

**Veröffentlichungen zur Erforschung  
der Druckstoßprobleme  
in Wasserkraftanlagen und Rohrleitungen**

Herausgegeben von

**Dr.-Ing. habil. Friedrich Tölke**

Docteur ès Sciences h. c.

o. Professor an der Technischen Hochschule Stuttgart

Zweites Heft

Mit 225 Abbildungen



**Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH**

1956

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten.  
Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es auch nicht gestattet,  
dieses Buch oder Teile daraus auf photomechanischem Wege  
(Photokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

© by Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1956

Ursprünglich erschienen bei Springer-Verlag OHG., Berlin/Göttingen/Heidelberg 1956

ISBN 978-3-540-02096-7    ISBN 978-3-662-13373-6 (eBook)  
DOI 10.1007/978-3-662-13373-6

## Inhaltsverzeichnis.

	Seite
<b>Über die konstruktive Gestaltung der druckstoßgefährdeten Teile von Wasserkraftanlagen.</b>	
Von Professor Dr.-Ing. FR. TÖLKE, Stuttgart (Mit 80 Abbildungen.) . . . . .	1
I. Die Druckstoß- und Kennfunktionen . . . . .	1
1. Allgemeines . . . . .	1
2. Die Druckstoß-Kennfunktionen beim Öffnen . . . . .	2
3. Die Druckstoß-Kennfunktionen beim Schließen . . . . .	4
4. Die Wellenfortpflanzungsgeschwindigkeit bei Druckrohrleitungen und bei Stollen . . . . .	5
II. Die Sicherung von Druckrohrleitungen gegen Trennbrüche . . . . .	7
1. Zusammenfassende Betrachtung über das Verhalten der Stähle . . . . .	7
2. Abhängigkeit der Bruchart vom Gefüge . . . . .	9
3. Werkstoffauswahl . . . . .	10
4. Herabsetzung der Blechstärke durch Verwendung von aluminiumberuhigten Feinkornstählen . . . . .	11
5. Einhalten eines bestimmten Verhältnisses von Streckgrenze zu Bruchfestigkeit . . . . .	11
6. Die Gefährlichkeit räumlicher Zugspannungszustände . . . . .	12
7. Maßnahmen zur Erzielung einwandfreier Schweißnähte und zum Abbau der Schweiß-eigenstressungen . . . . .	13
8. Maßnahmen zur Milderung von Eigenspannungen durch konstruktive Zusatzmaßnahmen . . . . .	15
9. Ausschaltung räumlicher Zusatzspannungen bei Bodensetzungen . . . . .	17
10. Die Sicherung setzungsgefährdeter, eingeerdeter Druckrohrleitungen durch Längs-fundamente mit Bitumenbetonzwischenlage . . . . .	19
III. Die Verwendungsmöglichkeit von Spannbeton für Druckrohrleitungen. . . . .	20
1. Betonentwicklung . . . . .	20
2. Spannbetonstähle . . . . .	21
3. Die Kriechgrenze als Gütemaßstab für Spannbetonstähle . . . . .	22
4. Auswirkungen der hochliegenden Elastizitätsgrenze der Spannbetonstähle . . . . .	23
5. Herabsetzung der Schwind- und Kriechwirkungen des Betons. . . . .	23
6. Konstruktive Fortschritte der Spannbetonrohrherstellung . . . . .	24
7. Die Längsverbinding von Spannbetonrohren . . . . .	25
8. Abzweigungen und Hosenrohre in Spannbetonleitungen . . . . .	26
IV. Die Stollen- und Kavernenbauweise. . . . .	26
1. Talsperrenkraftwerke . . . . .	26
2. Stollen-Freiluftkraftwerke . . . . .	27
3. Druckschacht-Freiluftkraftwerke . . . . .	31
4. Druckschacht-Kavernenkraftwerke . . . . .	31
5. Mehrschacht-Kavernenkraftwerke . . . . .	35
6. Talsperren-Schacht-Kraftwerke . . . . .	35
7. Besonderheiten von Druckschacht-Kavernenkraftwerksketten . . . . .	37
8. Das Druckstoßverhalten von Stollen und Schächten im Vergleich zu Druckrohrleitungen. . . . .	40
V. Über die Abhängigkeit der Druckstöße vom Schließgesetz . . . . .	40
1. Das Formelwerk der Druckstoßtheorie bei konstanter Wellenfortpflanzungsgeschwindig-keit und konstantem Leitungsquerschnitt . . . . .	40
2. Der Druckstoß bei momentanem Absperren des Durchflusses . . . . .	45
3. Der Druckstoß bei linearer Wassermengendrosselung . . . . .	46
4. Der Druckstoß bei Wassermengendrosselung gemäß einer elliptischen cosinus-Funktion . . . . .	47
<b>Experimentelle Untersuchungen über die Stützwirkung der Druckschachtpanzerung der Druckrohr-leitung eines Alpen-Wasserkraftwerkes.</b> Von Professor Dr.-Ing. W. PELIKAN, Stuttgart (Mit 21 Abbildungen.) . . . . .	52
Vorbemerkung . . . . .	52
Die theoretische Stützwirkung der Druckschachtpanzerung. . . . .	52

	Seite
Faktoren, welche die theoretische Stützwirkung der Druckschachtpanzerung vermindern . . .	54
Die Messung der Rohrbeanspruchung . . . . .	55
Wahl der Meßeinrichtung . . . . .	55
Die Polygon-Meßkette . . . . .	55
Labor-Erprobung und Eichung der Meßkette und eines Rohrabchnittes . . . . .	57
Statische Messungen an der gepanzerten Druckrohrleitung des Alpenkraftwerkes . . . . .	60
Die Ergebnisse der statischen Dehnungsmessungen beim Füllen und Entleeren der Druckrohr- leitung . . . . .	60
Dynamische Messungen . . . . .	65
Erkenntnisse und Folgerungen aus den Untersuchungen . . . . .	65
Schrifttum . . . . .	66
<b>Nichtstationäre Strömungen in Unterwasserstollen.</b> Von Dr.-Ing. H. BLIND, München (Mit 60 Ab- bildungen und 22 Diagrammen.) . . . . .	67
A. Einleitung . . . . .	67
I. Unterirdische Kraftwerke (Kavernenkraftwerke) und Unterwasserstollen . . . . .	67
II. Die nichtstationären Strömungen in Unterwasserstollen. Aufgabe der Untersuchungen . .	68
B. Unterteilung der Unterwasserstollen nach den stationären und nichtstationären Strömungen. .	69
I. Allgemeine Gesichtspunkte . . . . .	69
II. Vier Grundtypen von Unterwasserstollen . . . . .	69
1. Der Unterwasserstollen als reiner Freispiegelstollen . . . . .	69
2. Unterwasserstollen unter Druck mit einem Wasserschloß auf der Unterwasserseite . .	69
3. Unterwasserstollen unter Druck mit je einem Wasserschloß auf der Oberwasser- und Unterwasserseite . . . . .	70
4. Unterwasserstollen unter Druck ohne Wasserschloß . . . . .	70
III. Weitere Unterwasserstollentypen . . . . .	70
1. Freispiegelstollen im Grenzbereich zum Druckstollen . . . . .	70
2. Freispiegelstollen mit Überschreitung des Grenzbereiches. . . . .	70
3. Unterwasserstollen als Freispiegelstollen mit Schwallkammern . . . . .	71
4. Druckstollen ohne Wasserschloß, aber mit Belüftung . . . . .	71
C. Unterwasserstollen als Freispiegelstollen — Schwall und Sunk. . . . .	71
I. Allgemeine Gesichtspunkte für Freispiegelstollen . . . . .	71
1. Anlage von Freispiegelstollen und günstigstes Profil . . . . .	71
2. Eigenschaften des Kreisprofils . . . . .	71
3. Die nichtstationären Strömungen in Freispiegelstollen . . . . .	72
II. Schwall- und Sunkwellen in Freispiegelstollen . . . . .	72
1. Allgemeine Betrachtung und Begriffsbestimmungen . . . . .	72
2. Erklärung der Bezeichnungen. . . . .	73
3. Ableitung der allgemeinen Schwallformel für eine elementare Einzelwelle in einem Stollen . . . . .	73
III. Modellversuche über Schwall und Sunk in Unterwasserstollen . . . . .	74
1. Zweck und Umfang der Versuche . . . . .	74
2. Versuchsstand mit Meßeinrichtung . . . . .	75
3. Die Versuche und ihre Ergebnisse . . . . .	75
IV. Vergleich zwischen Meßwerten und der Berechnung für Schwallwellen-Ermittlung der Schwallhöhen mittels Kurventafel. . . . .	75
V. Untersuchung über die Verformung der Schwallwelle im Stollenprofil . . . . .	76
1. Allgemeines . . . . .	76
2. Verformung der Schwallwelle in Fließrichtung (Branden-Abflachung) . . . . .	77
3. Verformung der Schwallwelle senkrecht zur Fließrichtung (Randaufwölbung) . . . .	78
D. Unterwasserstollen im Grenzbereich vom Freispiegelstollen zum Druckstollen. . . . .	79
I. Zweck und Umfang der Untersuchungen . . . . .	79
II. Modellversuche . . . . .	80
1. Versuchsprogramm . . . . .	80
2. Modell und Meßeinrichtung. . . . .	80
3. Die Versuche und ihre Ergebnisse . . . . .	80

	Seite
III. Lufteinschließungen im Stollen und ihre Auswirkungen beim stationären und nichtstationären Abfluß . . . . .	81
1. Entstehungsursache von Lufteinschließungen . . . . .	81
2. Verhalten der Lufteinschließungen im Druckstollen bei stationärem Abfluß. . . . .	81
3. Verhalten der Lufteinschließungen in Druckstollen bei nichtstationärem Abfluß (Druckstoß). . . . .	81
IV. Untersuchung über die Grenzlage des Unterwasserspiegels für Sunk und Druckstoß bei Stollenbelüftung. . . . .	85
E. Unterwasserstollen mit Überschreitung des Grenzbereiches vom Freispiegelstollen zum Druckstollen . . . . .	86
I. Allgemeine Gesichtspunkte . . . . .	86
II. Anwendung der Schwallkammern . . . . .	87
III. Bemerkung über den Einfluß der Öffnungszeit der Turbinen auf die Schwallhöhe. . . . .	87
IV. Über die Anwendung partial wirkender Wasserschlösser bei Entlastungsvorgängen in Unterwasserstollen. . . . .	87
F. Unterwasserstollen als Druckstollen ohne Wasserschloß . . . . .	88
I. Allgemeines über Druckstollen ohne Wasserschloß . . . . .	88
II. Ermittlung der Unterdrücke an den Abschlußorganen in UW-Stollen. . . . .	88
III. Berechnung des Druckstoßes in Unterwasserstollen . . . . .	89
1. Nach der analytischen Methode von Allievi. . . . .	89
2. Nach der graphischen Methode von Schnyder-Bergeron . . . . .	91
IV. Druckstollen mit großen Unterdrücken beim Abschluß. Abreißen der Wassersäule. . . . .	92
1. Allgemeines . . . . .	92
2. Abreißen der Wassersäule . . . . .	92
3. Berechnung des Abreißens der Wassersäule ohne Belüftung. . . . .	92
4. Berechnung des Abreißens der Wassersäule mit Belüftung . . . . .	93
5. Berechnungsbeispiel für das Abreißen mit und ohne Belüftung . . . . .	96
6. Modellversuche zur Klärung des Abreißvorganges und Überprüfung der ermittelten Berechnungsformeln . . . . .	97
Zusammenfassung der Ergebnisse und der daraus sich ergebenden Erkenntnisse für die Anlage von Unterwasserstollen . . . . .	98
Schrifttum . . . . .	100
Anhang . . . . .	101
Schwall- und Sunkdiagramme in Unterwasserstollen . . . . .	104
<b>Druckstoß und Wasserschlag beim Abschluß von Hauswasserleitungen.</b>	
Von Oberbaurat W. GANDENBERGER, Stuttgart (Mit 23 Abbildungen.) . . . . .	109
Experimentelle Ermittlung. . . . .	110
Graphische Ermittlung der Höchstdrücke . . . . .	111
Rechnerische Ermittlung der Höchstdrücke und des Wasserschlages . . . . .	115
Höchstdrücke . . . . .	115
Wasserschlag . . . . .	119
Zusammenfassung . . . . .	121
<b>Berechnung der Größe der Druckwindkessel bei Wasserwerken.</b> Von Professor Dr. phil. K. LUDWIG † und Baurat Dr.-Ing. H. STACK, Hannover (Mit 19 Abbildungen.) . . . . .	122
Berechnung des Druckwindkessels . . . . .	128
Berechnung von Druck und Unterdruck . . . . .	139
Versuchsergebnisse . . . . .	141
1. Versuchsreihe . . . . .	141
2. Versuchsreihe . . . . .	143
3. Versuchsreihe . . . . .	144
4. Versuchsreihe . . . . .	145
Beispiel der Berechnung eines Windkessels . . . . .	146
Zusammenfassung . . . . .	149