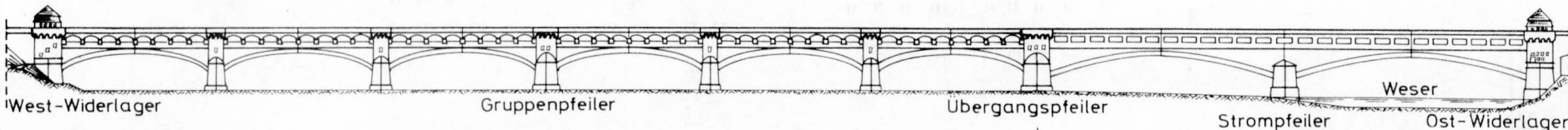
<u>Strombrücke</u>	Sohle:	$d = 0,22 \text{ m}$
	Wände:	$d = 0,30 \text{ m}$

Pfeilerausbildung

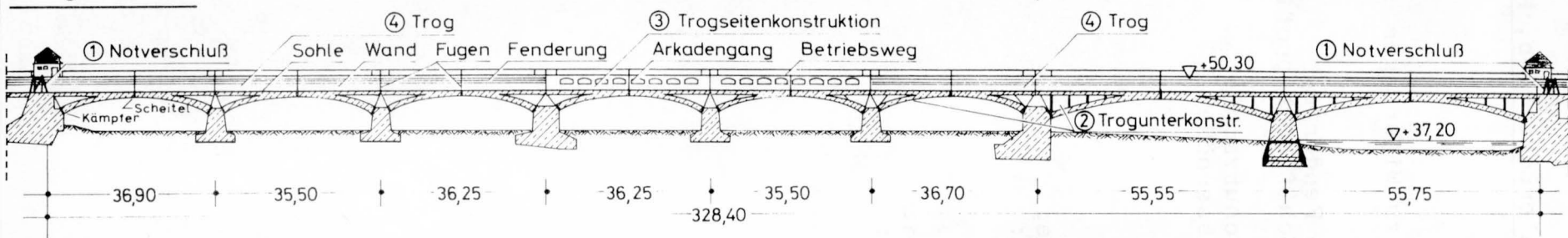
4 Flutpfeiler	$B = 3,50 \text{ m}$
1 Gruppenpfeiler	$B = 5,00 \text{ m}$
1 Übergangspfeiler	$B = 5,00 \text{ m}$
1 Strompfeiler	$B = 6,00 \text{ m}$

Bild 3: Mittellandkanalbrücke 144b über die Weser in Minden
(Die ① Nummern bezeichnen die Kapitel, in denen die Einzelbauteile detailliert beschrieben sind.)

Süd-Ansicht



Längsschnitt



Querschnitt im Scheitel

(Schnitt neben der Gelenkfuge)

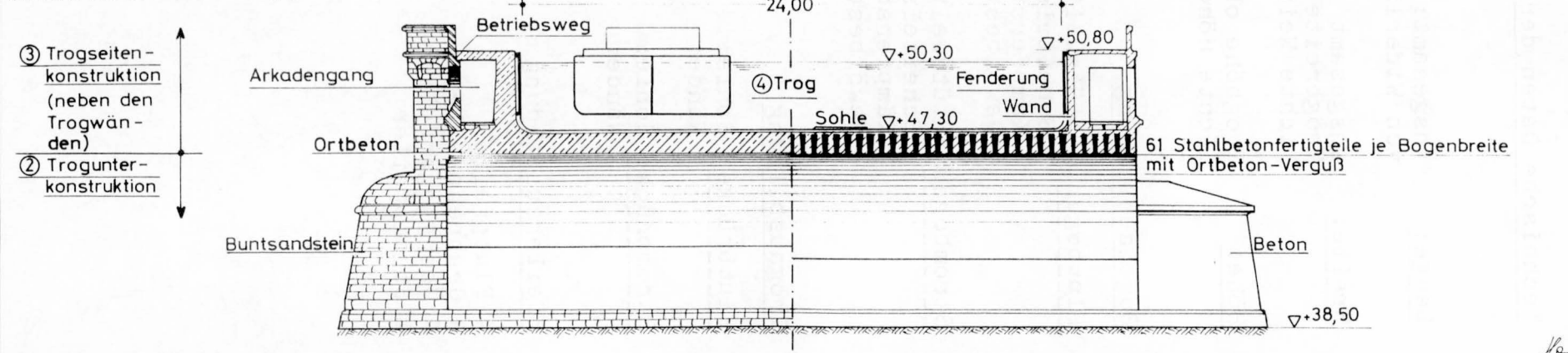


Bild 3 Mittellandkanalbrücke 144b über die Weser in Minden

0.3 Bauwerksinspektion und Folgerungen

Sichtbare Schäden an den Massivbauteilen sowie an den Dichtungen und Fenderwänden waren Anlaß zu einer Grunduntersuchung des gesamten Bauwerks. Deshalb wurde die Kanalbrücke im Sommer 1979, erstmals nach dem Wiederaufbau 1949, trockengelegt und von der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) Karlsruhe untersucht.

Aus den örtlichen Aufnahmen, den Meßergebnissen, den Materialprüfungen sowie den bauphysikalischen und statisch-konstruktiven Überlegungen ergaben sich keine akuten Gefährdungen der für die Betriebs- und Standsicherheit maßgebenden Bauteile.

Um eine weitere mittelfristige Nutzungsdauer des Bauwerks sicherzustellen, mußte jedoch die Ausweitung lokaler Schäden unterbunden werden. Hierzu wurde eine Reihe von Instandsetzungsmaßnahmen vorgesehen, deren Ausführung von 2 Hauptkriterien abhing.

Erstens durfte die Schifffahrt auf dem Mittellandkanal nur so gering wie möglich behindert werden, wodurch eine langzeitige Vollsperrung des Kanals bei trockengelegtem Brückentrog ausgeschlossen war und zweitens konnten die Arbeiten in Abhängigkeit von den festgestellten Schäden in verschiedenen Dringlichkeitsstufen erledigt werden.

Diese Randbedingungen hatten zur Folge, daß die Instandsetzung in mehreren Einzelmaßnahmen durchgeführt wurde:

Bild 4: Zeitlicher Ablauf der Instandsetzungsmaßnahmen						
Bauteil	Dringlich- Be- hinderung der Schifffahrt	Dringlichkeitsstufe				/.
		1	2	3		
Notverschlüsse	gering	1980				
Trogunter- konstruktion	gering		1981/82			
Trogseiten- konstruktion	mittel			1984		
Trog	stark			1984		
Oberflächen- kosmetik uä.	gering					1985/86

Bild 4: Zeitlicher Ablauf der Instandsetzungsmaßnahmen

Dabei bedeuten:

geringe Behinderung der Schifffahrt:
Kurzzeitige Vollsperrung des Kanals (bis ca. 2 Tage)

mittlere Behinderung der Schifffahrt:
Halbseitige Teilspernung der Kanalbrücke (ca. 3 Monate)

starke Behinderung der Schifffahrt:
Vollsperrung der Kanalbrücke und Umleitung des Schiffsverkehrs über den Nord- und Südabstieg (ca. 3 Monate)

Dringlichkeitsstufe 1:
Sofortmaßnahmen zur Beseitigung eines akuten Gefahrenzustandes

Dringlichkeitsstufe 2:
Maßnahmen zur Erhaltung des Zustandes wichtiger Konstruktions-
teile, die umgehend durchgeführt werden sollten

Dringlichkeitsstufe 3:
Maßnahmen zur Erhaltung der mittelfristigen Tragfähigkeit
und Betriebssicherheit des Gesamtbauwerks, die im Laufe der
nächsten 5 Jahre durchgeführt werden sollten

Die einzelnen Arbeiten werden in den folgenden Kapiteln um-
fassend beschrieben.

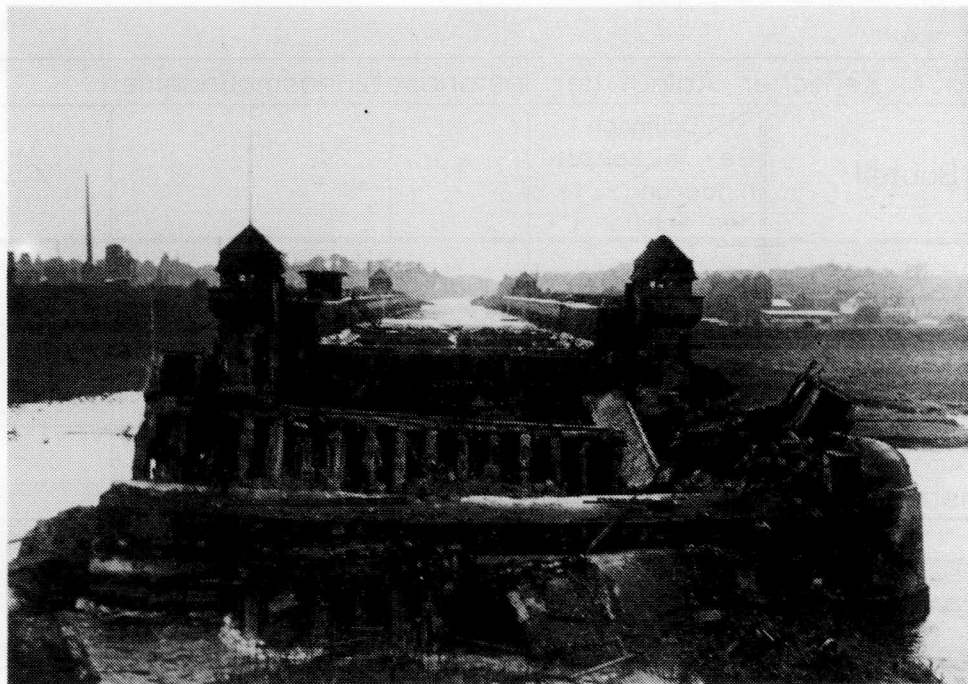


Bild 5: Kanalbrücke nach der Sprengung 1945

1 Notverschlüsse

1.1 Konstruktionsbeschreibung

Zur Trockenlegung der Kanalbrücke befinden sich auf der Ostseite des Bauwerks Entleerungseinrichtungen und auf beiden Widerlagern je eine Absperrvorrichtung (Notverschluß). Die Absperrvorrichtungen sind als Nadelwehre ausgebildet, welche aus Stützböcken, Lagerrahmen und Rohrnadeln bestehen. Die Stützböcke aus Stahlfachwerk sind doppelt widerkehrend, wodurch nötigenfalls auch die anschließenden Dammstrecken bei gefülltem Brückentrog entleert werden können.

An die Stützböcke sind gelenkig gelagerte Stahlrahmen angeschossen. Jeweils ein Stützbock und ein Stahlrahmen bilden ein Element. Die gesamte Notverschlußkonstruktion setzt sich aus 6 Elementen, welche durch Gliederketten miteinander verbunden sind, zusammen. Zum Aufbau des senkrecht zur Kanalachse liegenden Nadelwehres werden die Elemente mittels der Ketten aufgerichtet, verkeilt und mit Stahlrohrnadeln $\varnothing 101,6$ mm abgedichtet. Die Elemente liegen während des Kanalbetriebes in einer Nische mit der Trogsohle bündig unter Wasser.

1.2 Bauwerksprüfung und Beurteilung

Die Stützböcke befanden sich infolge Korrosion und Profilverformungen in einem durchweg schlechten Zustand (z. T. 50 %ige Materialschwächung). Zur Aufrechterhaltung der Betriebssicherheit wurde die umgehende Erneuerung der abgängigen Stützböcke vorgesehen, da eine jederzeit voll funktionsfähige Absperrung der Kanalbrücke vorgehalten werden muß (Dringlichkeitsstufe 1).

Wandstärkenmessungen an den Rohrnadeln ergaben, daß diese durch Korrosion in ihrem Querschnitt so geschwächt waren, daß sie ebenfalls ausgewechselt werden mußten.

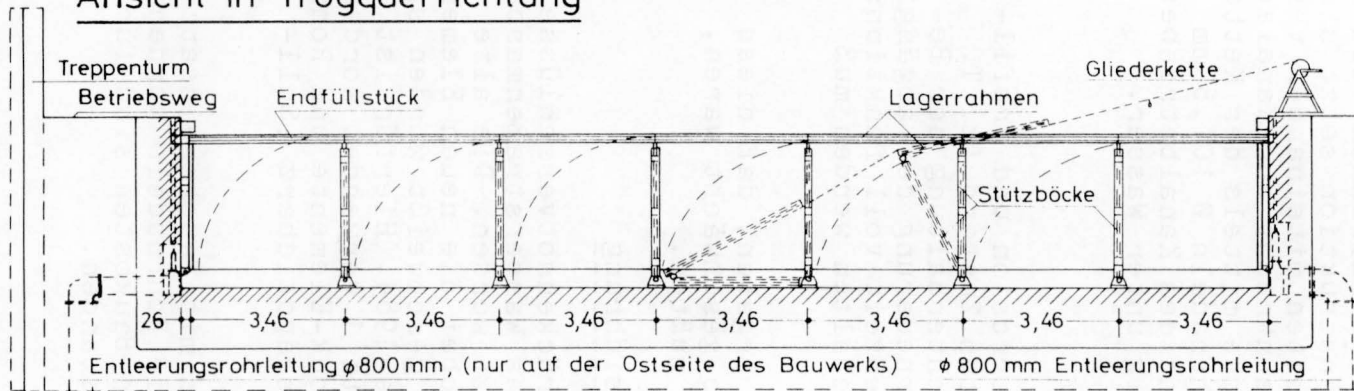
1.3 Instandsetzungsmaßnahmen und Bauausführung

Aufgrund des Befundes sind die alten Brückennotverschlüsse 1980 von der Stahlwasserbauabteilung des Wasserstraßenmaschinenamtes (WMA) Minden durch neue ersetzt worden. Die alte Grundkonstruktion wurde beibehalten, wobei die neuen Elemente jedoch nicht mehr genietet, sondern geschweißt worden sind. Der Ersatz der Stahlrohrnadeln erfolgte 1984. Hierfür ist nahtloses Stahlrohr nach DIN 2448, Blatt 1 verwendet worden. Zum Korrosionsschutz wurden die Lagerbock-Elemente und Rohrnadeln feuerverzinkt und 2-fach mit Teerepoxydharz (Sollschichtdicke 400 μm) beschichtet.

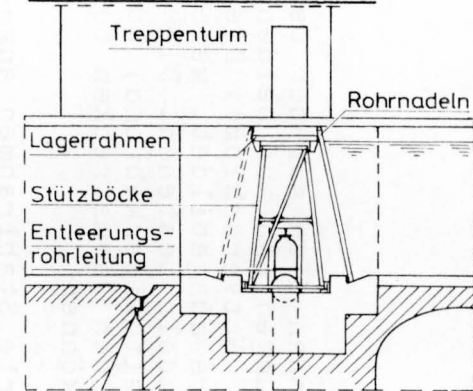
Die neuen Stützböcke hat das WMA Minden mit Tauchereinsatz bei gefülltem Brückentrog eingebaut. Die Rohrnadeln wurden im Werk hergestellt und beschichtet. An Baukosten sind für diese Maßnahmen etwa 160.000,-- DM entstanden.

Bild 6: Kanalbrückennotverschlüsse über den Widerlagern

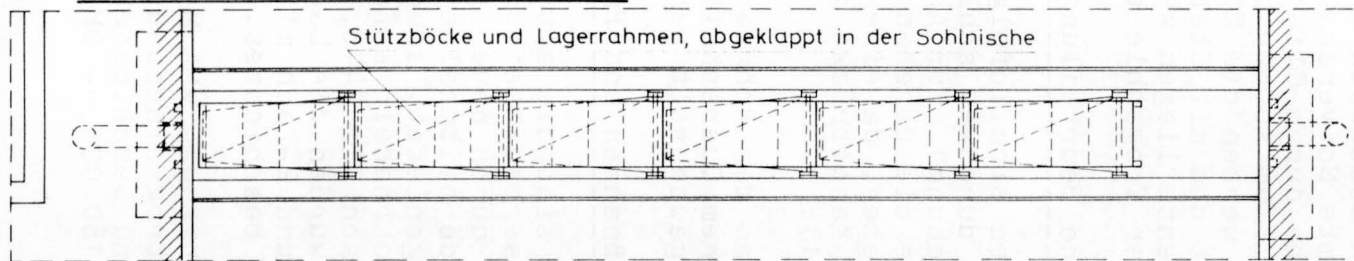
Ansicht in Trogquerrichtung



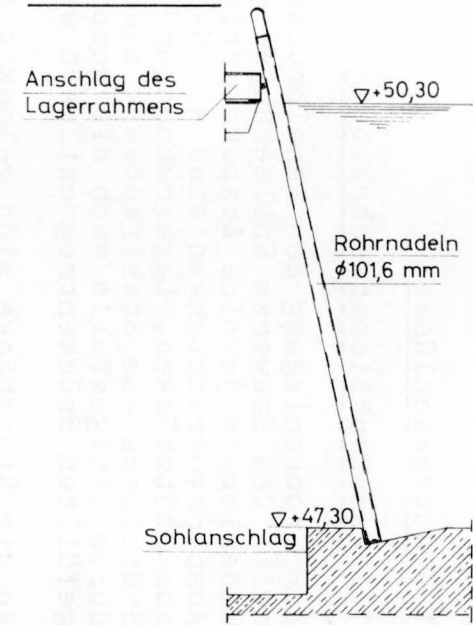
Querschnitt in Troglängsrichtung



Draufsicht in Trogquerrichtung



Detail: Abdichtung mit Rohrnadeln



Detail: Abdichtung mit Rohrnadeln

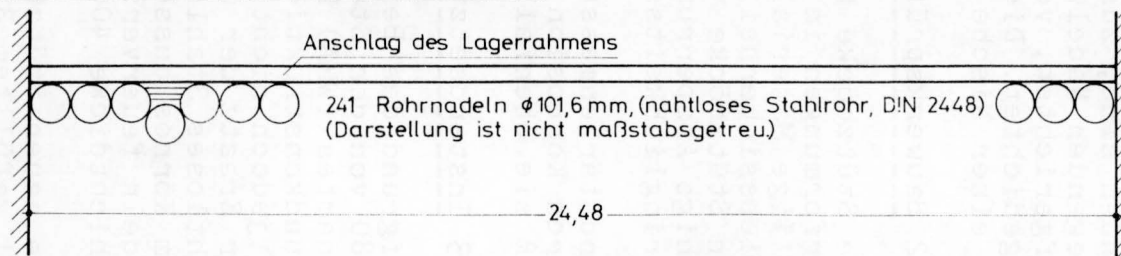


Bild 6: Kanalbrückennotverschlüsse über den Widerlagern

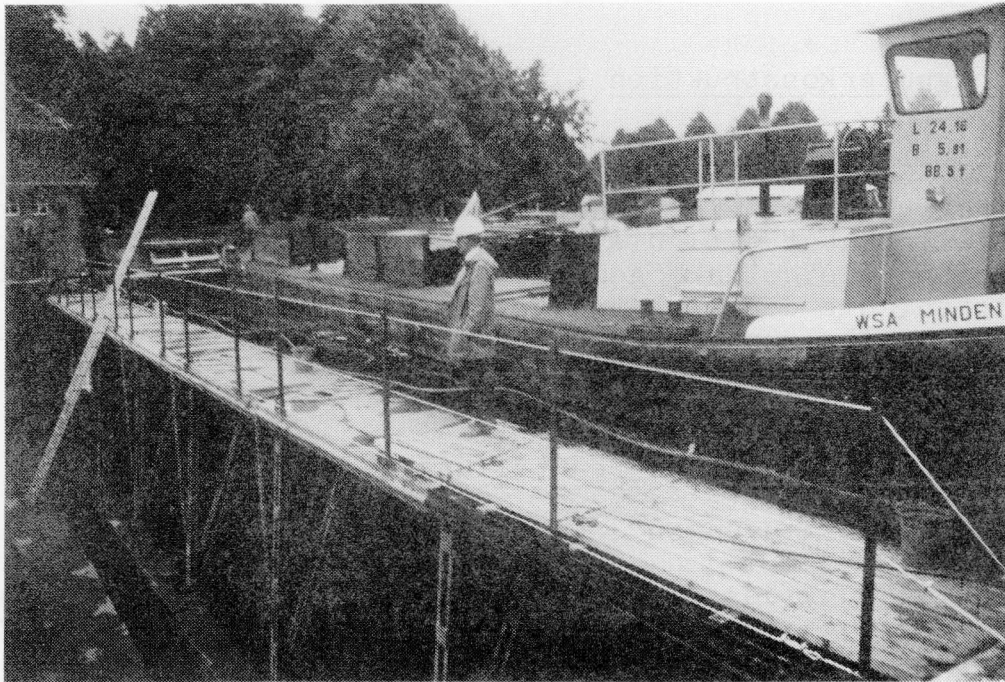


Bild 7: Nadelwehr-Notverschluß; links: trockengesetzter Trog, rechts: Mittellandkanal mit einem Arbeitsschiff

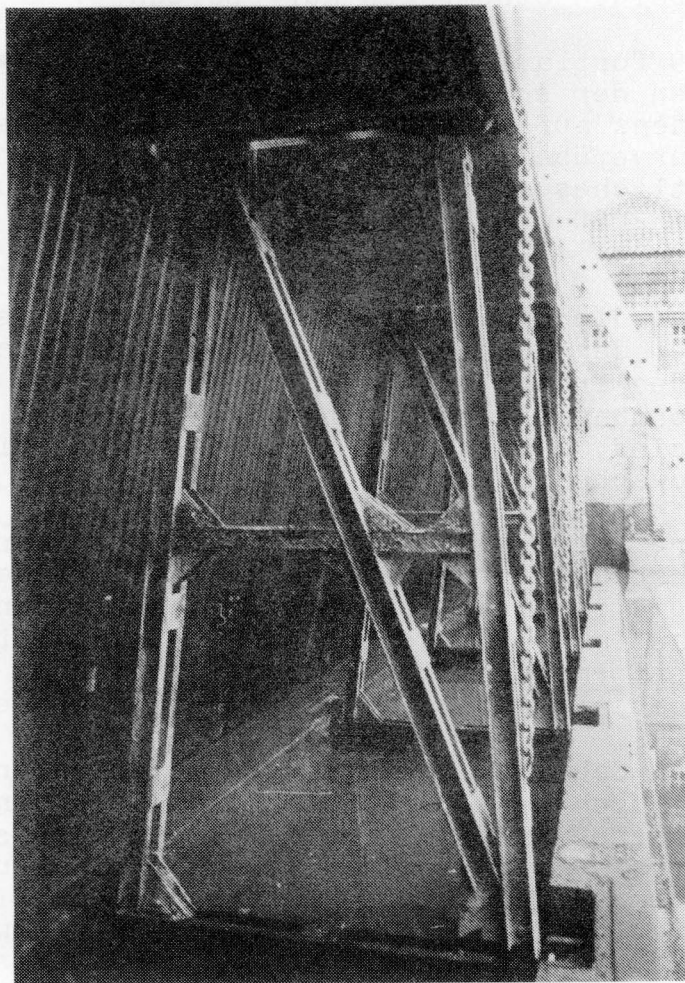


Bild 8: Nadelwehr-Notverschluß, bestehend aus Lagerböcken (Stahlfachwerk St 37); darauf Stahlrahmen mit Tränenblechabdeckungen; davor Stahlrohrnadeln zur Abdichtung

2 Trogunterkonstruktion

2.1 Konstruktionsbeschreibung

Der Trog ruht auf einer Unterkonstruktion, die sich gegen die Pfeiler abstützt. Die Unterkonstruktion besteht aus den Stahlbeton-Dreigelenkbögen und darauf aufliegenden Stahlbetonrippen, die den Trog tragen. Im Flutbogenbereich sind diese Rippen parallel und im Strombogenbereich senkrecht zur Kanalachse angeordnet.

2.2 Bauwerksprüfung und Beurteilung

2.2.1 Bauwerksmessungen

Zur Überwachung des Bauwerks wurden in der Vergangenheit zahlreiche Messungen in Form von Höhenkontrollen sowie Dehnungs- und Temperaturmessungen durchgeführt.

Das Schwergewicht der Bauwerksmessungen lag in erster Linie auf den Höhenkontrollen der Trogbrücke. Hierbei wurden insbesondere die Vertikalbewegungen der Scheitelpunkte der wieder aufgebauten beiden Strombögen aufgezeichnet.

Die seit 1949 fortlaufend durchgeführten Messungen der Scheitelabsenkungen der erneuerten Strombögen weisen eine stetig abnehmende Tendenz auf. Extrapoliert man die bisher erhaltene Verformungskurve über den heutigen Zeitpunkt hinaus, so ergibt sich ein deutliches Abklingen der Scheitelbewegungen etwa in den Jahren um 2000 mit einem End-Verformungsmaß von 12 bis 13 cm.

Vergleicht man die Ergebnisse der Höhenkontrollen an den Strombögen bei der Wechselbelastung infolge Trockenlegung und Flutung des Troges mit denen der Flutbögen, so zeigt sich, daß die Verformungen bei den Flutbögen nur sehr geringfügig angewachsen sind, während die Strombögen sehr viel größere Verformungszuwächse aufweisen.

Diese stärkere Verformungsreaktion ist in erster Linie aus der neuen Konstruktion der Strombögen beim Wiederaufbau 1949 abzuleiten, die in ihrer konstruktiven Ausbildung zur Materialersparnis elastischer und damit verformungswilliger konzipiert wurde. Die Verformungen liegen jedoch insgesamt in einem Bereich, der noch als unbedenklich angesehen werden kann.

Die vertikalen Scheitelsenkungen der Bögen haben zur Folge, daß sich die Fugen der Trogkonstruktion über den Kämpfern immer weiter öffnen und im Scheitel immer mehr schließen. Dadurch bedingt mußten die vertikalen Scheitelfugen schon mehrfach weiter aufgeschnitten werden. An den Pfeilern mußten die Kämpferfugen ebenfalls freigeschnitten werden, um auch künftig freie Bogenbewegungen zu gewährleisten.

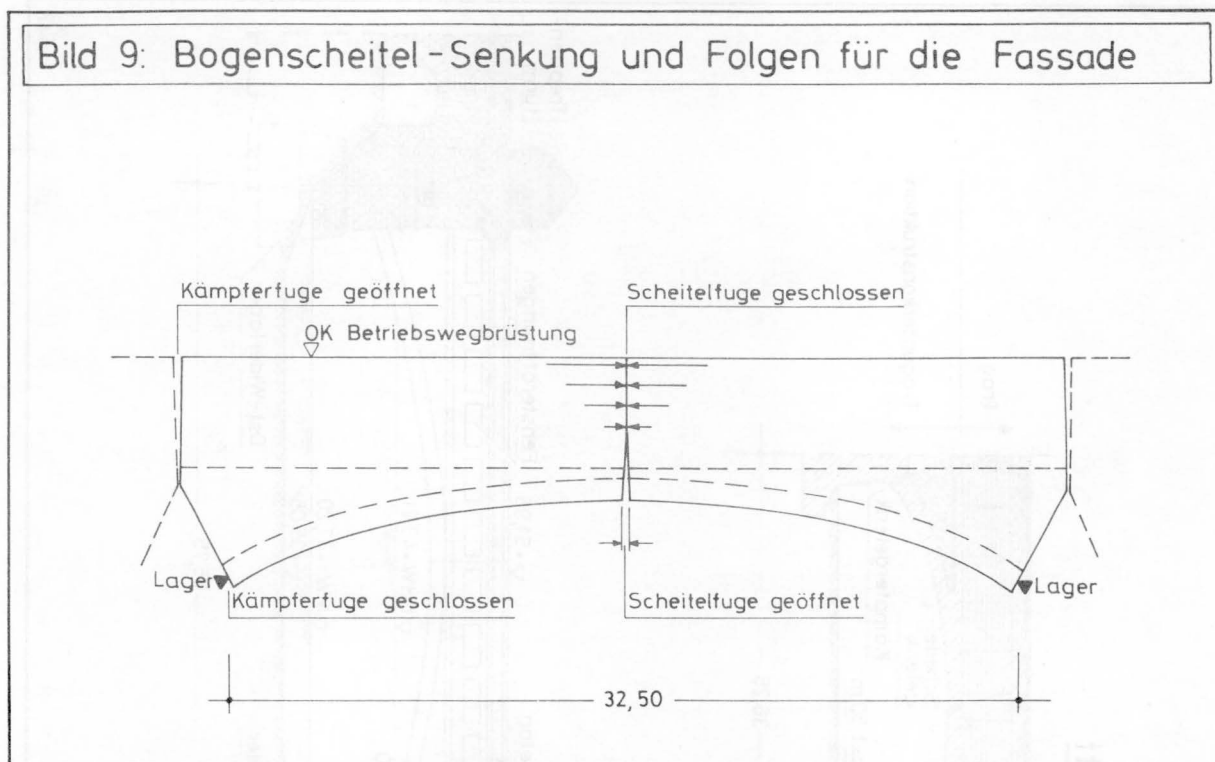


Bild 9: Bogenscheitel-Senkung und Folgen für die Fassade

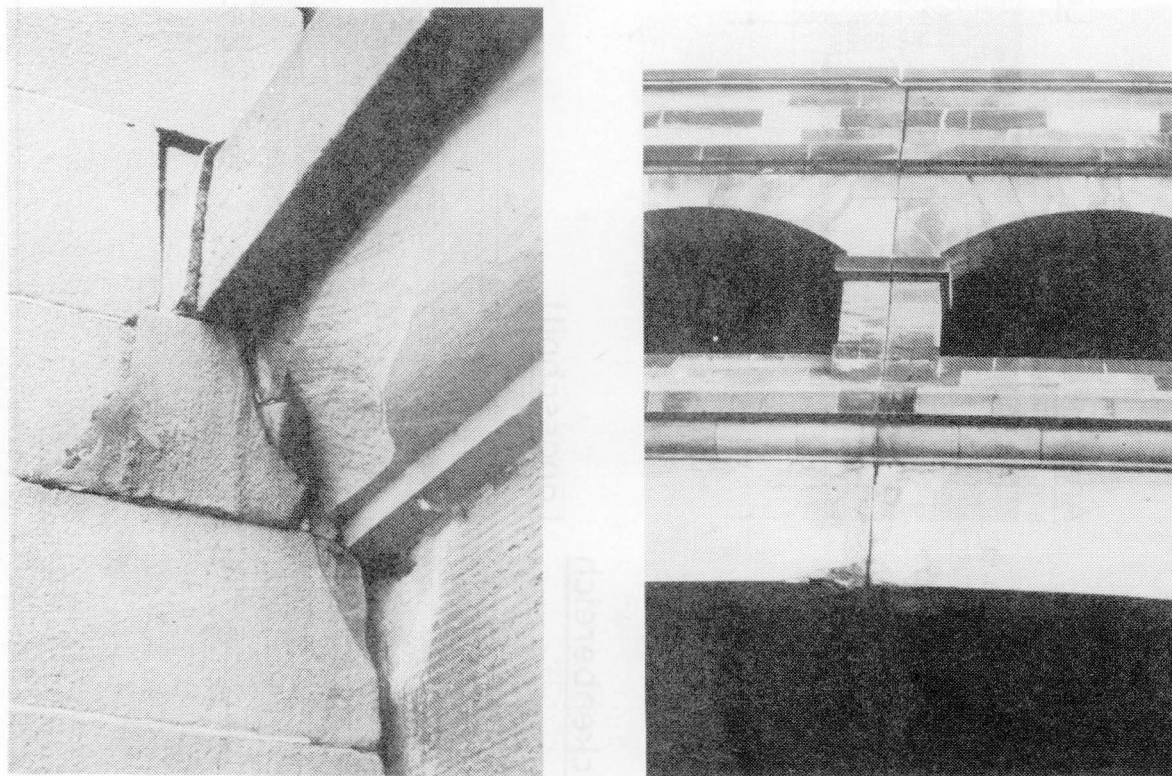
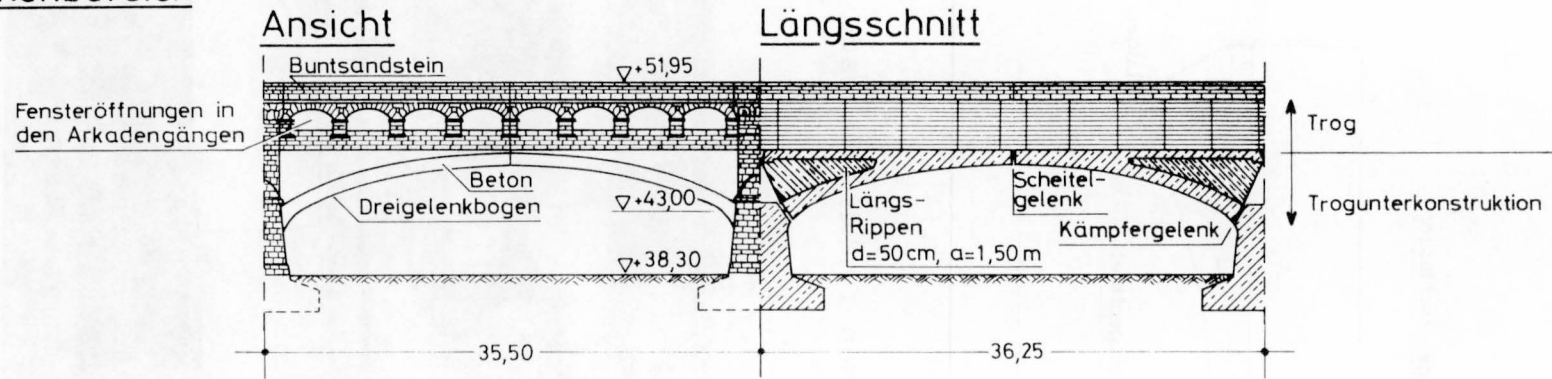


Bild 10 und 11: Fassade am Bogenkämpfer und am Bogenscheitel

Bild 12: Trogunterkonstruktion

Flutbrückenbereich



Strombrückenbereich

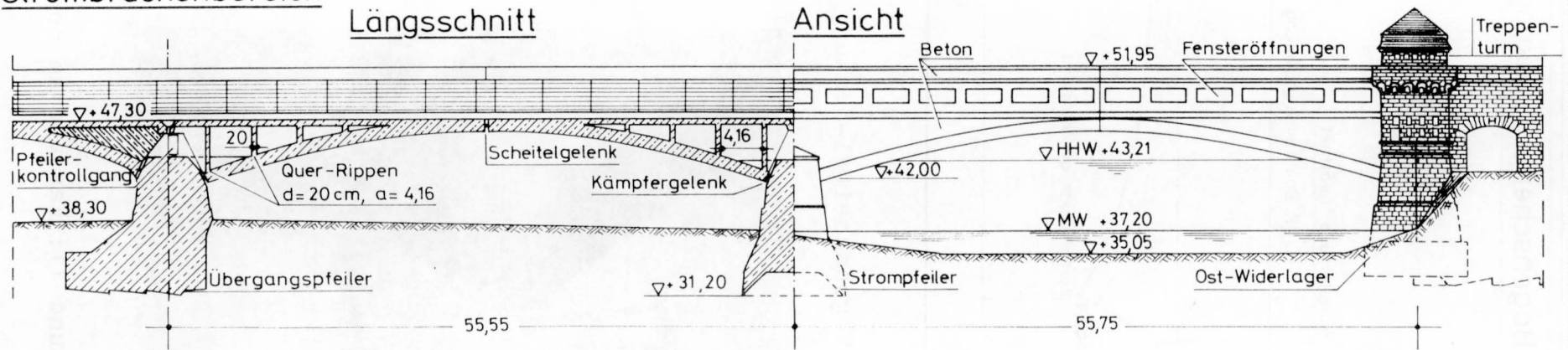


Bild 12: Trogunterkonstruktion

187

2.2.2 Betonuntersuchungen

Aus allen für den Bestand des Bauwerks wichtigen Bauteilen wurden zu Betonuntersuchungen Bohrkerne entnommen:

- 17 Bohrkerne aus dem westlichen Widerlager und den Pfeilern
- 15 Bohrkerne aus den Strombögen
- 33 Bohrkerne aus den Flutbögen

An den Bohrkernen wurden die Carbonatisierungstiefe des Betons und der Zustand der Bewehrungsstähle untersucht. Weiter wurden die Trockenrohddichte, die Wasseraufnahme an der Atmosphäre, die Druckfestigkeit, die Spaltzugfestigkeit und die Wasserdurchlässigkeit bestimmt.

Die untersuchten Betonstähle der Bohrkerne des alten und neuen Brückenteils zeigten keinerlei Anzeichen einer Korrosion.

Die Carbonatisierung ist in dem alten Bauwerksbereich weit fortgeschritten, was bei dem dort angetroffenen, wenig dichten Beton nicht erstaunlich ist. Im wiederaufgebauten Brückenteil ist sie gering.

Die Auswertung der Druckfestigkeiten erbrachte für den Pfeilerbeton den Nachweis der Festigkeitsklasse B15. Der Beton der Flutbögen erreichte diese Festigkeitsklasse nicht ganz. Eine direkte Druckfestigkeitsermittlung war an den Bohrkernen aus den Strombögen nicht möglich. Die rechnerische Ermittlung über die Spaltzugfestigkeiten ergab im Mittel Werte zwischen rd. 30 MN/qm und 45 MN/qm, so daß dieser Beton der Sollgüte B25 entspricht und den statischen Anforderungen genügt.

2.2.3 Betonschäden und Folgerungen

Flächige Betonabplatzungen hatten an den Unterseiten der Bögen und im Innenbereich der Unterkonstruktion in großem Umfang die Bewehrungseinlagen freigelegt. Starke Korrosion führte an den freiliegenden Bewehrungsstäben zu deutlichen Querschnittsschwächungen.

Die Unterbauten mit den Pfeilern wiesen dagegen keine größeren Schäden auf.

Insgesamt gesehen sind weder in den alten noch in den erneuerten Teilen des Bauwerkes Anzeichen einer nicht mehr ausreichenden Tragfähigkeit festgestellt worden. An vielen Stellen zeichneten sich jedoch lokale Oberflächenschäden und Risse ab, die bei weiterem Fortschritt die Standsicherheit des Überbaus hätten gefährden können. Deshalb wurde die Instandsetzung der Brückenuntersichten und der Troginnenkonstruktion in die Dringlichkeitsstufe 2 (umgehend durchzuführende Maßnahmen) eingeordnet.

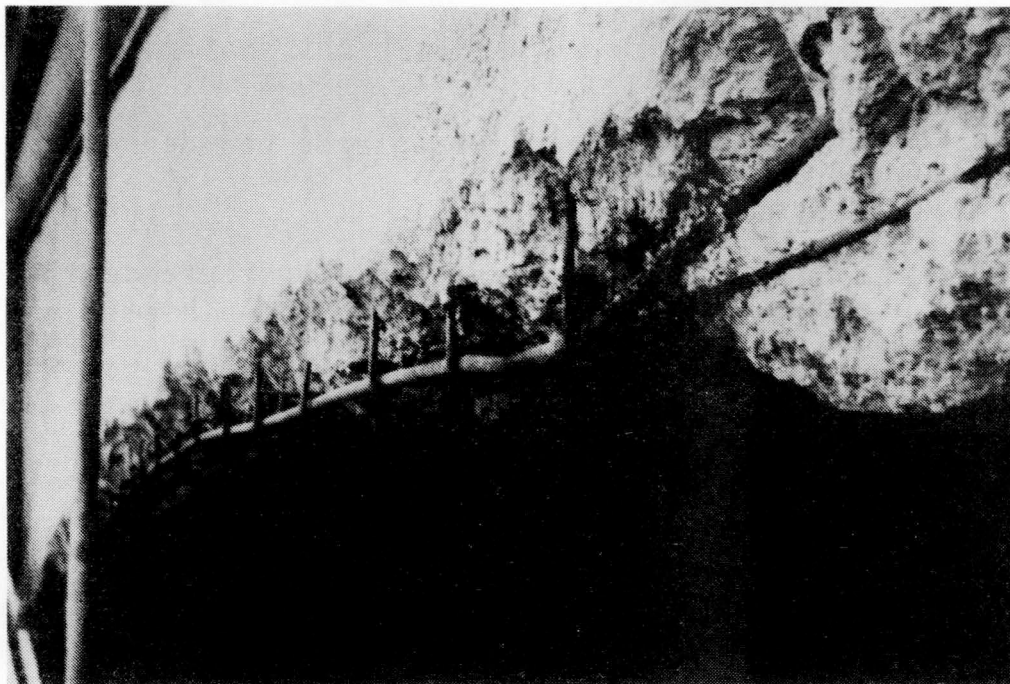


Bild 13: Betonschäden im Außenbereich der Flutbögen

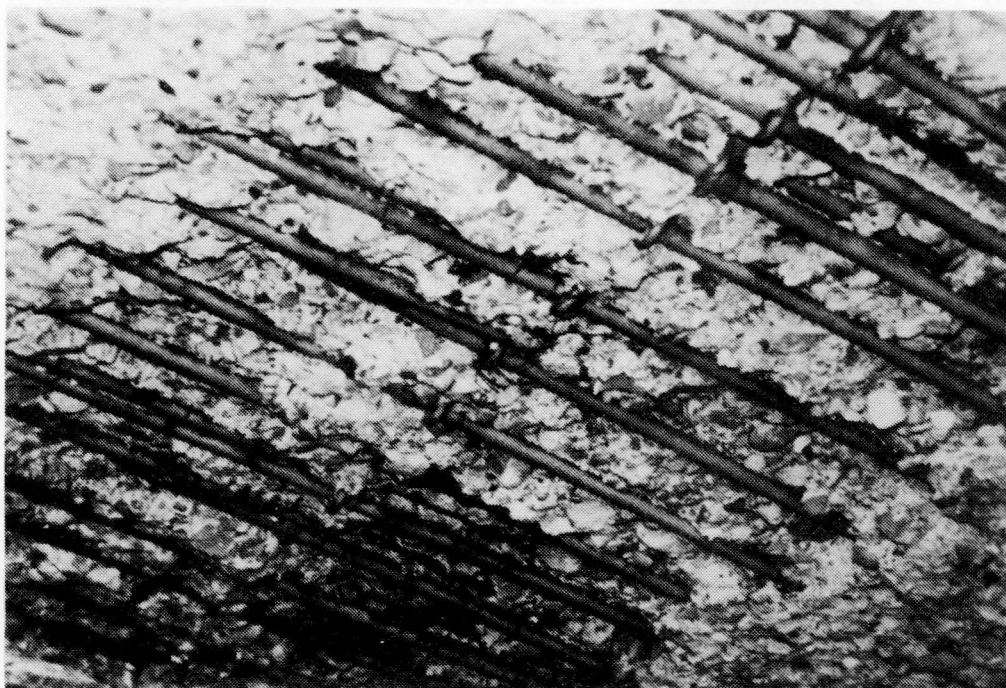


Bild 14: Betonschäden an den Bogenuntersichten im Flutbrückenbereich

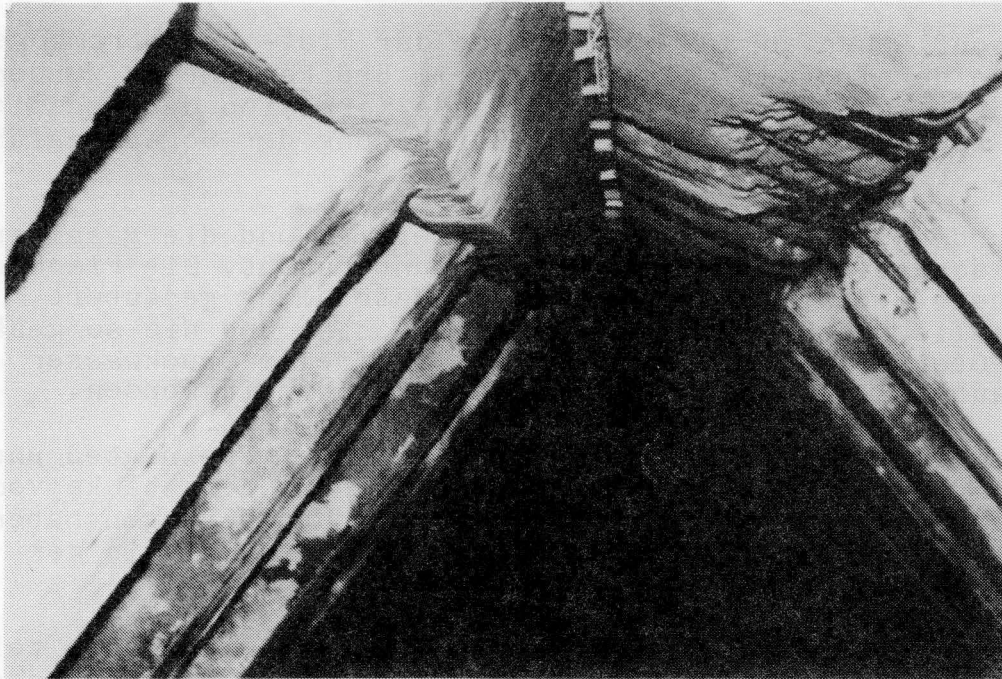


Bild 15: Betonschäden an der Trogunterkonstruktion im Brückeninneren

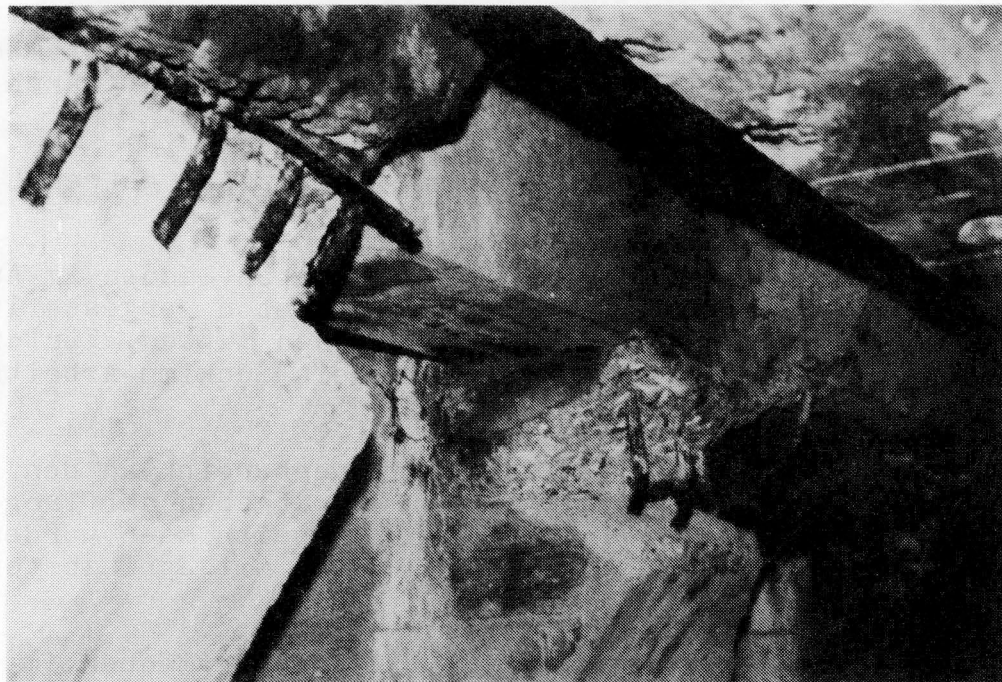


Bild 16: Betonschäden an den Rippen und Unterzügen im Brückeninneren

2.3 Instandsetzungsmaßnahmen und Bauausführung

Die Betonflächen an den Unterseiten der Flut- und Strombögen sowie an der Trogunterkonstruktion im Brückeninneren wurden instandgesetzt, um eine weitergehende Korrosion der freiliegenden Bewehrung und damit eine Gefährdung der Bogentragfähigkeit zu verhindern.

Dazu wurden die losen Betonteile beseitigt und die gesamten Betonflächen auf beginnende Schäden untersucht. Die Flächen sind anschließend durch trockene Sandstrahlung gesäubert, die freiliegenden Bewehrungseisen entrostet und die so gesäuberten Oberflächen mit chemisch einwandfreiem Druckwasser von Staub-, Rost- und Strahlrückständen befreit worden.

In einem weiteren Arbeitsgang wurde auf die gereinigten und gut genäßten Flächen Spritzbeton in einer Mindeststärke von 30 mm aufgetragen. Die Bereiche mit Betonabplatzungen haben zusätzlich engmaschige Stahleinlagen erhalten, die in der Betonkonstruktion verdübelt worden sind.

Sofern tragende Stahleinlagen durch Korrosion ganz oder teilweise zerstört waren, wurden diese durch eine entsprechende zusätzliche Bewehrung ersetzt. Diese zusätzlichen Stäbe sind mit Stahldübeln an den unversehrten Beton angeschlossen worden.

An der Unterseite der Strombögen genügte es, die zuvor beschriebenen Maßnahmen auf die in Ortbeton ausgeführten Ver-
gußstreifen zwischen den Fertigteilträgern und auf die Kämpferbereiche zu beschränken.

Die Instandsetzung wurde vom November 1981 bis zum September 1982 ausgeführt. Dabei mußten die Arbeiten mehrfach, durch Frost und Hochwasser bedingt, unterbrochen werden.

Die Ausschreibung und Vergabe erfolgte in 2 Losen getrennt nach Innen- und Außenarbeiten.

Das Los I umfaßte die Instandsetzung der Betonflächen im Außenbereich. Hier wurden ca. 8000 qm Spritzbeton hergestellt, wozu 9.500 qm Gerüstflächen aufgebaut werden mußten. Für die Strombogenarbeiten über der Weser wurde ein Schwimm-Arbeitsgerüst eingesetzt.

Das Los II enthielt alle Maßnahmen im Innenbereich an den Wänden (Rippen), Unterzügen, Pfeilern und Streben der Trogunterkonstruktion. Unter sehr beengten Verhältnissen wurden in diesem Bereich etwa 2.500 qm Oberflächen mit Spritzbeton instandgesetzt.

Die Baukosten für die Arbeiten an den Betonoberflächen im Innen- und Außenbereich beliefen sich auf ca. 1,4 Mio. DM.

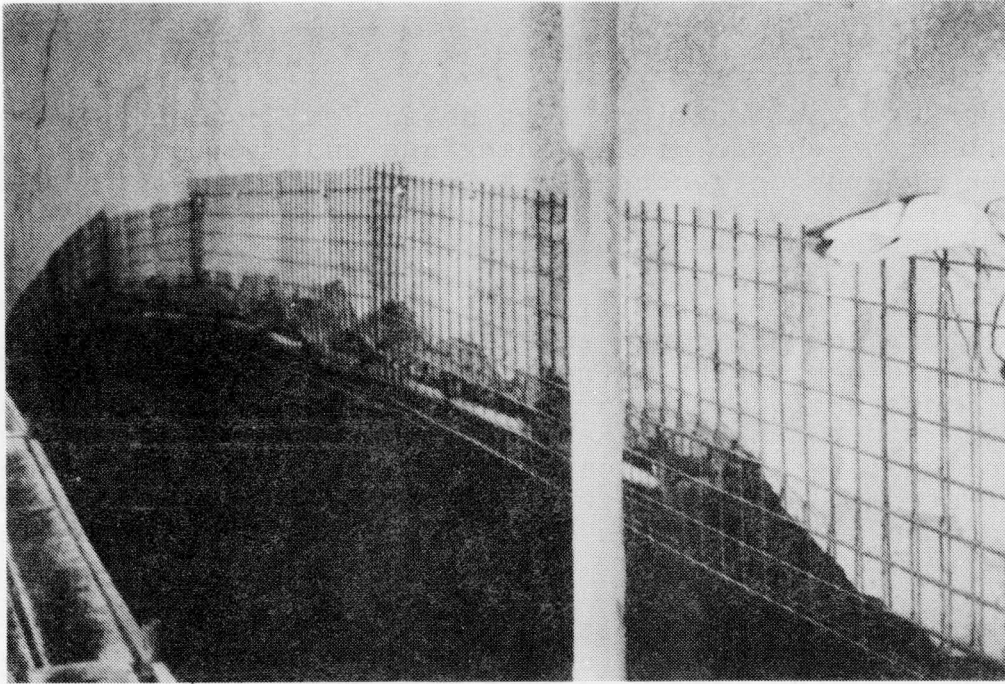


Bild 17: Instandsetzung der Betonaußenflächen im Flutbogenbereich

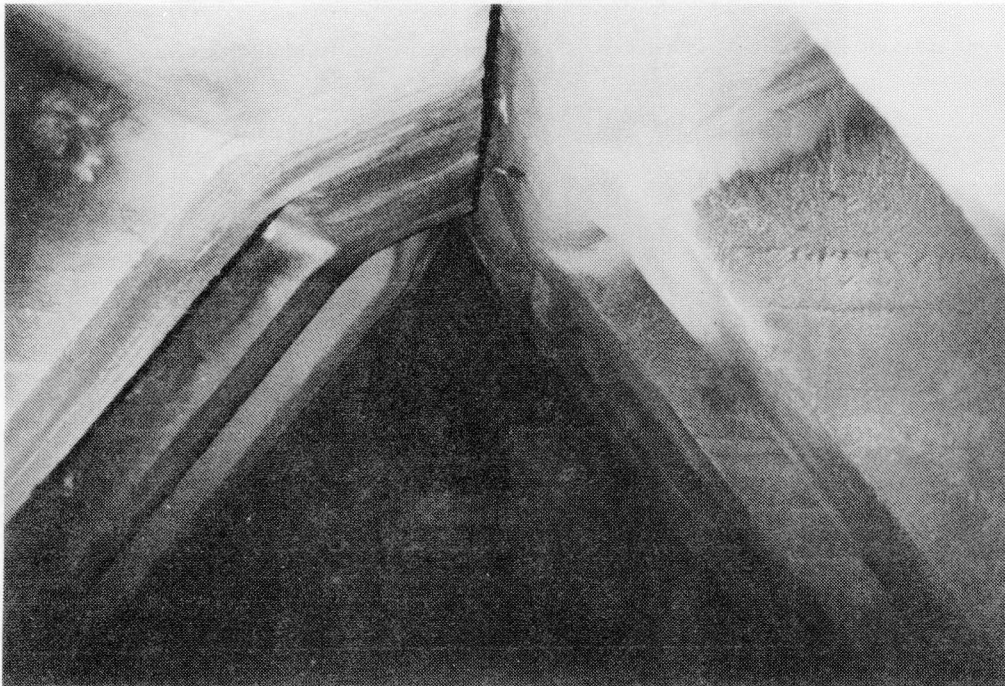


Bild 18: Mit Spritzbeton instandgesetzte Rippen und Unterzüge im Brückeninneren (Pfeilerkontrollgang)

3 Trogseitenkonstruktion

3.1 Konstruktionsbeschreibung

Auf der Unterkonstruktion liegt neben dem Trog eine Seitenkonstruktion, zu der die Arkadengänge und die Betriebswege mit den Brüstungen gehören. Die Seitenkonstruktion ist im alten Teil von 1911/14 und im wiederaufgebauten Teil von 1945/49 unterschiedlich ausgebildet.

Während im alten Brückenteil 0,85 bis 1,00 m starke massive Trogseitenwände mit daran angeschlossenen Betriebswegplatten den Wasserdruck direkt aufnehmen, wird die Belastung bei der neuen Konstruktion von den hier nur 30 cm starken Seitenwänden über eine Stahlbeton-Rahmenkonstruktion abgetragen. Die Rahmenriegel, welche mit ca. 4,16 m Abstand in den Arkadengängen stehen, und die dazwischenliegenden Längsunterzüge bilden über den Strombögen das Traggerippe für die Betriebswegplatten.

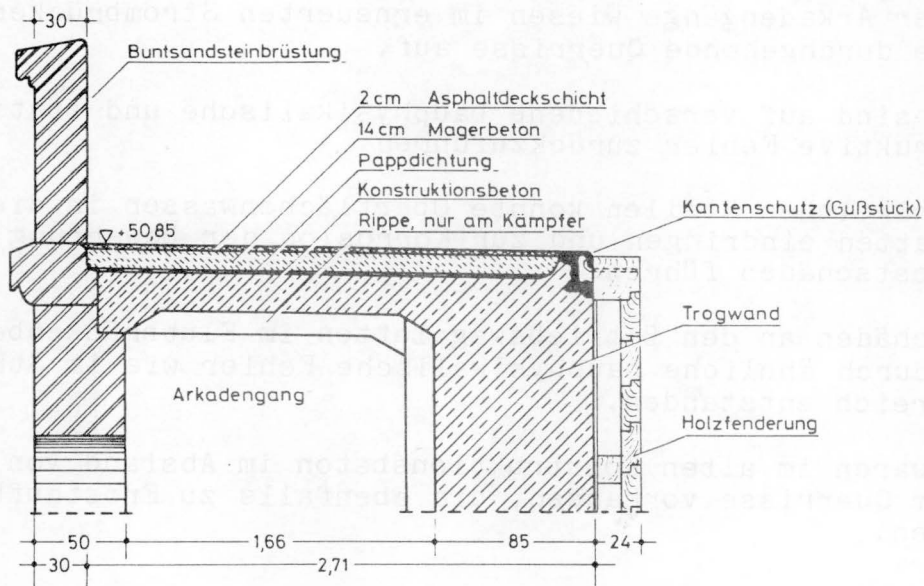
Zwischen den Betriebswegplatten sowie den Sohlplatten in den Arkadengängen, befinden sich an den Gelenkfugen der Dreigelenkbögen über den Kämpfern und im Scheitel jeweils Übergangs-Konstruktionen.



Bild 19: Arkadengänge im Strombrückenbereich mit der Stahlbetonrahmenkonstruktion; links: Fenster, rechts: Trogwand

Bild 20: Alter Aufbau der Betriebswegplatten

Flutbrückenbereich



Strombrückenbereich

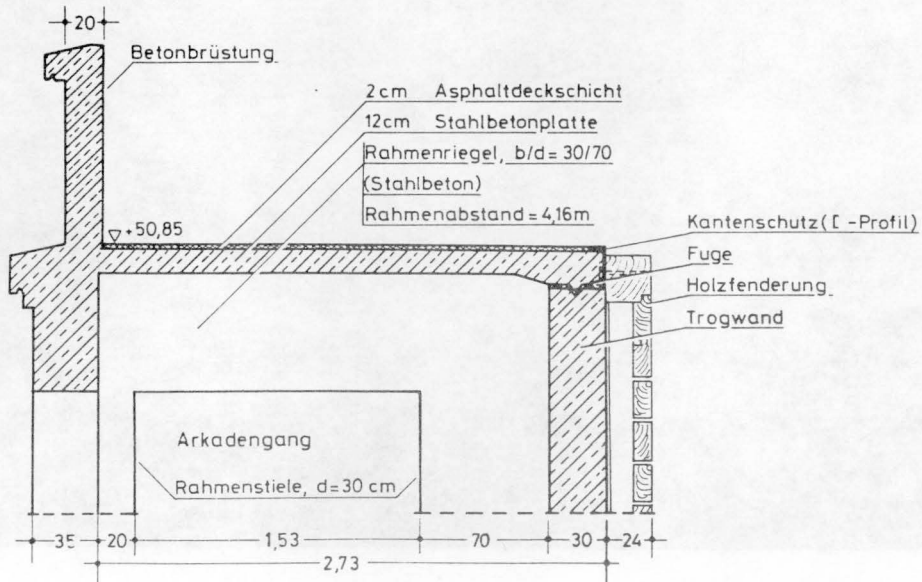


Bild 20: Alter Aufbau der Betriebswegplatten

3.2 Bauwerksprüfung und Beurteilung

3.2.1 Bauwerksschäden

Die Betriebswegdecken mit den benachbarten Randbalken und Brüstungen sowie die darunterliegenden Rahmen und Brüstungen der Arkadengänge wiesen im erneuerten Strombrückenteil starke durchgehende Querrisse auf.

Diese sind auf verschiedene bauphysikalische und statisch-konstruktive Fehler zurückzuführen.

An zahlreichen Stellen konnte Oberflächenwasser in die Deckenplatten eindringen und zur Korrosion der Bewehrung sowie zu Frostschäden führen.

Die Schäden an den Betriebswegplatten im Flutbrückenbereich sind durch ähnliche bauphysikalische Fehler wie im Strombrückenbereich entstanden.

Hier waren im alten Konstruktionsbeton im Abstand von etwa 2,00 m Querrisse vorhanden, die ebenfalls zu Frostaufbrüchen führten.

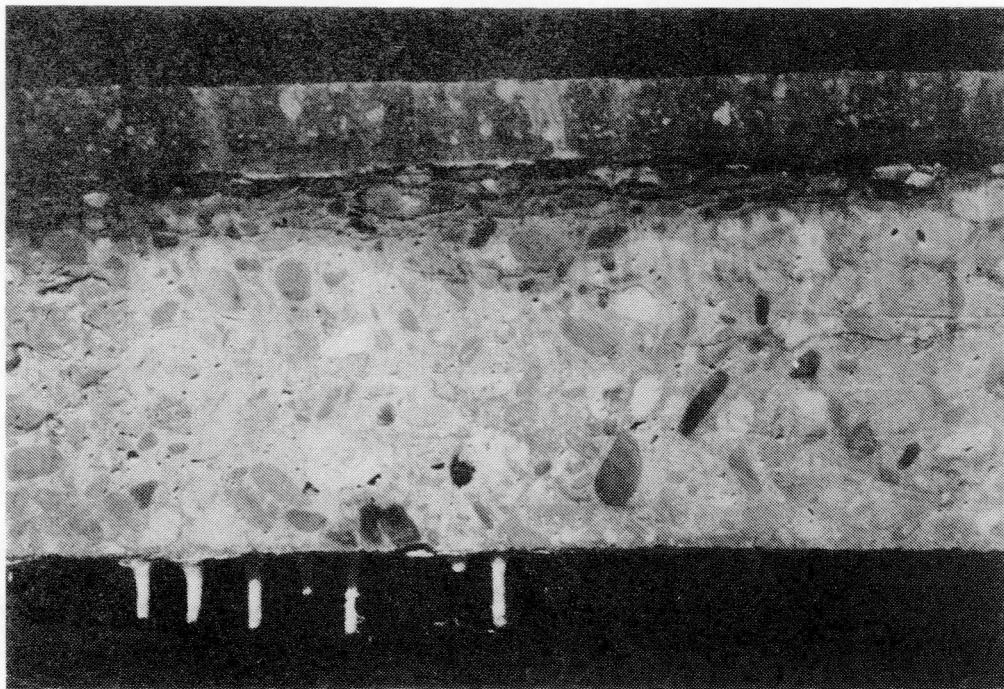


Bild 21: Frostschäden an einer Betriebswegplatte infolge der zahlreichen Risse

3.2.2 Bauphysikalische Überlegungen

Die Ausführung der Betriebswegplatten erfolgte nach den damals vorhandenen Regeln der Technik, die in bauphysikalischer Hinsicht einige Fehler enthielten. Insbesondere war keine klare Trennung der Einzelbauteile durch Bewegungsfugen vorhanden, die Betondeckungen waren wesentlich geringer als die heute in den zusätzlichen technischen Vorschriften (ZTV'en) der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung festgelegten Werte und außerdem wurde für die Betriebswegplatten mit der Gußasphaltdeckschicht ein falscher Belag gewählt.

Der Gußasphalt eignete sich nicht für die geneigten Außenplatten, da dieser unter Wärmeeinfluß in Bewegung geriet. Am oberen Rand bildeten sich entlang der Brüstung Fugen, durch welche Feuchtigkeit unter den Belag gelangen konnte. Der Wärmeeinfluß durch die Besonnung führte zusätzlich zu einem Wärmestau unter dem Belag, der zur Blasenbildung und zum "Abdampfen" führte. Aus diesen Gründen wurde bei der Instandsetzung kein Mehrschichtbelag mehr vorgesehen.

3.2.3 Statisch-konstruktive Überlegungen

In der alten statischen Berechnung für die Strombrückenteile von 1947 sind nur getrennte Einzelnachweise für den Gewölbebogen und den darüber liegenden Querschnitt der Trogkonstruktion geführt worden. Ein Nachweis des Gesamtquerschnitts wurde nicht vorgenommen. Konstruktiv ist damals jedoch eine schubfeste Verbindung zwischen dem Bogen und dem Überbau ausgeführt worden.

Deshalb wurden 1980 in der Berechnungsüberprüfung außer lokalen Spannungsnachweisen für die Einzelbauteile gezielt Spannungsnachweise unter Einbeziehung des gesamten Brückenquerschnitts geführt. Das Ergebnis dieser Untersuchung zeigte eindeutig, daß die aus dem Zusammenwirken zwischen tragendem Gewölbebogen und Überbauten entstehenden Zugkräfte in den oberen filigranen Bauteilen in keiner Weise durch eine entsprechende Zugbewehrung abgedeckt waren. Die Berechnungsweise der statischen Trennung zwischen dem tragenden Gewölbebogen und dem Überbau führte im Strombrückenbereich aufgrund der schubfesten Verbindung und dem hohen Nutzlastanteil (Trogfüllung) zu den festgestellten Rißbildungen. Diese Risse führten zur Abnahme der Gesamtsteifigkeit, was in diesem Fall für die Tragfähigkeit des Bauwerks in statischer Hinsicht jedoch bedeutungslos war.

Die Abnahme der Steifigkeit in der tragenden und die Trogwand stützenden Arkadenkonstruktion hat aber dazu geführt, daß Belastungen der Trogwand aus Schiffsanfahrungen nun nicht mehr auf eine größere mitwirkende Breite verteilt werden konnten, sondern von wenigen, teilweise nur noch von einzelnen Trogwandrahmen aufgenommen werden mußten.

3.2.4 Weitere Schäden und Folgerungen

In den Trogwänden waren außen zahlreiche schwache Risse vorhanden, die vermutlich kurz nach der Fertigstellung entstanden sind. Diese zum Teil offenen und zum Teil zugesinterten Risse waren jeweils trocken und konnten weitgehend als unschädlich angesehen werden.

Die Sohlplatten über den Kabelkanälen in den Arkadengängen des Flutbrückenteils wiesen ebenfalls zahlreiche Risse sowie dadurch bedingte Frostschäden auf und waren erneuerungsbedürftig.

Zur Erhaltung der weiteren mittelfristigen Tragfähigkeit und Betriebssicherheit der Kanalbrücke wurde die Beseitigung o.g. Schäden in die Dringlichkeitsstufe 3 (Instandsetzung im Laufe der nächsten 5 Jahre) eingestuft.

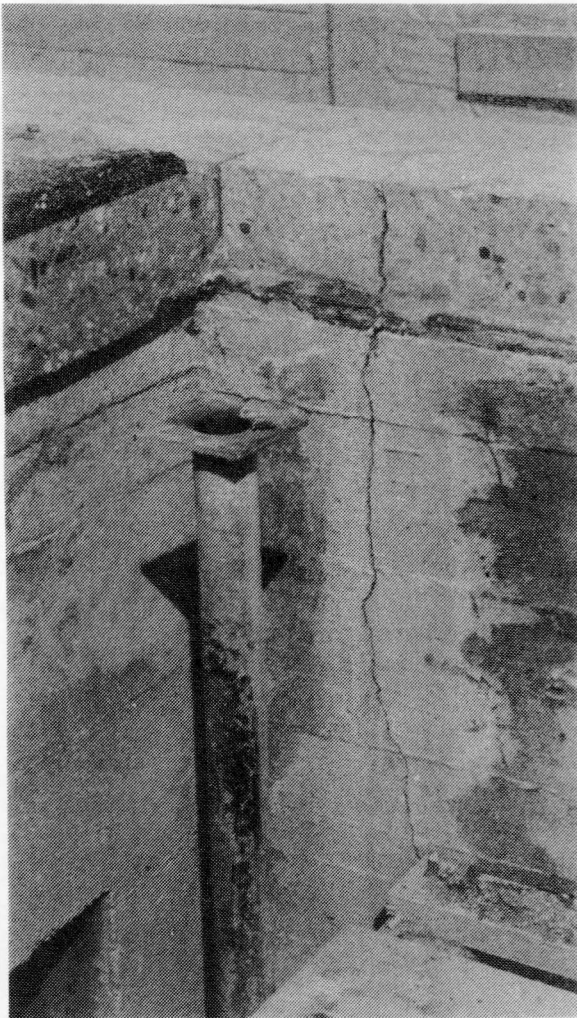


Bild 22: Riß in einem Stahlbetonrandunterzug im Strombrückenbereich



Bild 23: Querschnittsschwächung am Stielfußpunkt eines Stahlbetonrahmens im Strombrückenbereich

3.3 Instandsetzungsmaßnahmen und Bauausführung

3.3.1 Allgemeines

Die Erneuerung der Betriebswegplatten und Brüstungen wurde im Zeitraum März bis Mai 1984 und die Instandsetzung der Arkadengänge im Juli und August 1984 durchgeführt.

Um bei den Arbeiten an den neben dem Trog liegenden Konstruktionsteilen den Schiffsverkehr nicht einstellen zu müssen, wurde zur Bauausführung das "Verfahren der wechselweisen halbseitigen Sperrung mit Einbahnverkehr" angewendet.

Zur Verkehrslenkung wurde von einem Wahrschaudienst eine Ampelanlage nach den jeweiligen Erfordernissen bedient, so daß eine möglichst geringe Behinderung des Schiffsverkehrs gewährleistet war.

Die Arbeiten wurden in der gesperrten Troghälfte zum Teil von schwimmendem Gerät aus vorgenommen.

Die Gesamtbaukosten der im folgenden beschriebenen Instandsetzung der Betriebswege und Arkadengänge betrugen etwa 1,4 Mio. DM.

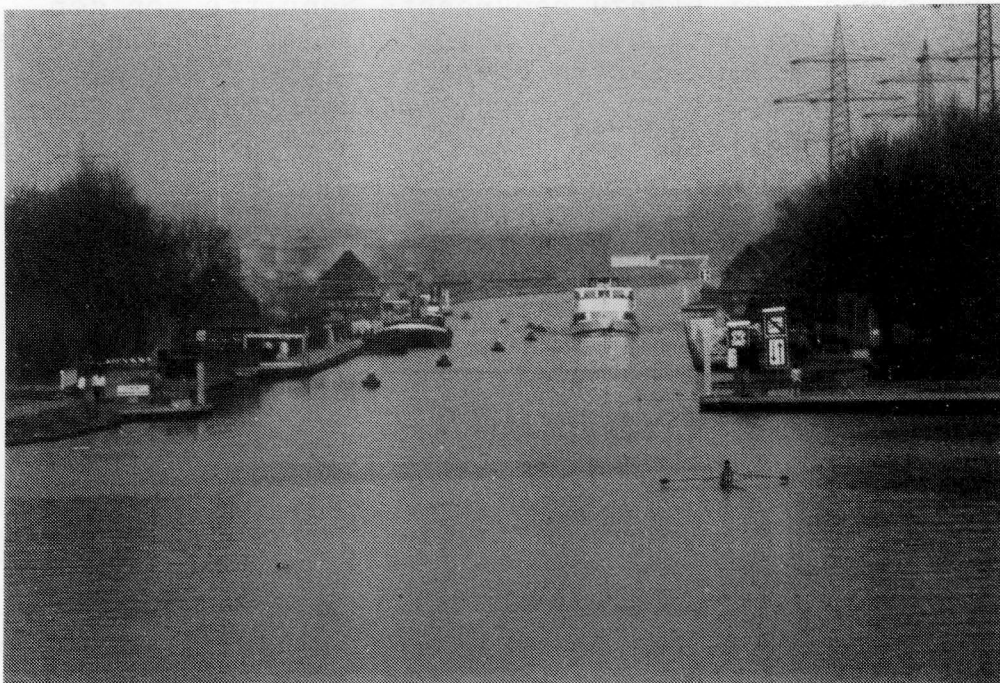


Bild 24: Halbseitige Sperrung der Kanalbrücke mit Einbahnverkehr und Ampelanlage

3.3.2 Betriebswege und Brüstungen im Strombrückenbereich

Die Trogseitenkonstruktion war im Bereich der Strombrücke so schadhaft, daß infolge eindringenden Regen- und Schwallwassers und Frosteinwirkung mit einem weiteren Zerfall gerechnet werden mußte. Aufgrund der konzentriert aufgetretenen Rißschäden an den Platten und Brüstungen mußten diese Tragwerksteile unter Wahrung der Rahmenquerschnitte erschütterungsarm abgebrochen und durch eine Neukonstruktion ersetzt werden.

Da die Tragfähigkeit der Stahlbetonseitenkonstruktion, bestehend aus Trogwänden, Rahmen und äußeren Randunterzügen infolge der Wasserbelastung während dieses Bauabschnittes voll erhalten bleiben mußte, wurden die abgängigen Betriebswegplatten und Brüstungen im ungestörten Betonabbruch beseitigt. Als Arbeitsgerüst diente dazu ein aus den Fensteröffnungen der Arkadengänge auskragendes Holz-Auslegergerüst. Dieses sollte insbesondere die Absturzsicherung über der Weser gewährleisten. Die Stahlbetonbrüstungen wurden in Teillängen von ca. 4,16 m (Rahmenabstand) senkrecht und waagrecht mit Sägeschnitten von der Konstruktion getrennt, von einem Schwimmkran auf ein Ponton verladen und zur Beseitigung auf dem Wasserweg abtransportiert.

Die Betriebswegplatten wurden durch zwei Längsschnitte parallel zur Kanalachse von der Trogwand und den äußeren Randunterzügen sowie durch zwei hierzu senkrechte Schnitte vor den Rahmenriegeln freigelegt. Die so gelösten Plattenteile, etwa 2,40 x 3,90 m groß, sind danach ebenso wie die Brüstungen verladen und abtransportiert worden. Insgesamt wurden ca. 200 m Massivbrüstung (b/d = 20/115 cm) und ca. 600 qm Betriebswegplatten (d = 12 bis 14 cm) abgebrochen.



Bild 25: Abbruch der Betriebswegplatten im Strombrückenbereich mit fahrbaren Sägen; daneben das Holzauslegergerüst



Bild 26: Abbruch der Stahlbetonbrüstungen im Strombrückenbereich durch vertikale und horizontale Sägeschnitte mit einer hydraulischen Wandsäge

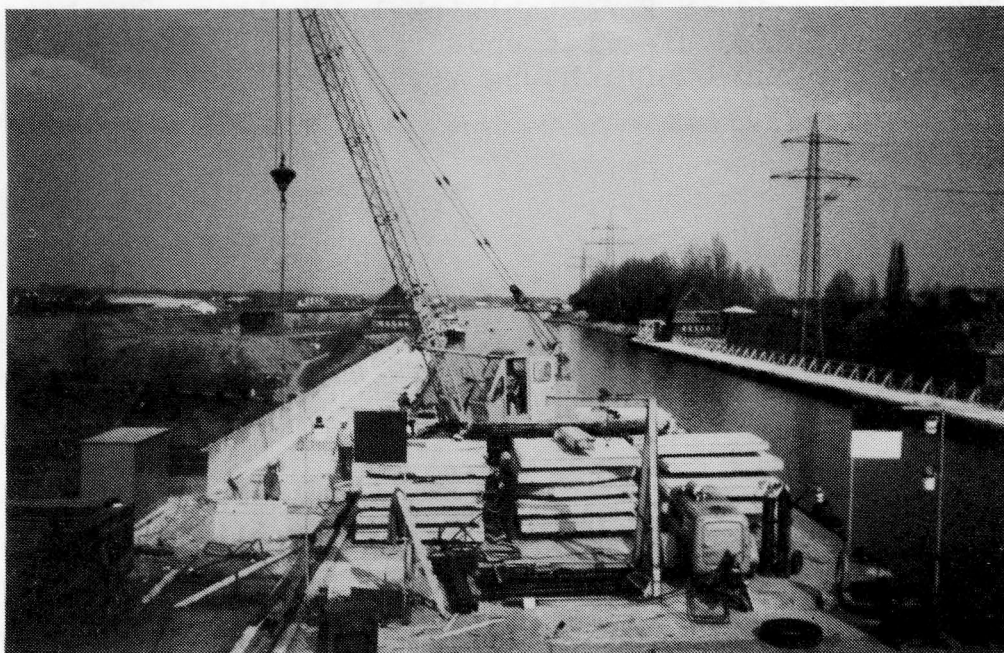


Bild 27: Verladen der gelösten Betriebswegplatten im Strombrückenbereich mit einem Schwimmkran auf ein Ponton

In weiteren Arbeitsgängen wurden anschließend die auf der Trogwand und den Rahmenunterzügen verbleibenden ca. 30 cm breiten Restbetonteile mit leichten Abbruchhämmern bis auf die Arbeitsfugen oberhalb des Konstruktionsbetons abgetragen, die Rißstellen in den Randunterzügen kraftschlüssig verpreßt und die vorhandenen Rahmenriegel zum Teil durch nebenliegende neue Unterzüge verstärkt. Um eine kraftschlüssige Verbindung zu erhalten, sind die vorhandenen Riegel durchbohrt und durch den Einbau von Rundstahlankern mit den neuen Ortbetonunterzügen verbunden worden. Der Verbund zwischen den Rahmenriegeln und den neuen Betriebswegplatten wurde durch den Einbau von PERFO-Ankern in den Rahmenriegeln sichergestellt.

Um die Bauzeit so kurz wie möglich zu halten, sind sowohl die neuen Deckenplatten als auch Brüstungen als Fertigteil-elemente aus Stahlbeton B 35 mit hohem Frost- und Tausalz-widerstand ausgebildet worden. Zur Lastverteilung von Schiffsstößen auf mehrere Rahmen wurde die neue Betriebswegplatte als Durchlaufplatte/scheibe konstruiert, wobei die zwischen den Fertigteilplatten liegenden Fugen über den Rahmenriegeln mit Ortbeton B 35 vergossen wurden.

Die vergossenen Arbeitsfugen wurden nach entsprechender Beton-erhärtung mit Epoxidharz beschichtet.

Die neuen Platten sind, abweichend von der alten Ausführung, von den parallel zum Trog laufenden äußeren Randunterzügen sowie der Trogwand durch Fugen getrennt worden, um Zwängungen in diesen Bereichen zu vermeiden. Hierzu wurden über der Trogwand und über den Randunterzügen compressible Streifen eingelegt, die nach außen hin mit einem elastischen Dichtungsstoff verschlossen wurden. Als Kantenschutz haben die in einem Fertigteilwerk hergestellten Platten an der Wasserseite einen 200 x 100 x 14 mm Formstahlwinkel erhalten. Zur besseren Griffbarkeit wurde die Plattenoberfläche mit einem Besenstrich senkrecht zur Laufrichtung versehen.

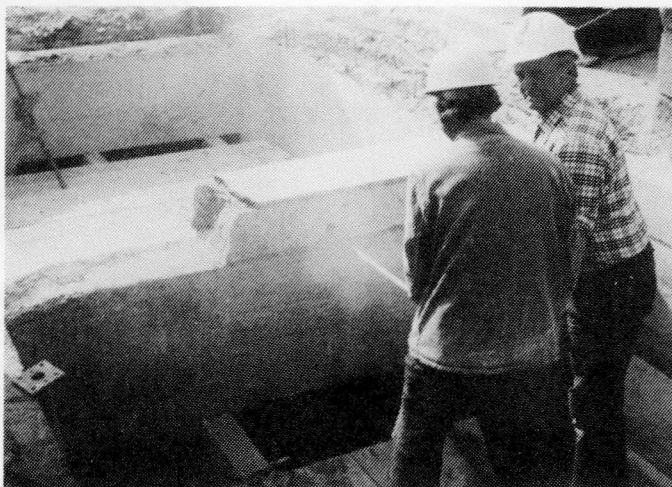


Bild 28: Abbruch der Restbetonflächen über den Rahmenriegeln, Randunterzügen und der Trogwand im Strombrückenbereich; Durchführung der Arbeiten vom Holzauslegergerüst über den Arkadengängen aus



Bild 29: Herstellung der neuen Betriebswegplatten im Fertigteilwerk

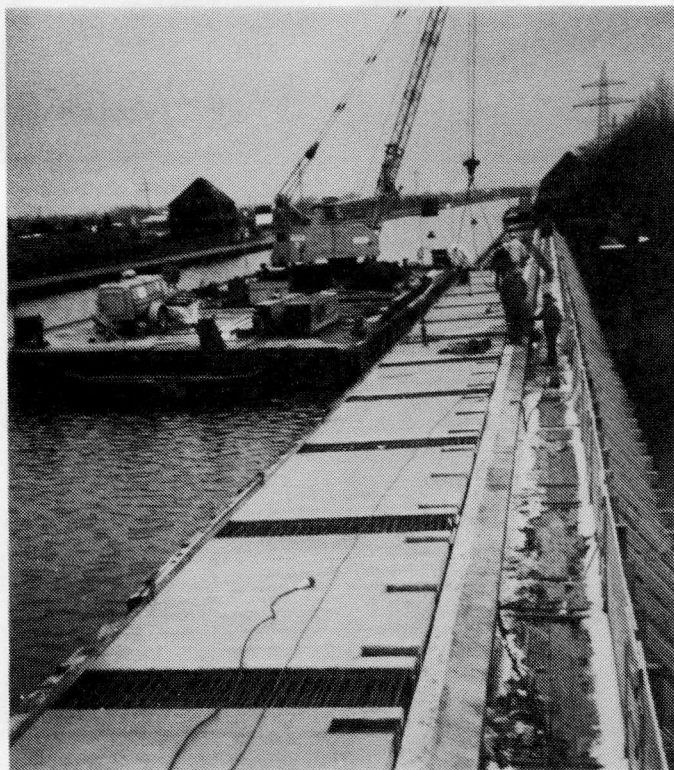


Bild 30: Einbau der neuen Betriebswegplatten im Strombrückenbereich mit einem Schwimmkran; zwischen den Platten: Ortbetonvergußfugen über den Rahmenriegeln; am rechten Plattenrand: Aussparungen z.Verankerung der Brüstungen

Die Stahlbetonbrüstungselemente sind ebenfalls im Werk gefertigt worden. Im Gegensatz zur alten Brüstung wurde die neue Stahlbetonbrüstung jedoch nicht durchlaufend, sondern mit Fugen zwischen den einzelnen Fertigteilen ausgebildet.

Die Elemente sind mit Nirosta-Ankern in den Aussparungen der Betriebswegplatten verankert worden. Die Aussparungen in den Betriebswegplatten wurden anschließend mit Beton vergossen und nach ausreichend langer Beton erhärtungszeit mit Epoxidharz beschichtet. Zur Anpassung der neuen Betonbauteile an das alte Bauwerk erhielten alle Sichtbeton-Oberflächen eine Grob-Struktur.

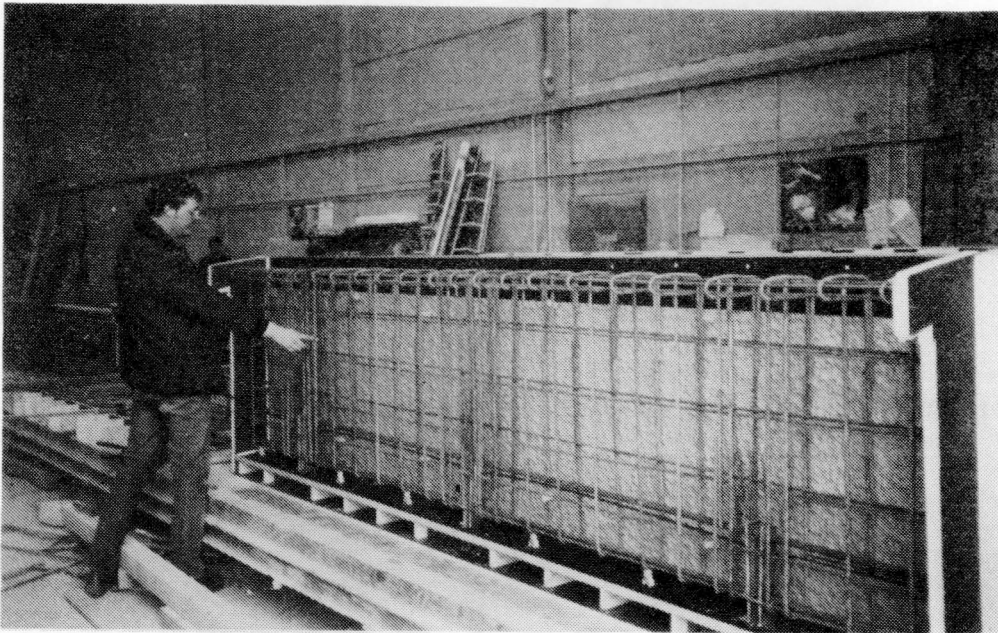


Bild 31: Herstellung der Brüstungselemente im Fertigteilwerk

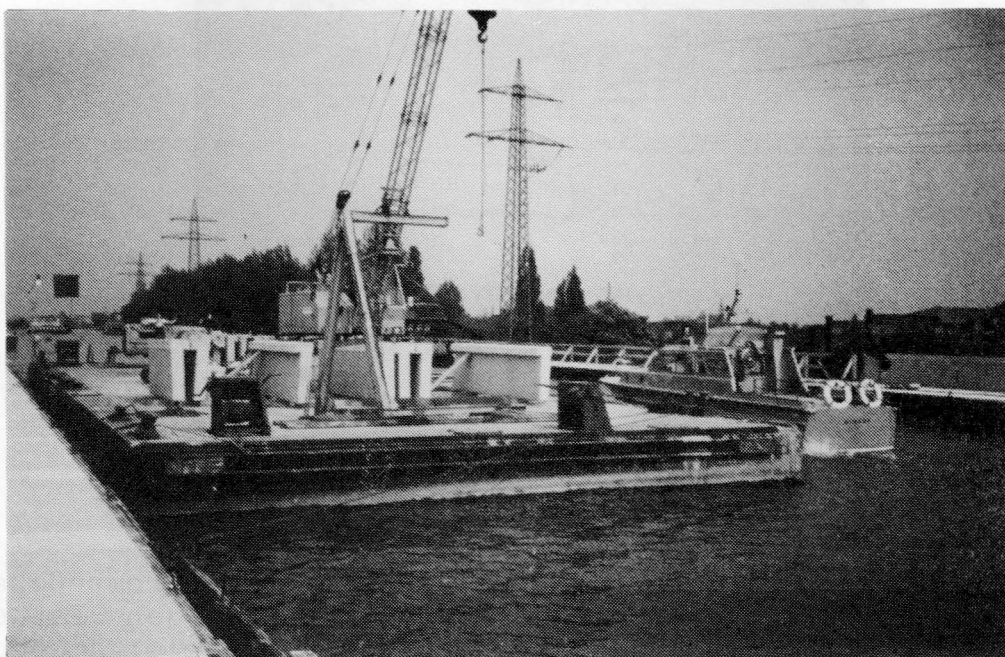


Bild 32: Einbau der Brüstungselemente mit Hilfe eines Schwimmkrans

3.3.3 Betriebswege im Flutbrückenbereich

Im Bereich der Flutbrücke konnten die aufgetretenen Schäden an den Massivplatten aufgrund des geringeren Schadensumfangs und der anderen Deckenkonstruktionsart einfacher ausgebessert werden.

Die nichttragenden Betriebswegteile, bestehend aus Asphalt-, Magerbeton- und Isolierschicht mußten bis auf den Konstruktionsbeton abgetragen und beseitigt werden. Insgesamt wurden 2.400 qm abgängiger Mehrschichtenbelag (im Mittel 16 cm dick) von Hand mit leichten Abbauhämmern ausgebaut. Anschließend sind die Konstruktionsbetonoberflächen gesandstrahlt und gesäubert sowie alle im Altbeton vorhandenen Risse größer als 0,2 mm geschlossen worden. Dazu mußten ca. 1500 Löcher für die Injektionspacker gebohrt und ca. 300 m Risse mit Epoxidharz verpreßt werden. Zur Verbundsicherung zwischen altem und neuem Beton wurden in den vorhandenen Konstruktionsbeton 4 PERFO-Anker je qm eingesetzt (in der Gesamtfläche ca. 5.500 Stück). Vor dem Aufbringen des Frischbetons sind die Altbeton-Oberflächen längere Zeit gut genäßt worden.

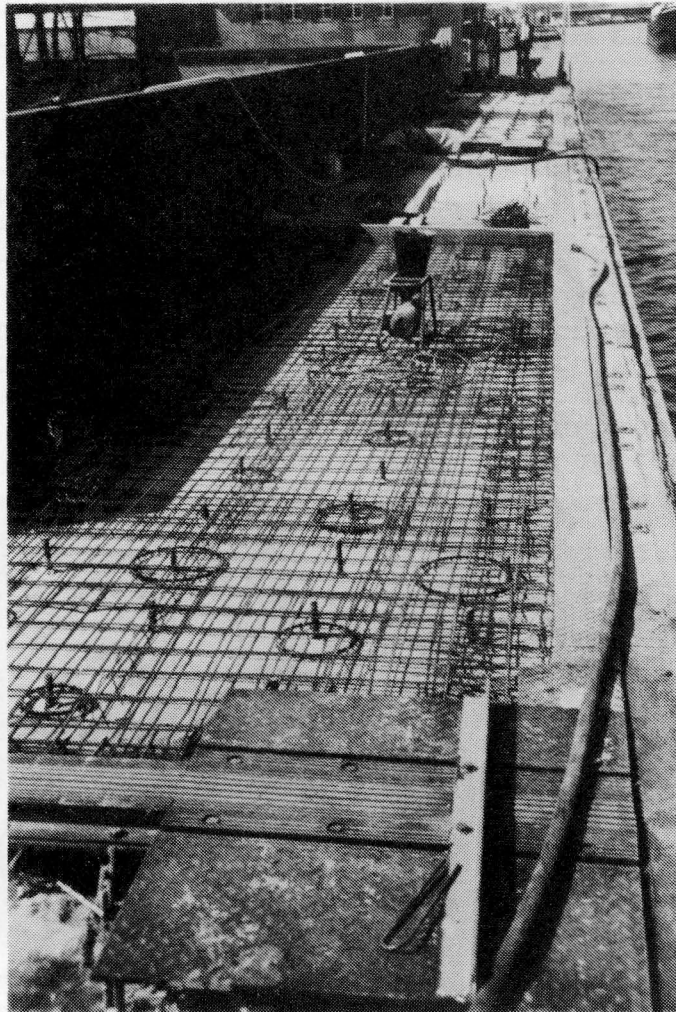


Bild 33: Instandsetzung der Betriebswege im Flutbrückenbereich; im Vordergrund: neue wasserdichte Übergangsfuge

Auf die so vorbereiteten Flächen ist dann ein konstruktiv bewehrter, ca. 20 cm dicker Ortbeton B 25 mit hohem Frost- und Tausalz widerstand aufgebracht worden. Die Oberflächen haben quer zur Laufrichtung ein 3%iges Gefälle und zur Verbesserung der Griffbarkeit einen Besenstrich erhalten.

Zur Vermeidung von Rissen wurde die neue Platte mit 20 cm tief eingeschnittenen Raumbfugen im Abstand von ca. 9,00 m zwischen den Gelenk-Übergangsfugen und mit 6 cm tiefen Querscheinfugen im Abstand von ca. 2,00 m versehen (insgesamt etwa 1100 m). Diese Fugen sind zum Schutz gegen eindringende Feuchtigkeit elastisch abgedichtet worden.

3.3.4 Übergangsfugen

Über den Gelenken der Dreigelenkbögen in der Unterkonstruktion an den Kämpfern und im Scheitel mußten sowohl in den Betriebswegen als auch in der Sohle der Arkadengänge neue Übergangsfugen eingebaut werden. Hierfür wurde eine wasserdichte Ausführung mit + 20 mm Verschiebungsweg und einem NEOPRENE-Dehnprofil gewählt. Zur Konservierung sind 2 Grundbeschichtungen Zinkstaub mit je 40 mym und 2 Deckbeschichtungen Teer-Epoxid mit je 120 mym aufgetragen worden.

3.3.5 Arkadengänge

Im Strombrückenteil mußten die Stahlbetonrahmen, -brüstungen und -trogaußenwandflächen instandgesetzt werden. Nach der Reinigung der Oberflächen sowie der Riß-Verpressung (ca. 450 m) wurde auf diese Bauteile im Naßspritzverfahren eine mindestens 3 cm dicke Spritzbetonschicht (insgesamt ca. 1600 qm) aufgebracht. Zur Erneuerung der Sohle in den Arkadengängen des Flutbrückenteils sind der alte schadhafte Asphaltbelag sowie abgängige Betonteile abgebrochen und danach ein ca. 10 cm dicker frost- und tausalzbeständiger Fließbeton B 25 (ca. 700 qm) eingebaut worden.



Bild 34: Spritzbetoninstandsetzung in den Arkadengängen im Strombrückenbereich

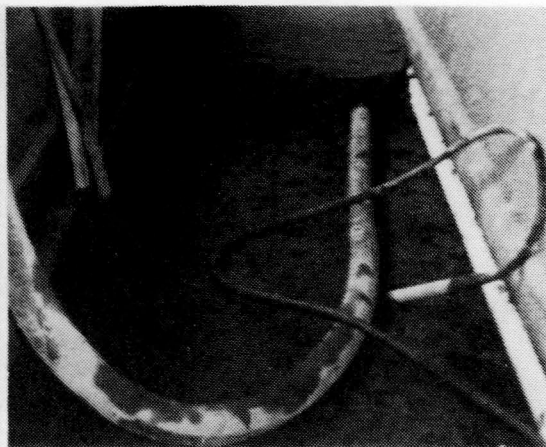


Bild 35: Erneuerung der Arkadengangsohle im Flutbrückenbereich mit Fließbeton

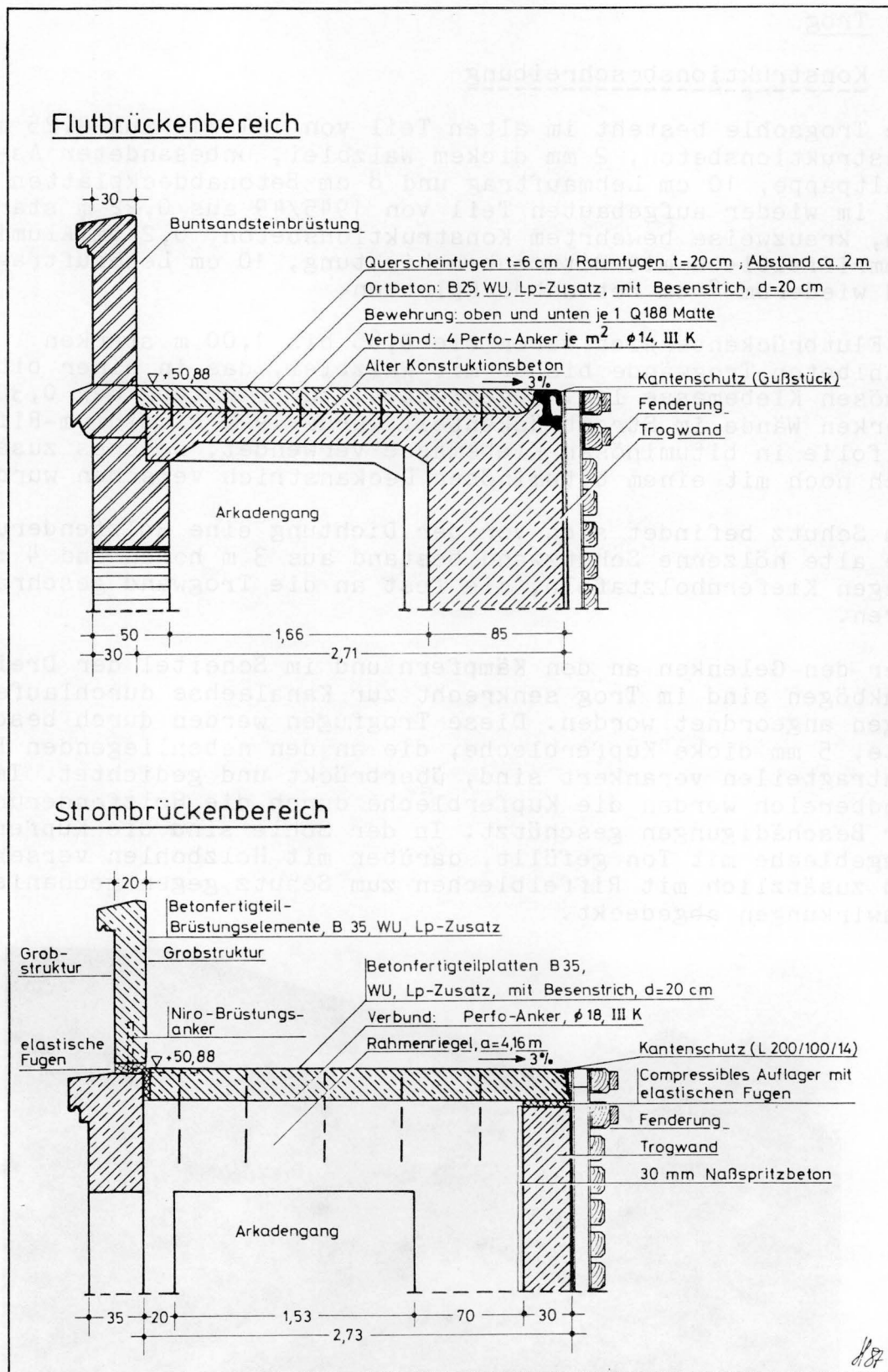


Bild 36: Neuer Aufbau der Betriebswegplatten

4 Trog

4.1 Konstruktionsbeschreibung

Die Trogsohle besteht im alten Teil von 1911/14 aus 0,25 m Konstruktionsbeton, 2 mm dickem Walzblei, unbesandeter Asphaltpappe, 10 cm Lehmauftrag und 8 cm Betonabdeckplatten und im wieder aufgebauten Teil von 1945/49 aus 0,22 m starkem, kreuzweise bewehrtem Konstruktionsbeton, 0,2 mm Aluminiumriffelblech mit Bitumenbeschichtung, 10 cm Lehmauftrag und wiederum 8 cm Betonabdeckplatten.

Im Flutbrückenbereich waren die 0,85 bis 1,00 m starken Stahlbeton-Trogwände bisher mit Walzblei, das in einer bituminösen Klebmasse lag, abgedichtet. Zur Dichtung der 0,30 m starken Wände im Strombrückenteil wurde 1949 Aluminium-Riffelfolie in bituminöser Klebmasse verwendet, welches zusätzlich noch mit einem bituminösen Deckanstrich versehen wurde.

Zum Schutz befindet sich vor der Dichtung eine Holzfenderung. Die alte hölzerne Schutzwand bestand aus 3 m hohen und 4 m langen Kiefernholztafeln, die fest an die Trogwand geschraubt waren.

Über den Gelenken an den Kämpfern und im Scheitel der Dreigelenkbögen sind im Trog senkrecht zur Kanalachse durchlaufende Fugen angeordnet worden. Diese Trogfugen werden durch beschichtete, 5 mm dicke Kupferbleche, die an den nebenliegenden Betontragteilen verankert sind, überbrückt und gedichtet. Im Wandbereich werden die Kupferbleche durch die Holzfenderung vor Beschädigungen geschützt. In der Sohle sind die Kupferhängebleche mit Ton gefüllt, darüber mit Holzbohlen versehen und zusätzlich mit Riffelblechen zum Schutz gegen mechanische Einwirkungen abgedeckt.

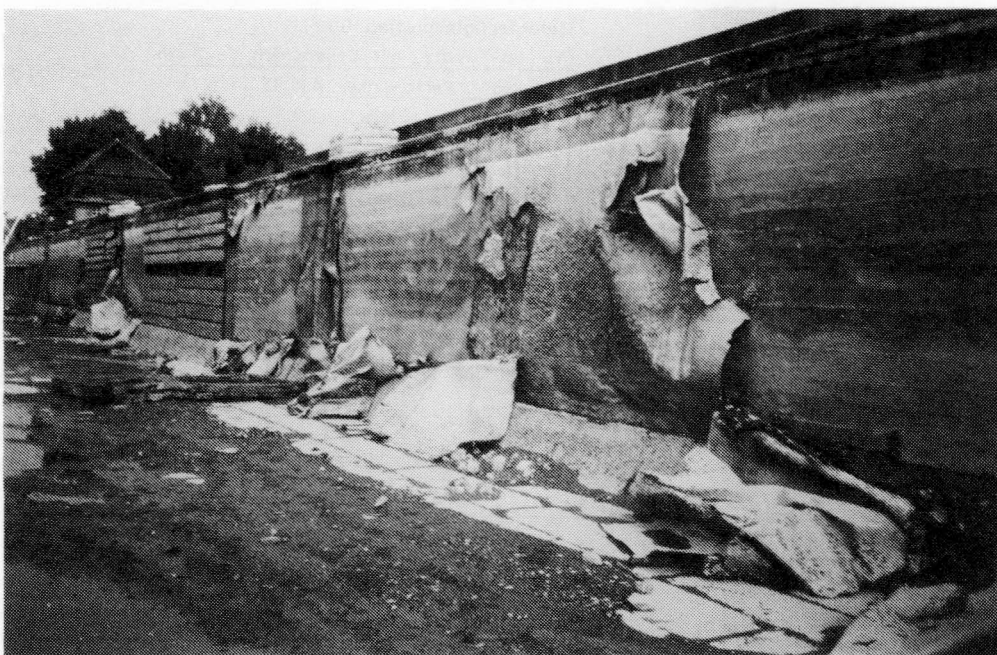


Bild 37: Trog mit Wanddichtung (Blei) und Holzfenderung (Teile)

4.2 Bauwerksprüfung und Beurteilung

4.2.1 Trogsohle

Die Sohlendichtung, einschließlich Bettung und Überdeckung, befand sich bei der Überprüfung im alten und neuen Teil gegenüber früher in einem unveränderten Zustand und ist somit voll funktionsfähig. Die Abdeckung aus Ton/Lehm und Betonplatten hat sich offensichtlich gut bewährt.

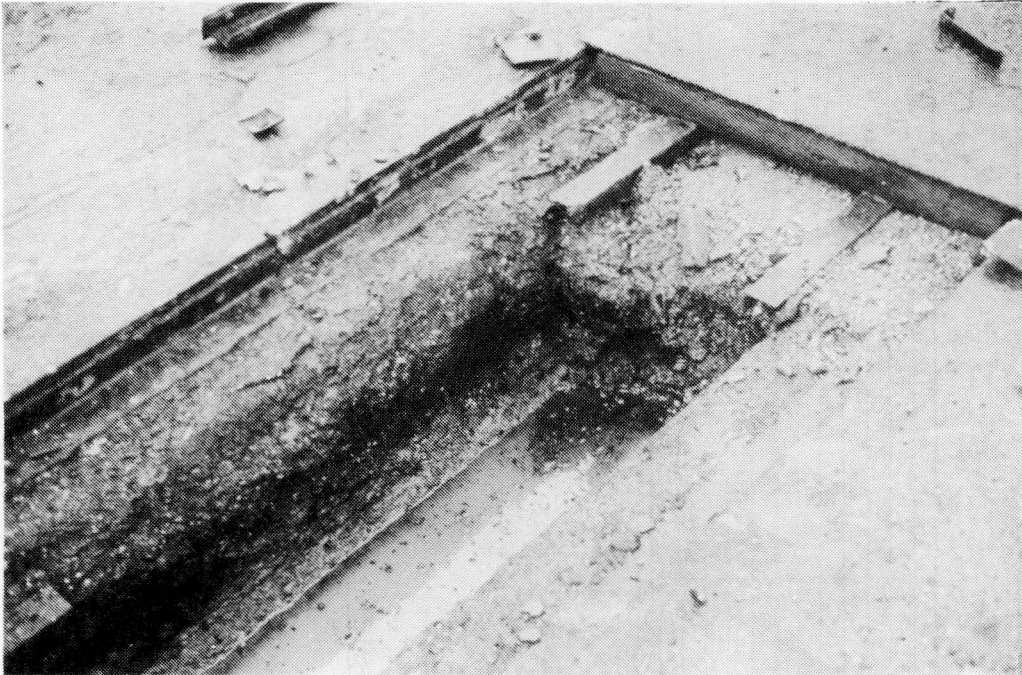
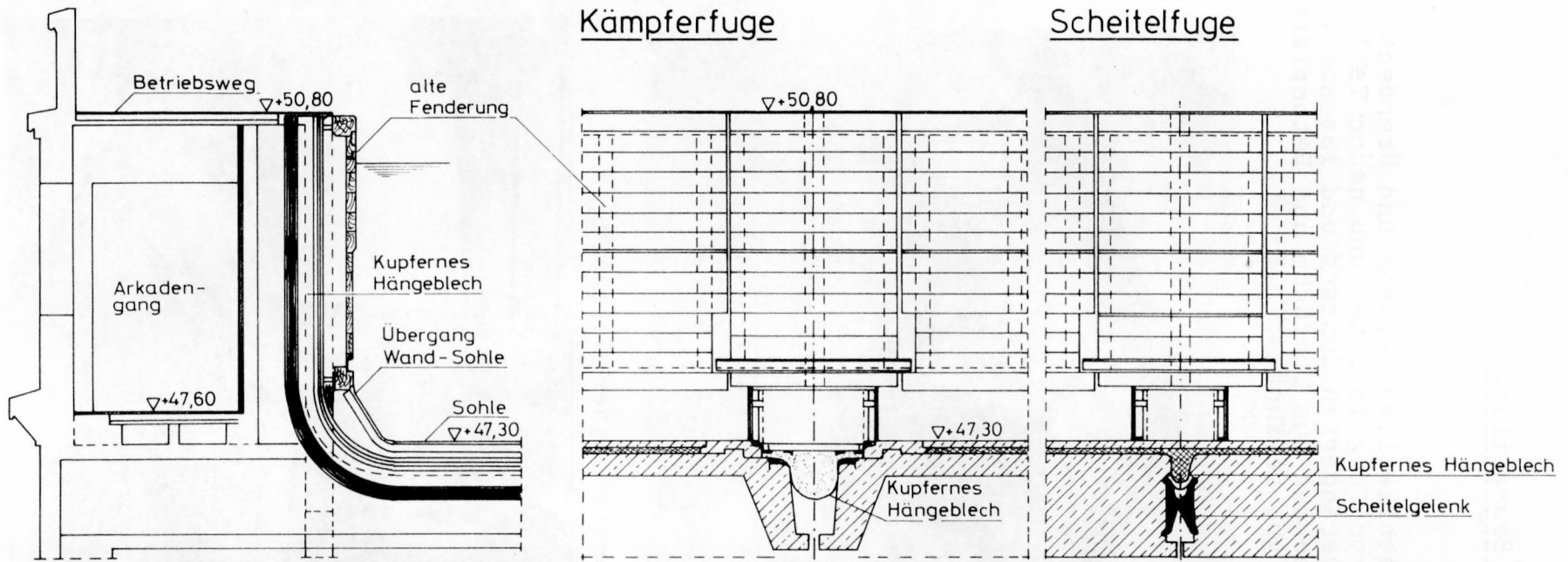


Bild 38: Trogsohle im Bereich einer Gelenkfuge



Bild 39: Trogsohle im Bereich einer Gelenkfuge (Wandanschluß)

Bild 40: Trogquerschnitt in einer Gelenkfuge (über dem Strompfeiler)



Detail: Kämpferfugen-Dichtung

Detail: Schloß der Kämpferfugen-Dichtung

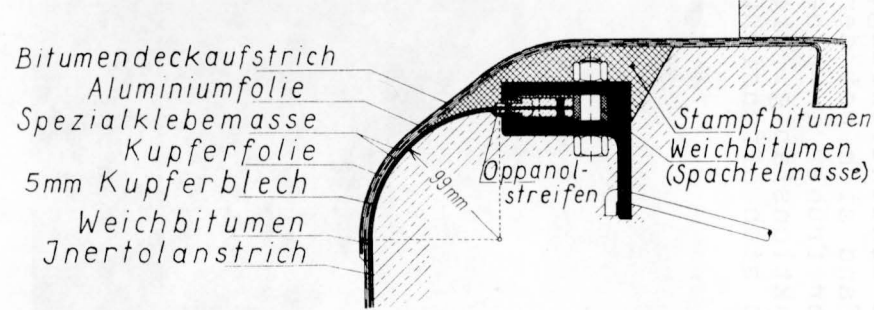
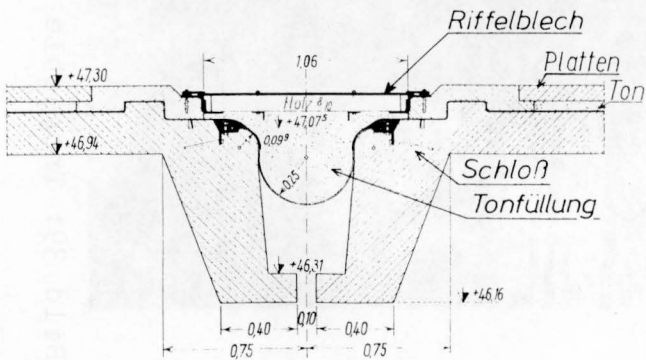


Bild 40: Trogquerschnitt in einer Gelenkfuge (über dem Strompfeiler)

Ho 37

4.2.2 Trogwände

4.2.2.1 Betonuntersuchungen

Zu Betonuntersuchungen wurden aus den Trogwänden an der Troginnenseite 4 Bohrkerne entnommen. An drei Bohrkernen ist überprüft worden, ob Chlorid-Ionen in den Beton eingedrungen sind.

In der Oberflächenzone der Trogwandung wurde ein Chloridgehalt ermittelt, der den zulässigen Grenzwert überschritt. Eine tiefere Chloriddiffusion war offensichtlich noch nicht eingetreten, da Anzeichen einer Korrosion an der Bewehrung der Trogwände nicht festgestellt wurden.

Da einerseits die Passivschichten um die Bewehrung noch nicht gestört waren, andererseits aber ein Fortschreiten der Carbonatisierung mit einem späteren Angriff der Passivschichten nicht auszuschließen war, mußten neue Schutzmaßnahmen vorgesehen werden.

Die Wasserundurchlässigkeit der Betone nach den Prüfkriterien der DIN 1048 war nur zum geringen Teil gegeben. Die Bohrkerne aus den Trogwänden waren bei einem Wasserdruck von 7 bar durchlässig, d.h. eine Wassersäule von 70 m führte nach kurzer Zeit zu einer Durchfeuchtung des Betons.

Die Wassersäule im Trog selbst beträgt bei angespanntem Wasserspiegel jedoch nur 3 m und die Trogwanddicke im neuen Brückenteil 30 cm, so daß am Bauwerk eine wesentlich geringere Wasserdruckbelastung bei größeren Querschnitten vorliegt, die bisher zu keinen Wasserdurchtritten durch die Trogwandung geführt hat.

4.2.2.2 Wanddichtung

Bei den Untersuchungen wurde der Trogdichtung besondere Aufmerksamkeit gewidmet, da diese für die Beständigkeit des Bauwerks von großer Bedeutung ist.

Die Wanddichtung aus Walzblei an den alten Trogwänden erwies sich ebenso wie die Dichtung aus Aluminiumblech an den erneuerten Trogwänden als insgesamt völlig unwirksam. Erste Schäden in der Bleidichtung wurden bereits 1927 festgestellt, so daß nach dem nun angetroffenen Zustand bei beiden Dichtungen von einem bereits frühzeitigen Versagen ausgegangen werden konnte.

So führten offensichtlich bereits geringe Leckstellen infolge von Materialfehlern oder lokalen Beschädigungen bei schnellen Änderungen des äußeren Wasserdrucks infolge Schiffsvorbeifahrt oder Windwellen zu einem Überdruck hinter der Dichtung, der von der bituminösen Klebemasse nicht aufgenommen werden konnte. Die Dichtung löste sich nach und nach von der Trogwand und blieb wirkungslos hinter der Holzfenderung liegen.

4.2.2.3 Folgerungen

Da diese Schäden vermutlich jeweils kurze Zeit nach der Inbetriebnahme entstanden sein dürften, ergab sich daraus die Folgerung, daß die eigentliche Dichtung des Troges praktisch während der gesamten bisherigen Nutzungszeit unmittelbar vom Beton der Wände übernommen wurde. Obwohl dabei trotz zahlreicher Haarrisse bisher keine nennenswerten Undichtigkeiten entstanden waren, bot dieser Zustand keine Gewähr für eine weitere mittelfristige Nutzung, so daß eine Erneuerung der Dichtung notwendig war.

4.2.3 Trogfugen

4.2.3.1 Materialuntersuchungen

Aus den für den weiteren Betrieb der Kanalbrücke wichtigen Kupfer-Hängeblechen wurden Materialproben entnommen. Die Kupfer-Hängebleche selbst befanden sich in einem Zustand, der auf keinerlei Schwächungen schließen ließ. Planmäßig waren im alten und neuen Brückenteil Kupferbleche im Fugenbereich mit einer Wanddicke von 5 mm und einer Zugfestigkeit von 220 MN/qm vorgesehen.

Zerstörungsfreie Wanddicken-Messungen mit Ultraschall ergaben an allen außerhalb des Wassers zugänglichen Stellen keine wesentlichen Abweichungen von den planmäßigen Wanddicken.

Die geforderte Zugfestigkeit bzw. Bruchspannung lag mit $239 \pm 22,9$ MN/qm im Mittel über dem Sollwert von 220 MN/qm und sie wurde nur von 3 Proben um maximal 5 MN/qm knapp unterschritten. Die Unterschreitung des Sollwertes war so gering, daß eine Materialschwächung oder -ermüdung der Kupferhängebleche weder vorliegt noch für eine weitere Nutzungszeit zu erwarten ist.

4.2.3.2 Fugendichtung

Die Dichtungen im Bereich der Bauwerksfugen befanden sich im alten und neuen Brückenteil im Bereich der Sohlen- und Wandübergänge in unterschiedlichem Zustand. An den Sohlenübergängen wurden außer z.T. schadhaften Abdeckplatten keine Veränderungen festgestellt.

Im Bereich der Trogwände war dagegen die in den Fugenbereichen aufgebraachte Isolierung völlig unwirksam, so daß die eigentliche Dichtung unmittelbar von den Kupferblechen übernommen wurde.

Wie bei den Trogwänden konnte auch hier davon ausgegangen werden, daß dieser Zustand vermutlich während der gesamten bisherigen Nutzungszeit bestand.

Die bituminöse Isolierung war im unteren Bereich der vertikalen Fugen z.T. noch vorhanden und fest mit dem Kupferblech verbunden.

Die Verankerung der Hängebleche wies in den Wandbereichen erhebliche Korrosionsschäden auf. Die dort festgestellten lokalen Korrosionen ließen auf eine beginnende Schwächung der Isolierung schließen.

Durch elektrochemische Reaktionen zwischen den dicht benachbarten unterschiedlichen Metallen wuchs die Gefahr einer weiteren Korrosion, wodurch in erster Linie die Klemmplatten und Bolzen der Verankerung gefährdet wurden. Deshalb mußten die Fugen in den Wandbereichen instandgesetzt werden.

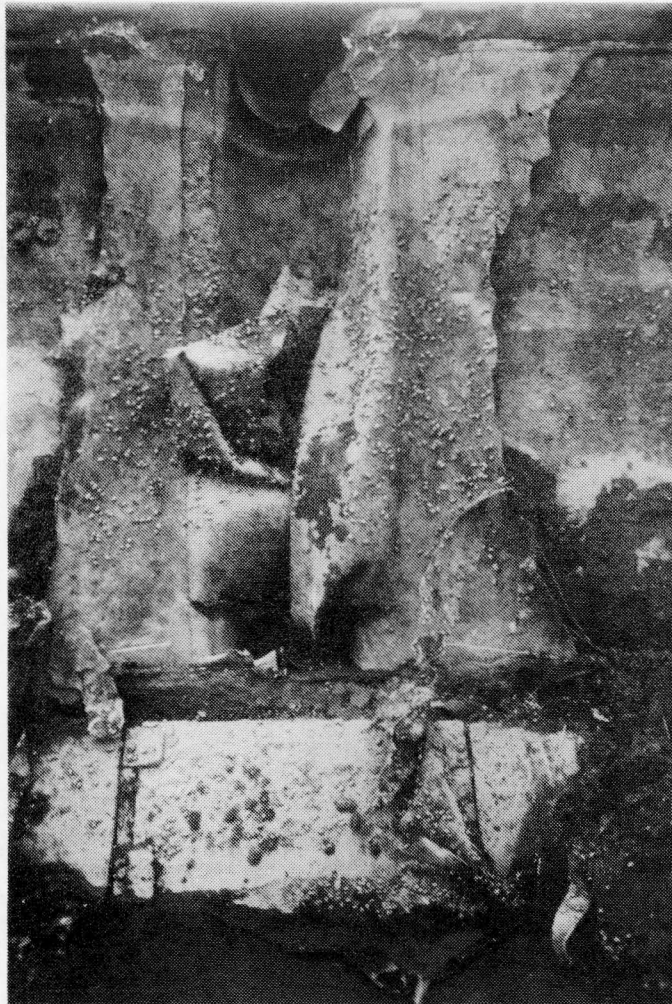


Bild 41: Zustand der Fugendichtung im Wandbereich



Bild 42: Zustand der Wandfuge über dem Scheitelgelenk



Bild 43: Zustand der Wandfuge über dem Kämpfergelenk

4.2.4 Trogfenderung

Die aus Nadelholz bestehende Fenderung der Trogwände war durchweg abgängig. Sie zeigte durch natürlichen Abbau der Holzsubstanz und infolge der bei Schiffsdurchfahrt entstehenden Belastungen so starke Schäden auf, daß sie nicht mehr als flächenhafter Schutz der Trogwände wirken konnte.

Die morsche Fenderung barg vielmehr die Gefahr, daß beim Anfahren durch Schiffe Teile der Fenderung herausgerissen und in die Fugendichtung gedrückt werden konnten.

Somit war eine Erneuerung der gesamten Fenderung unumgänglich.

4.2.5 Folgerungen

Der Zustand der Trogwände, insbesondere der Wanddichtung und Fenderung erforderte eine Instandsetzung, die ebenso wie die Erneuerung der Betriebswege und Arkadengänge in die Dringlichkeitsstufe 3: "Maßnahmen zur Erhaltung der mittelfristigen Tragfähigkeit und Betriebssicherheit des Bauwerkes" eingeteilt wurde.

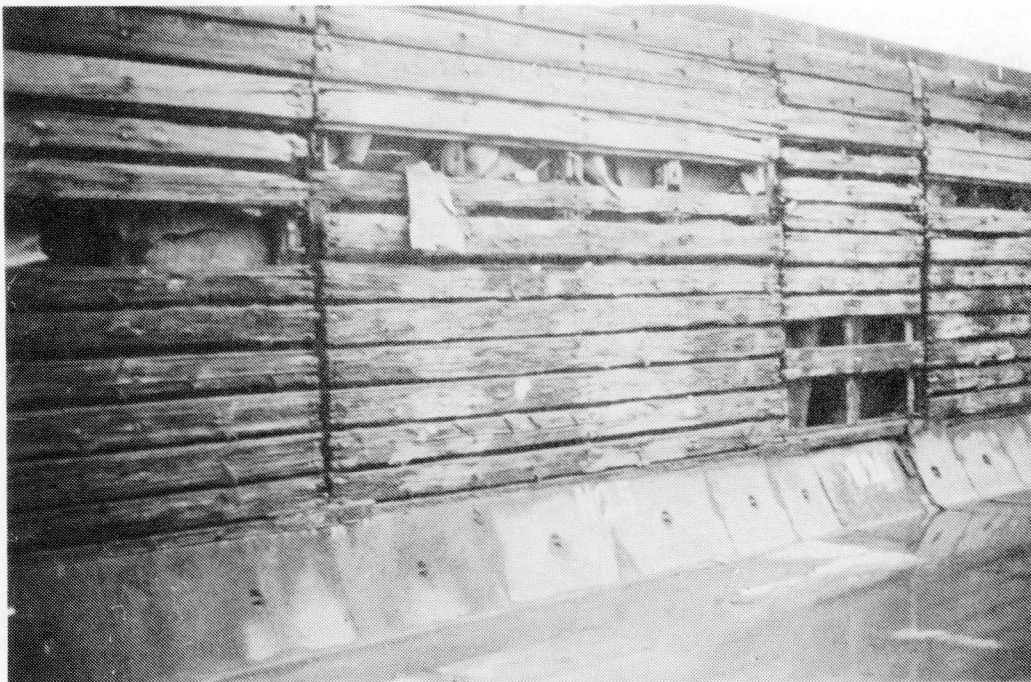


Bild 44: Zustand der Holzfenderung im Trog

4.3 Instandsetzungsmaßnahmen und Bauausführung

4.3.1 Allgemeines

Zur Instandsetzung des Brückentroges wurde der gesamte Trog vom 01. Juni bis zum 20. August 1984 durch Setzen der Notverschlüsse (siehe Kapitel 1) trockengelegt. Hierzu mußte der Mittellandkanal an der Brücke voll gesperrt werden.

Der Schiffsverkehr konnte über den Nord- und Südadstieg in Minden umgeleitet werden (siehe Kapitel 0 - Lageplan), so daß die Schifffahrt zwar behindert wurde, aber nicht völlig zum Erliegen kam. Die Arbeiten an den Brückentrogteilen standen unter einem großen Zeitdruck, da nur eine kurze Sperrfrist eingeräumt werden konnte. Zur Instandsetzung des Troges mußten insgesamt 2,4 Mio. DM aufgewendet werden.

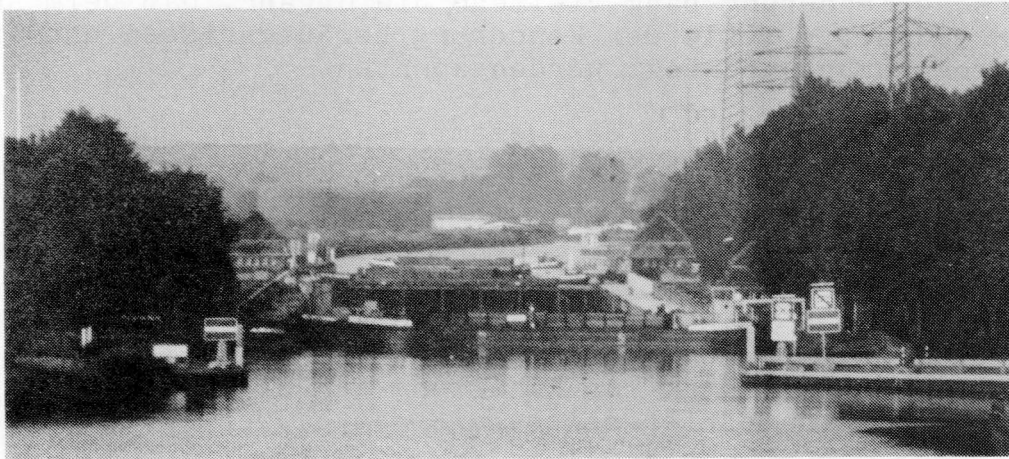


Bild 45: Kanalbrücke mit dem trockengesetzten Trog

4.3.2 Trogsohle

Die 7750 qm Sohlfläche wurden gereinigt und gründlich untersucht. Aufgrund des guten Zustandes der Sohldichtung brauchten nur örtlich einzelne Ausbesserungen an beschädigten Betonabdeckplatten vorgenommen zu werden.



Bild 46: Ausbesserung einiger Betonplatten in der Trogsohle

4.3.3 Trogwände

Aufgrund der festgestellten Betonqualität war es vertretbar davon auszugehen, daß sich auch im Laufe der weiteren mittelfristigen Nutzungsdauer von ca. 15 - 20 Jahren die Materialeigenschaften nicht wesentlich verschlechtern würden und die Betonwände alleine die Dichtigkeit gewährleisten könnten. Deshalb wurde darauf verzichtet, eine aufwendige neue Dichtung einzubauen, die neben dem Kostenaufwand auch längere Trockenlegungszeiten des Brückentroges mit den damit verbundenen Verkehrsbeschränkungen zur Folge gehabt hätte.

1983 wurden von der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) Karlsruhe für die neue Trogwandbeschichtung 12 Anstrichstoffe von verschiedenen Herstellerfirmen geprüft. Hierbei wurden ca. 3500 Einzelproben, welche sowohl im Labor, als auch in freier Luft gelagert wurden, auf Haftzugfestigkeit, Wasserundurchlässigkeit, Frostbeständigkeit in 4 Stufen und auf Abrieb untersucht.

Mit Hilfe der Untersuchungsergebnisse wurde folgendes Beschichtungsprogramm für die Trogwände ausgewählt (analog DIN 55928; hier für Stahlbeton!):

1. Oberflächenvorbereitung:

- a) Abbau der alten Holzfenderung, Säuberung der Wände vom Walzblei/ Aluminium-Riffelfolie und Strahlen der Wände (ca. 2000 qm zu reinigende Fläche)
- b) Verpressen von ca. 170 m Wandrissen mit Epoxidharz

2. Beschichtung: (Sollschichtdicke 800 mym)

- a) Grundbeschichtung: "ICOSIT-Kunststoff 150"
 - b) Kratzspachtelung: "INERTOL-Poxitar Mörtel 100 F"
 - c) 1. Deckbeschichtung: "INERTOL-Kunststoff 100 F, schwarz"
 - d) 2. Deckbeschichtung: "INERTOL-Kunststoff 100 F, rot"
 - e) 3. Deckbeschichtung: "INTEROL-Kunststoff 100 F, schwarz"
- Applikation (Auftragen) der Beschichtungen, außer der Kratzspachtelung, im Airless-Verfahren (Höchstdruckspritzen).



Bild 47: Prüfung verschiedener Wandbeschichtungsstoffe

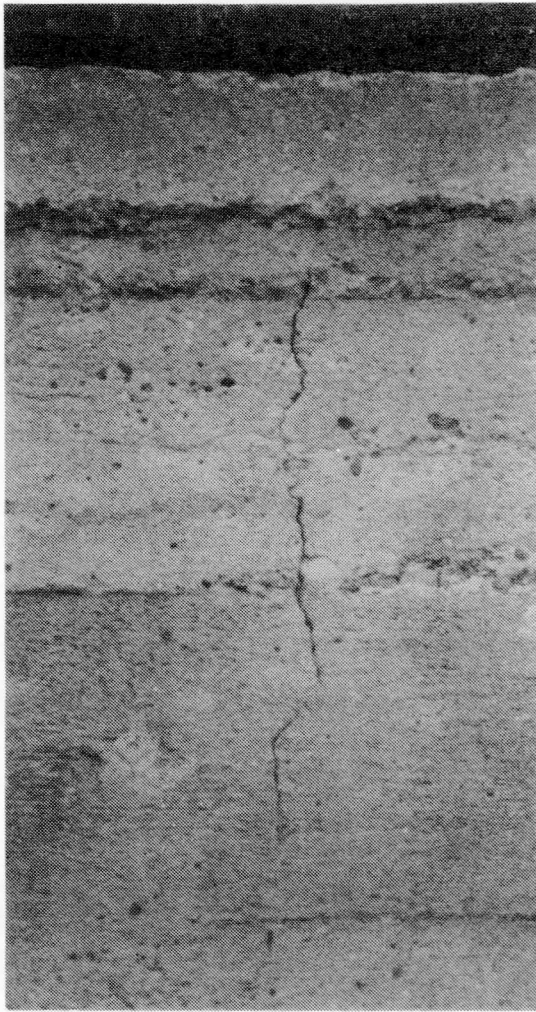


Bild: 48: Riß in der Stahlbetonwand



Bild 49: Mit Kunstharz verpresster Riß



Bild 50: Detail; eingebohrte Packer zur Rißverpressung



Bild 51: Aufbringen der neuen Wandbeschichtung; hier: Grundierte Wandflächen und Auftragen der Kratzspachtelung

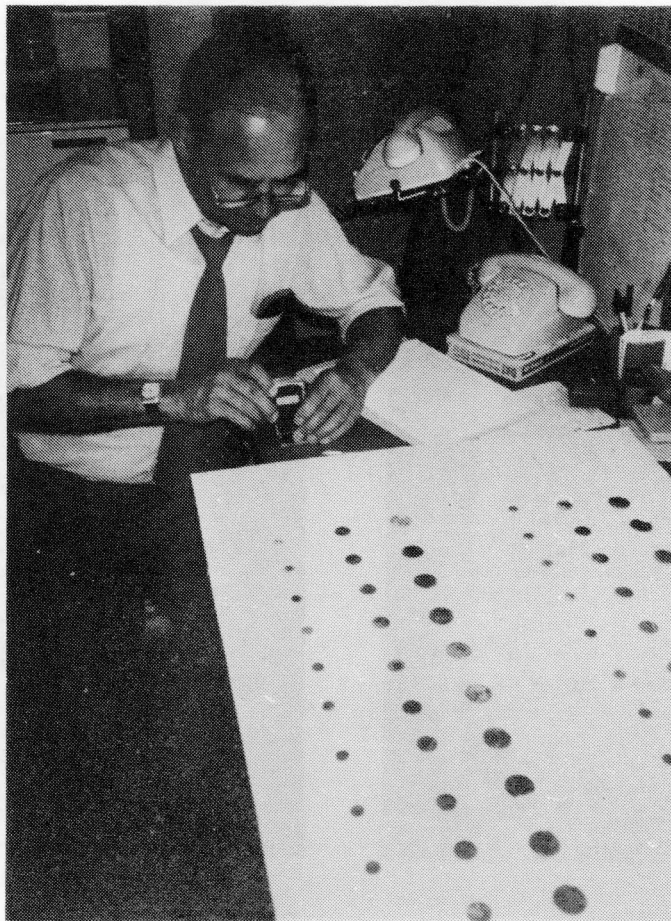


Bild 52: Prüfung der Soll-Schichtdicken der Wandbeschichtung an entnommenen Kernbohrproben mit einem Elcometer

4.3.4 Trogfugen

Um einer fortschreitenden Korrosion der Kupfergelenkrinnenverankerung durch das Kanalwasser entgegenzuwirken, wurden die Trogfugen in den senkrechten Wandbereichen folgendermaßen instandgesetzt:

1. Oberflächenvorbereitung:
Säubern der Rinnen von der abgängigen Walzblei- und Aluminiumriffelblechisolierung und Strahlen der Rinnen (ca. 300 m)
2. Beschichtung:
 - a) Grundbeschichtung: "PREOTHAN-1-K-Grund", ca. 0,2 kg/qm
 - b) Armierung der Übergänge: "TRIFLEX-D-Streifen incl. Vliesarmierung", ca. 2,5 kg/qm
 - c) Deckbeschichtung: "TRIFLEX-D incl. Vliesarmierung", ca. 5 kg/qm

Die Riffelblechabdeckungen in der Sohle über den Kämpfer- und Scheitelgelenken sind gestrahlt, grundiert und beschichtet worden (ca. 650 qm). Außerdem wurde die alte Sohldichtung aus Walzblei bzw. Aluminium-Riffelfolie durch elastische Fugen (etwa 1300 m) an die neue Wandbeschichtung angeschlossen und abgedichtet.

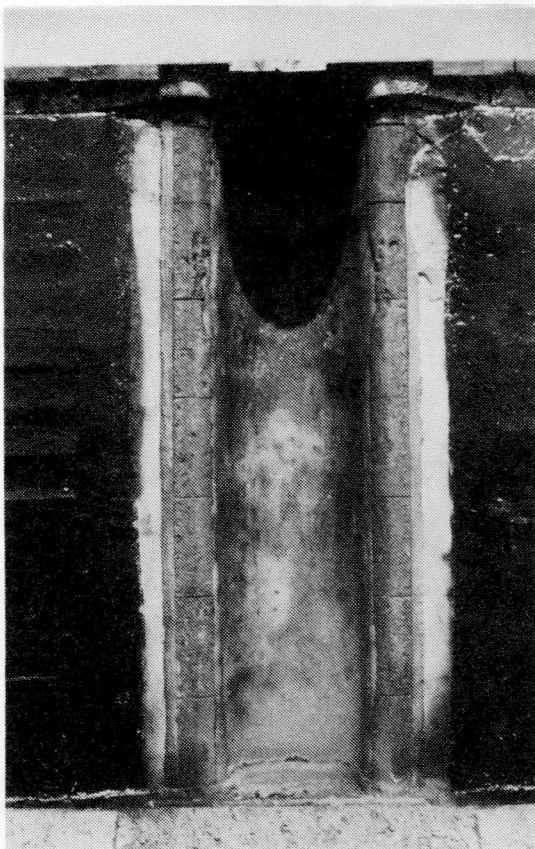


Bild 53: Kupfer-Hängerinnen im Wandbereich nach der Säuberung

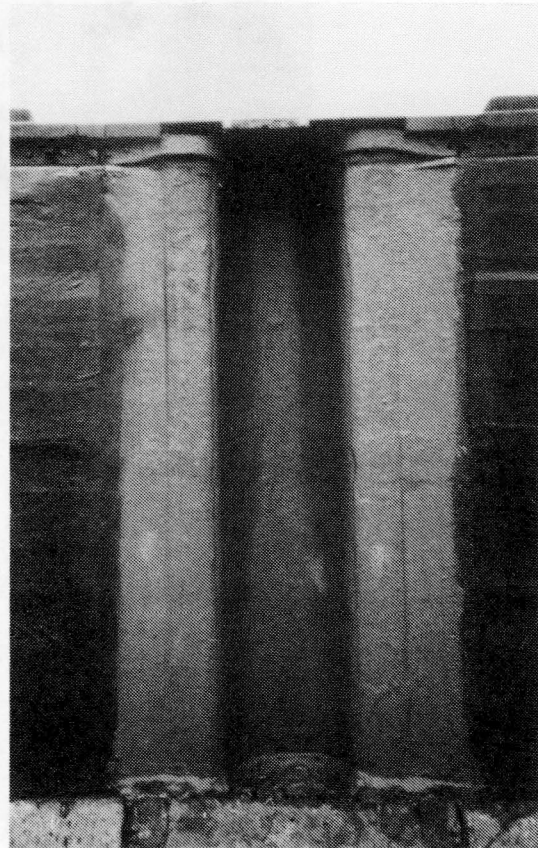


Bild 54: Kupfer-Hängerinnen im Wandbereich nach der Beschichtung

4.3.5 Trogfenderung

Zur Erneuerung der Trogfenderung wurden zahlreiche Alternativen ausgearbeitet. Statt der bisherigen vollen Fenderwand kam als weitere Möglichkeit auch ein Gleitschutz nur im oberen Bereich der Trogwände in Betracht. Dieser Schutz hätte die Hauptaufgaben der Fenderung ebenfalls erfüllt, nämlich eine Gefährdung der Trogwände durch Schiffsanfahrungen zu verhindern. Im unteren Trogwandbereich wäre die Betonkonstruktion sowie die Wandbeschichtung dann jedoch nicht mehr vor "neuzeitlichem" Treibgut (Mofas, Motorräder, Tonnen u.ä.) geschützt gewesen.

Deshalb ist die neue Fenderung ebenso wie die alte Holzschutzwand wiederum als Gesamt-Wandkonstruktion ausgebildet worden. Hierfür wurden Stahl-Holz-Fertigelemente gewählt, die im Gegensatz zur alten Fenderung auch bei gefülltem Brückentrog ausgewechselt werden können.

Die 2,90 m hohen und 2,25 bis 3,25 m langen Einzelemente sind aus senkrechten Formstahl-Hauptträgern IPB 140, St 37 und darauf kraftschlüssig mit Nirostahl verschraubten 100/200 mm dicken Bongossihölzern zusammengesetzt worden. Im oberen Anfahrbereich haben die Bauteile eine Verstärkung durch Formstahlprofile [220, St 37, sowie Bongossihölzer 150/190 mm mit aufgeschraubten Gleitleisten aus Spezial-Polyäthylen erhalten.

Zur Führung der Elemente wurden Schienen aus zusammengesetzten geschweißten Formstahlprofilen St 37 mit M 16 Klebeankern aus Nirostahl an den Trogwänden befestigt.

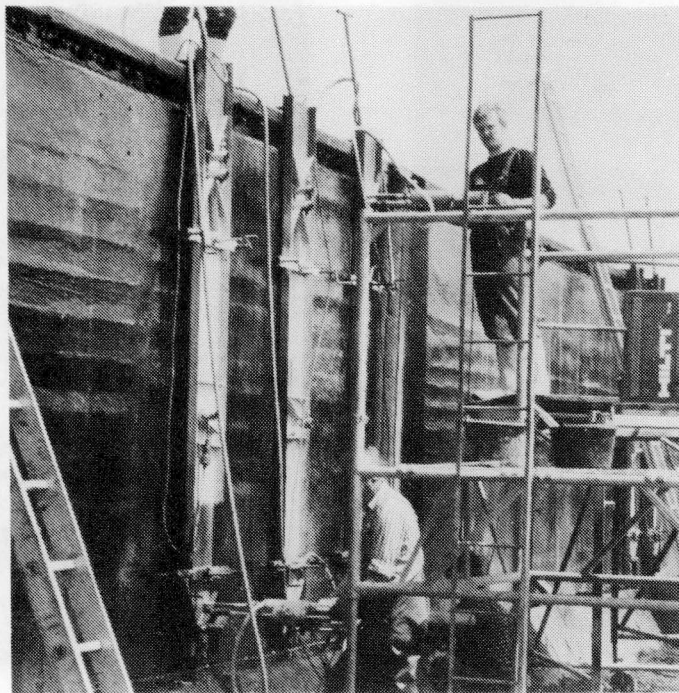


Bild 55: Bohren der Ankerlöcher für die Führungsschienen der Fenderung mit Bohrschablonen

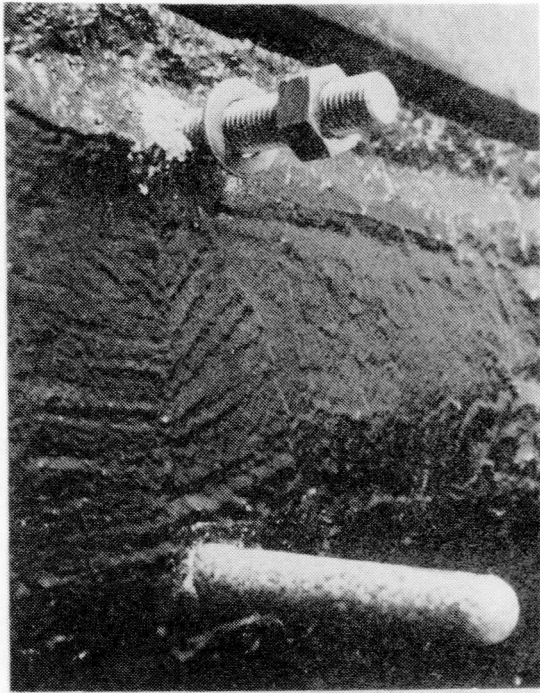


Bild 56: Einsetzen der Schienenverankerung (Klebeanker)

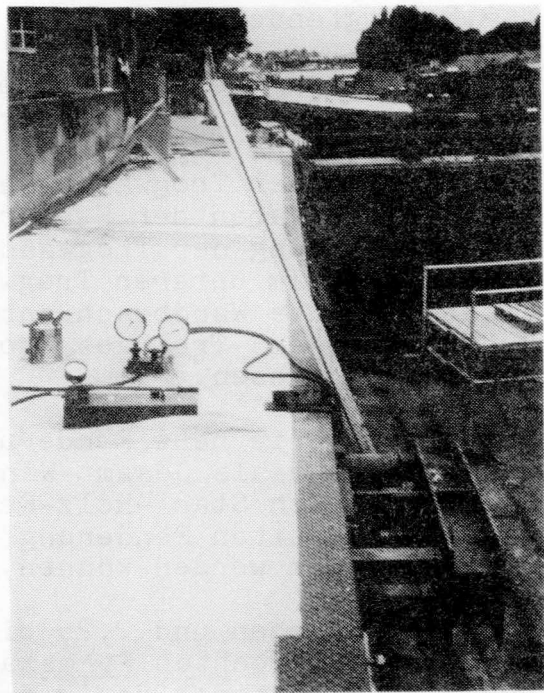


Bild 57: Prüfung der Ankerzugkraft an der Trogwand

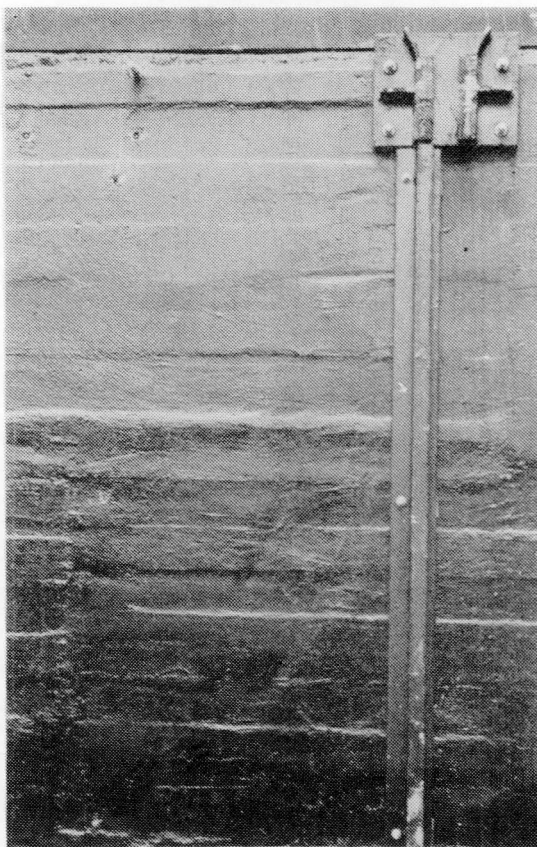


Bild 58: An der Trogwand verankerte Federungs-Führungsschiene

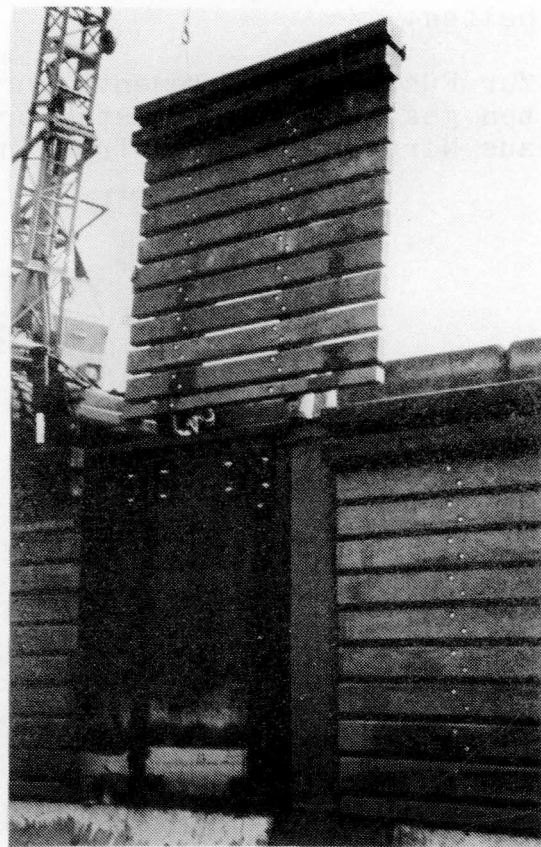


Bild 59: Einsetzen eines vormontierten Federelementes in die Führungsschienen

5 Sonstige Arbeiten

Die Natursandsteinflächen der 75 Jahre alten Kanalbrücke wiesen zahlreiche örtliche Schäden auf. Als Instandsetzungsmaßnahme wurde unter Beratung durch den Landeskonservator von Nordrhein-Westfalen folgender Oberflächenschutz ausgewählt:

- 1) Strahlen der Wände, Brüstungen, Aufbauten etc. mit Hochdruck-Heißwasser (ca. 7500 qm)
- 2) Ausstemmen zerstörter Sandsteinflächen und loser Fugenteile, sowie Steinersatz und Neuverfugung
- 3) Imprägnierung durch Fluten in zwei- bis dreifachem Arbeitsgang mit einem wasserabweisenden, tausalzbeständigen Hydrophobierungsmittel.

Zur baulichen Anpassung der sanierten grauen Betonflächen an den rötlichen Quarzsandstein der alten Oberflächen ist ein Beton-Farbanstrich auf alle äußeren Alt-, Spritz-, Struktur- und Fertigteilbetonflächen aufgebracht worden:

- 1) Strahlen der Betonflächen mit Hochdruck-Heißwasser (ca. 3000 qm)
- 2) Untersuchen und Ausbessern der Altbetonflächen (soweit dieses nicht schon geschehen war)
- 3) Mehrschichtiger Farbanstrich:
 - a) Imprägnierung (Hydrophobierung) mit Siloxanharz
 - b) Grundbeschichtung mit Siloxanharz
 - c) Deckbeschichtung mit Acrylatharz (2-fach)
(Farbton dem Buntsandstein angeglichen)

Die weiteren ausgeführten Maßnahmen werden hier nur aufgezählt, da sie keine Besonderheiten aufwiesen:

- 1) Ersatz der gesamten abgängigen Blitzschutzanlage
- 2) Erneuerung der Dacheindeckung in den vier Bauwerkstürmen über den Widerlagern
- 3) Einbau von Stahltüren und Stahlbeton-Fenster Verschlüssen in den Bauwerkstürmen und Treppenhäusern. (Schutz des Bauwerks gegen Vandalismus - Die Arkadengänge sind für den öffentlichen Fußgängerverkehr nicht mehr zugänglich).

Diese Arbeiten wurden 1985/86 ausgeführt und haben etwa 640.000,-- DM gekostet.

Somit sind für die gesamte Grundinstandsetzung der Kanalbrücke 144b rund 6,0 Mio DM erforderlich gewesen, wodurch die weitere mittelfristige Nutzung bis zum Bau einer neuen Kanalbrücke über die Weser ermöglicht wurde.

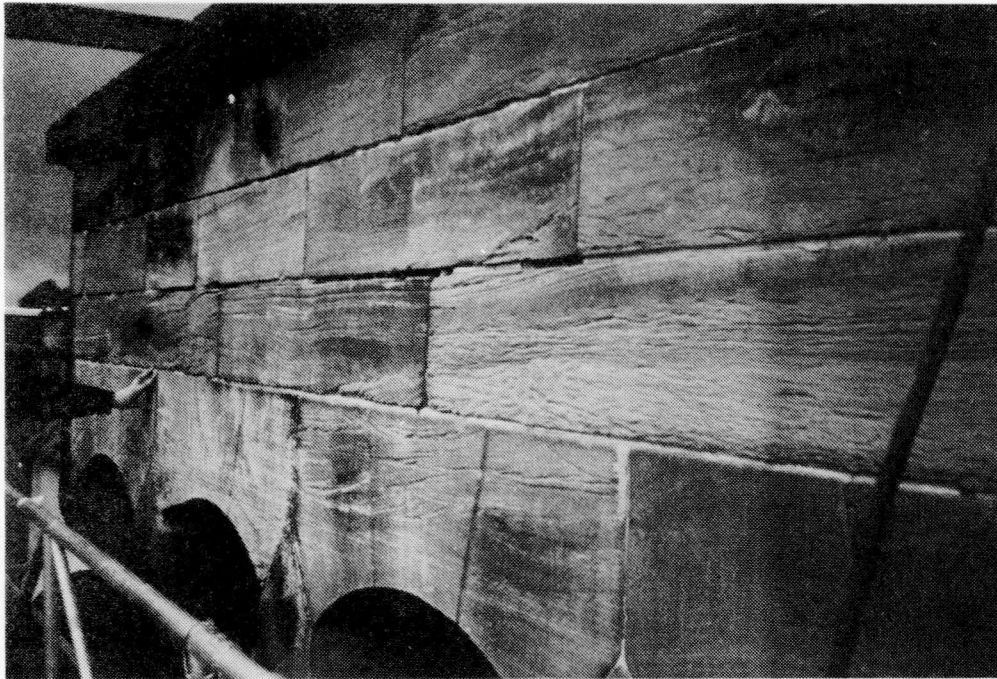


Bild 60: Instandsetzung der Natursandsteinoberflächen

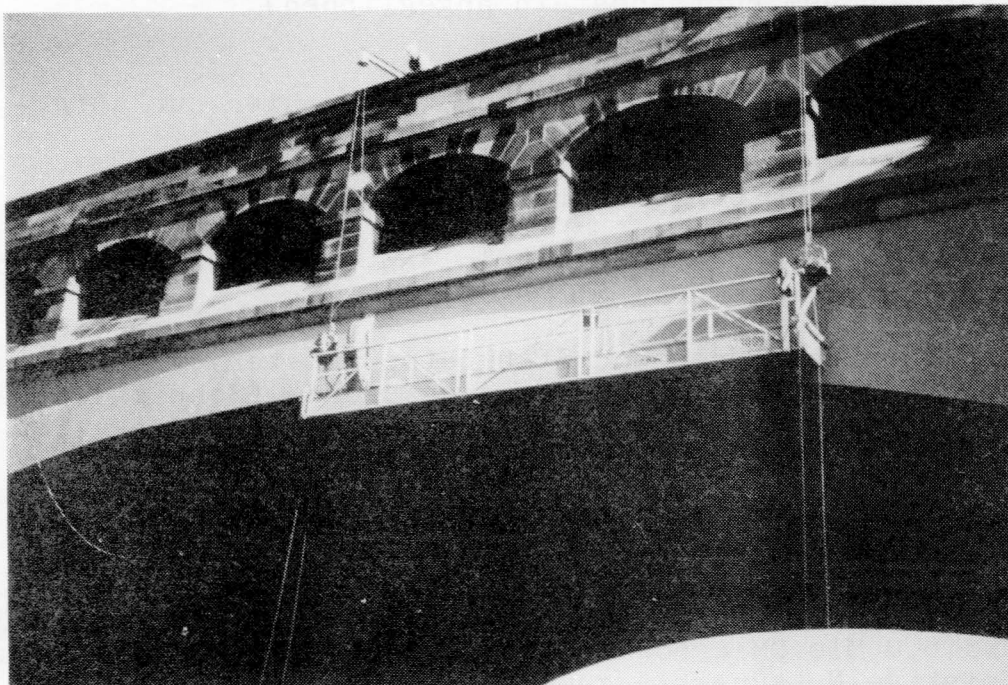


Bild 61: Aufbringen des Betonfarbanstrichs auf die Betonbauteile der Brückenfassade

6 Schlußbemerkungen

Die Grundinstandsetzung der Mittellandkanalbrücke 144b über die Weser in Minden stellt ein Beispiel aus dem heutigen Hauptaufgabengebiet der Bauingenieure in der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV), nämlich der Bauwerkserhaltung, dar.

Zur Erhaltung der Bauwerke mit den dazugehörigen Instandsetzungsmaßnahmen sind umfassende Fachkenntnisse aus allen Bereichen des Bauwesens erforderlich. So mußten beispielsweise bei der Kanalbrücke nebeneinander der Betonbau und Mauerwerksbau (Haupttragwerk), der Stahlbau mit dem Stahlwasserbau (Notverschlüsse, Gelenkfugen u.a.), der Holzbau (Fenderung), die Baustoffkunde mit der Bauphysik (sowie entsprechende Baustoffprüfungen auf der Baustelle und im Labor), die Bauwerks-Meßtechnik, der baubetriebliche Ablauf mit der Kostenrechnung und die schifffahrtstechnischen Maßnahmen, welche jeweils auf das 75 Jahre alte Bauwerk abzustimmen waren, miteinander in Einklang gebracht werden.

Bei der Planung der vielfältigen und zahlreichen Einzelmaßnahmen wurden das Wasser- und Schifffahrtsamt (WSA) Minden und die Wasser- und Schifffahrtsdirektion (WSD) Mitte in Hannover durch die entsprechenden Fachreferate der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) Karlsruhe unterstützt. Durch eine enge Zusammenarbeit der beteiligten Ingenieure wurde die bestmögliche Bestandssicherung für das Bauwerk erreicht.

Im Vordergrund stand bei der Instandsetzung eine möglichst geringe Behinderung des Schiffsverkehrs auf dem Mittellandkanal, was entsprechend kurze Bauzeiten bedingte. Aus diesem Grunde wurden alle Bearbeitungsschritte während der Bauausführung so kurz wie möglich gefaßt.

So lag zum Beispiel zwischen der Einreichung und Prüfung von Ausführungsunterlagen eine Bearbeitungsfrist von höchstens drei Tagen. Bei plötzlich auftretenden, nicht vorhersehbaren Schäden erfolgten kurzfristige Entscheidungen aufgrund einer guten Abstimmung zwischen WSA, WSD und BAW. Prüfungen durch die BAW erfolgten auf Anruf bereits einen Tag später.

Durch eine sorgfältige Planung sowie die gute Zusammenarbeit aller Beteiligten, sowohl auf der Auftraggeber- als auch auf der Auftragnehmerseite, wurde diese Brückeninstandsetzung fristgemäß mit Erfolg abgeschlossen.

Abschließend sei noch ein Zitat von H. SIEBKE zur "Gestaltung von Brücken" angefügt, da auf die Erhaltung der äußeren Form dieses Baudenkmals besonderer Wert gelegt wurde:

"Architekt heißt eben nicht nur,
Neues zu bauen, es heißt auch,
Altes zu halten, zu verändern,
aufzunehmen in die neue Gestalt.
Es bedarf eines großen Einfühlungs-
vermögens des Konstrukteurs und
eines in seinen Beruf vernarrten
Bauunternehmers, eines erfahrenen
Poliers, um alte Bauwerke gekonnt
zu renovieren. Wünschenswert wäre
es auch, wenn Architekten und Bau-
ingenieure die immer wiederkehrenden
Gestaltungsprobleme lehr- und lern-
bar darstellen würden."

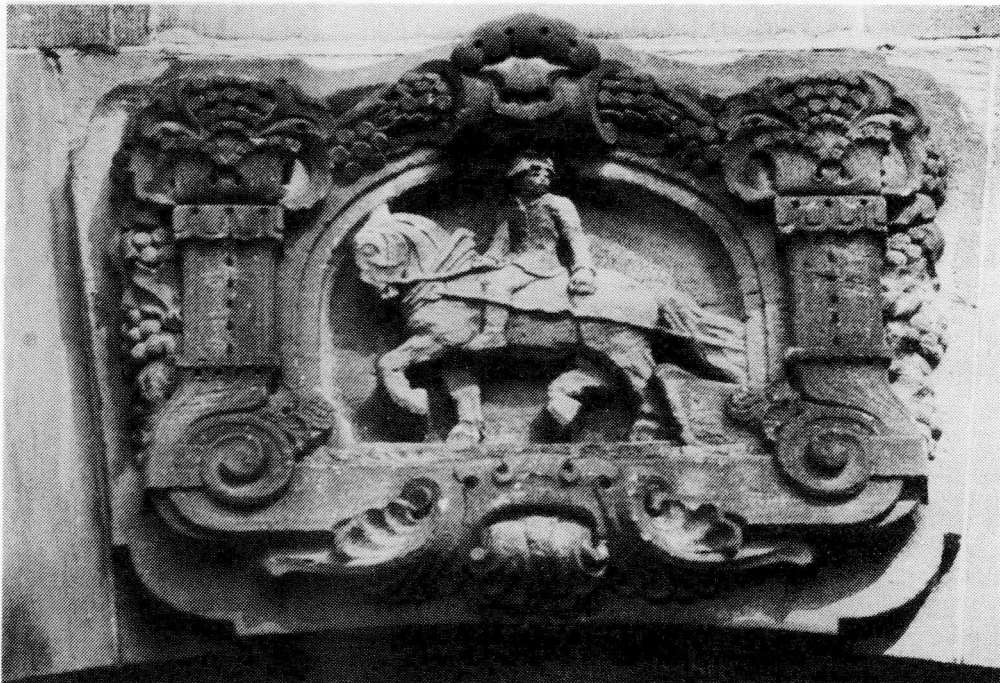


Bild 62: Detail im Natursandsteinmauerwerk der Kanalbrücke:
"Treidel-Verkehr mit Pferd und Reiter"