

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 98 (1980)
Heft: 6

Artikel: Praxis des Schwimmolenbaues
Autor: Fehlmann, B.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-74043>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 12.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Praxis des Schwimmolenbaues

Von B. Fehlmann, Zug

Einleitung

Schwimmende Elemente aus Beton sind an und für sich nichts Neues, obwohl auf den ersten Blick sich ein schwimmendes Element aus Beton zu widersprechen scheint. Es ist aber so, dass nicht der Beton den Auftrieb gibt, sondern die verdrängte Wassermasse, so dass bei einem nicht zu grossen Gewicht des Betonkörpers durch einen innerliegenden Hohlraum dieser durchaus in der Lage ist zu schwimmen.

Schwimmende Eisenbetonkonstruktionen gibt es schon seit einigen Jahrzehnten, so beispielsweise in der Schweiz das Gebäude des Jachtclubs Zürich, das, was viele nicht wissen, auf einem schwimmenden Betonponton aufgebaut ist. Im Ausland wurden, als vielleicht bekannteste schwimmende Betonelemente, während dem 2. Weltkrieg von den Alliierten Schiffe aus Beton eingesetzt. Es sind auch heute auf dem Bootsmarkt Schiffe aus Ferrozement, d. h. einem sehr feinmaschig armierten, dünnwandigen Beton erhältlich, die gegenüber Stahl- oder Kunststoff-Schiffen absolut konkurrenzfähig sind.

Wie in einem anderen Beitrag dieser Reihe über schwimmende Hafenanlagen durch die Versuchsanstalt VAW für Wasserbau der ETH Zürich dargestellt wurde, sind Hafenanlagen aus schwimmenden Betonelementen als Wellenbrecher bereits als vollwertige Alternativlösungen zu herkömmlichen Hafenanlagen mit gepählten oder geschütteten Hafenmolen anerkannt. In den letzten fünfzehn Jahren wurden ein Dutzend dieser Hafenanlagen gebaut, und eine grosse Anzahl von Booten liegen sicher und zur vollen Zufriedenheit ihrer Besitzer dort vertäut.

Entwicklung

Der Entwicklungsursprung der heute verwendeten schwimmenden Hafenmolen aus Beton geht auf Anfang der sechziger Jahre zurück. Es wurde schon damals eine erste kleine Hafenanlage am Zürichsee geschaffen, die durch einen schwimmenden Betonwellenbrecher geschützt ist. Die Anlage hat sich bis jetzt recht gut bewährt. Der eigentliche Startschuss zur Verwirklichung solcher Bootshäfen ist aber erst mit dem Bootshafen Wollishofen gefallen.

Die Stadt Zürich trug sich schon seit einiger Zeit mit der Absicht, in Wollis-

hofen vor dem Areal der Waschanstalt eine Bootsstationierungsanlage in grösserem Stil zu erstellen. Untersuchungen, Probeschüttungen usw. haben dann aber bald gezeigt, dass auf herkömmliche Art und Weise ein Bootshafen in dieser Region nicht gebaut werden kann. Haupthindernisse waren die ausserordentlich schlechten Bodenverhältnisse und die teilweise recht grosse Wassertiefe von 10 bis 12 Meter. Ein geschütteter Damm konnte nicht gebaut werden, da das Schüttmaterial praktisch mitsamt dem Seekreideboden wegfloss (Später Schüttungen gaben Setzungen von einem Meter und mehr und mussten über Jahre hinaus ausgedehnt werden). Gepählte Konstruktionen kamen aus den gleichen Gründen nicht in Frage, oder aber wären mit hohen Kosten verbunden gewesen.

einer Wellendämpfung eine wichtige Rolle spielt, und der Unempfindlichkeit von Eisenbeton gegenüber Wasser zeigte sich die ausgezeichnete Eignung von Eisenbeton.

Da schwimmende Wellenbrecher aus Eisenbeton noch nie für einen Grosshafen verwendet wurden – der projektierte Bootshafen sollte rund 600 Bootsplätze aufweisen – beschloss man zusammen mit der Stadt Zürich das Vorhaben in einer Versuchsreihe genauer zu erfassen. Ein entsprechender Auftrag ging an das Wasserbaulabor der ETH Zürich. Nach unseren Vorstellungen wurde dort eine gross angelegte Versuchsreihe durchgeführt, die vor allem Aufschluss über folgende Punkte geben sollte:

- Dimensionen der Betonelemente, d. h. Breiten/Höhen-Verhältnis
 - Massenschwerpunktslage
 - Verankerungssysteme
 - auftretende Verankerungskräfte usw.
- Diese Versuche haben – zur Überraschung vieler – unsere Vermutungen und Berechnungen bestätigt, und gipfelten in der Feststellung des Versuchsberichtes, dass in jedem Fall eines Neubaus von Hafenanlagen das System mit einer schwimmenden Hafenmole



Hafenanlage in Gersau, Mole 4 m breit

Unser Büro bekam daraufhin von der Stadt Zürich die Anfrage, ob und auf welche Weise das Projekt doch verwirklicht werden könnte.

Nach dem Studium aller zur Verfügung stehenden Möglichkeiten zeigte sich, dass nur eine Lösung mit einem schwimmenden Wellenbrecherelement in Frage kommt. Als Konstruktionsmaterial standen nur Stahl oder Eisenbeton in der engeren Wahl. Aufgrund der grossen Masse des Eisenbetons, die bei

aus Beton in die engere Wahl gezogen werden sollte.

Daraufhin wurde von der Stadt Zürich grünes Licht für den Bau des Bootshauses Zürich-Wollishofen gegeben, der dann innerhalb fünf Jahren gebaut wurde. Die lange Bauzeit des Hafens erklärt sich aus Kreditbeschränkungen der Stadt. Die Anlage ist seit acht Jahren in Betrieb und hat sich bewährt.

Kurz nach Beschlussfassung des Bootshafen-Baues Zürich-Wollishofen wurde



Hafenanlage in Zug



Hafenanlage in Zug, Mole 4 m breit

eine kleinere Anlage mit Schwimmolen vor dem Technikum Rapperswil verwirklicht, die vor allem den Wellendurchgang unter der Eisenbahnbrücke verhindert. Als mittelgrosse Anlage wurde daraufhin 1974 der Bootshafen Stäfa Lattenberg gebaut. Auch diese Anlage hat sich seit Inbetriebnahme gut bewährt. Beim Bootshafen Gersau wurde erstmals ein vom Seegrund unabhängiges Ankersystem verwendet (Wassertiefe im äusseren Bereich des Hafens rund 50 m). Als weitere Grossanlage ist der Bootshafen Zug zu erwähnen.

Das von uns entwickelte Beton-Schwimmolen-System einschliesslich der Verankerung wurde inzwischen durch ein entsprechendes Patent geschützt wurde.

Konstruktionsprobleme

Obwohl die zur Anwendung gebrachten Betonelemente (Hohlkörper) von der Konstruktion her relativ einfach sind, ist einem Ingenieur, der über keine Wasserbauerfahrung verfügt, davon abzuraten, Hafenanlagen mit schwimmenden Betonmolen zu bauen. Es haben sich folgende Problempunkte ergeben:

Wasser hat keine Balken.

Eine schwimmende Hafenanlage kann nicht nur statisch betrachtet werden, sondern sie bildet ein dynamisches Element, das immerzu leicht in Bewegung ist. Durch dieses dynamische Verhalten kann eine Hafenanlage auch nie exakt

berechnet werden; es müssen also viele, durch Erfahrung oder Versuche ermittelte Werte verwendet werden. Es gibt zwar bereits heute schwimmende Hafenanlagen, die durch die ganzen Elemente hindurch vorgespannt werden. Die Schwierigkeit ist aber, dass keine definierte Druck- und Zugzone im Betonelement vorhanden ist, da durch das ständige Wechseln der Wellenangriffspunkte der Auflagepunkt der Betonelemente mitwandert, dass somit ständig ein anderer Lastfall auftritt. Zugleich sind auch Torsionskräfte einzurechnen, die nicht unerheblich sein können.

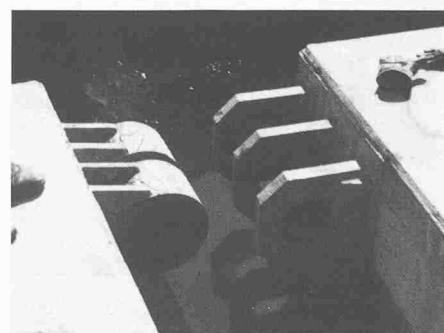
Verankerungssystem

Das ganze Verankerungssystem muss auf das System der schwimmenden Betonelemente abgestimmt werden. Eine Verankerung darf nicht absolut starr sein, sondern muss gewisse Bewegungen des schwimmenden Betonelementes mitmachen können und sollte diese zugleich abdämpfen – wenn möglich progressiv. Es muss aber auch darauf geachtet werden, dass sich das Verankerungssystem den Wasserspiegelschwankungen, denen jeder See unterworfen ist, (Zürichsee rund 50 cm, Bodensee rund 3 m) anpasst, ohne dass die Hafenanlage beeinträchtigt wird.

Hafenform

Wie Erfahrungen und auch logische Überlegungen zeigen, sollte die Schwimmolenanlage eines Hafens möglichst klar, einfach und geradlinig sein.

Wie schon früher bemerkt wurde, können bei einer schwimmenden Mole erhebliche Torsionskräfte auftreten, und zwar vor allem in Eckpunkten. Diese entstehen durch Wellenauftriebsdifferenzen, die ein Heben oder Senken des Eckpunktes bewerkstelligen möchten.



Hafenmole in Zug. Gelenkdetail

Durch diese Bewegungen treten in den Eckpunkten Torsionsspannungen auf, die teilweise um einiges gefährlicher sein können als die durch die Wellen in Längsrichtung der Molen sich ergebenden Momente. Es muss also darauf geachtet werden, dass diese Eckpunkte nur so wenig wie möglich auftreten oder dass die Torsionsmomente durch konstruktive Lösungen aufgenommen



Mole in Rapperswil, 3 m breit

oder reduziert werden können. Dies erfordert allerdings gewisse Einschränkungen von Seiten des Planers, da nicht alle beliebigen architektonischen Formen geeignet sind. Doch es hat sich bis jetzt immer gezeigt, dass eine klar gezeichnete Hafenlinie ästhetisch ebenso schön ist, wie eine verschönerte. Meist ist es so, dass die Form einer Hafenanlage ohnehin nur von einem stark überhöhten Punkte aus ersichtlich ist.

Sicherheit

Die Sicherheit einer Hafenanlage mit Betonschwimm-Molenelementen ist im allgemeinen durch die massive Bauweise und die relativ geringen Kräfte, die auftreten, sehr gross. Da eine Hafenanlage aber als Menschenwerk Fehler aufweisen kann und auch mit einer Kollision durch grössere Motorschiffe usw. gerechnet werden muss, empfiehlt es sich, die Molenelemente schon bei der Auslegung möglichst unsinkbar zu machen. Da Beton selber 1,5 mal schwerer als Wasser ist, kann diese Sicherheitsreserve nur durch Einbau von Luft – also durch Abschottung der Molenelemente in so viele Kammern, dass bei Undichtigkeit einer Kammer das Element noch schwimmfähig ist – oder durch Einbau von Schaumstoff erfolgen. Bei Einbau von Schaumstoff muss aber eine gewisse Vorsicht angewendet werden, da Schaumstoff unter dem Druck von 2-3 Meter Wassersäule und unter längerer Wasserlagerung Wasser aufnehmen kann, so dass die Schaumstoffmenge plötzlich nicht mehr ausreichen könnte.

Schwimmolensystem Fehlmann

Aufgrund der Erfahrung mit den bis jetzt gebauten Hafenanlagen hat sich schrittweise das Molensystem Fehlmann entwickelt. Es zeigt die folgenden Hauptmerkmale:

- Verwendung von möglichst langen einzelnen Betonelementen von 20-40 Meter Länge
- gelenkige Verbindung der einzelnen Betonelemente, keine Vorspannung
- zugleich Einbau von Dämpfungsele-

menten in den Gelenken, so dass eine gewisse Beweglichkeit gewährleistet ist

- Verankerung der Molenelemente mit Ketten und Federn oder durch gedämpfte unter oder über Wasser liegende Abstützelemente
- Anpassung der Molenbreite und Höhe an die Wellenverhältnisse des Sees
- Schweizer Patente erteilt.

Die ersten schwimmenden Hafenmolen aus Beton wurden aus kurzen, 7-8 Meter langen Molenelementen gebaut, die zum Teil auf Platz oder in einem Vorfabrikationswerk hergestellt wurden. Es hat sich aber gezeigt, dass die Verbindungen zwischen den Elementen die kritischste Stelle der ganzen Schwimmolenkonstruktion darstellt. Aus diesem Grunde ist man auf schlaff armierte Elemente von 20-40 Meter Länge übergegangen, die sich, wie die Anlagen von Stäfa, Gersau und Zug beweisen, sehr gut bewähren. Die langen Molenelemente bringen zwar höhere Installationskosten, diese werden aber durch die wegfallenden Verbindungen und durch die schnelle Bauzeit mehr als aufgewogen.

Die Molenelemente sind in wasserdicht abgeschottete Kammern unterteilt, so dass bei Wassereinbruch die Schwimmfähigkeit noch gewahrt ist. Die Kammern sind durch wasserdicht verschraubte Einstiegdeckel erreichbar. Im Hafen Zug sind diese Kammern teilweise zugleich als Materialdepot für Hafenwart usw. eingerichtet und mit einem besonderen Einstieg versehen. Die Wandstärke der Elemente liegt zwischen 15 und 30 cm.

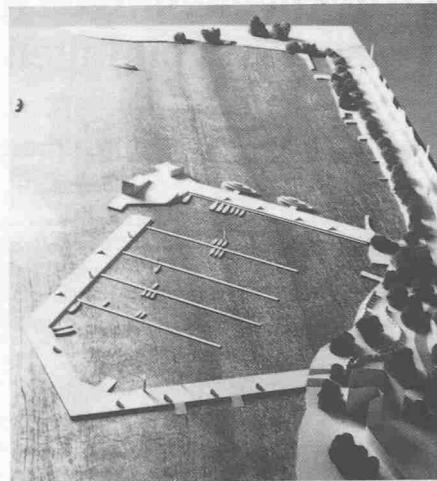
Die Verbindung zwischen den einzelnen langen Elementen geschieht über Spezialgelenke. Sie bestehen aus schweren, geschweißten Konstruktionsteilen, die über eine Spezialarmierung die Kräfte direkt in die Betonelemente einleiten. Die Gelenke, von denen je Verbindung zwei Paare eingebaut sind, ermöglichen die Bewegung der Molenelemente in horizontaler Ebene. In die Gelenkkonstruktion integriert sind Dämpfungsvorrichtungen, die Schläge und Kräfte in axialer und in vertikaler Richtung bis zu einigen Dutzend Tonnen übernehmen und abdämpfen können. Zugleich erlauben sie gewisse Verschiebungs- und Torsionsbewegungen aufzunehmen, die zwischen den einzelnen Molenelementen entstehen können. Dies ist vor allem wichtig bei Ecken in der Molenanordnung, wo durch die Wellenbewegungen Winkelverschiebungen und Torsionsbewegungen und somit hohe Kräfte auftreten können.

Die Verankerung der Molenelemente auf dem Seegrund oder am Ufer geschieht im allgemeinen über schwere Ketten, dazwischenliegende Federdämpfungselementen und schweren Ankersteinen. Die Kräfte, die auf die

Verankerungen wirken sowie die Anordnung der Verankerung sind jeweils von der Hafenanlage abhängig. In der Regel wird darauf geachtet, dass die einzelnen Molenelemente bereits spannungsfrei verankert sind, bevor sie miteinander verkuppelt werden.

In besonderen Fällen kann aber, bedingt durch grosse Wassertiefen usw., eine Verankerung auf dem Seegrund nicht möglich sein. In diesem Falle wird die Schwimmole über eine Gelenkverbindung direkt mit dem Ufer gekoppelt (ebenfalls gedämpft). Im Bereich der Hafeneinfahrt wird die Mole mit einem horizontal liegenden Abstützrohr wiederum über Dämpfungselemente mit dem Ufer verbunden. Dieses Abstützrohr kann über oder unter Wasser angeordnet sein. Es wird beispielsweise bei der Hafenanlage Gersau zum Teil direkt als Schwimmsteg benutzt.

Bei der Verankerung der Schwimmole muss auf die Wasserspiegelschwankungen des Sees Rücksicht genommen werden, wobei in der Schweiz besonders der Bodensee mit Werten um 3 m (im Extremfall) bemerkenswert ist.



Hafenprojekt mit Schwimmole, Restaurant und in die Mole eingebauter unterirdischer Garagenanlage

Die Dimensionen der Molenelemente – Molenbreite, Molenhöhe, Gewicht der Molen usw. – sind von den Wellenverhältnissen abhängig. Neben der Wellenhöhe ist hier vor allem die Wellenlänge ausschlaggebend und ebenso deren Regelmässigkeit. So zeigen beispielsweise die Wellen, die durch die auf den Schweizerseen verkehrenden Kursschiffe verursacht werden, im allgemeinen bedeutend stärkere Wirkung auf eine Betonschwimmole als wesentlich grössere Sturmwellen, da diese – im Gegensatz zu den regelmässig und sehr lang auftretenden Schiffswellen – unregelmässig sind. Bei den Schwimmolen müssen gewisse Proportionen zwischen Höhe und Breite eingehalten werden, die aber wiederum abhängig von Wellenhöhe, Wellenlänge und der damit verbundenen Schwingungszeit sind. Massgebend sind die Lage des Auftriebs

bes und des Massenschwerpunktes sowie die Massenverteilung in Wände und Decken.

Es muss auf alle Fälle beachtet werden, dass die Wellenschwingungszeit nie mit der Eigenfrequenz der Betonelemente zusammenfallen darf, da sonst das System sehr stark aufgeschaukelt werden kann und entsprechend hohe Kräfte auftreten.

Die von uns bis jetzt gebauten Molenanlagen weisen Breiten von 3-4 Metern auf, bei einem Freibord von 50-80 cm. Es sind aber bereits grössere Molenelemente im Projektstadium, die für Boden- und Genfersee bestimmt sind. Auch Studien für Hochseeverhältnisse sind in Arbeit.

Die Wellendämpfungswirkung der Schwimmolenysteme Fehlmann ist ausgezeichnet. Sie liegt entgegen den Modellstudien nicht bei 70-80%, son-

dern bei 90 und mehr Prozent, dies vor allem bei Sturmwellen. Die Bewegungen der gelenkig verbundenen Elemente sind sehr klein (einige cm). Auch ein gelegentliches Überspülen der Molenelemente durch Wellenkämme und Flugwasser spielt keine Rolle bei der Wellendämpfung, vielmehr hilft es bei der Reinigung der Betonelemente mit.

Schlussbemerkung

Schwimmolen aus Beton im allgemeinen und nach dem System Fehlmann stehen bereits seit rund einem Jahrzehnt in Betrieb und haben sich während dieser Zeit bewährt. Es hat sich gezeigt, dass Schwimmolen gegenüber dem herkömmlichen Hafenbau viele Vorteile aufweisen (Wasserstand-unabhängig,

kein Faulwasser im Hafenbecken, unabhängig von Bodenverhältnissen usw.) und in schwierigen Bodenverhältnissen bzw. bei grosser Wassertiefe einen Hafenbau überhaupt erst ermöglichen. Die Herstellung der Betonelemente ist unabhängig vom Hafenstandort, d. h. eine ganze Hafenanlage kann auf dem See weg praktisch vorgefertigt eingeschwommen werden, so dass die Erholungsgebiete, in denen zumeist die Hafenanlagen erstellt werden, durch Bauemissionen nur wenig beeinträchtigt werden.

Adresse des Verfassers: B. Fehlmann, Fehlmann Zug AG, Chamerstrasse 104, 6301 Zug

Druckpendelungen im Leitungssystem von Wasserkraftanlagen mit Wasserschloss

Von Josef Hochstatter und Günter Lein, Stuttgart

Der vorliegende Beitrag hat zum Ziel, am Beispiel einer fiktiven Hochdruck-Wasserkraftanlage mit oberwasserseitigem Wasserschloss darzulegen, mit welchen Druckänderungen der Stollen belastet wird und wie sich das Verhältnis Stollenlänge/Rohrleitungslänge auf diese Belastung auswirkt. Auch für die Druckleitung ergeben sich interessante Folgerungen.

Aus der Literatur ist hinlänglich bekannt, dass Stollen durch Wasserschlösser nicht vollständig vor Druckstößen, die von den Maschinen ausgehen, geschützt sind. Angaben über die tatsächliche Druckbeanspruchung der Stollen liegen jedoch nur spärlich vor. In den meisten Fällen wird nur der Druck berücksichtigt, der sich aus der Wasserspiegelbewegung und einer eventuellen Drosselung im Wasserschloss ergibt. Er nimmt – beginnend an der Abzweigung

zum Wasserschloss – linear mit der Länge ab (vgl. auch Bild 7). Die tatsächliche Druckbeanspruchung kann beträchtlich von dieser vereinfachten Vorstellung abweichen. Besonders stark wirkt sich dabei eine lange durchströmte untere Kammer mit relativ kleinem Querschnitt aus, wie sie bei Wasserschlössern in Hochdruckanlagen häufig ausgeführt wird.

Gemäss Bild 1 besteht die fiktive Wasserkraftanlage aus einem Oberbecken,

einem nahezu horizontal verlaufenden Stollen, einem Wasserschloss mit langer Unterkammer mit oder ohne Drosselung am Ende der Kammer, einer

Tabelle 1. Daten der fiktiven Anlage

Fallhöhe der Anlage	$H_N = 1500 \text{ m}$
Anzahl der Turbinen	$n = 3$
Anzahl der Düsen pro Turbine	$i_D = 4$
Nenndurchfluss von 3 Turbinen	$Q_N = 36 \text{ m}^3/\text{s}$
Leerlaufdurchfluss von 3 Turbinen	$Q_o = 1,5 \text{ m}^3/\text{s}$
Schliesszeit von Leerlauföffnung aus	$t_s = 2 \text{ s}$
<i>Druckrohrleitung (1)</i>	
Länge	$L_1 = 3000 \text{ m}$
Durchmesser	$D_1 = 2,5 \text{ m}$
Rohreibungsbewert	$\lambda_1 = 0,013$
Wellengeschwindigkeit	$a_1 = 1200 \text{ m/s}$
<i>Stollen (2)</i>	
Länge	$L_2 = 3000 \dots (300) \dots 14000 \text{ m}$
Durchmesser	$D_2 = 3,4 \text{ m}$
Rohreibungsbewert	$\lambda_2 = 0,012$
Wellengeschwindigkeit	$a_2 = 1200 \text{ m/s}$
<i>Wasserschloss Untere Kammer (3)</i>	
Länge	$L_3 = 300 \text{ m}$
Durchmesser	$D_3 = 3 \text{ m}$
Rohreibungsbewert	$\lambda_3 = 0,013$
Wellengeschwindigkeit	$a_3 = 1200 \text{ m/s}$
<i>Haupschacht</i>	
Querschnittsfläche	$A_4 = 0,0235 \cdot L_2 \cdot 1 \text{ m}$
Höhenkote der Drossel	$z_3 = 1460$
Drosselbewert	$\xi = 0 \text{ oder } 22,5$

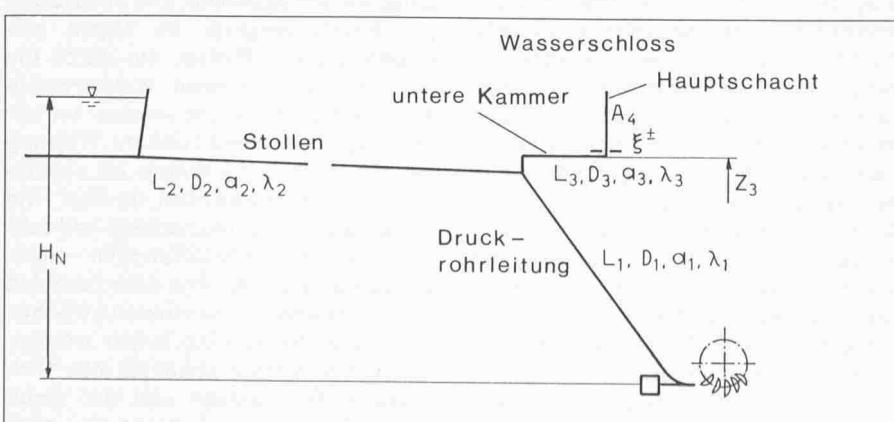


Bild 1. Prinzipskizze der Anlage