

Fahrmotoren mit Drehstrom von 0—50 Hz bei max. 380 V und übernimmt durch elektronische Frequenz- und Spannungsregelung die Geschwindigkeitssteuerung. Die Anlage kann im Vierquadrantbetrieb (motorisch oder generatorisch in beiden Richtungen) ggf. mit Rückspeisung in das Netz betrieben werden. Der Umrichter arbeitet nach dem Unterschwingverfahren und kann im Bedarfsfall manuell auf jeden Zwischenwert von 0—50 Hz eingestellt werden. Die Erfahrungen haben gezeigt, daß der motorische Betrieb eine bessere Verfügbarkeit der Anlage gewährleistet, so daß er bevorzugt zur Anwendung kommt.

Die 4 Antriebseinheiten sind durch ein Ausgleichswellensystem mechanisch untereinander verbunden; auch hierdurch ist ein Fahrbetrieb mit nur 2 Antriebsmotoren möglich.

Dem Antriebssystem angeschlossen ist eine Störwerterfassungsanlage. Erst diese läßt mit ihrer elektronischen Datenverarbeitung eine Feststellung von zeitlich gleich oder zeitlich verschoben aufgelaufenen Störungen im Hundertstel-Sekundenbereich zu, die anschließend in der Reihenfolge ihrer Auslösung geschrieben werden. Für eine Störungsauffindung und die Klärung der Ursachen können so die zur Beurteilung der Anlagensysteme erforderlichen Daten aufbereitet werden.

Die Betriebserfahrungen haben gezeigt, daß sinnvoll eingebaute Meßsysteme bei derart komplexen Anlagen — nicht zuletzt auch im Zuge der zunehmenden Automatisierung — unentbehrlich sind. Sie haben auch wirtschaftliche Bedeutung, weil sie die Störungssuche vereinfachen und verkürzen und so die Verfügbarkeit der Gesamtanlage verbessern.

Für rechnergesteuerte Anlagen und für die allgemeine Überwachungsanlage ist eine zusätzliche unterbrechungslose Stromversorgung mit 220 V Betriebsspannung (USV-Anlage) vorhanden, um Rechner-Störungen durch Spannungseinbrüche und -ausfälle zu verhindern und um die nötigen Informationen über Störungsursachen in jedem Fall speichern zu können.

3.3 Feuererkennung und -bekämpfung

Alle betriebswichtigen Bereiche des Hebewerkes werden durch automatische Feuermeldeanlagen überwacht und die Gefahrenmeldungen an zentraler Stelle angezeigt.

Der Schaltraum für die Antriebsanlage mit den angrenzenden Meß- und Steuerungsanlagen sowie der Steuerstand mit einigen Elektronikräumen werden zusätzlich durch eine automatische Feuerlöschanlage geschützt. Als Löschmittel wird Halon-Gas verwendet, das nach dem aktuellen Erkenntnisstand für die gestellten Aufgaben besonders geeignet ist. Darüber hinaus sind die Tröge für den Fall eines Schiffsbrandes mit je 6 Wasser-Schaummittelkanonen und außerdem mit einer Sprühanlage zum Schutz der Gegengewichtsseile ausgerüstet.

Teil 2

Entwicklungen bei den Sparschleusen der Main-Donau-Verbindung

1. Einführung

Die rund 170 km lange Verbindung von Main und Donau (MDV) wird auf eine Länge von etwa 100 km als Stillwasserkanal ausgeführt. In diesem Bereich werden zur Überwindung der

natürlichen Höhenunterschiede wegen unzureichender Wasserzuflüsse ausschließlich Sparschleusen gebaut.

Über das Konstruktionsprinzip sowie über bauliche und betriebliche Besonderheiten derartiger Anlagen der MDV wurde bereits mehrfach berichtet, u.a. bei den Kongressen XXI bis XXV der PIANC und vor allem in einem ausführlichen Aufsatz in Heft 5 des Bauingenieur, 46. Jahrgang von 1971, von Prof. Dr. Kuhn. Obwohl der Bau aller Sparschleusen zunächst grundsätzlich nach dem gleichen hydraulischen Prinzip und soweit möglich auch nach gleichem baulichen Konzept geplant war, ergab sich doch aus vielen Erfahrungen bei jeder neu zu bauenden Schleuse und aus Erkenntnissen aus dem Betrieb der fertigen Anlagen die Notwendigkeit von Änderungen im Bereich der Konstruktion.

Eine Übersicht über diese Entwicklung wurde im Bulletin No. 42 der PIANC gegeben, wobei der dortige Vergleich im wesentlichen auf die maßgebenden Querschnitte durch Kammer und Sparbecken von fünf verschiedenen Schleusen bzw. Gruppen von Schleusen beschränkt war.

Wie in diesem Bericht abschließend dargelegt ist, fand die Entwicklung bei den Sparschleusen der MDV ihren Abschluß in dem Entwurf für die — neben der schon gebauten Schleuse Leerstetten — höchsten Stufen der MDV Hilpoltstein und Eckersmühlen mit der Hubhöhe von jeweils 24,67 m.

2.1 Entwicklungen in der Konstruktion

Gegenüber den bisher fertiggestellten Schleusen der MDV einschließlich der Schleuse Leerstetten (Hubhöhe 24,67 m) weisen diese beiden Stufen, Hilpoltstein und Eckersmühlen, folgende wesentlichen baulichen Änderungen auf:

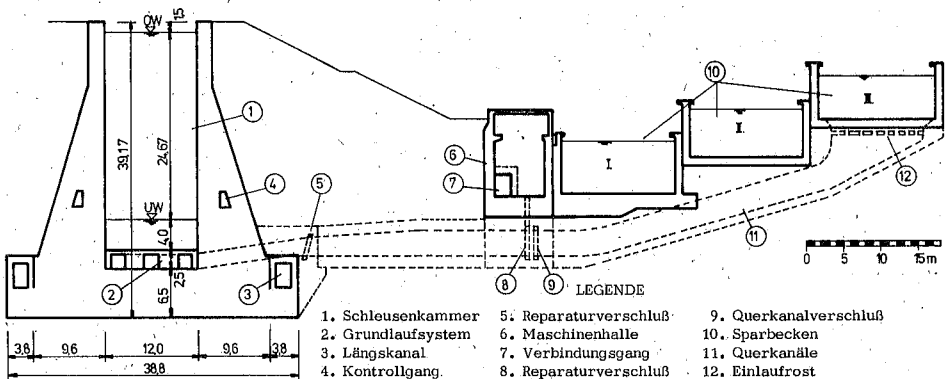


Abb. 1: Querschnitt der Sparschleuse Eckersmühlen

H = 24,67 m, L = 190 m, B = 12 m

Schleusenammer

Die Schleusenammer im Querschnitt wird symmetrisch als U-förmiger massiver Stahlbetonrahmen ausgeführt. Das aus Grundlaufsystem und Längskanälen bestehende hydraulische

System im Bereich der Schleuse wird außerhalb des tragenden Kammerquerschnittes angeordnet. Dies ermöglicht ein einfaches und überschaubares statisches System für die Berechnung und Bewehrung der Kammerwände und -sohle ebenso wie die überschaubare Dimensionierung des vom Wasser durchströmten Füll- bzw. Entleerungssystems.

Insbesondere die zuvor genannten Belastungen aus den hydrodynamischen Vorgängen müßten andernfalls in Zusammenwirkung mit den statischen Belastungen ungünstig kombiniert und eine dementsprechende gemeinsame Bewehrung gefunden werden, bei welcher das Risiko eines Schadens z.B. durch Druckstöße der tragende Gesamtquerschnitt mit übernehmen müßte, wodurch demnach dessen Sicherheit herabgesetzt würde. Deshalb also auch das Konzept, entsprechend den Belastungen eine klare Trennung der entsprechenden Bauteile durchzuführen.

Die Abmessungen der Kammerwände und der Kammersohle wurden reichlich gewählt, um die Bewehrungsmengen in vernünftigen Grenzen, die Schwellbeanspruchung im Beton klein und um die Verformungen infolge äußerer Lasten, auch infolge Temperaturänderungen, niedrig zu halten.

Die dementsprechend große Steifigkeit des Bauwerks führt zwar ungünstig zu einer größeren Erddruckbelastung, dafür dürfte sich aber gerade die Erddruckannahme als zuverlässiger erweisen als bei einem relativ weichen Bauwerk mit dessen unsicheren Annahmen im Steifigkeitszustand infolge Ribbildung, was rückwirkend wiederum die Erddruckgröße und -verteilung maßgeblich beeinflusst. Ähnliches gilt auch für die Kammersohle, bei welcher durch deren große Steifigkeit zum einen eine eindeutige Volleinspannung der Kammerwände gegeben ist, zum anderen die Bodenpressungsverteilung wie für ein starres Fundament einfach errechnet werden kann. Gerade dieser Bereich bot bei früheren Schleusenbauwerken Probleme in Statik und Bewehrungsführung durch Asymmetrie des Bauwerkes und der Belastung und durch die schwierige Ermittlung der Steifigkeitsverhältnisse des Rahmens (Vierendeelträger) im Bereich der Kammersohle und somit Unsicherheiten im gesamten Verformungsverhalten des Bauwerkes mit den damit verbundenen Auswirkungen auf Erddruckannahmen und Bodenpressungsverteilung.

Natürlich bietet heute die Computertechnologie die Möglichkeit, z.B. mittels der Finite-Element-Methode eine mathematisch exakte Berechnung des Bauwerks im Zusammenwirken mit seiner Umgebung durchzuführen und genauere Ergebnisse zu erhalten, als dies früher möglich war. Dies wurde für die statische Berechnung der Schleuse Eckersmühlen auch genutzt. Dennoch ist auch dabei dem einfachen statischen System des Schleusenammerquerschnittes der Vorzug zu geben, um bei der ohnehin schon vorgegebenen Vielzahl von Parametern zumindest im Bereich des Betons überschaubare Verhältnisse zu behalten und um dadurch leichter mittels einfacher Vergleichsrechnungen die Richtigkeit der Ergebnisse nachprüfen zu können.

Sparbeckenbereich

Die Sparbeckengruppe einschließlich Schieberhaus wurde in den vergangenen Jahren mehrmals konstruktiv abgeändert, wobei aber die hydraulische Funktion nahezu unangetastet blieb. Das bei früheren Schleusen angewandte Prinzip, die Sparbeckengruppe mit der anschließenden Halle möglichst nahe an die Kammer zu legen, um einerseits den Platzbedarf klein zu halten und um zudem Massen zu sparen, hatte sich mit steigender Höhe der Schleusenbauwerke als immer problematischer erwiesen. Die Verformungen aus der Kammerfüllung

und -entleerung übertragen sich auf die angrenzenden Bauteile des Sparbeckens und führten infolge Differenzbewegungen in horizontaler und vertikaler Richtung an den Berührungsstellen dieser Bauteile auf die Dauer zu unerwünschten Belastungen und nachfolgend zu Undichtigkeiten.

Da aber, wie zuvor für die Schleusenkommer gesagt, ein weites Abrücken der gesamten Sparbecken aufgrund der gewollten beiderseitig vollständigen Hinterfüllung der Schleusenkommer bis zur Planie notwendig wurde, kam diese Maßnahme auch der Beseitigung dieses Mangels zugute, so daß mit dem jetzigen Konzept eine gegenseitige Beeinflussung weitestgehend verhindert wird.

Es bestehen nur noch zwei Kontaktstellen dort, wo die Sparbeckenquerkanäle an die Kommerwand anschließen. Hier wird durch gelenkige Auflagerungen und außenliegende, austauschbare Fugendichtung das noch bleibende Problem gelöst werden. Im übrigen kann ab dieser Fuge der gesamte Sparbeckenbereich mittels eines einzigen einzubauenden Notverschlusses von der Kommer für Reparaturzwecke abgetrennt und der Schleusenbetrieb mit der Kommer alleine durchgeführt werden.

Die Sparbecken werden als voneinander statisch vollkommen getrennte Einzeltröge mit Mindestwand- und -sohlstärken von 1 m ausgebildet.

Die unterste Sparbeckenreihe erhält zudem noch ein größeres Gewicht durch Verstärkung und Auskragung der Sohlplatte. Grund hierfür ist die Absicht, die Auftriebsicherheit der Sparbeckenröge ohne eine dauernde und kräftige Grundwasserabsenkung zu gewährleisten. Auch hier hat die Erfahrung gelehrt, daß Bauwerke dieser Bedeutung und dieser Größenordnung nicht „ausgehungert“ werden sollen, wenn gleichzeitig die Einhaltung der dafür notwendigen Randbedingungen wie Grundwasserstand und -bewegung auf viele Jahrzehnte hinaus in der angenommenen Größe unsicher, aber für den Bestand des Bauwerks lebensnotwendig ist.

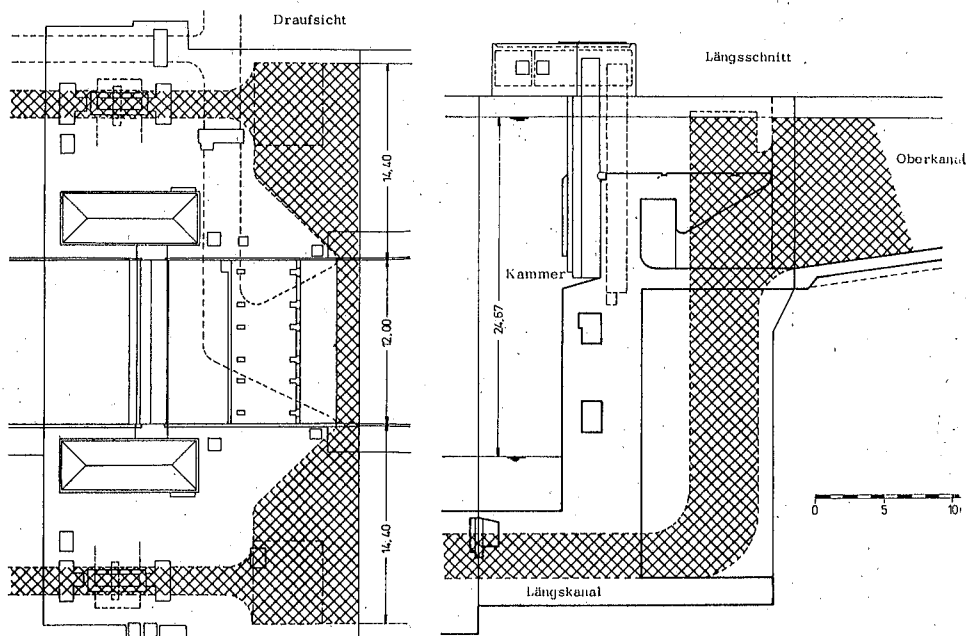
Schleusenhäupter

Im Bereich der Häupter steht am Ende der Entwicklung die Zusammenfassung der bisher nach ihrer Funktion getrennten Bauwerke — Torlamelle, Schützlamelle sowie Ein- bzw. Auslaufbauwerk — zu einem gemeinsamen Block. Maßgebend war hier aber neben statischen Gesichtspunkten auch der Wunsch nach einer baulichen Vereinfachung insgesamt, und auch nach einer Reduzierung der Dehnfugen im Bereich der Schleusenkommer. Gerade die Dehnfugenkonstruktionen am Unterhaupt und Oberhaupt stellen deshalb eine Besonderheit dar, als sie neben den unterschiedlichen Bewegungen der benachbarten Blöcke in Querrichtung auch noch die durch die Längsbelastung der Häupter entstehenden Verformungen unter hohem Wasserdruck aufnehmen müssen. Aus diesem Grunde wurden hier neben den einbetonierten Dehnfugenbändern, wie sie im gesamten Schleusenbereich verwendet werden, noch zusätzlich austauschbare Fugenbänder (Omega-Profil) angeordnet, die auf eine fest einbetonierte Stahlunterkonstruktion aufgeklemt werden. Im übrigen Bereich der Schleusenkommer wird der Einbau einer evtl. zu einem späteren Zeitpunkt notwendig werdenden Zusatz- oder Ersatzdichtung durch bereits beim Bau der Kommer vorgesehene Nischen an den Dehnfugen erleichtert.

Neben der baulichen Vereinfachung durch die Zusammenfassung der genannten Bauwerke zu einem Block kann auch ein ähnlicher Vorteil für die Standsicherheit wie bei den Kommer-

lamellen darin gesehen werden, daß den Wechsel- bzw. Schwellasten aus Kammerfüllung ein hohes Eigengewicht als Dauerlast gegenübersteht und damit die Verformungen aus der Belastung relativ klein gehalten werden. Dazu trägt auch die Flächenentwicklung in der Gründung des Ober- und Unterhauptblocks bei, denn durch die Zusammenfassung erhält das Oberhaupt eine Gründungsfläche von ca. 41 x 21,4 m und das Unterhaupt ca. 41 x 29,4 m. Wenngleich der Baugrund Burgsandstein sowohl für die Schleuse Eckersmühlen als auch für Hilpoltstein als sehr gut anzusehen ist, soll dennoch durch die Reduzierung der Setzungen und Setzungsdifferenzen aus der Belastung durch den Wechsel im Wasserstand ein Beitrag zur Erhöhung der Standsicherheit geleistet werden.

Der Verbindungsbereich vom Oberwasser zu den Längskanälen war mit zunehmender Stufenhöhe immer steiler und z.T. auch länger und in der Form von großzünftig ausgerundeten Einlauftrumpeten in der Bauausführung eines der am schwierigsten herzustellenden Bauwerke geworden. Diese Form wurde abgeändert zu zwei in der Tiefe von 11 m unter dem



**Abb. 2: Schleuse Eckersmühlen — Oberhaupt
Einlauf vom Oberkanal in die Längskanäle**

Oberwasser senkrecht nach unten führenden Fallschächten mit rechteckigem Querschnitt von $5 \times 6 \text{ m} = 30 \text{ m}^2$. Am unteren Ende führt eine Krümmung von 90° mit einer rapiden Querschnittsverengung auf $6,5 \text{ m}^2$ in die Längskanäle und deren Verschlußbereich am Oberhaupt. Der Auslauf ins Unterwasser mußte wegen der Tieferlegung der Längskanäle notwendigerweise auch neu gestaltet werden. Die wesentlichen Änderungen wurden im Austrittsquerschnitt durchgeführt, um eine gleichmäßige Durchströmung der durch Leitwände unterteilten Einzelöffnungen zu erzielen und dadurch die Ausbildung größerer Wellenberge im Unterkanal zu vermeiden.

Da die vorgenannten Umgestaltungen in den betroffenen Bereichen des hydraulischen Systems so umfangreich waren, daß eindeutige Aussagen über die hydraulische Wirksamkeit, über die Füll- und Entleerungszeiten und über die Schiffsträgheitskräfte nicht möglich waren, und da bis zum Bau der nächsten Schleuse noch genügend Zeit gegeben war, wurde ein vollständig neuer Modellversuch im Maßstab 1:25 für die Schleuse Eckersmühlen am Theodor-Rehbock-Flußbaulaboratorium in Karlsruhe durchgeführt, der alle gewünschten Fragen zufriedenstellend beantworten sollte. Das wichtigste Ergebnis nach Durchführung der Versuche war die Bestätigung, daß die Qualität des für die Schleusen der MDV gewählten hydraulischen Systems so gut ist, daß es auch größere Änderungen in einzelnen Bereichen verträgt, ohne an Leistungsfähigkeit einzubüßen.

Es konnte bei den Untersuchungen am Modell nachgewiesen werden, daß weder Füll- noch Entleerungszeit nennenswert geändert wurden, noch daß ungünstige Auswirkungen auf die Schifffahrt zu erwarten waren.

2.2 Entwicklungen im Bereich der Hydraulik

Während also unter normalen Betriebsbedingungen bei Betrieb aller Sparbecken und bei ungestörten Füll- und Entleerungsvorgängen keine außergewöhnlichen hydraulischen Probleme gegeben sind, entstehen solche insbesondere bei Unterbrechungen der Fließvorgänge (z.B. wegen einer Fehlschaltung oder bedingt durch eine Gefahrensituation), wenn innerhalb kurzer Zeit die in den Längs- oder Querkanälen strömenden Wassermassen abgebremst werden.

Verstärkt werden die Auswirkungen zudem noch bei größeren Fließgeschwindigkeiten, wenn z.B. bei Ausfall einzelner Sparbecken aus Gründen einer Reparatur die entsprechende Füllwassermenge direkt aus dem Oberwasser entnommen wird. Grundsätzlich unterscheiden sich die dabei auftretenden Erscheinungen nicht von z.B. Schnellschlußvorgängen bei langen Druckrohrleitungen. Ein wesentlicher Unterschied besteht aber in den Fließvorgängen im gesamten hydraulischen System mit dessen vielen Verzweigungen, Krümmungen, Querschnittänderungen und sonstigen Unregelmäßigkeiten, wodurch eine eindeutige Klärung der mit den Schnellschlußvorgängen verbundenen Probleme erheblich erschwert wird.

Neben der schon genannten komplizierten Geometrie des hydraulischen Systems beeinflußt noch eine Fülle von Faktoren die bei diesen instationären Strömungsvorgängen zu erwartenden Druckschwankungen oder die niederfrequenten Massenschwingungen in Schächten vor und hinter den bewegten Verschlüssen.

Es sind dies:

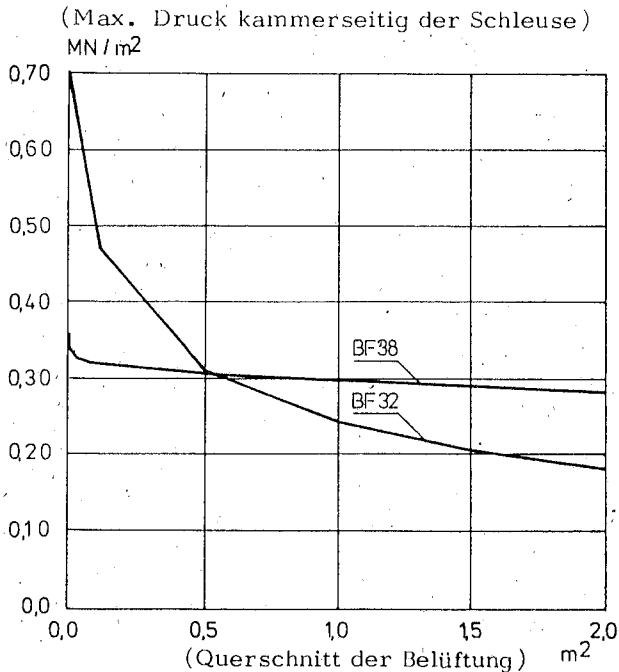
- Lage und Art des bewegten Verschlusses im System
- Betriebssituation von Längs- oder Querkanal
- Füll- oder Entleerungsvorgang von Kammer oder Sparbecken (SB)
- Kammerwasserstand, Sparbeckenwasserstand
- Zeitprofil für das Verschlößorgan
- Wartezeit vor dem Schließen
- Öffnungsgrad des Verschlusses beim Nothalt

Größe der Notverschlußschächte oder sonstigen Öffnungen beiderseits der Verschlüsse sowie deren gedrosselte oder freie Verbindung zur Außenluft

Reibungsbeiwert des Betons.

Durch einen Schadensfall an der Schleuse Eibach der MDV wurden im Jahre 1978 die möglichen Schäden bei ungünstigem Zusammentreffen mehrerer Faktoren offenbar. Dort fiel wegen des Defekts an einer Ölhydraulikleitung eine SB-Schütztafel ungebremst in den gerade durchströmten Querkanal III zu den Sparbecken. Der abrupt unterbrochene Fließvorgang führte zu einer Ablösung der Wassersäule hinter dem nun geschlossenen Schütz. Das entstehende Vakuum konnte mangels Belüftung nicht mit Luft aufgefüllt werden, so daß die rückschwingende Wassermenge stark beschleunigt wurde und auf das Schütz schlug, wobei erheblicher Schaden am Verschluß, vor allem aber im Querkanal selber entstand. Aufgrund von Nachrechnungen dürften die dabei auftretenden Überdrücke bis zu 100 m WS groß gewesen sein.

Dies war also um so mehr Anlaß, die betrieblich nicht auszuschließenden Schnellschlußvorgänge ausführlich zu untersuchen, um für die in Betrieb befindlichen Schleusen die notwendi-



BF 32: Kammerfüllung -
Nothalt und Schließen
nach Fehlöffnung

BF 38: Kammerentleerung -
Nothalt und Schließen
bei normalem Betrieb

Abb. 3: Berechnete Maximaldrücke im Sparbeckenkanal III bei Nothalt des Sparbeckenverschlusses III, in Abhängigkeit von der Belüftung

gen steuertechnischen Maßnahmen zu ermitteln und um, soweit nötig und möglich, noch nachträglich entsprechend große Belüftungsöffnungen anzubringen.

Für die noch zu bauenden Sparschleusen sollten einerseits die konstruktiven Maßnahmen für die Belüftungen, als aber auch die notwendigen Bemessungswerte für die Stahlwasserbauteile und den Tiefbau gefunden werden.

Drei Verfahren waren gegeben, um die entsprechenden Ergebnisse zu bekommen, wobei jedes Verfahren Stärken und Schwächen hatte, die erkannt und dementsprechend behandelt werden mußten.

1. Naturversuche an einer fertigen, im Betrieb befindlichen Schleuse
2. Untersuchungen an einem Modell
3. Mathematische Untersuchung

Da alle drei Verfahren genutzt wurden, ergab sich eine Fülle von Erkenntnissen über typische Zusammenhänge der bei Schnellschlußvorgängen auftretenden Erscheinungen.

Aus den gewonnenen Erkenntnissen sind dabei folgende grundlegende Konsequenzen gezogen worden:

Da ein großer Teil der früher gebauten Sparschleusen nur in sehr begrenztem Maße Über- oder Unterdrücke im Tiefbau und im Stahlwasserbau aus dynamischen Belastungen durch beschleunigte oder abgebremste Wassermassen aufnehmen kann, wurde dort die Senkgeschwindigkeit der SB-Rollschütze bei Nothaltvorgängen von bislang 260 mm/sec. auf rd. 100 mm/sec. reduziert. Damit können die betrieblich nicht auszuschließenden Schnellschlußvorgänge gestattet werden. Das unkontrollierte, schnellere Schließen oder gar Herabfallen von Verschlüssen wird zudem durch den Einbau fester, nicht verstellbarer Drosseln in den Ölhdraulikleitungen verhindert.

An zwei weiteren Schleusen, Eibach und Leerstetten, müssen zur Zeit zusätzlich die ursprünglich nicht für notwendig erachteten Rohrbelüftungen vor und hinter den Sparbeckenverschlüssen angebracht werden, um insbesondere die Unterdruckbildung bzw. Vakuumbildung mit Luftzufuhr zu verhindern.

Bei den zum Zeitpunkt der Versuche und dem Vorliegen der Ergebnisse noch nicht begonnenen Schleusen wurden zum einen auch bei der Bemessung im Tiefbau erhebliche Verstärkungen zur Aufnahme von Überdrücken vorgenommen, um auch das Bauwerk selber sicherer zu gestalten. Weiterhin wurden beiderseits der Sparbeckenverschlüsse ausreichend große Öffnungen zur Entlastung bei Überdruck und zur Luftzufuhr bei Unterdruck angeordnet. In welcher Größe diese Öffnungen beim späteren Betrieb am wirksamsten sein werden, kann zum heutigen Zeitpunkt noch nicht gesagt werden. Es besteht aber die Möglichkeit, dort ohne großen Aufwand durch den Einbau von Drosseln oder ähnlichen Vorrichtungen diejenige Wirksamkeit zu erreichen, wie sie sich aufgrund weiterer Untersuchungen und Erfahrungen als zweckmäßig ergibt.

Für alle Schleusenbauwerke ist aber festzuhalten, daß es nicht möglich und sinnvoll ist, auch die denkbar ungünstigsten Schadensfälle, wie z.B. das erwähnte Herabfallen einer Schütztafel, in der Bemessung zu berücksichtigen, sondern daß es notwendig ist, ausreichend sichere und abgesicherte Verschlusseinrichtungen vorzusehen.

Bei den zuvor noch nicht erwähnten Längskanälen ist die Problematik ähnlich, jedoch waren hier schon immer niedrigere Verschußgeschwindigkeiten eingeplant und zudem vor und hinter den Verschlüssen große Öffnungen in Form von Notverschlußschächten oder Belüftungsrohre vorhanden.

2.3 Entwicklungen bei den Berechnungsgrundlagen

In diesem Bereich hat sich in den vergangenen Jahren insofern eine Weiterentwicklung ergeben, als die frühere Betrachtungsweise der Beanspruchung der Schleusenbauwerke geändert wurde.

Nach diesen Auffassungen, denen auch keine anderen wissenschaftlich gesicherten Erkenntnisse entgegenstanden, wurden die relativ langsam verlaufenden Lastwechsel bei Schleusenfüllung und Entleerung mit den dazwischen liegenden Ruhepausen nicht als dynamische Vorgänge angesehen. Eine Herabsetzung der Dauerschwingfestigkeitswerte für den Betonstahl, wie es in DIN 1045 für nicht vorwiegend ruhend belastete Bauwerke verlangt ist, schien daher nicht gegeben.

Nach eigens für den Bereich der Schleusen der MDV durchgeführten Versuchen zeigte sich jedoch, daß für die Dauerschwingfestigkeit der Betonstähle die Belastungsgeschwindigkeit

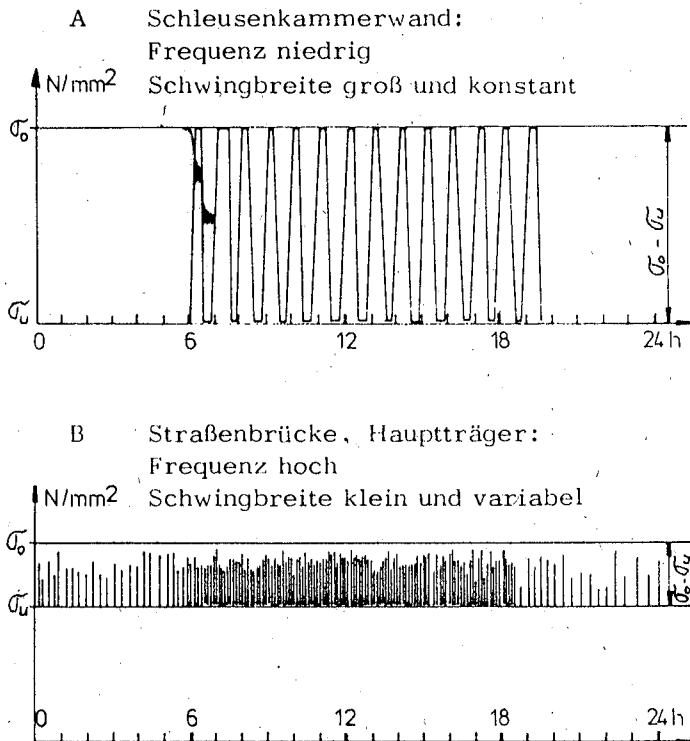


Abb. 4: Vergleich der täglichen dynamischen Beanspruchung des Betonstahls einer Schleuse und einer Brücke

nicht maßgebend ist, sondern ausschließlich die Größe der Schwingbreite in der Stahlspannung, die bei vielen Bauteilen einer Schleuse bei jedem Schleusungsvorgang in gleicher voller Größe wirkt.

Nach den Versuchen wäre die Konsequenz zu ziehen gewesen, wegen der in DIN 1045 festgelegten zulässigen Schwingbreite von 180 MN/m^2 für die dynamische Beanspruchung mehr Bewehrung einzulegen, als dies für den statischen Nachweis mit der zulässigen Zugspannung von 240 MN/m^2 nötig war.

Um diesen Nachteil des erhöhten Bewehrungsaufwandes zu vermeiden, wurde schon bei den Betonstahlbeschaffungen die Qualitätsanforderung erhoben, daß für die Schwingbreite von 240 MN/m^2 nach Möglichkeit die Lastspielzahl von 2×10^6 erreicht werden sollte, und daß Lastspielzahlen im Bereich unter etwa 1×10^6 als unzureichend anzusehen waren. Durch laufend eigens durchgeführte Versuche wurde das Qualitätsniveau kontrolliert und Fehlwalzungen ausgeschlossen: Da auch bei großzügiger Schätzung ein Schleusenbauwerk kaum mehr als 500 000 Lastspielzahlen erreichen wird, können die zugelassenen unteren Grenzwerte von 1×10^6 LS als ausreichend sicher angesehen werden.

Durch diese Qualitätsgarantie konnten erhebliche Einsparungen an Bewehrungsstahl erreicht werden, ohne daß nennenswerter Kostenmehraufwand damit verbunden war.

Bei den Stahlwasserbauteilen der Sparschleusen, den Toren und den Rollschützen der Längs- und Querkanaäle ist ebenfalls zu berücksichtigen, daß bei jedem Schleusungsvorgang die volle Schwell- oder Wechsellast auftritt. Anders als bei den meisten Stahlbauten wird zudem bei jedem Schleusungsvorgang bei einzelnen Teilen dabei auch die Grenze der zulässigen Spannungen erreicht.

Dementsprechend muß auch in diesem Bereich die auf Dauer zulässige Schwingbreite der Spannungen nachgewiesen und eingehalten werden. Besonders gilt dies für die Fälle, bei denen ein Belastungswechsel von der Druck- zur Zugseite erfolgt, wie es bei den Verschlüssen in den Sparbeckenquerkanälen gegeben ist. Dort wirkt die Wasserlast abwechselnd von der Kammer- und der Sparbeckenseite auf das Schütz.

Nachdem aber gerade diese Verschlüsse auch für selten vorkommende Druckstoßbelastungen bemessen werden, haben sie in der Regel für die normalen, häufig wiederkehrenden Belastungen nur niedrigere Spannungswechsel zu ertragen. In jedem Falle muß aber auch der Nachweis der zulässigen Schwingbreite für die zu erwartenden Lastspielzahlen geführt werden.

Für den Baustoff Beton gibt es nach verschiedenen neueren Untersuchungen ebenfalls Gesetzmäßigkeiten bezüglich der Änderung des Festigkeitsverhaltens auf Dauer. Die notwendigen Versuche sind aber aufwendig und demgemäß nicht zahlreich. Es gibt weiterhin starke Streuungen bei den Ergebnissen und es spielen bei diesem Material auch andere Faktoren wie Belastungsgeschwindigkeit und Dauer von Ruhepausen eine nicht genügend genau bekannte Rolle.

Da im allgemeinen der Beton der Sparschleusen mehr oder weniger weit unterhalb der zulässigen Spannungen beansprucht wird — was wegen der vorgenannten Unsicherheiten für die wechselnd oder schwellend belasteten Bauteile auch unbedingt einzuhalten ist —, braucht dieser Problematik nicht so große Bedeutung beigemessen zu werden wie derjenigen bei den Betonstählen.

3. Schlußbetrachtung

Sparschleusen stellen wegen ihres komplizierten hydraulischen Systems und wegen der regelmäßig wiederkehrenden vollen Belastung bei den Füll- und Entleerungsvorgängen eine Besonderheit unter den Ingenieurbauwerken dar.

Die Konstruktion solcher Anlagen verlangt umfangreiche und sichere Kenntnisse auf den verschiedensten Gebieten der Ingenieurwissenschaften.

In vorstehendem Bericht wird auf die wesentlichsten Entwicklungen im Bereich der Sparschleusen der MDV eingegangen. Diese Entwicklung wird in diesem Jahrzehnt mit dem Bau der höchsten Sparschleusen im Anstieg zur Scheitelhaltung im fränkischen Jura ihren Abschluß finden.

Teil 3

1. Wehrverschlüsse als Zugsegmente mit oberwasserseitigen ölhdraulischen Antrieben

Zwischen Saarbrücken und der Mündung in die Mosel bei Konz, also auf rd. 90 km Länge, wird z.Z. die Saar zur SchiffsstraÙe der Klasse IV ausgebaut, das heißt, für den Verkehr mit Motorgüterschiffen von 1350 t Tragfähigkeit. Für die hierbei zur Stauregelung neu zu errichtenden Wehre waren im wesentlichen folgende Planungsgrundsätze maßgebend:

- Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit von Bau und Betrieb sollten die Wehrverschlüsse einschließlich der Antriebe weitestgehend gleich sein und möglichst geringen Unterhaltungsaufwand erfordern.
- Angestrebt wurde eine möglichst unauffällige Eingliederung in die Landschaft. Hohe Aufbauten (z.B. Antriebshäuser) sollten vermieden werden.
- Die Wehre waren hydraulisch und konstruktiv so zu bemessen und durchzubilden, daß die sichere Ableitung des Bemessungshochwasserabflusses und die hinreichend genaue Stauregelung unter Berücksichtigung des Schleusen- und Kraftwerksbetriebes gewährleistet war.

Hydraulische Bemessungsdaten (Wehr Rehlingen):

$$HQ_{200} = 1410 \text{ m}^3/\text{s} \quad (n \text{ Wehrfelder})$$

$$HQ_{50} = 1190 \text{ m}^3/\text{s} \quad (n-1 \text{ Wehrfelder})$$

$$HQ^{1970} = 870 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$MQ = 45 \text{ m}^3/\text{s}$$

Die Großschiffahrtsschleuse kann zur Hochwasserableitung genutzt werden.

Die vorgenannten Daten und die betrieblichen Bedingungen führten hinsichtlich der Wahl der Wehrverschlüsse zu Zugsegmenten mit aufgesetzten Fischbauklappen. Vorgesehen waren jeweils drei Wehrfelder (Schoden vier) mit Breiten von je 16,50 m. Zur Vermeidung von Aufbauten auf den Wehrpfeilern sollten die Segmente mittels in den Pfeilern angeordneten Antriebszylindern über Kniehebel und Torsionsrohre beidseitig hydraulisch angetrieben wer-