

# AGF

BERICHTE

ARBEITSGEMEINSCHAFT FEUERSCHUTZ

"Untersuchung der Vor- und Nachteile  
des Kugelhahnes im Wasserfördersystem außerhalb  
des Strahlrohres im Vergleich zum Niederschraubventil"

6

ARBEITSGEMEINSCHAFT DER LANDESDIENSTSTELLEN  
FÜR FEUERSCHUTZ IN DEN BUNDESLÄNDERN (AGF)

Forschungsbericht Nr. 6

"Untersuchung der Vor- und Nachteile des Kugelhahnes im Wasserfördersystem außerhalb des Strahlrohres im Vergleich zum Niederschraubventil"

von

Dipl.-Ing. B.R. Hinrichs †

Forschungsstelle für Brandschutztechnik  
an der Technischen Hochschule Karlsruhe

Karlsruhe  
November 1964

## INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. Einleitung	1
2. Druckhöhenverluste	1
3. Schliesszeiten	3
4. Wasserschlag als Folge der Schliesszeit	3
5. Dichtschliessen gegen Drücke	10
6. Verformung oder Verspannung der Ventil- oder Hahnkörper	12
7. Leichtgängigkeit des Schaltorgans	13
8. Verschmutzungsgefahr	13
9. Zusammenfassung	14
10. Literaturverzeichnis	15
11. Tabelle und Bilder	16

## 1. EINLEITUNG

Neuerdings werden in den Wasser führenden Leitungen bei den Feuerwehren als Absperrorgane statt der bisher üblichen Niederschraubventile Kugelhähne eingeführt. In der Funktion unterscheiden sich die Hähne von den Ventilen durch die bedeutend rascher verlaufenden Öffnungs- und Schließvorgänge. Auch im konstruktiven Aufbau unterscheiden sich beide wesentlich. Im folgenden sollen die Vor- und Nachteile dieser beiden Absperrorgane besonders im Hinblick auf ihre Verwendung im Wasserfördersystem bei den Feuerwehren behandelt werden.

Der konstruktive Aufbau normaler, bekannter Durchgangsventile ist schematisch aus Bild 1 zu ersehen. Es gibt eine Vielzahl von Varianten in der Gestaltung, wobei das Hauptaugenmerk auf eine strömungsgünstige Ausführung des Innenraumes gelegt wird, um den Widerstandsbeiwert  $\zeta$  niedrig zu halten. Im Prinzip arbeiten solche Absperrorgane alle gleichartig. Ein mittels einer Spindel beweglicher Ventilteller drückt beim Schließen gegen einen Dichtsitz und kann beim Öffnen durch einen senkrecht zur Strömungsrichtung verlaufenden Hub den Strömungsquerschnitt freigeben.

Bei Hähnen bezeichnet man das Absperrorgan im Gehäuse als Kükens. Es enthält eine Bohrung, die in Öffnungsstellung einen ungehinderten Durchfluß freigibt und bei Verdrehung um  $90^\circ$  den Wasserfluß stoppt (Prinzipausführungen siehe Bild 2). Für Apparaturen und Geräte gibt es als Besonderheit Drei- und Vierweghähne, die im praktischen Feuerwehrbetrieb keine Verwendung finden und hier nur der Vollständigkeit halber erwähnt werden sollen. Im allgemeinen werden Hähne nur für kleine Nennweiten hergestellt.

## 2. DRUCKHÖHENVERLUSTE

Hähne weisen gegenüber den Ventilen als wesentlichen Vorteil niedrigere Strömungsverluste auf. Die Kugelhähne der Feuerlöscharmaturen geben einen großen Querschnitt frei, so daß nur eine geringe Einschnürung des Wasserflusses und als Folge davon eine

geringe Energieumsetzung stattfindet. Im Gegensatz zu den meisten Ventilausführungen sind in Hähnen die Durchgänge gradlinig ausgeführt. Dadurch werden Strömungsverluste durch Umlenkungen vermieden.

Die Widerstandsbeiwerte  $\zeta$  für Ventile und Hähne ergeben sich aus der Gleichung

$$p = \gamma \cdot \zeta \frac{v^2}{2g} \quad (1)$$

Es bedeuten:  $p$  die Druckhöhenverluste in dem Absperrorgan,  $\gamma$  das spezifische Gewicht des strömenden Mediums,  $\zeta$  der Widerstandsbeiwert,  $v$  die Geschwindigkeit des strömenden Mediums,  $g$  die Gravitationskonstante =  $9.81 \text{ m/s}^2$ ,  $\zeta$  ist damit als Gesamtwiderstandsziffer ( $\zeta_{\text{ges}}$ ) definiert und schließt alle in den Absperrorganen auftretenden Strömungsverluste ein.

Die Widerstandsziffer  $\zeta$  für verschiedene Arten von Durchgangsventilen bei Nennweiten von 100 mm sind aus Bild 1 ersichtlich [1]. Man ersieht daraus deutlich die Wichtigkeit einer strömungsgünstigen Konstruktion dieser Armaturen. Hähne ergeben vergleichsweise Widerstandsziffern von  $0,3 < \zeta < 0,5$ .

Für den Verteiler ist nach der Norm DIN 14345, die sowohl Verteiler mit Niederschraubventilen als auch mit Hähnen zuläßt, ein Größtwert für die Widerstandszahl  $\zeta$  festgelegt. Dieser muß für alle Durchgänge beim Verteiler B (B - CBC)  $\zeta < 2,5$  und entsprechend für den Verteiler C (C - DCD)  $\zeta < 2,0$  sein. Bei Ausführungen mit Niederschraubventilen muß eine gute konstruktive Durcharbeitung des Innenraumes vorliegen, damit diese Zahlen, insbesondere bei den kleineren Abgängen, erreicht werden. Wie eine neuerliche Vermessung verschiedener Verteiler ergeben hat, erreichen ältere Ausführungen diese Sollwerte im allgemeinen nicht. Verteiler mit Kugelhähnen ergeben dagegen beträchtlich unter dem Größtwert liegende Widerstandsziffern.

### 3. SCHLIESSZEITEN

Ventile und Hähne unterscheiden sich durch die veränderten Schließzeiten wesentlich voneinander. Bei Ventilen muß man mehrere Umdrehungen am Handrad ausführen, um den Querschnitt für die Durchströmung der Flüssigkeit voll freizugeben. Diese Anzahl der Umdrehungen wird von der Steigung der Spindel beeinflusst. Im Gegensatz dazu braucht bei Hähnen nur ein Hebel um  $90^\circ$  gedreht zu werden. Entsprechend unterschiedlich sind somit auch die Schließzeiten. Nach den hier durchgeführten Messungen betragen die Öffnungs- bzw. Schließzeiten bei verschiedenen Ventilen der Feuerlöscharmaturen 3,4 bis 14,5 s; bei Kugelhähnen wurden dagegen Zeiten bis herunter zu 0,05 s bei schnellem Betätigen von Hand gemessen. Mehrere Versuchspersonen haben sich die größte Mühe gegeben, möglichst rasch zu drehen. Alle Messungen wurden durch entsprechende Kontaktgeber an den Hähnen auf elektrischem Wege mit einer auf  $1/100$  s genau ablesbaren, elektrischen Kurzzeituhr durchgeführt; bei den Ventilen dagegen mit einer auf  $1/10$  s ablesbaren Stoppuhr. Die Armaturen standen immer unter Wasserdruck bis 120 m WS, so daß betriebsnahe Verhältnisse vorlagen.

### 4. WASSERSCHLAG ALS FOLGE DER SCHLIESSZEIT

Die Schließzeit der Absperrorgane ist für eine Druckänderung beim Unterbrechen des Wasserstromes von entscheidender Bedeutung; das strömende Wasser muß abgebremst und seine kinetische Energie in Druckenergie umgewandelt werden. Beim langsamen Schließvorgang erfolgt eine allmähliche Abbremsung und infolgedessen auch ein geringerer Druckanstieg, während in einem plötzlich geschlossenen Rohr ein Wasserschlag oder Wasserstoß entsteht. Dieser Wasserschlag kann so stark sein, daß Schläuche durch die auftretenden Drücke zerplatzen und Pumpen oder sonstige Armaturen Schäden erleiden. Im folgenden sollen diese auftretenden Druckstöße theoretisch behandelt und durch Meßwerte die Abhandlungen bestätigt werden.

Druckerhöhungen beim Drosseln von Wasserflüssen in Rohrleitungen können anhand vorliegender Formeln [2, 3] berechnet werden. Es

bleibt somit nur noch die Aufgabe, die Berechnungsverfahren auf die elastischen Schlauchleitungen der Feuerwehren auszudehnen.

Unter Wasserdruck stehende Feuerlöschschläuche lassen sich als Rohrleitungen betrachten, doch weisen sie im Gegensatz zu den relativ unnachgiebigen Wandungen der Rohre keine ähnlich hohe Steifigkeit auf. Im Prinzip bestehen für die Druckberechnungen zwischen einer Rohr- und einer Schlauchleitung keine Unterschiede; es weichen lediglich die physikalischen Daten der Wandungsmaterialien voneinander ab. In den folgenden Betrachtungen werden die biegsamen Schläuche als gerade ausgelegte Leitungen betrachtet.

In einem plötzlich geschlossenen Rohr, das von einem inkompressiblen Medium durchströmt wird, entsteht eine Druckwelle, die sich mit der Geschwindigkeit  $a$  fortpflanzt. Diese Geschwindigkeit errechnet sich nach der Formel

$$a = \sqrt{\frac{g/\gamma}{\frac{1}{E_W} + \frac{D}{E_R s}}} \quad (2)$$

Es bedeuten:

$E_W$  der Elastizitätsmodul der Flüssigkeit =  $1/\chi$   
( $\chi$  = Kompressibilitätsfaktor  $50 \cdot 10^{-6}$  cm<sup>2</sup>/kp  
für Wasser),

$E_W = 2 \cdot 10^8$  kp/m<sup>2</sup> (für Wasser),

$E_R$  der Elastizitätsmodul der Leitungswandung in kp/m<sup>2</sup>,

$D$  der Innendurchmesser der Leitung,

$s$  die Wandstärke der Leitung.

Die durch den Schließvorgang entstandene Druckwelle wandert vom Absperrorgan durch die Leitung, wird am Einlaß reflektiert und wandert mit negativem Wert wieder zurück. Sie kann mit nachfolgenden Druckstößen interferieren. Als Reflexions- oder Laufzeit einer Druckwelle bezeichnet man die Zeit  $t_e = 2L/a$ , welche die Druckwelle braucht, um die Rohrlänge  $L$  einmal hin und wieder zurück zu durchlaufen. Wir müssen bei den Gegebenheiten der Feuerwehren jedoch bedenken, daß eine echte Reflexion nicht eintritt, weil keine ebene Wand vorhanden ist, an der eine Reflexion stattfinden kann. Da die Schlauchleitungen mit den ein-

gebundenen Kupplungen und die weiteren Verbindungen an Armaturen und Pumpen keine ungestörten glatten Wandungen aufweisen, finden an allen Stellen, an denen Rohrdurchmesser und Wanddicke des Rohres sich verändern, oder auch an Krümmungen der biegsamen Schläuche, teilweise Reflexionen statt. Die Druckstöße sehen deshalb aus, wie dies in Bild 3 wiedergegeben ist. Der echten Druckwelle sind manchmal kleine Teilreflexionen überlagert.

Der durch den Schaltvorgang bedingte Druckanstieg im Rohr nimmt verschieden große Werte an, je nachdem die Zeitdauer  $t_s$  des Schließvorganges kleiner oder größer  $t_a$  ist. Der größte Überdruck über dem normalen Betriebsdruck ergibt sich für  $t_s \leq 2 L/a$ . Dieser läßt sich aus dem Impulssatz berechnen zu:

$$\Delta p = \rho a \cdot v \quad , \quad (3)$$

wenn  $\rho$  die Dichte des strömenden Mediums in  $\text{kp s}^2/\text{m}^4$  und  $v$  die Strömungsgeschwindigkeit in  $\text{m/s}$  im Rohr sein soll. In Bild 4 ist diese Druckänderung  $\Delta p$  in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit  $v$  mit der Druckwellengeschwindigkeit  $a$  als Parameter aufgetragen.

$\Delta p$  steigt linear mit wachsendem  $v$ . Die Druckwellengeschwindigkeit  $a$  ist für eine Rohrausführung konstant. Verändert sie sich, so bewirkt sie eine direkt proportionale Drucksteigerung.

Ist die Zeitdauer des Schließvorganges  $t_s > 2 L/a$ , so tritt am Rohreingang eine Reflexion der Druckwelle unter Änderung ihres Vorzeichens ein. Am Abschlußorgan trifft diese reflektierte Unterdruckwelle mit der zeitlichen Verschiebung  $t_e = 2 L/a$  ein. Der nach Gleichung (3) ermittelte Druck ist um den zur Zeit  $t_e$  vorher herrschenden Überdruck zu vermindern. Wenn der Abschlußvorgang lange dauert, können diese Reflexionen mehrmals stattfinden.

Ist die Schließzeit  $t_s \gg 2 L/a$ , so können die elastischen Vorgänge in den Leitungen vernachlässigt werden. Nach dem Trägheitsgesetz von NEWTON kann die allgemeine Gleichung für die absolute Druckänderung am Ende einer Rohrleitung folgendermaßen geschrieben werden:

$$\Delta p \int_0^L = \frac{\gamma}{g F} \frac{\partial Q}{\partial t} dx \quad . \quad (4)$$

In dieser Gleichung bedeuten:

- Q der Wasserstrom in  $m^3/s$
- F der Querschnitt der Rohrleitung in  $m^2$ ,
- t die Zeit in s ,
- x die Länge der Rohrleitung in m.

Da der Wasserstrom Q nur zeit- aber nicht wegabhängig ist, ist in Gleichung (4)  $\partial Q / \partial t = dQ/dt$ :

$$\Delta p = \frac{dQ}{dt} \frac{\gamma}{g F} \int_0^L dx \quad (5)$$

Mit  $Q = F v$  läßt sich (5) umformen in

$$\Delta p = \frac{\gamma}{g} \frac{dv}{dt} \int_0^L dx \quad (6)$$

In Bild 5 ist die Druckerhöhung in Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit v des Wassers mit dem Parameter L (Leitungslänge) bei der konstanten Schließzeit  $t = 1$  s aufgetragen, in Bild 6  $\Delta p$  nach Gleichung (6) in Abhängigkeit von v und mit  $t_s$  als Parameter bei konstanter Rohrlänge L aufgezeichnet. Der Überdruck steigt proportional zur Länge der Leitung und der Geschwindigkeit des Wassers und umgekehrt proportional der Schließzeit  $t_s$ .

Mit den Gleichungen (3) und (6) kann der Wasserschlag in einer Leitung für jeden Zustand theoretisch ermittelt werden. In beiden Gleichungen ist der Wasserstrom nicht mehr enthalten. Es ist also die Druckerhöhung unabhängig von der durchfließenden Wassermenge und dem Querschnitt der Leitung. Nur indirekt sind diese Größen noch in der Geschwindigkeit enthalten. Die Bilder 4 bis 6 gelten somit für alle Schlauchgrößen.

In Gleichung (3) ist die Druckwellengeschwindigkeit a für die elastischen Schläuche noch als unbekannt anzusehen, so daß sich einem die Aufgabe stellt, sie für diese Materialien zu bestimmen. a läßt sich mit Gleichung (2) für alle Rohrwandungsmaterialien ermitteln, die einen konstanten Elastizitätsmodul  $E_R$  aufweisen,

d.h. für alle diejenigen Stoffe, die dem Hook'schen Gesetz der Proportionalität zwischen der Spannung  $\sigma$  und der Dehnung  $\epsilon$  genügen. Die Gewebe der Feuerlöschschläuche als Druckträger zeigen jedoch ein anderes Verhalten; vor allem ist die Längs- und Querdehnung nicht von gleicher Größenordnung. Infolgedessen kann streng genommen Gleichung (2) nicht für Feuerlöschschläuche verwendet werden. Damit läßt sich nach Gleichung (3) die Drucksteigerung bei plötzlicher Drosselung des Wasserstromes nicht bestimmen.

Von den für die Versuche zur Bestimmung der Drucksteigerung verwendeten Schläuchen wurden die Längs- und Querdehnungen in Abhängigkeit von der Drucksteigerung bestimmt (Bild 7 bis 12). In erster Annäherung kann man aus den Meßwerten entnehmen, daß sich oberhalb eines angenommenen Wasserdruckes von 50 m WS die Dehnungen ungefähr proportional zur Spannung  $\sigma$  verhalten. Da bei den Feuerwehren ein Druck von 50 m WS als Mindestdruck an den Strahlrohren verlangt wird, liegen die Druckschwankungen oberhalb dieses Wertes und man kann eine Proportionalität zwischen Spannung  $\sigma$  und Dehnung  $\epsilon$  für diesen Bereich annehmen.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} . \quad (7)$$

Für die Längsdehnung erhält man einen anderen Elastizitätsmodul als für die Querdehnung. Soll  $E_1 = \sigma_1 / \epsilon_1$  für die Längsdehnung und  $E_q = \sigma_q / \epsilon_q$  für die Querdehnung gelten, so soll sich für die Ermittlung der Druckwellengeschwindigkeit  $a$  der Elastizitätsmodul  $E_R$  als arithmetisches Mittel aus  $E_q$  und  $E_1$  zusammensetzen:

$$E_R = \frac{E_q + E_1}{2} . \quad (8)$$

Mit dieser Annahme läßt sich nunmehr auch für Wasserleitungen aus Feuerlöschschläuchen die Druckänderung  $\Delta p$  nach Gleichung (3) für die Schließzeit  $t_s \approx 2 L/a$  ermitteln.

Vergleicht man nunmehr die Drucksteigerungen, wie sie sich einmal nach Gleichung (3) und zum anderen nach Gleichung (6) ergeben, so ist der starke Wasserschlag beim plötzlichen Drosseln eines Flüssigkeitsstromes deutlich zu erkennen, wenn die Schließzeit  $t_s \approx 2 L/a$  ist. Gleichung (6) liefert bei längeren Schließzeiten

wesentlich niedrigere Druckerhöhungen. Selbst für die kurze Schließzeit  $t_s = 1$  s ergibt sich bei einer 20 m langen Leitung für eine Strömungsgeschwindigkeit des Wassers  $v = 5$  m/s, die für alle Größen von Feuerlöschschläuchen als hoch angesehen werden muß, eine relativ unschädliche Druckerhöhung von 10 m WS (siehe Bild 5).

Diese theoretischen Überlegungen sollen nunmehr mit Meßergebnissen an Feuerlöschschläuchen der Größen B, C und D verglichen werden. Der Versuchsaufbau war folgender: Aus einem Tankfahrzeug wurde über eine Feuerlöschpumpe Wasser durch möglichst gerade verlegte Schlauchleitungen geführt und an einem Absperrorgan mit Kugelhahn der Wasserstrom plötzlich gebremst. Der dabei entstehende Wasserschlag wurde direkt vor dem Kugelhahn mittels eines elektrischen Druckaufnehmers bestimmt, wobei die mechanische Meßgröße über eine als Meßwandler dienende Stahlmembrane in dem Aufnehmer durch deren elastische Verformung mit Hilfe induktiver Wegaufnehmer in elektrische Werte umgewandelt wurde. In Meßverstärkern wurden die elektrischen Werte verstärkt und über einen Direktschreiber sichtbar gemacht und registriert. Beispiele solcher Aufzeichnungen zeigt Bild 3. Da der Direktschreiber bei Vollausschlag in der Anzeige Frequenzen von 0-125 Hz aufnehmen kann, ist Gewähr für eine schnelle und wahrheitsgetreue Wiedergabe der Druckstöße gegeben.

Die Auswertung der Versuche ist in den Bildern 13 bis 15 wiedergegeben. Über der Strömungsgeschwindigkeit  $v$  im Schlauch ist die Druckerhöhung  $\Delta p$  in m WS aufgetragen. Bei den Schläuchen B und C wurden die Messungen mit Schlauchlängen von 20 und 4 m, bei den D-Schläuchen mit 40, 20, 10, 5 und 2 m Längen vorgenommen. Die gemessenen Werte zeigen einen linearen Anstieg mit einem gewissen Streubereich.

In den Diagrammen ist weiterhin die theoretisch ermittelte Druckerhöhung als Gerade eingetragen, die nach Gleichung (3) berechnet wurde, weil die Schließzeit  $t_s$  bei den hier durchgeführten Versuchen kleiner als die Laufzeit  $t_e = 2 L/a$  war. Bei schnellem Schließvorgang der Hähne und den bei den Feuerwehren vorhandenen Schlauchlängen kann  $t_s < t_e$  angenommen werden. Nur bei Niederschraubventilen oder bei langsamem Schließen eines Hahnes ist  $t_s \gg t_e$  und es gilt die Gleichung (6). In der Praxis wird man sich bei Hähnen

meistens im Übergangsbereich befinden, wo  $t_s > t_e$  ist, aber  $t_s \gg t_e$  noch nicht gilt. In solchen Fällen ist der Druckanstieg jedoch immer kleiner als bei  $t_s < t_e$ . Bei den hier besprochenen Versuchen war  $t_s < t_e$  oder nur wenig größer, so daß Gleichung (3) gültig war.

Aus den Bildern 13 bis 15 ist zu ersehen, daß die gemessenen Druckerhöhungen unterhalb der theoretisch errechneten Druckhöhenlinien zu liegen kommen; nur bei dem D-Schlauch liegen einige Meßpunkte geringfügig über der Linie. Wenn die Meßwerte nicht an die theoretischen Werte heranreichen, so kann das an Teilreflexionen innerhalb des Schlauches an Verengungen, Knickungen oder den Kanten der Kupplungen liegen, die eine Abschwächung des maximalen Druckanstieges bewirken. Im ganzen kann jedoch eine gute Übereinstimmung zwischen errechneten und gemessenen Werten festgestellt werden.

Im Gegensatz zu den Hähnen darf man bei Niederschraubventilen annehmen, daß  $t_s \gg t_e$  ist, so daß die Druckerhöhung nach Gleichung (6) bestimmt werden muß. Bei einer Leitungslänge von 20 m, einer Strömungsgeschwindigkeit des Wassers  $v = 3$  m/s und der schnellsten bei diesen Versuchen gemessenen Schließzeit an Niederschraubventilen von 3,4 s ergibt sich ein  $\Delta p = 1,8$  m WS. Das ist eine unbedeutende Druckerhöhung und nur ein Bruchteil von dem, was sich bei schnellem Schließen des Hahnes in gleicher Leitung ergibt. Selbst eine 100 m lange Leitung würde nur eine Druckerhöhung um 9 m WS ergeben, was aber zu keinen Schäden bei Feuerlöschschläuchen führen kann.

Bei den Berechnungen der Druckerhöhungen nach Gleichung (3) beeinflußt die für jedes Schlauchmuster konstante Druckwellengeschwindigkeit  $a$  den Wert erheblich.  $a$  schwankt je nach der Dehnfähigkeit der Schläuche und liegt nach den hier durchgeführten Untersuchungen im allgemeinen zwischen 200 und 350 m/s, d.h. je größer die Dehnung um so geringer die Druckwellengeschwindigkeit. Zum Vergleich sei angeführt, daß in mit Wasser gefüllten Strahlrohren  $a = 1000$  m/s ist [2].

Es soll jetzt noch kurz diskutiert werden, durch welche Faktoren

a vorwiegend beeinflusst wird. Mit den Gleichungen (7), (8) und (2) kann a bestimmt werden. Statt dem arithmetischen Mittel aus  $E_q + E_l$  (Gleichung (8)) kann man auch das geometrische Mittel nehmen. In Tabelle 1 ist zunächst für das Schlauchmuster D die Druckwellengeschwindigkeit bei Variation der Schlauchstärke und unter Anwendung der Gleichungen (8) und (9) eingetragen. Die Wandstärke s beeinflusst a nur unwesentlich. Nimmt man das geometrische Mittel aus  $E_q + E_l$ , so liegt die Druckwellengeschwindigkeit etwas niedriger als bei Berücksichtigung des arithmetischen Mittels. Auf Grund der Untersuchungen hat sich der Verfasser für das arithmetische Mittel entschieden, da man geringfügig höhere Wasserschläge errechnet und da man sich bei der Auswertung mehr auf der sicheren Seite befindet. Man muß sich allerdings klar darüber sein, daß die Einführung eines arithmetischen Mittelwertes wissenschaftlich nicht ganz korrekt ist.

Legt man für den genannten Schlauch die Dehnung verschieden aus, so ergibt sich für extreme Dehnungsfälle unter Berücksichtigung der Gleichung (8) mit  $s = 1,5 \text{ mm}$ :

1.  $E_q = 0,5 \%$  und  $E_l = 0,4 \%$ ,  
a = 314 m/s .
2.  $E_q = 5,0 \%$  und  $E_l = 2,5 \%$ ,  
a = 125 m/s .

Die Dehnung beeinflusst die Druckwellengeschwindigkeit wesentlich und eine genaue Bestimmung der Längs- und Querdehnung der Schläuche ist darum wichtig. Im Zweifelsfalle soll man eher zu niedrige als zu hohe Dehnungswerte einsetzen, da sie höhere Druckwellengeschwindigkeiten ergeben und man bei den Berechnungen somit auf der sichereren Seite liegt.

## 5. DICHTSCHLIESSEN GEGEN DRÜCKE

Bei Niederschraubventilen drückt beim Schließen ein Ventilteller gegen einen Sitz. Eine Dichtung aus Leder, Gummi oder Kunststoff, die dazwischen gelegt wird und meistens mit dem Ventilteller fest verbunden ist, sorgt für einen dichten Wasserabschluß. Bei häufiger Benutzung des Ventils und starkem Anziehen des Ventiltellers gegen

seinen Sitz wird das Dichtungsmaterial stark zusammengepreßt und verliert seine Elastizität, so daß mit der Zeit ein langsames Durchsickern des Wassers erfolgen kann. Ein Auswechseln einer solchen Dichtung bereitet im allgemeinen keine große Schwierigkeit, kann aber beim Vorhandensein des Ventils in ständig Wasser führenden Leitungen (z.B. Tanklöschfahrzeugen) zu erheblichen Störungen in der gesamten Anlage führen. Bei Wasserdurchfluß erfolgt an der Spindel eine Abdichtung durch eine Stopfbuchse.

Bei Zylinder- und Kugelhähnen drückt ein Kükens gegen das Gehäuse. Der dichte Abschluß wird nur durch einen festen Sitz erreicht. Die Abdichtung ist nur schwer nachstellbar und für unreine Flüssigkeiten sind Hähne wenig geeignet, weil feinste Verunreinigungen zwischen die Dichtflächen gelangen und diese sie zerkratzen können. Beim Schalten entsteht durch die relativ großen dichtenden Flächen eine hohe Reibung, es kann daher leicht ein "Fressen" des Kükens auftreten.

Bei Kugelhähnen werden diese Nachteile ausgeglichen, weil das kugelförmige Kükens frei im Gehäuse gelagert ist und nur gegen eine entsprechend gestaltete Dichtung aus Gummi oder Kunststoff drückt; die Dichtflächen sind verhältnismäßig klein, da nur auf einer ringförmigen Fläche von wenigen Millimetern Breite der Wasserabschluß erfolgt. Um eine ausreichende Dichtwirkung zu erzielen, stehen die aus elastischem Material gefertigten Dichtringe unter einer gewissen mechanischen Vorspannung und werden bei vielen Konstruktionen noch zusätzlich durch die Druckflüssigkeit an das Kükens gepreßt.

Eine ungenügende Abdichtung kann bei Kugelhähnen nur auftreten, wenn keine ausreichende Anpressung zwischen Dichtring und Kükens vorhanden ist, oder das im allgemeinen weichere und leichter verletzbare Dichtmaterial durch Fremdkörper (Kies oder dgl.) beschädigt wird. Das Auswechseln solcher Dichtungsringe bereitet im allgemeinen keine Schwierigkeit, kann aber ebenso wie bei den Ventilen zu Störungen in der gesamten Anlage führen.

## 6. VERFORMUNG ODER VERSPANNUNG DER VENTIL- ODER HAHNKÖRPER.

Bei Hähnen werden normalerweise Gehäuse und Küken aus Metall gefertigt und nur der Dichtring aus Gummi oder Kunststoff hergestellt. Es besteht somit kaum eine Gefahr eines Verspannens oder Verformens irgendeines Hahnteiles. Der Druck, der bei Abschluß der Absperrorgane auf das Küken drückt, muß von zwei in Schaltachse liegenden Zapfen aufgenommen werden. Bei entsprechender konstruktiver Gestaltung besteht auch hier keine Gefahr einer Verformung. In den vergangenen Jahren ist man jedoch verschiedentlich dazu übergegangen, verschiedenartige Kunststoffe als Material für die Küken zu verwenden. Diese Kunststoffe zeigen z.T. thermoplastische Eigenschaften und sind bei höheren Temperaturen nicht formbeständig. Es sind einige Fälle solcher Verformungen bei Feuerlöscharmaturen bekannt geworden. In einem Falle hatte sich ein Kunststoffküken einer Armatur im Fahrzeug bei längerer Lagerung und normaler Temperatur (eventuell längere Sonneneinstrahlung möglich) so verzogen, daß jegliches Schalten unmöglich geworden war.

Durchgangsventile können so konstruiert oder in das Wasserförder-system eingebaut werden, daß das Wasser den Ventilteller in Abschlußstellung auf seinen Sitz drückt und damit das Abdichten unterstützt. Beim Öffnen des Ventils muß dieser auf dem Ventilteller stehende Druck überwunden werden. Bei einem eventuellen Lösen des Tellers von der Spindel ist ein Öffnen des Ventils nicht mehr möglich. Fließt das Wasser dagegen in entgegengesetzter Richtung, steht der Ventilteller und damit auch die Spindel bei Absperrstellung unter Druck. Das Wasser versucht den Teller von seinem Sitz zu heben. Das Ventil muß deshalb fest angezogen sein und mit einem bestimmten Anpreßdruck auf seinen Sitz drücken. Anpreßdruck und Wasserdruck addieren sich und müssen von der Spindel aufgenommen werden. In geöffnetem Zustand steht der Ventilteller nicht unter Druck. Bei großem Hub wird die Spindel erheblich auf Knickung beansprucht. Eine exakte Führung der Spindel ist daher für den Dichtsitz von ausschlaggebender Bedeutung.

## 7. LEICHTGÄNGIGKEIT DES SCHALTORGANS

Bei Zylinder- und Kugelhähnen weisen die Dichtflächen eine hohe Reibung auf. Sie lassen sich nur dann leicht schalten, wenn für eine ausreichende Schmierung Sorge getragen wird. U.U. kann es zum "Fressen" des Kükens kommen. Bei Kugelhähnen besteht die Gefahr nicht, weil ein Dichtring zwischen Gehäuse und Kükens die Abdichtung zwischen diesen beiden Teilen übernimmt. Damit ist auch ein leichtes Schalten gewährleistet.

Bei Niederschraubventilen wird das aufzuwendende Drehmoment durch die Strömungsrichtung und die Spindelsteigung beeinflusst. Durch eine relativ große Ausführung des Handrades kann das Schalten entsprechend leicht vorgenommen werden. Schwierigkeiten bereitet im allgemeinen das Öffnen des Ventils nur dann, wenn zu dem eventuell auf dem Ventilteller stehenden Wasserdruck und dem Anpreßdruck die Reibung zwischen Dichtring und Ventilsitz überwunden werden muß. Das Öffnungsmoment kann u.U. beträchtlich sein. Weiterhin kann auch die Abdichtung der Spindel die Leichtgängigkeit des Ventils beeinflussen.

## 8. VERSCHMUTZUNGSGEFAHR

Eine ernstliche Verschmutzungsgefahr ist bei der Förderung von verunreinigtem Wasser weder bei den Niederschraubventilen, noch bei den Kugelhähnen gegeben. Es sind verschiedene Versuche mit Verteilern sowohl mit Niederschraubventilen als auch mit Hähnen zur Prüfung der Verschmutzungsgefahr unternommen und dabei kaum Rückstände in den Absperrorganen gefunden worden. Die Prüfung wurde mit Schmutzwasser durchgeführt, wie es zur Prüfung der Mehrzweckstrahlrohre genommen wird (genaue Zusammensetzung des Schmutzwassers siehe [4]). Bei den Kugelhähnen kann vereinzelt feiner Kies zwischen die Dichtflächen (Kükendichtungsring) gelangen und leichte Kratzer in den Werkstoffen hinterlassen. Eine Wirkung auf den Schließ- oder Öffnungsvorgang kann nicht festgestellt werden. Auch wurde in keinem Falle bei den hier durchgeführten Versuchen die Abdichtung beeinträchtigt. Diese Beobachtungen stimmen mit den Erfahrungen im Einsatz bei den Feuerwehren überein.

## 9. ZUSAMMENFASSUNG

In dem vorliegenden Bericht werden die Vor- und Nachteile von Kugelhähnen und Niederschraubventilen miteinander verglichen. Dabei wurde insbesondere die Frage der Druckerhöhungen beim Schließvorgang dieser Absperrorgane durch umfangreiche Messungen zu klären versucht und über Versuche berichtet, welche Verschmutzungsgefahr, Dichthalten unter Wasserdruck und Schließzeiten zum Gegenstand hatten. Man kann die Vor- und Nachteile beider Konstruktionsprinzipien folgendermaßen zusammenfassen:

### 1. Kugelhähne:

**Vorteile:** Infolge des geraden Durchflusses und Freigabe des ganzen Querschnittes geringe Druckhöhenverluste und geringe Verschmutzungsgefahr. Kurze Schließzeiten möglich. Geringe Öffnungs- und Schließkräfte.

**Nachteil:** Bei schnellem Schließen starke Druckerhöhungen.

### 2. Niederschraubventile:

**Vorteile:** Genaue axiale Führung des Ventiltellers, darum beliebige Neigung des Sitzes möglich. Geringe Empfindlichkeit gegen hohe Temperaturen und Temperaturunterschiede.

**Nachteile:** Große Druckhöhenverluste infolge von Strömungsumlenkungen und -einschnürungen. Relativ lange Öffnungs- und Schließzeiten. Größerer Raumbedarf als Kugelhähne.

Die Kugelhahn-Hersteller sollten die Möglichkeit des schnellen Schließens der Hähne und der dadurch zwangsläufig auftretenden Druckerhöhungen zu unterbinden versuchen und eine Vorrichtung im Hahn schaffen, so daß das Schließen nur noch langsam ausgeführt werden kann. Damit wäre der Hauptnachteil des Hahnes gegenüber den Niederschraubventilen beseitigt.

10. LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Richter, H.:  
Rohrhydraulik. 4.Auflage.  
Berlin/Göttingen/Heidelberg: Springer 1962.
- [2] HÜTTE I. 28.Auflage.  
Berlin: W. Ernst & Sohn 1955.
- [3] Kirschbach, H.:  
Taschenbuch der Hydraulik in Industriebetrieben.  
Stuttgart: Franckh'sche Verlagshandlung 1961.
- [4] Hinrichs, B. R.:  
Die Prüfung der Arbeitsfähigkeit der Mehrzweck-  
Strahlrohre beim Einsatz mit verschmutztem Wasser.  
VFDB-Zeitschrift, 12(1963), Heft 2 und Heft 3,  
S.73-75 und S.114-116.

	$E_R$ $\left[\frac{kp}{m}\right]$	s [mm]	a [m/s]									
Arithmetisches Mittel: $\frac{E_q + E_L}{2}$	$1,35 \cdot 10^8$	1,0	224	$0,828 \cdot 10^8$	1,5	216	$0,605 \cdot 10^8$	2,0	213	$0,476 \cdot 10^8$	2,5	211
Geometrisches Mittel: $\sqrt{E_q \cdot E_L}$ (9)	$1,33 \cdot 10^8$	1,0	220	$0,79 \cdot 10^8$	1,5	211	$0,58 \cdot 10^8$	2,0	208	$0,456 \cdot 10^8$	2,5	206,5

Tabelle 1. Die Druckwellengeschwindigkeit a bei Veränderung der Wandungsstärke nach Gleichung (8) bzw. (9).

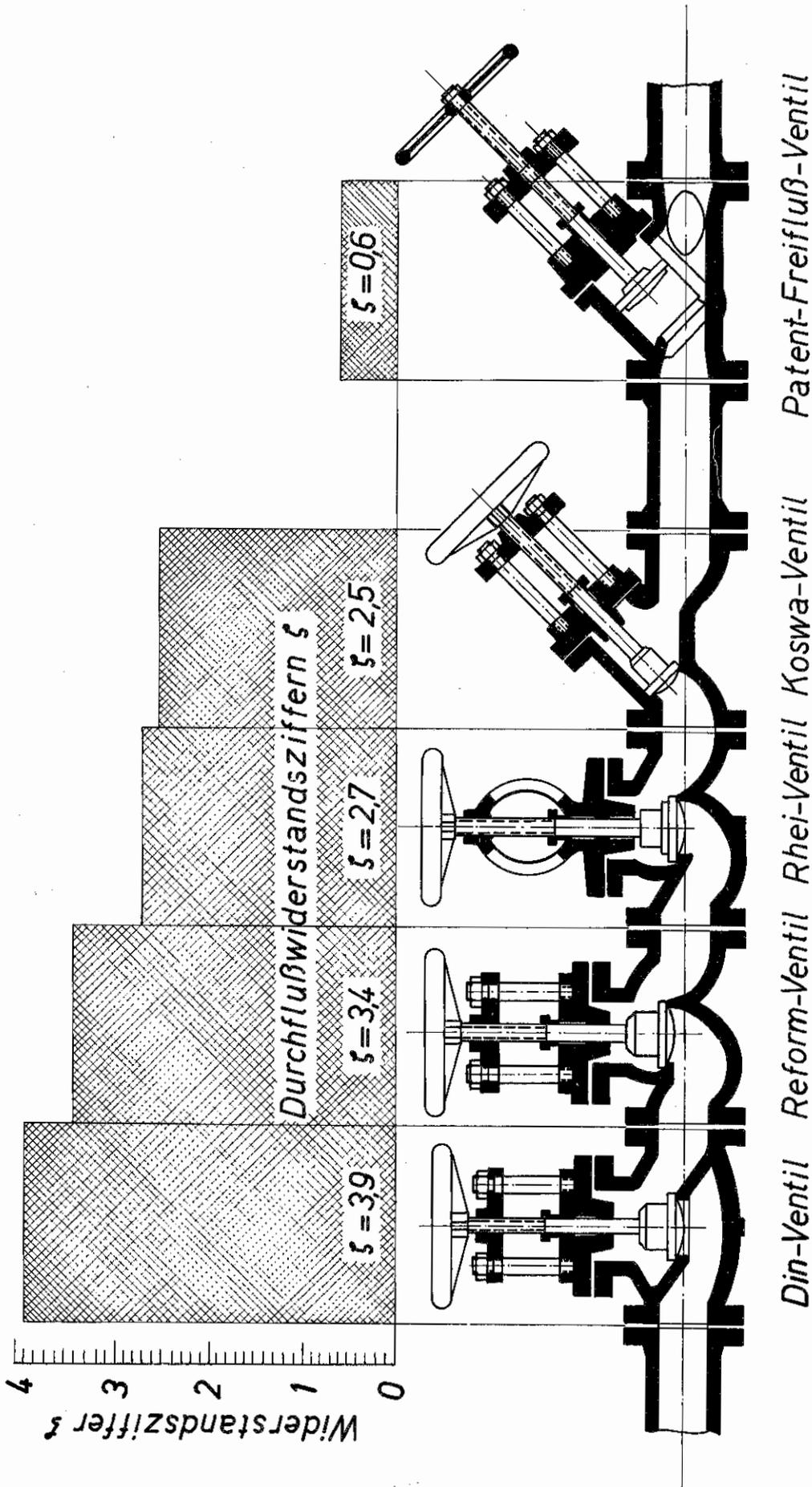


Bild 1. Strömungsverlauf in verschiedenen Ventilausführungen und ihre Widerstandsziffern, gemessen an Durchgangsventilen bei NW 100 nach Richter [1]

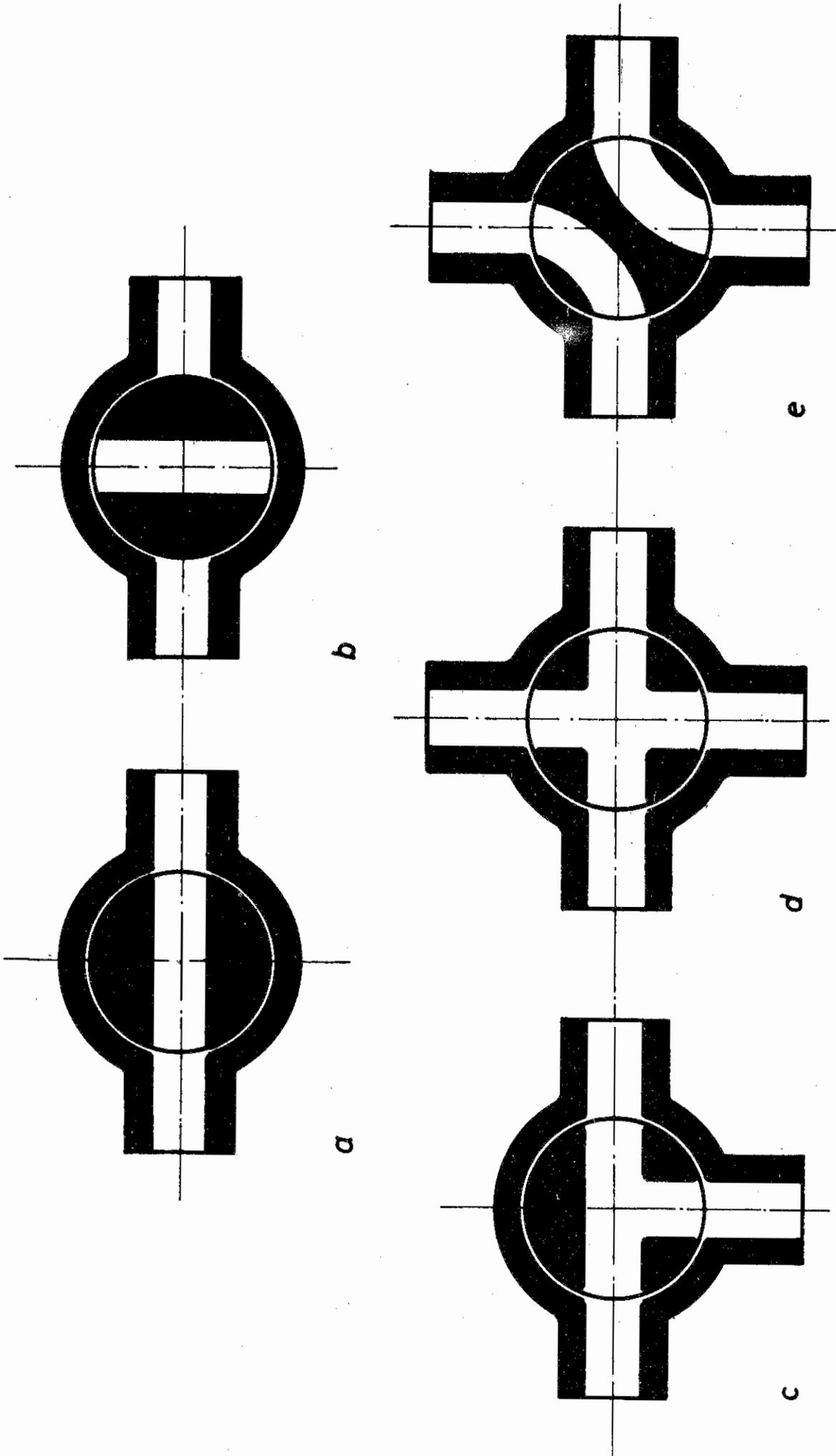


Bild 2. Verschiedene Ausführungsformen von Hähnen  
a und b: Normale Durchflußhähne in offenem  
und geschlossenen Zustand. c: Dreiweghahn.  
d und e: Vierweghähne

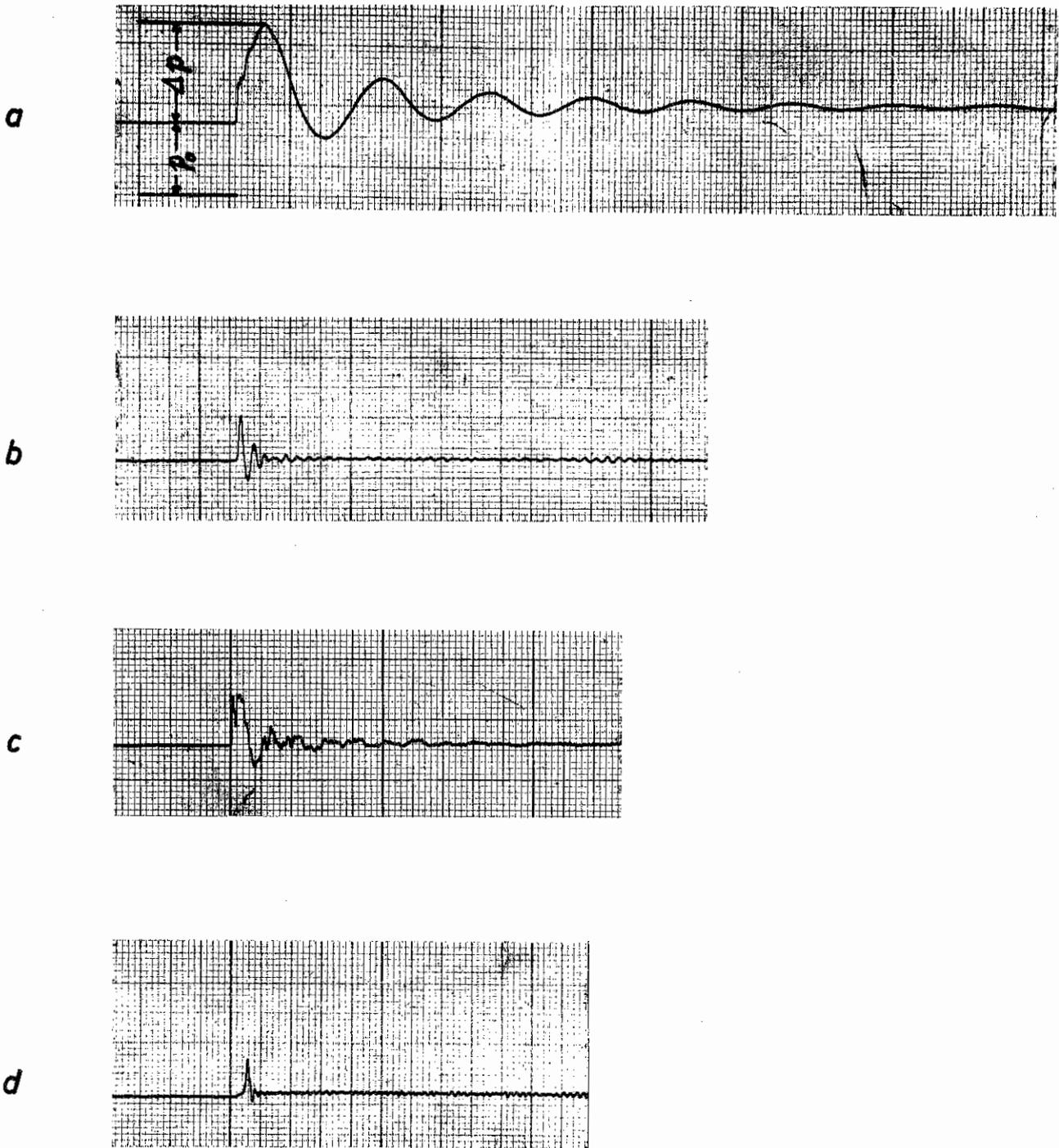


Bild 3. 4 Beispiele für die Aufzeichnung der Druckstöße bei plötzlicher Unterbrechung eines Wasserstromes. Vorlaufgeschwindigkeit des Millimeterpapiers: Bild a: 25 mm/s; Bild b-d: 10 mm/s.  $p_0$  = statischer Druck vor der Unterbrechung,  $p$  = Druck- oder Wasser-schlag

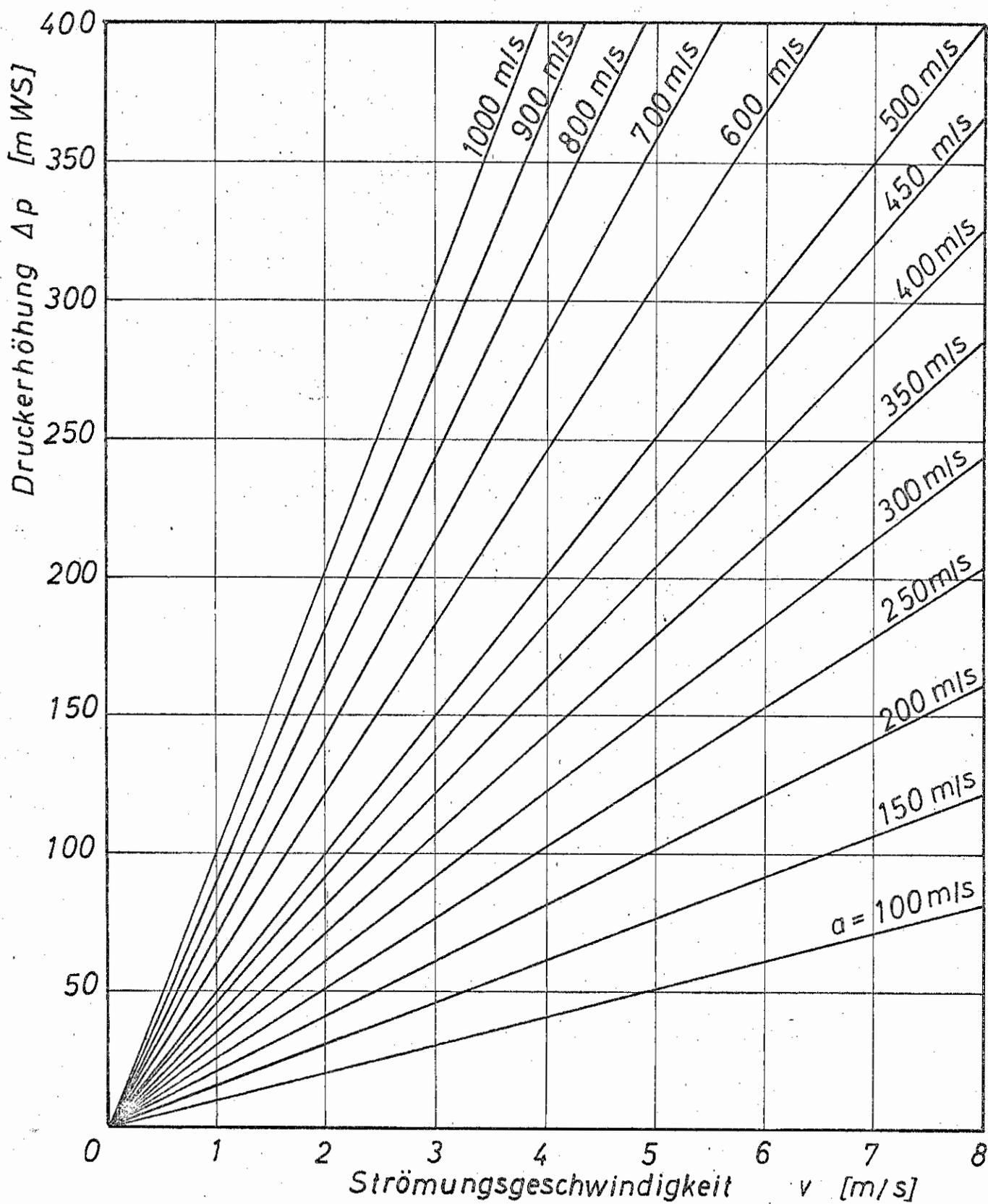


Bild 4. Druckerhöhung nach der Formel  $p = a v$

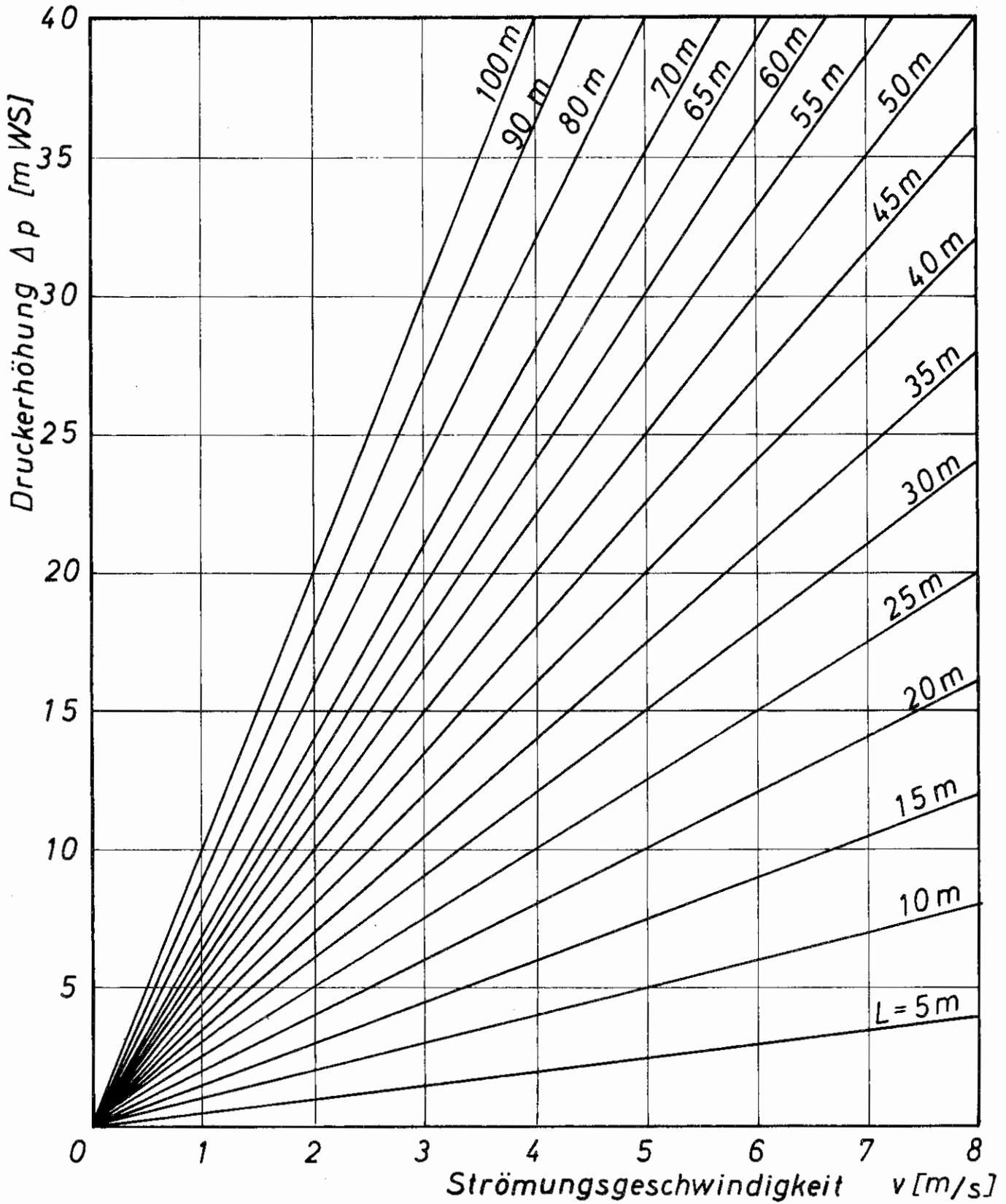


Bild 5. Abhängigkeit der Druckerhöhung  $p$  von der Strömungsgeschwindigkeit  $v$  des Wassers und der Leitungslänge  $L$  bei der konstanten Schließzeit  $t_s = 1$  s nach Gleichung (6b)

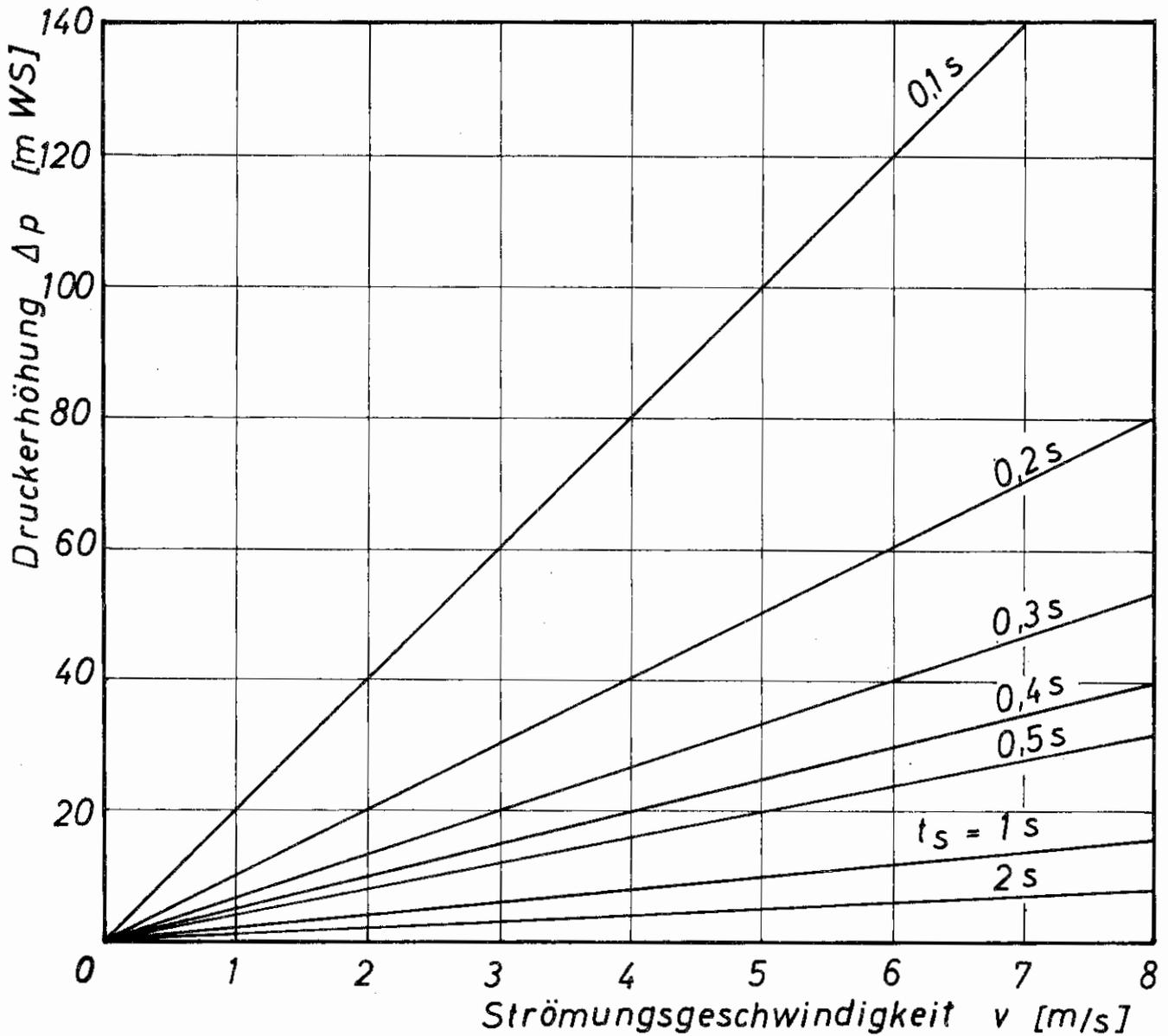


Bild 6. Abhängigkeit der Druckerhöhung  $\Delta p$  von der Strömungsgeschwindigkeit  $v$  des Wassers und der Schließzeit  $t_s$  bei konstanter Rohrleitungslänge  $L = 20$  m nach Gleichung (6b)

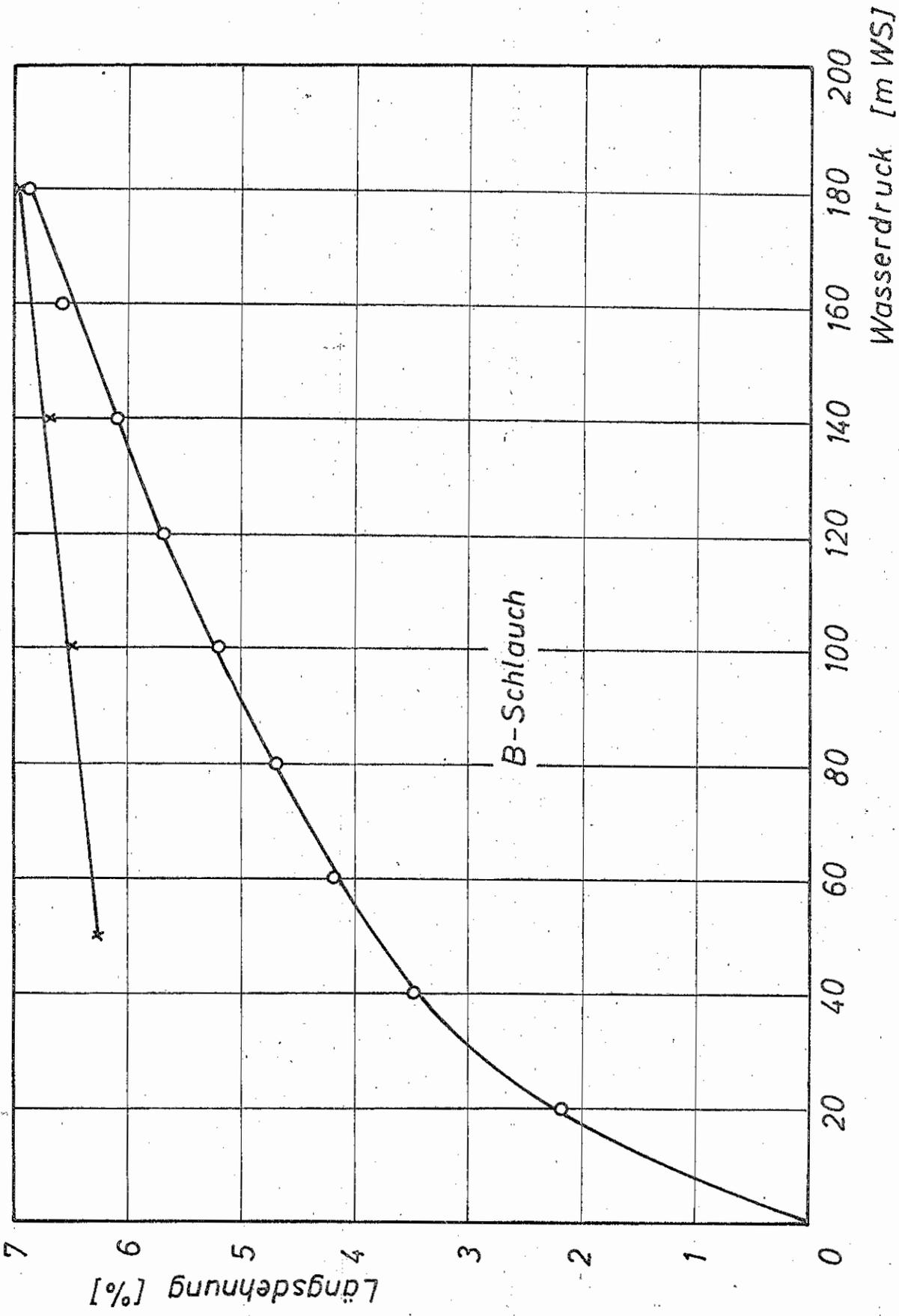


Bild 7. Längsdehnung des untersuchten B-Schlauches

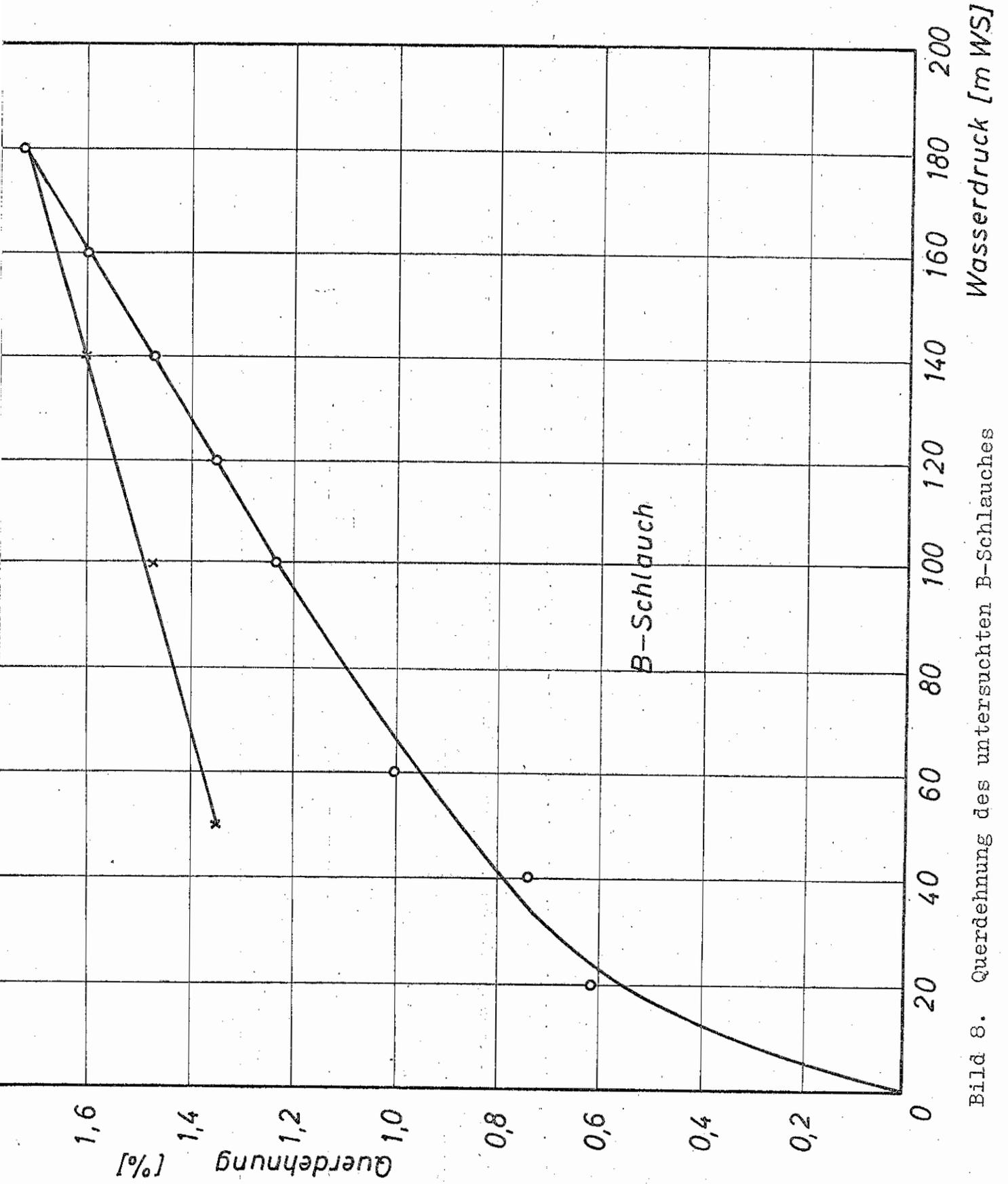


Bild 8. Querdehnung des untersuchten B-Schlauches

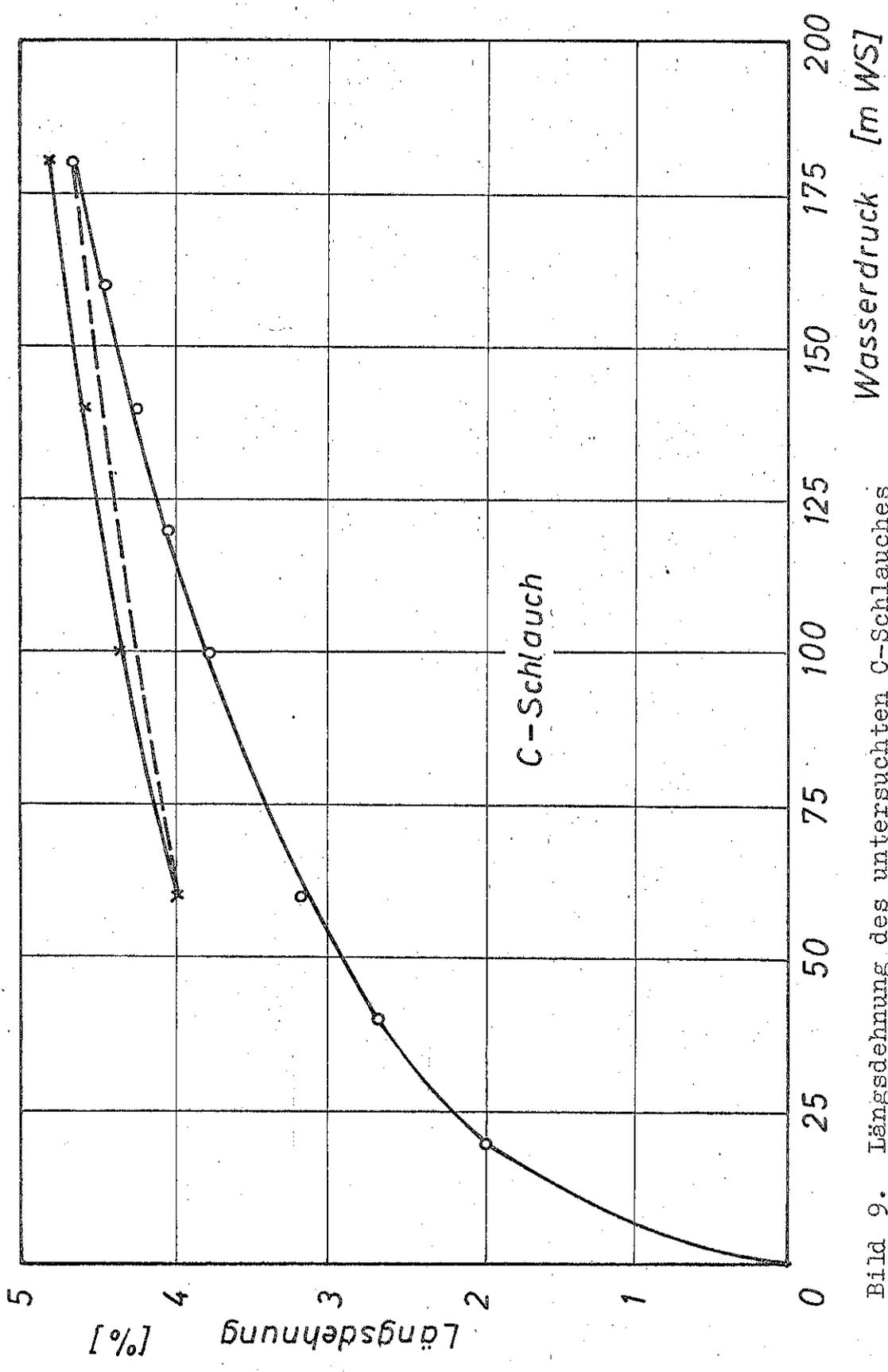


Bild 9. Längsdehnung des untersuchten C-Schlauches

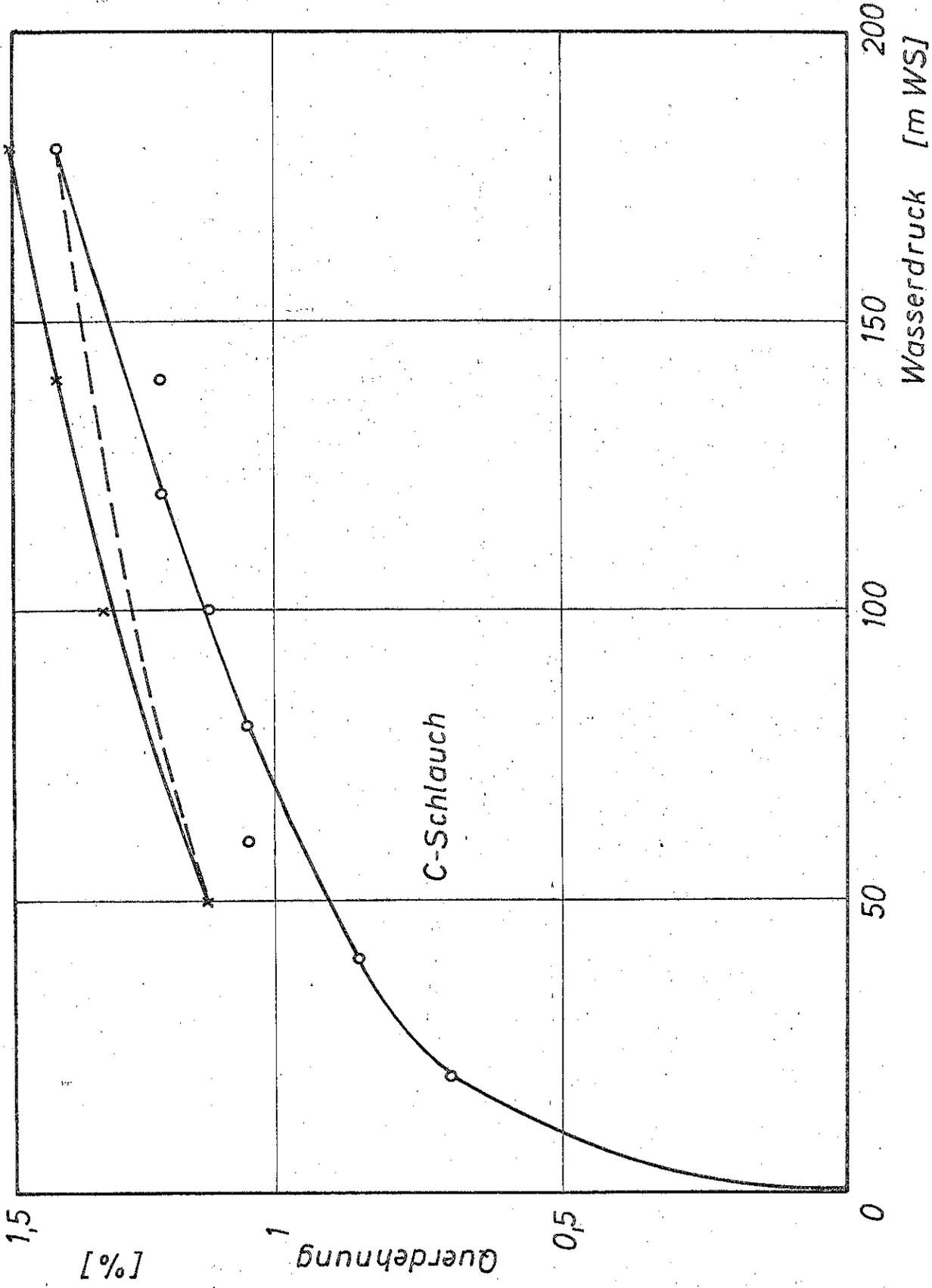


Bild 10. Querdehnung des untersuchten C-Schlauches.

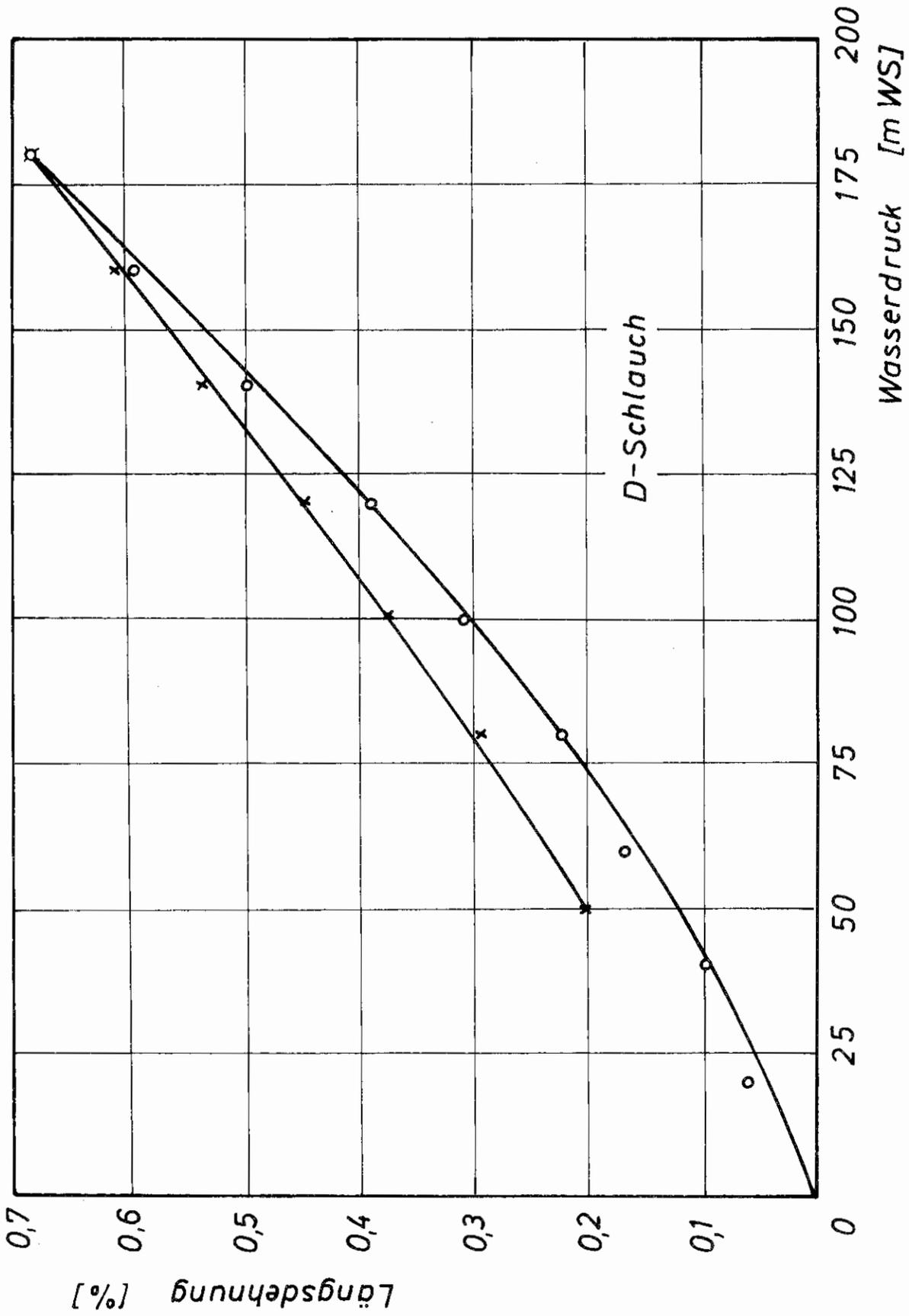


Bild 11. Längsdehnung des untersuchten D-Schlauches

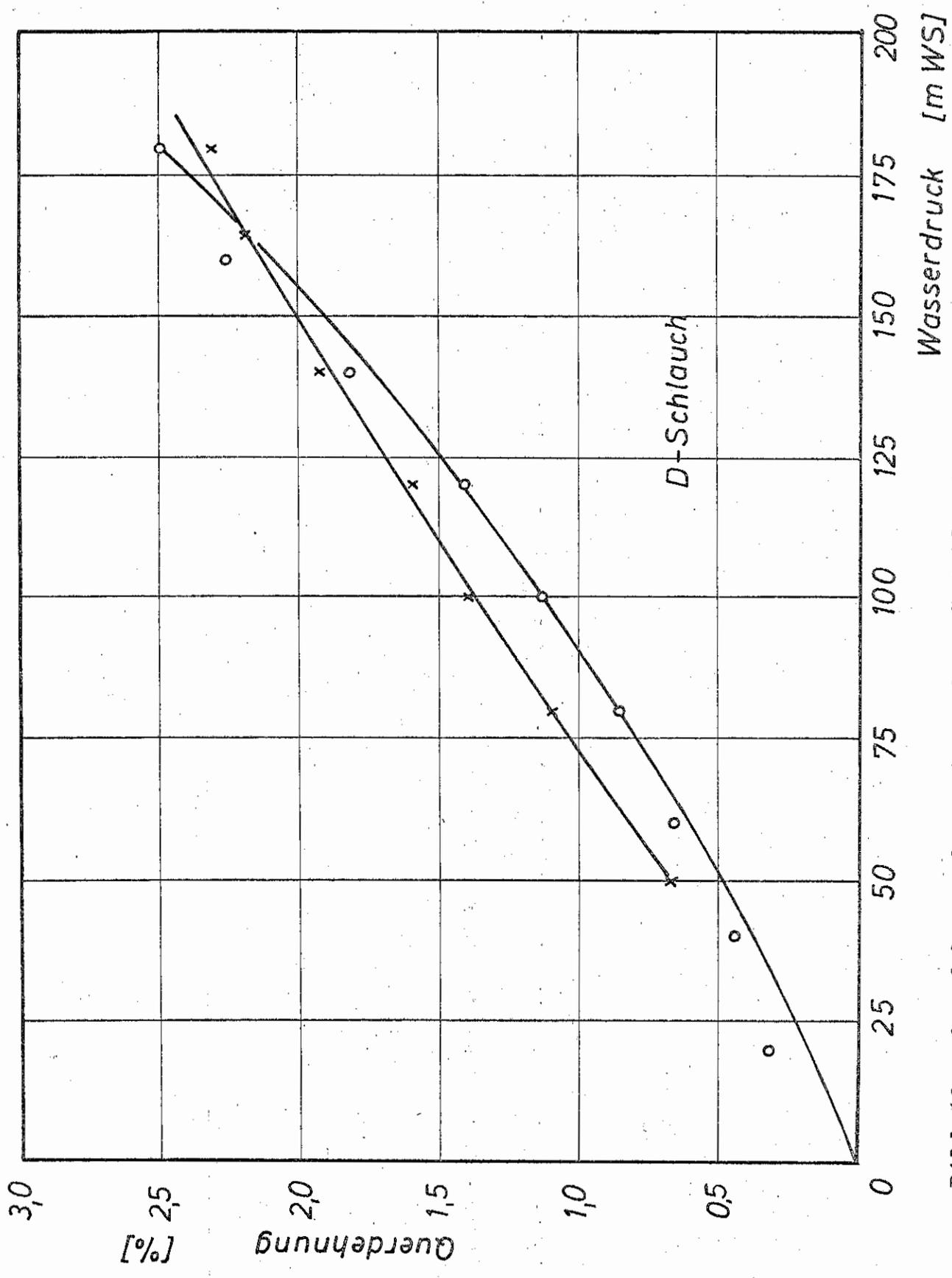


Bild 12. Querdehnung des untersuchten D-Schlauches

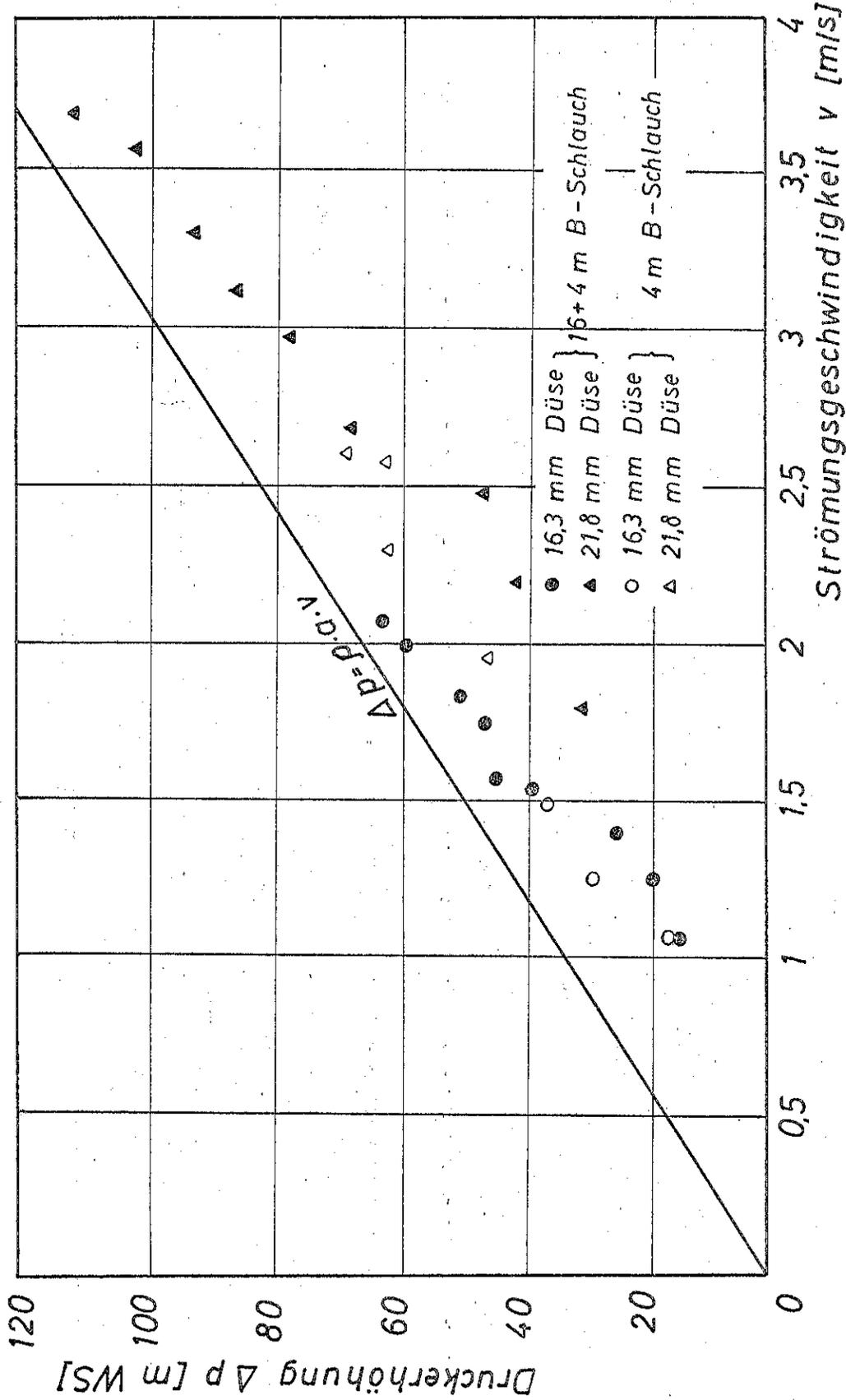


Bild 13. Gemessene Druckerhöhungen bei schnellem Unterbrechen des Wasserstromes im B-Schlauch mit Wasserhähnen

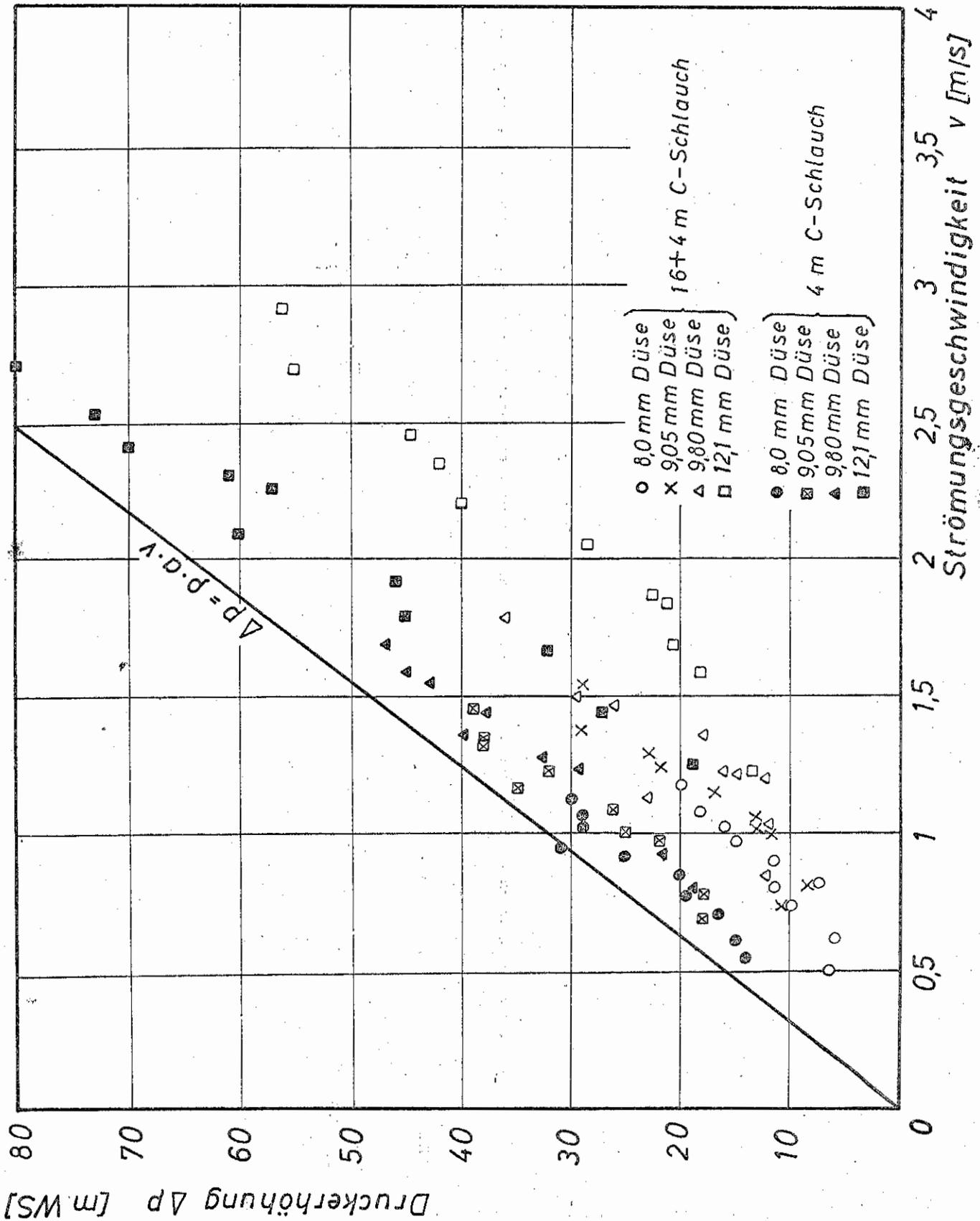


Bild 14. Gemessene Druckerhöhungen bei plötzlichem Unterbrechen des Wasserstromes im C-Schlauch mit Wasserhähnen

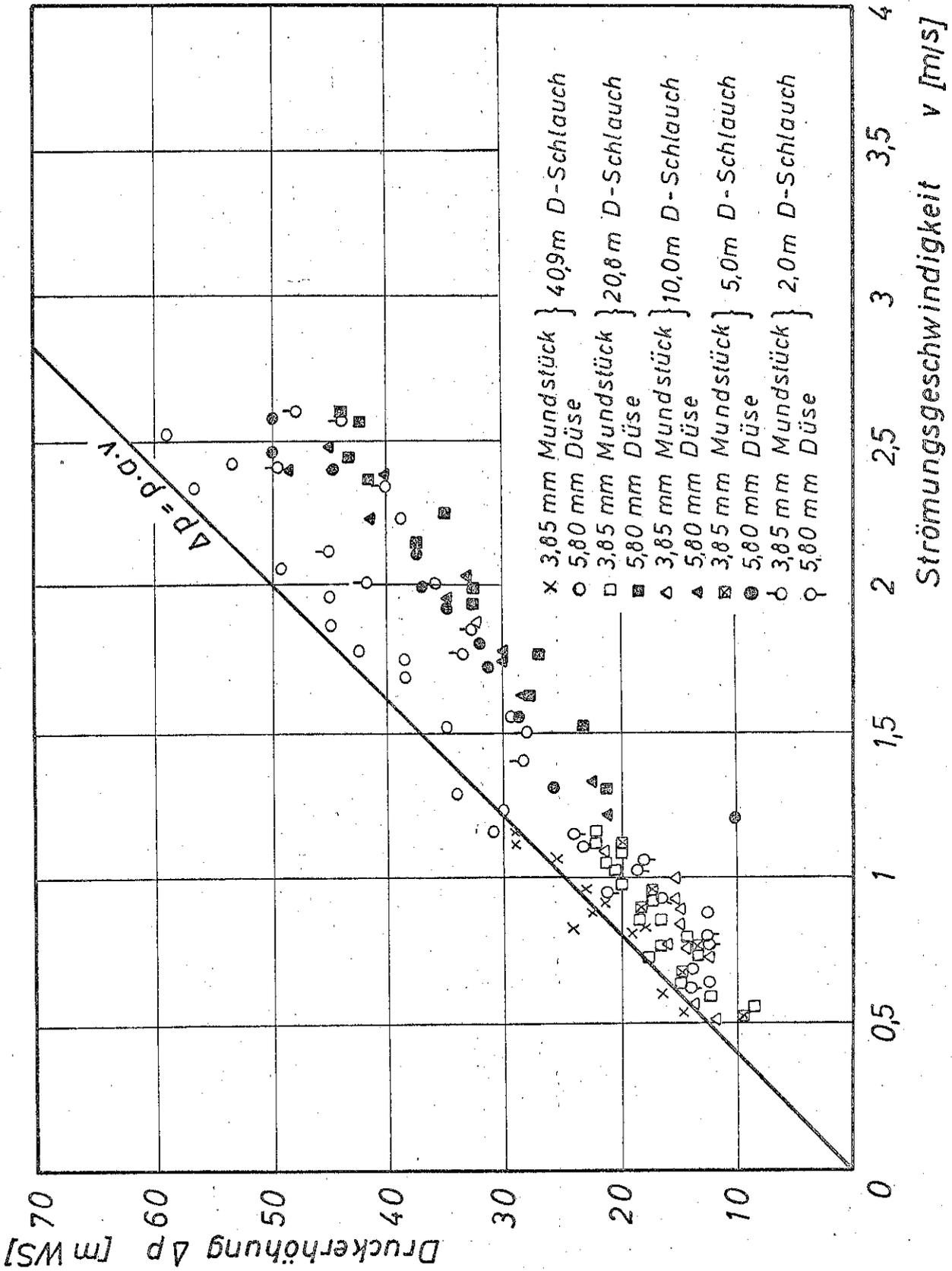


Bild 15. Gemessene Druckerhöhungen bei plötzlichem Unterbrechen des Wasserstromes im D-Schlauch mit Wasserhähnen