

# **Wartung und Pflege von Drucklufttauchergeräten**

**Teil 1**



**Lehrheft für die Taucherausbildung**

**Wartung  
und Pflege  
von  
Drucklufttauchergeräten**

---

PRÄSIDIUM DES TAUCHERSPORTKLUBS DER DDR

Erarbeitet im Auftrag des Zentralvorstandes der Gesellschaft für Sport  
und Technik durch

Dr.	Ralph Großmann
Ing.	Jörg Zimmermann
Ing. oec.	Helmut Zwies

Zeichnungen:

Rosi Golz  
Ing. Ernst Wischer

Fotos: Autoren

# Inhaltsverzeichnis

	Seite
0. Einleitung . . . . .	5
1. Terminologie und Definitionen . . . . .	6
2. Einteilung der DTG . . . . .	8
3. Lungenautomaten — Geräte zur automatischen Atemgasversorgung . . . . .	10
3.1. Wirkungsweise und theoretische Grundlagen . . . . .	10
3.2. Strömungstechnische Grundlagen für Lungenautomaten . . . . .	14
3.2.1. Die Strömungsverhältnisse im Ventil eines Lungenautomaten . . . . .	14
3.2.2. Berechnung der Düsenquerschnittsfläche . . . . .	20
3.2.3. Düsendurchmesser und Öffnungshub . . . . .	22
3.3. Konstruktive Grundlagen von Federn, Membranen und Hebelwerken . . . . .	25
3.3.1. Einstufige Lungenautomaten mit gegen den Druck dichtendem Ventil . . . . .	25
3.3.2. Einstufige Lungenautomaten, deren Ventil mit dem Druck dichtet . . . . .	29
3.3.3. Einstufige Lungenautomaten mit Injektor . . . . .	32
3.3.4. Der zweistufige Lungenautomat . . . . .	34
4. Die Lungenautomaten der „Hydromat“-Serie . . . . .	37
4.1. Die Zweischlauchregler . . . . .	37
4.2. Der Einschlauchautomat . . . . .	41
5. Wartung und Pflege von Lungenautomaten . . . . .	44
5.1. Der Hochdruckanschluß . . . . .	45
5.2. Das Ventil der ersten Stufe . . . . .	46
5.3. Das Reduzierventil . . . . .	46
5.4. Das Ventil der zweiten Stufe . . . . .	47
5.5. Hebelsysteme . . . . .	48
5.6. Gehäuse . . . . .	49
5.7. Membranen, Gummiventile, Faltenschläuche . . . . .	51
5.8. Auswechseln von Faltenschläuchen, Ventilen und Mitteldruckschläuchen . . . . .	56
5.9. Desinfektion . . . . .	57

	Seite
6 Die Überprüfung der Lungenautomaten . . . . .	58
6.1. Meßgröße Atemwiderstand . . . . .	59
6.2. Das Manometer . . . . .	61
6.3. Luftstrommessung . . . . .	61
6.4. Aufnahme von Reglerkennlinien . . . . .	62
6.5. Dichtigkeitsprüfung . . . . .	64
6.6. Weitere Maßnahmen . . . . .	65
7. Konstruktive Besonderheiten von Lungenautomaten . . . . .	65
Literatur . . . . .	70

## 0. Einleitung

Der Tauchsport in der DDR hat sich in den letzten Jahren kontinuierlich entwickelt. Mit dem Wachsen der ökonomischen Basis unserer Republik verbesserte sich auch die technische Ausrüstung in Zahl und Qualität. Wenn vor Jahren der Hauptteil der in den Sektionen genutzten Drucklufttauchergeräte im Eigenbau entstand und eine Gruppe praktisch nur tauchen konnte, wenn in ihr einige Feinmechaniker, Dreher u. ä. Berufsgruppen vertreten waren, so kommt dem Selbstbau von Ausrüstung — so notwendig er in Einzelfällen ist und bleiben wird — doch nicht mehr die vorrangige Bedeutung zu.

Mit der zunehmenden Leistungsfähigkeit der Taucherausrüstung und der dadurch bedingten steigenden Kompliziertheit der Technik zeichnet sich aber immer deutlicher die Notwendigkeit ab, daß mehr Taucher als bisher über eine gute technische Ausbildung und ein hervorragendes fachliches Spezialwissen verfügen müssen, soll die Nutzung, Wartung und Instandhaltung der Tauchertechnik mit den Erfordernissen der taucherischen Praxis Schritt halten.

Mit der weiteren Verbesserung des Lebensstandards wächst auch der Wunsch nach kultureller und sportlicher Betätigung, nimmt die Bedeutung der wehrsportlichen Arbeit zu. Dem Rechnung zu tragen ist eine wesentliche Aufgabe der GST.

Den Gerätewarten, Technikern und Sporttauchern der GST beim Erwerb eines fundierten Wissens über Aufbau und Funktion der Tauchergeräte, der physikalischen Voraussetzungen und der technischen Lösung der jeweiligen Problematik zu helfen, ist das Ziel des vorliegenden Lehrheftes. Dabei wurde eingehender als bisher üblich auf physikalisch-technische Grundlagen eingegangen. Grundkenntnisse im Tauchsport werden vorausgesetzt.

Es soll so erreicht werden, daß der Gerätewart und Techniker in die Lage versetzt wird, fundierte Entscheidungen über Einsatzmöglichkeiten und Leistungsgrenzen der DTG zu treffen, auf der Grundlage eines hohen spezial-fachlichen Wissens Fehlerursachen zu ermitteln und die richtigen Maßnahmen zum Erhalt und zur Wiederherstellung der Einsatzbereitschaft einzuleiten.

Dabei muß natürlich beachtet werden, daß Arbeiten an Tauchergeräten durch gesetzliche- und Sicherheitsbestimmungen geregelt sind und nur solche Teilarbeiten vom Tauchsportler oder Gerätewart ausgeführt werden dürfen, die sein Qualifikationsgrad zuläßt.

Diese Bestimmungen wurden bei der Erarbeitung der Lehrhefte berücksichtigt.

Weitergehende Eingriffe bedingen eine Neuzulassung des Gerätes von einer autorisierten Stelle (Marineschule, Amt für Meßwesen und Warenkontrolle) bzw. ziehen den Verfall von Garantieansprüchen nach sich.

Gerätewart und Techniker tragen eine hohe Verantwortung für die Sicherheit und das Leben der Taucher, die mit den von ihnen gewarteten und gepflegten Geräten ihre Aufgaben unter Wasser erfüllen. Ihre Tätigkeit entscheidet weiterhin über die ständige Einsatzbereitschaft und die Höhe der für Instandsetzungen notwendigen Mittel und Werkskapazitäten – damit letztlich auch über die Beschleunigung oder Verzögerung in der Entwicklung der technischen Basis im Tauchsport.

Dieser Verantwortung muß sich jeder Gerätewart bewußt sein!

Im ersten Teil des Lehrheftes werden speziell Fragen behandelt, die sich auf Lungenautomaten beziehen. Der 2. Teil wird im wesentlichen auf Tragegestelle, Druckluftvorratsbehälter, Absperrventile, Kontroll- und Sicherungseinrichtungen, Klassifizierung und Kontrollisten bzw. Standards eingehen.

Es ist verständlich, daß auf dem zur Verfügung stehenden Umfang keinesfalls alle interessant erscheinenden Probleme behandelt werden konnten. Für Hinweise und Kritik ist das Autorenkollektiv jederzeit dankbar.

Ihre Bemerkungen und Wünsche richten Sie bitte an den Herausgeber.

## 1. Terminologie und Definitionen

Die im Lehrheft angewandte Terminologie wurde den Werks- oder TGL-Bezeichnungen angepaßt. Davon abweichende, aber im Tauchsport vielverwendete Begriffe wurden dazu in Klammern gesetzt, im Text teilweise mit verwendet. Im Gegensatz dazu erscheinen in Ausnahmefällen nicht eindeutige Werksbezeichnungen bei der Gerätebeschreibung in eckigen Klammern und tauchen dann nicht mehr auf.

Die verwendete Terminologie soll als Anregung für die Entwicklung einer einheitlichen Fachsprache in der Tauchertechnik und einer eindeutigen Ausdrucksweise im Tauchsport der GST dienen.

### 1.1 Nutzung

Als Nutzung der Tauchertechnik wird ihre Verwendung entsprechend dem in gesetzlichen- und Sicherheitsbestimmungen festgelegten Zweck bezeichnet. Sie schließt den zweckgebundenen Einsatz, die vorschriftsmäßige Bedienung, die Wartung, die Aufbewahrung und Lagerung, aber auch das ordnungsgemäße Führen der erforderlichen Dokumentation ein.

Unter **Nutzungsfrist** wird die Dauer der Nutzung bis zur nächsten planmäßigen Instandsetzung bzw. Neuzulassung durch dafür verantwortliche

Gerätewarte, Techniker oder Instruktoren verstanden. Sie wird zeitlich begrenzt durch gesetzliche Festlegungen und Sicherheitsbestimmungen (z. B. Prüfung ortsbeweglicher Druckbehälter oder Zulassung des DTG am Tag der Bereitschaft) oder durch die begrenzte Betriebsdauer einzelner Bauteile bzw. Baugruppen.

Der **Einsatz** der Tauchertechnik ist deren befristete Inbetriebnahme zur Erfüllung einer bestimmten Aufgabe.

## 1.2 **Wartung**

Unter **Wartung** sind die Maßnahmen zu verstehen, die innerhalb der Nutzungsfrist zum Erhalt der Einsatzbereitschaft der Tauchertechnik vorzunehmen sind. Die **Wartung** eines Tauchergerätes umfaßt dabei im wesentlichen:

- Reinigen des Gerätes
- Füllen der Druckluftvorratsbehälter
- Überprüfung des technischen Zustandes der Baugruppen und -teile
- Überprüfung der Einsatzfähigkeit und Vollständigkeit aller Geräte- und Zubehörteile
- Korrosionsschutzarbeiten
- Beseitigung von Schäden oder Störungen durch Auswechseln von Baugruppen in dem für den Qualifikationsgrad des Durchführenden zulässigem Umfang

Die **Wartung** geht damit über den unter den Begriff **Pflege** fallenden Arbeitsumfang hinaus. Zur **Pflege** zählen:

- Reinigen des Gerätes
- Vollständigkeitskontrollen und äußere Durchsichten
- äußerliche Korrosionsschutzarbeiten.

## 1.3 **Instandsetzung**

Die **Instandsetzung** besteht in der fachgerechten Wiederherstellung der Funktionstüchtigkeit der Baugruppen entsprechend den gesetzlichen, Hersteller- und GST-Bestimmungen. Sie darf an organisationseligenen DTG nur von dazu befugten Personen vorgenommen werden. Im allgemeinen werden bei Instandsetzungen Baugruppen oder -teile durch neue, industriell hergestellte oder selbstgefertigte ausgewechselt. In der Regel erfolgt dabei auch die entsprechende Überprüfung bzw. Kontrolle und Neuzulassung des Gerätes.

**Reparaturen** sind Ausbesserungen an Einzelteilen mit dem Ziel der Wiederherstellung des Gebrauchswertes des ganzen Gerätes. Sie sind ebenfalls nur in bestimmtem Umfang zulässig.

## 2. Einteilung der Drucklufttauchergeräte

Drucklufttauchergeräte sind Geräte mit offenem Atemsystem. Die Einteilung der Drucklufttauchergeräte ist nach vielfältigen Gesichtspunkten möglich. Da in unserem Rahmen nur leichte (Schwimmtauchergeräte) interessieren, erfolgte die Einteilung nach der Luftzufuhr (autonom d. h. mitgeführter Luftvorrat bzw. über Schlauch) und der Bauweise der Lungenautomaten.

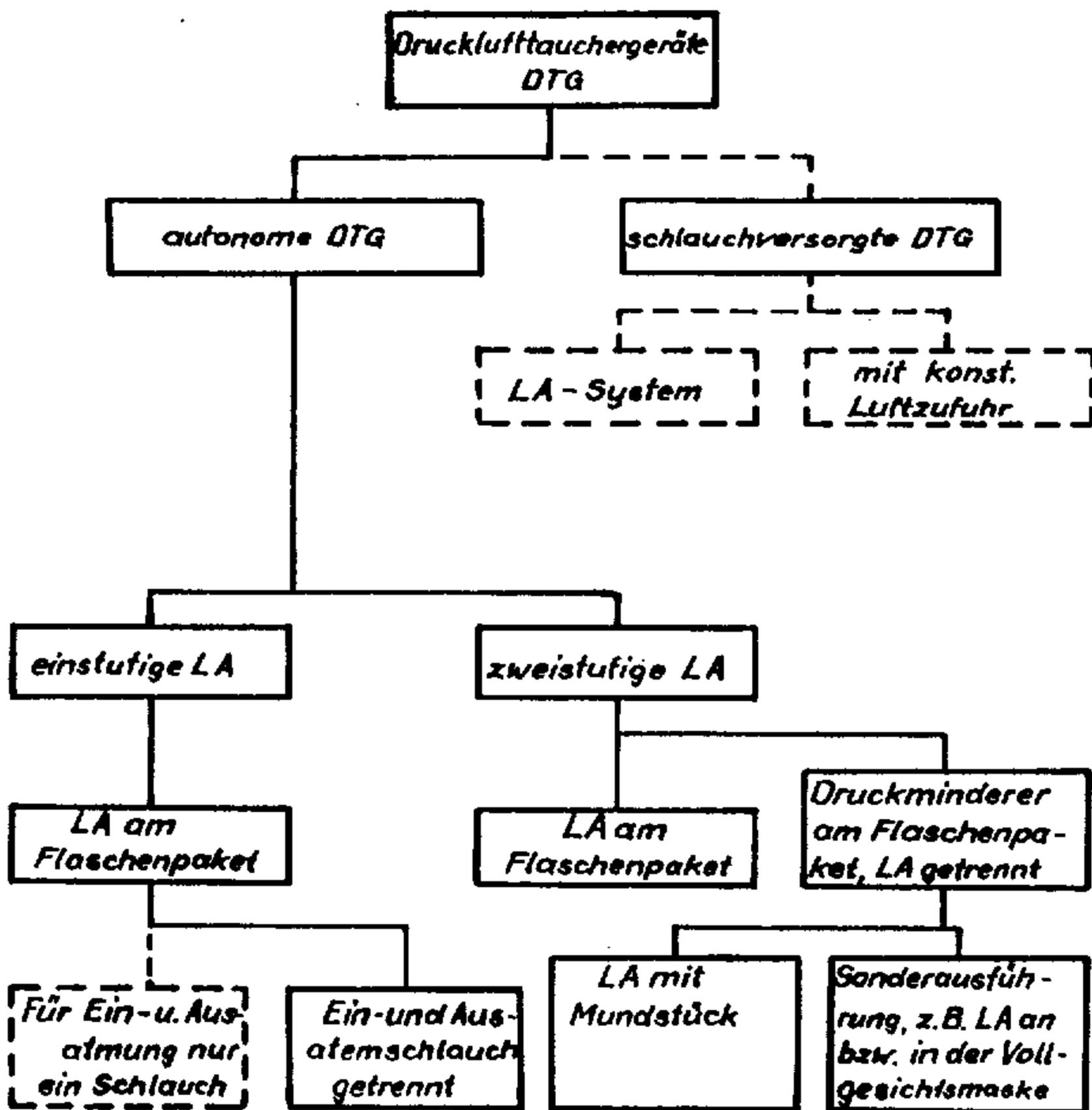


Bild 1 Einteilung der Drucklufttauchergeräte

Eine weitere Unterteilung wäre z. B. zu treffen nach Anzahl, Größe und Betriebsdruck der Luftvorratsbehälter (Teil 2) nach dem Atemanschluß, d. h. ob das Gerät für den Mundstückbetrieb, mit Halbmaske oder Vollgesichtsmaske ausgelegt ist, oder nach der zulässigen Tauchtiefe.

Auch die Ausführung des Lungenautomaten mit oder ohne Injektor kann zur Einleitung herangezogen werden.

Bei der Vielzahl der heute im Einsatz befindlichen Typen und Konstruktionen ist eine umfassende Einteilung kaum möglich, wichtig ist nur, daß die aus der jeweiligen Ausführung resultierenden Besonderheiten bekannt sind und sich im speziellen Anwendungsfall nicht negativ auswirken.

## **2.1 Die Hauptbaugruppen der Drucklufttauchergeräte**

Unabhängig von seiner konstruktiven Ausführung muß das DTG zur Erfüllung seiner Aufgaben folgende Hauptbaugruppen besitzen:

- den bzw. die Druckluftvorratsbehälter
- den Lungenautomaten (Regler) mit Zu- und Abfuhrleitungen für die Ein- und Ausatemluft und den Atemanschluß (Mundstück, Halbmaske oder Vollgesichtsmaske)
- die Kontroll- und Sicherheitseinrichtungen  
d. i.
  - Kontrolleinrichtung für Druckluftvorrat
  - Reserveschaltung
- das Tragegestell bestehend aus  
Behälterbefestigung (Verbindungsschellen) und der Begurtung.

Der bzw. die Druckluftvorratsbehälter speichern die mitgeführte Atemluft unter hohem Druck.

Auf Grund ihrer Bauform werden sie auch als Flaschen bezeichnet. Dieser Luftvorrat wird dem Taucher durch den Lungenautomaten in der physiologisch bedingten Menge entsprechend dem Umgebungsdruck zugeführt.

Die Kontroll- und Sicherheitseinrichtungen gewährleisten jederzeit einen Überblick über den Vorratsdruck und warnen den Taucher vor dem zu Ende gehenden Luftvorrat.

Das Tragegestell verbindet die Druckluftbehälter untereinander und sichert mit der Begurtung den festen, bequemen Sitz des gesamten Gerätes auf dem Rücken des Tauchers.

## 3. Lungenautomaten - Geräte zur automatischen Atemgasversorgung

### 3.1 Wirkungsweise und theoretische Grundlagen

Der Lungenautomat stellt das wichtigste Bauelement, das Herz eines jeden autonomen oder schlauchversorgten Drucklufttauchergerätes dar.

Umfangreiche Kenntnisse über seine Funktion und die für seine Leistung ausschlaggebenden Parameter gehören daher zum Rüstzeug eines jeden Technikers im Tauchsport.

Die theoretischen Grundlagen sollen dabei weniger dazu dienen, neue Regler zu konstruieren – davon gibt es auch so schon viele verschiedene Typen und in der Praxis bewährte genug – als vielmehr die im Lungenautomaten ablaufenden Vorgänge zu verstehen, einen beliebigen Regler nach den wesentlichsten Gesichtspunkten qualifiziert einschätzen zu können und bei der Fehlersuche sinnvoll vorzugehen.

Die in den folgenden Abschnitten auf den ersten Blick teilweise etwas kompliziert aussehenden Formeln werden immer auf einfache, allgemeinverständliche Ausdrücke zurückgeführt.

Das sichere Beherrschen der allgemeinen Funktionsweise (Lehrheft „Theoretische Grundlagen des Tauchens“ Teil 2) wird allerdings vorausgesetzt.

#### 3.1.1 Das Funktionsprinzip der Lungenautomaten

Lungenautomaten werden häufig als „Regler“ bezeichnet. Dieser Begriff charakterisiert das Funktionsprinzip, denn ein Lungenautomat steuert als Regler (im regelungstechnischen Sinne) die Atemgaszufuhr bei DTG. Die zu regelnden Größen sind:

- Druck des Atemgases
- Menge des Atemgases

Der Regler wird durch die Führungsgröße „Umgebungsdruck“ beeinflusst. Der Umgebungsdruck wirkt als Wasserdruck auf die Membrane des Reglers ein und bewirkt somit, daß der Druck des Atemgases entsprechend der Führungsgröße im Sinne einer Folgeregelung eingerichtet wird.

Der Regler überträgt eine Kraft als Stellgröße auf das Schließelement des Ventils und beeinflusst so die Atemgaszufuhr.

Als Störgröße wirkt auf die Atemgaszufuhr der Luftbedarf des Tauchers, der im allgemeinen zeit-, tiefen- und belastungsabhängig ist. Diese Stör-

größe wirkt über den Ansaugdruck (bei der Einatmung) auf die Regelstrecke ein. Eine weitere Störgröße, der Druckabfall in den Atemgasvorratsbehältern, nimmt Einfluß auf die Atemgaszufuhr. Die Auswirkung dieses Druckabfalls kann nur bedingt kompensiert werden, z. B. durch zwei- oder mehrstufige Auslegung von Lungenautomaten.

### Atemgaszufuhr als Folgeregelung

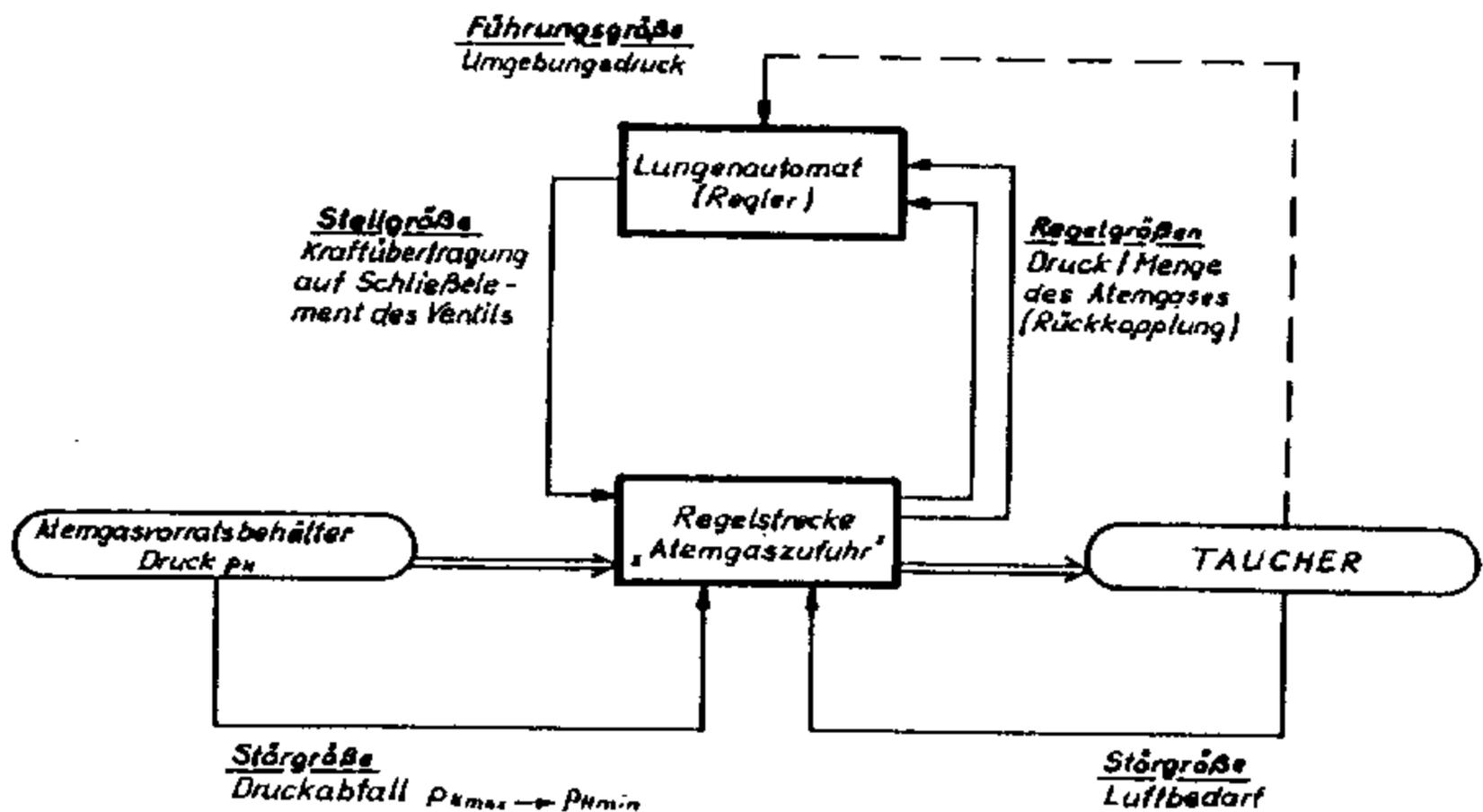


Bild 2 Atemgaszufuhr als Folgeregelung

#### 3.1.2 Konstruktive Merkmale von Lungenautomaten

Gegenwärtig ist eine Vielzahl von Typen und Bauformen von DTG und Lungenautomaten bekannt, die sich rein äußerlich und in ihrer konstruktiven Auslegung zum Teil beträchtlich unterscheiden. (vergleiche Abschnitt 2)

Darüber hinaus sind weitere Konstruktionsmerkmale:

##### einstufige Lungenautomaten

- gegen Druck dichtend
- mit Druck dichtend
- mit Injektor
- ohne Injektor

##### zweistufige Lungenautomaten

- 1. Stufe gegen Druck dichtend
- 1. Stufe mit Druck dichtend
- 2. Stufe gegen Druck dichtend
- 2. Stufe mit Druck dichtend
- mit Injektor
- ohne Injektor

Alle aufgeführten Merkmale nehmen auf die Funktion eines Lungenautomaten Einfluß. Sie wirken unmittelbar auf die Kräftebilanz im Lungenautomaten ein und bestimmen damit auch einige technische Parameter, wirken sich letztlich jedoch nur auf einen der beiden Leistungsparameter, auf den **Atemwiderstand** aus.

Die **Luftabgabeleistung** bleibt von den o. g. Merkmalen unbeeinflusst. Sie wird nur durch die Auslegung der Ventile (Düsenquerschnitte) beeinflusst.

### 3.1.3 Funktional bedingte Hauptbauelemente eines Lungenautomaten

Dazu gehören:

- Düse mit Schließmechanismus (Ventil)
- Einstellungselement für die Führungsgröße und die rückgekoppelten Regelgrößen (bei der 2. Stufe leistet dies die Membrane während im Druckminderer zusätzlich zur Membrane eine Stellfeder vorhanden ist)
- Übertragungsmechanismus für die Stellgröße (die Kraftübertragung zum Betätigen des Schließelements erfolgt über ein Hebelwerk, das i. a. mit 1 oder 2 Hebeln arbeitet, bei Druckminderern erfolgt die Übertragung meist direkt über den Druckbolzen).

### 3.1.4 Einsatzcharakteristik und Leistungsparameter eines Lungenautomaten

Es wurde bereits festgestellt, daß ein Lungenautomat zwei Leistungsparameter besitzt:

- maximale Luftabgabeleistung [in Normliter/min., NL/min]
- Atemwiderstand [mm WS]

Der Atemwiderstand ist ein Maß für die von der Atemmuskulatur aufzubringende Kraft (Erzeugung eines relativen Unterdrucks im Lungenautomaten) um den Schließmechanismus des Ventils zu betätigen.

Der maximal zulässige Atemwiderstand beträgt 80 mm WS. Neben dem im Lungenautomaten unmittelbar entstehenden Atemwiderstand tragen noch Faltenschläuche, Richtungsventile und Mundstücke zur weiteren Erhöhung bei. Unberücksichtigt wird dabei noch der Anteil gelassen, der sich aus dem Abstand des Lungenautomaten vom Lungenmittelpunkt, also durch hydrostatischen Druckunterschied unter Wasser, ergibt.

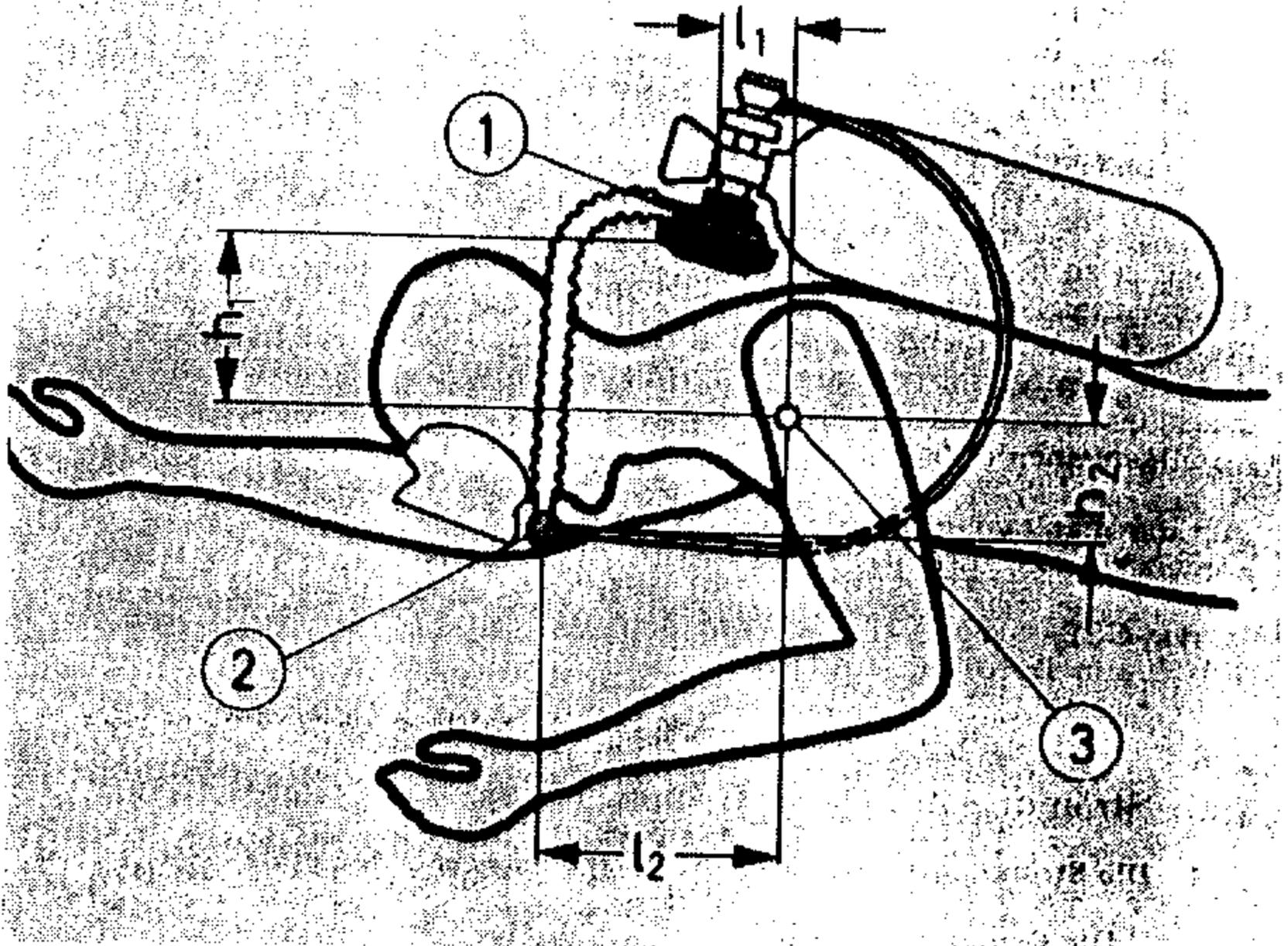


Bild 3 Lageabhängigkeit des Atemwiderstandes

- |            |                                       |
|------------|---------------------------------------|
| 1          | Lungenautomat (Kompakte Bauweise)     |
| 2          | Einschlauchautomat                    |
| 3          | Lungenmittelpunkt                     |
| $l_1, l_2$ | Druckunterschied für stehende Taucher |
| $h_1, h_2$ | Druckunterschied in Schwimmflage      |

Der Lungenautomat in zweistufig getrennter Bauweise schaltet einige zusätzliche negative Einflüsse dieser Art aus und setzt sich auch aus diesem Grund zunehmend durch.

Der Atemwiderstand darf auch in der größten Einsatztiefe und bei maximaler Luftentnahme seinen Grenzwert nicht überschreiten.

Zur Festlegung der maximalen Luftlieferleistung müssen, neben den physiologischen Gegebenheiten, vor allem die maximale Einsatztiefe des Lungenautomaten Berücksichtigung finden.

Aus der Physiologie ist bekannt, daß der Mensch in der Zeiteinheit ein bestimmtes Atemgasvolumen ventiliert.

Dieses Volumen hängt von seiner Belastung ab. Bei normaler Arbeit kann man mit einem Luftverbrauch von  $20 \div 30$  l/min rechnen, während bei starker Belastung dieser Wert bis auf  $50 \div 70$  l/min ansteigt. Funktionell bedingte Grenzwerte des Organismus liegen bei etwa 130 l/min.

Bei Lungenautomaten rechnet man i. a. mit einem maximalen Durchsatz von  $V = 50 \div 60$  l/min.

Dabei ist zu beachten, daß es sich hier um ein Gasvolumen (Liter, genauer Volumenliter) handelt. Für die Bemessung einer Düse ist jedoch die Gasmasse  $G$  entscheidend, die diese Düse in einer Zeiteinheit passieren soll, d. h. das Ventilationsvolumen muß mit dem maximal möglichen Absolutdruck (entsprechend der Einsatztiefe) multipliziert werden. DTG werden im allgemeinen in Tiefenbereichen bis etwa  $40 \div 60$  m verwendet.

Für die maximal abzugebende Gasmenge erhält man damit Werte zwischen  $250 \div 350$  Normliter/min.

In der GST werden nur Lungenautomaten zugelassen, die mindestens 300 NI/min Durchsatz erreichen.

## 3.2 Strömungstechnische Grundlagen für Lungenautomaten

### 3.2.1 Die Strömungsverhältnisse im Ventil eines Lungenautomaten

#### 3.2.1.1 Die Grundgleichungen der Gasdynamik

Das Ventil eines Lungenautomaten ist das strömungstechnisch — wesentlichste Bauelement des Reglers. Die Bemessung des Ventils ist ausschlaggebend für die Luftabgabemenge. Es nützt gar nichts, wenn ein Lungenautomat ein optimal bemessenes Hebelsystem und eine gute Membrane besitzt (und damit einen niedrigen Atemwiderstand), aber zu wenig Luft abgibt weil die Strömungsverhältnisse im Ventil nicht genügend beachtet wurden.

Thermodynamisch betrachtet, erfolgt in der Düse eines Lungenautomaten eine Druck-Geschwindigkeits-Umsetzung (Drosselung).

Diese Düse setzt den Hochdruck  $p_H$  des Atemgases im Vorratsbehälter auf den Niederdruck  $p_N$  herab, der über die Membrane bzw. Stellfedern einstellbar ist. Die über der Düse lastende Druckdifferenz  $p_H - p_N$  leitet die Gasströmung durch die Düse ein.

Mit dem sich verengenden Querschnitt  $F$  der Düse sinkt der statische Druck  $p$  des Gases und die Geschwindigkeit  $c$  nimmt zu.

Da die Druckdifferenz i. a. groß ist, führt das auch zu beachtlichen Strömungsgeschwindigkeiten  $c$  des Gases im Ventil.

In der Gasdynamik gibt es ein eigentlich allen aus der Aerodynamik der Flugzeuge bekanntes Phänomen. Übersteigt die Strömungsgeschwindigkeit  $c$  die Schallgeschwindigkeit  $a$  in diesem Gas, so ändern sich die physikalischen Eigenschaften des Gases (Druck, Dichte) und sein strömungstechnisches Verhalten, d. h. Strömungen im Unterschallbereich verhalten sich qualitativ und quantitativ anders als Überschallströmungen. Bei den im folgenden betrachteten Grundgleichungen für die Gasströmung in einer Düse wird vorausgesetzt, daß es sich um isentrope, also reibungsfreie Strömung handelt und kein Wärmeaustausch stattfindet (adiabatischer Vorgang).

#### Grundgleichungen:

- (1)  $c^2 = \frac{2\kappa}{\kappa-1} \cdot \frac{p_R}{\rho_R} \left[ 1 - \left( \frac{p}{p_R} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \right]$  BERNOULLI-Gleichung
- (2)  $c_1 \rho_1 F_1 = c_2 \rho_2 F_2$  Kontinuitätsgleichung
- (3)  $\frac{p}{p_R} = \left( \frac{\rho}{\rho_R} \right)^\kappa$  Isentropenbezeichnung
- (4)  $a^{*2} = \frac{2\kappa}{\kappa-1} \cdot \frac{p_R}{\rho_R}$  Schallgeschwindigkeit

Darin sind:

- $c$  Geschwindigkeit des Gases in der Düse  
 $p$  Druck des Gases in der Düse  
 $\rho$  Dichte des Gases in der Düse  
 $\kappa$  Adiabatenexponent des Atemgases  
 $p_R, \rho_R$  Druck bzw. Dichte des Atemgases im Ruhezustand, d. h. im Hochdruckbehälter  
 $F_1, F_2$  unterschiedliche Querschnittsflächen der Düse  
 $a^*$  Kritische Schallgeschwindigkeit

#### 3.2.1.2 Der kritische Druck, Unterschall- oder Überschallströmung

Mit Hilfe der Gleichungen muß zunächst untersucht werden, bei welchem Druckverhältnis von Ruhedruck und Druck in bzw. nach der Düse die Schallgeschwindigkeit erreicht wird, um entscheiden zu können, ob eine Überschallströmung in der Düse auftritt oder nicht.

Denjenigen Druck  $p$ , für den die Strömungsgeschwindigkeit gerade gleich der Schallgeschwindigkeit, also  $c = a^*$  wird, bezeichnet man als kritischen Druck  $p_{krit}$ .

Durch Gleichsetzen der Gleichungen (1) und (4) erhält man

$$\frac{\kappa - 1}{\kappa + 1} = 1 - \left( \frac{p_{\text{krit}}}{p_R} \right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}}$$

und nach Auflösung

$$p_{\text{krit}} = p_R \left( \frac{2}{\kappa + 1} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa - 1}} \quad (5)$$

Diese Gleichung ist für die Bemessung von Lungenautomaten von entscheidender Bedeutung, da sie eine wichtige Aussage über das strömungstechnische Verhalten des Ventils zuläßt.

Der Ruhedruck des Atemgases ist mit dem Hochdruck in den Vorratsbehältern  $p_H$  identisch. Der kritische Druck kann in der Düse nur erreicht werden, wenn der Niederdruck nach der Düse kleiner als  $p_{\text{krit}}$  ist.

Diesen Bereich, in dem gilt

$$p_N < p_{\text{krit}}$$

nennt man überkritisch, da in der Düse eine Überschallströmung entsteht, während der Bereich mit

$$p_N > p_{\text{krit}}$$

unterkritisch genannt wird.

Für Luft als Atemgas ist  $\kappa = 1,4$ .

Die Beziehung (5)

nimmt demzufolge die Form

$$p_{\text{krit}} = p_H \cdot 0,528 \quad (6)$$

an. Man erkennt sofort, daß beim DTG selbst in der maximalen Einsatztiefe von 60 m ( $p_{N \text{ max}} = 7 \text{ at abs}$ ) gilt:

$$p_{N \text{ max}} < 0,528 \cdot p_H$$

Das heißt, im Ventil entsteht eine Überschallströmung und der Ventilquerschnitt muß dem entsprechend angepaßt sein.

Mit sinkendem Vorratsdruck stellt sich dann allerdings einmal ein Druck  $p_{H \text{ min}}$  ein, bei welchem die Überschallströmung in eine Unterschallströmung umschlägt. Dies hat zur Folge, daß der Luftdurchsatz plötzlich stark herabgesetzt wird, was ein starkes Anwachsen des Atemwiderstandes bei gleicher Luftentnahme nach sich zieht.

Sinkt der Flaschendruck unter diesen Wert, so ist das DTG nur noch bedingt einsetzbar.

**Beispiel:**

Tauchtiefe 60 m, welcher Vorratsdruck darf nicht unterschritten werden?

$$p_{H \min} = \frac{p_{N \max}}{0,528} = \frac{7 \text{ at abs}}{0,528} = \underline{\underline{13,25 \text{ at abs}}}$$

**3.2.1.3 Kritischer Druck und Zwischendruck bei zweistufigen Lungenautomaten**

Die Formel (6) ist ebenfalls entscheidend für die **Festlegung des Zwischendrucks bei zweistufigen Lungenautomaten.**

Der Zwischendruck  $p_M$  muß mindestens so groß sein, daß auch in der maximalen Einsatztiefe ein überkritisches Druckverhältnis bestehen bleibt, d. h.

$$p_M \geq \left( \frac{p_{N \max}}{0,528} - p_{N \max} \right) \text{ at } U$$

**Beispiel:**

Ein DTG soll bis 40 m Tiefe eingesetzt werden, d. h.  $p_N = 5 \text{ at abs}$ .

Welcher Zwischendruck  $p_M$  muß mindestens für einen zweistufigen Lungenautomaten gewählt werden, um den geplanten Durchsatz zu gewährleisten?

$$p_M \geq \left( \frac{5}{0,528} - 5 \right) \text{ at } U \approx \underline{\underline{4,5 \text{ at } U}}$$

Oft trifft man Regler an, die mit einem Zwischendruck von  $2 \div 3 \text{ at } U$  arbeiten. Sie erbringen zwar in geringen Tiefen den notwendigen Durchsatz, arbeiten in größeren Tiefen aber unzureichend, d. h. beim Überschreiten seiner Grenztiefe sinkt die Luftlieferleistung des Lungenautomaten stark ab.

**3.2.1.4 Die Überschallströmung in einer Düse**

Eine strömungstechnisch richtig ausgebildete Düse wird als Laval-Düse (Bild 4) bezeichnet.

## Düse mit strömungstechnischer Ausbildung (Lavaldüse)

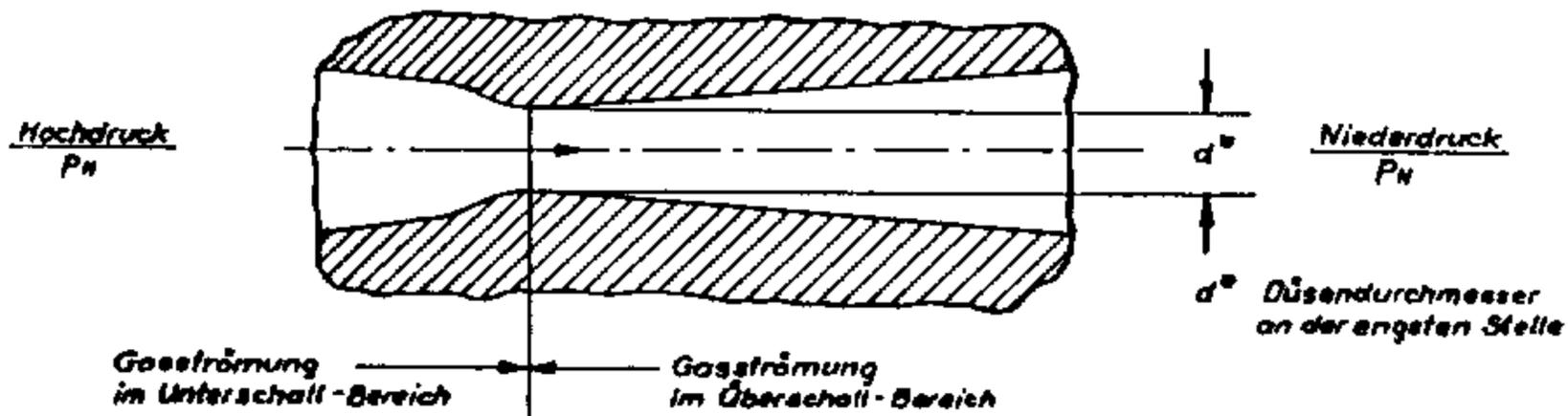


Bild 4 Düse mit strömungstechnischer Ausbildung (Lavaldüse)

An der Stelle mit der kleinsten Querschnittsfläche  $F^*$  erreicht die Strömungsgeschwindigkeit die Schallgeschwindigkeit. Erweitert sich die Düse wieder, so wird die Strömungsgeschwindigkeit im Überschallbereich weiter erhöht, Druck und Dichte des Gases sinken dagegen ab. Das Verhalten einer Unterschallströmung ist dann jedoch genau entgegengesetzt. Bild 5 zeigt den Querschnitt einer Düse mit überkritischem Druckverhältnis. Über dem Querschnitt zeigt das Diagramm das sinkende Druckverhältnis  $p/p_H$  in Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit.

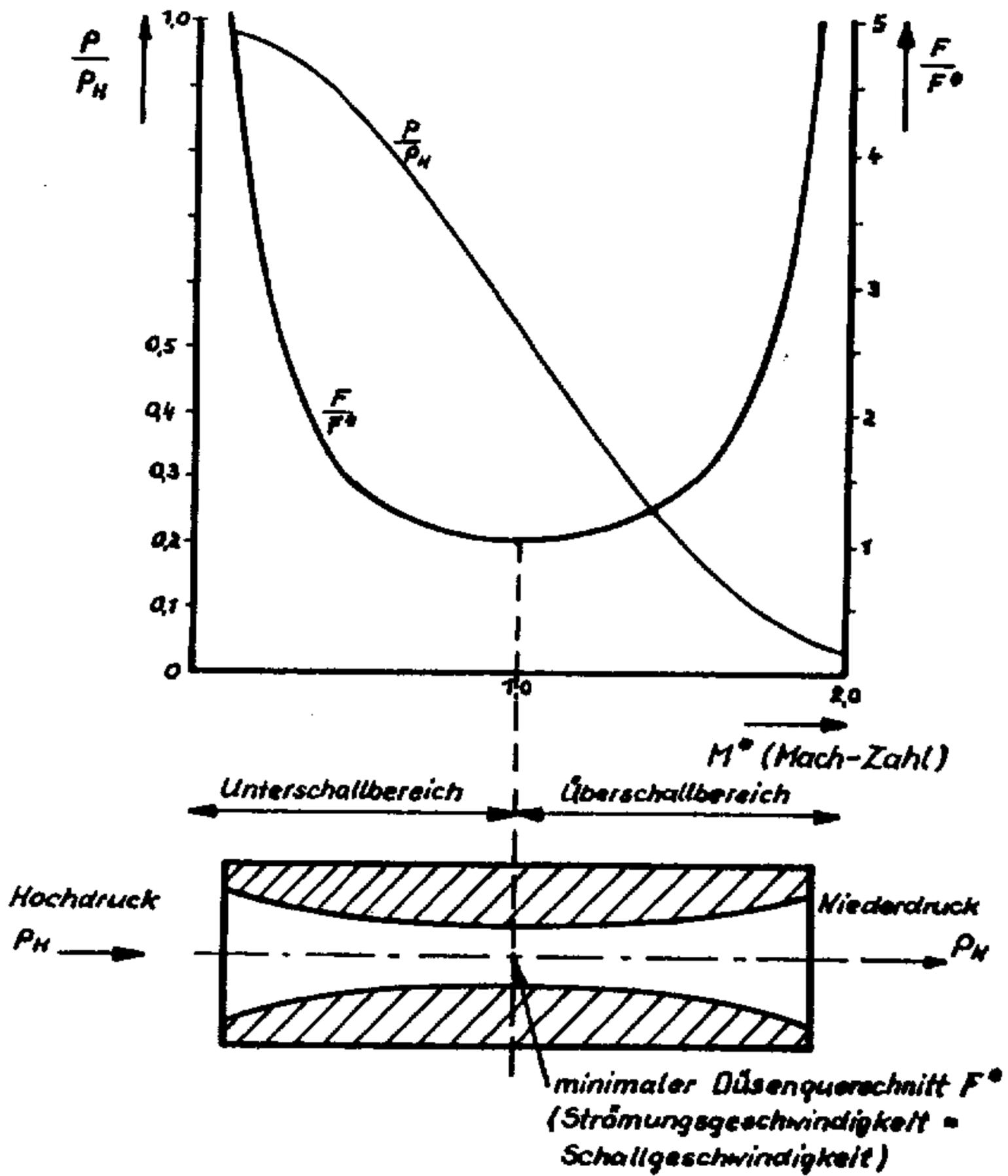
Als Maß für diese Geschwindigkeit wird die MACH-Zahl verwendet, die das Verhältnis von Strömungsgeschwindigkeit zu Schallgeschwindigkeit darstellt. An der engsten Stelle der Düse wird gerade die Schallgeschwindigkeit erreicht (MACH-Zahl = 1). Das Druckverhältnis ist an diesem Punkt gerade kritisch, d. h.  $p/p_H = 0,528$ . Die zweite Kurve des Diagramms stellt das Verhältnis von Düsenfläche  $F$  zur kleinsten Düsenfläche  $F^*$  dar bzw. seine Veränderung in Richtung der Düsenachse.

Eine Unterschallströmung verhält sich qualitativ vollkommen anders, nach der engsten Stelle der Düse sinkt die Geschwindigkeit wieder ab und der Druck nimmt zu.

Bild 5 Druck-Geschwindigkeits-Verteilung in einer Düse →

# Druck-Geschwindigkeits-Verteilung in einer Düse

(nur für kritisches Druckverhältnis  $p_H/p_H$ )



$\frac{p}{p_H}$  Druckverhältnis (bezogen auf den Ruhedruck des Gases, der gleich dem Hochdruck  $p_H$  ist)

$\frac{F}{F^*}$  Düsenquerschnittsverhältnis (bezogen auf minimalen Querschnitt  $F^*$ )

$M^*$  Mach-Zahl, Verhältnis von Strömungsgeschwindigkeit zur kritischen Schallgeschwindigkeit

### 3.2.2 Die Berechnung der Düsenquerschnittsfläche

Anhand der Grundgleichungen soll der Düsenquerschnitt bestimmt werden, der den geforderten Massedurchsatz  $G$  pro Zeiteinheit zuläßt. Diese Beziehung muß getrennt für Unterschallströmung und Überschallströmung ermittelt werden.

#### 3.2.2.1 Theoretische Düsenquerschnittsfläche $F^*$ für überkritisches Druckverhältnis $p_{N \max} < p_{krit}$

Die Kontinuitätsgleichung (2) sagt aus, daß der zeitliche Massedurchsatz  $G$  (in  $Nl/min$ ) konstant ist, denn

$$G = c \cdot \rho \cdot F \quad (7)$$

und da die Kontinuitätsgleichung für beliebige Stellen der Düse gilt ist

$$G = c_1 \cdot \rho_1 \cdot F_1 = c_2 \cdot \rho_2 \cdot F_2 = \text{konstant} \quad (8)$$

Bei Überschallströmung gilt das insbesondere auch für die engste Stelle der Düse

$$\begin{aligned} c &= a^*, \rho = \rho^*, F = F^* \\ G &= \rho^* \cdot a^* F^* \end{aligned} \quad (9)$$

Für  $a^*$  wird die Beziehung (4) in (9) eingesetzt:

$$G = F^* a^* \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa+1} \cdot \frac{p_R}{\rho_R}} \quad \text{oder} \quad (10)$$

$$G = F^* \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa+1} \left(\frac{\rho^*}{\rho_R}\right)^2 p_R \rho_R}$$

Nach der Grundgleichung (3) gilt

$$\left(\frac{\rho^*}{\rho_R}\right)^2 = \left(\frac{p^*}{p_R}\right)^{\frac{2}{\kappa}} \quad (11)$$

Da  $p^*$  der kritische Druck  $p_{krit}$  ist, gilt entsprechend der Beziehung (5)

$$\left(\frac{\rho^*}{\rho_R}\right)^2 = \left(\frac{2}{\kappa+1}\right)^{\frac{2}{\kappa-2}} \quad (12)$$

Damit ergibt sich für den zeitlichen Massedurchsatz

$$G = F^* \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa+1} \left(\frac{2}{\kappa+1}\right)^{\frac{2}{\kappa-1}} p_R \cdot \rho_R} \quad (13)$$

$p_R$  und  $\rho_R$  sind Druck und Dichte im Ruhezustand, d. h. im Vorratsbehälter. Der Massedurchsatz soll auch noch für den minimalen Hochdruck  $p_{H \min}$  gelten, also

$$p_R = p_{H \min} \geq \frac{p_{N \max}}{0,528} \quad (14)$$

Die zugehörige Dichte ist dann für Luft ebenfalls bekannt.

Statt  $\rho_R$  kann man auch das spezifische Volumen

$$V_{H \min} = \frac{1}{\rho_R} \text{ verwenden.}$$

Die notwendige freie Querschnittsfläche  $F^*$  der Düse kann für einen bestimmten zeitlichen Massedurchsatz (z. B.  $G = 300 \text{ NI/min}$ ) aus der Beziehung

$$F^* = \frac{G}{\sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa+1} \left(\frac{2}{\kappa+1}\right)^{\frac{2}{\kappa-1}} \cdot \frac{p_{H \min}}{V_{H \min}}}} \quad (15)$$

für ein überkritisches Druckverhältnis errechnet werden.

Für Luftatmung kann man die Beziehung (15) vereinfachen:

$$F^* = \frac{G}{0,94 \sqrt{\frac{p_{H \min}}{V_{H \min}}}} \quad (16)$$

**Beispiel:**

Für eine maximale Einsatztiefe von 60 m und einem Durchsatz von 300 NI/min müsste die theoretische Düsenfläche  $F^* = 0,0173 \text{ cm}^2$  sein. Bei einem Lungenautomaten, dessen Schließelement gegen den Druck dichtet, wäre damit ein praktischer Düsendurchmesser von  $d = 1,87 \text{ mm}$  notwendig. (Formel 22)

### 3.2.2.2 Theoretische Düsenquerschnittsfläche $F^*$ für unterkritisches Druckverhältnis $P_{N \max} > P_{krit}$

Entsprechend der Kontinuitätsgleichung gilt für die engste Stelle  $F^* = F$

$$G = \rho \cdot c \cdot F^* \quad (17)$$

Es wird keine Schallgeschwindigkeit erreicht und somit muß die Grundgleichung (1) in (17) eingesetzt werden:

$$G = F^* \cdot \rho \cdot \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa-1} \cdot \frac{P_R}{\rho_R} \left[ 1 - \left( \frac{P}{P_R} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \right]} \quad (18)$$

oder auch

$$G = F^* \cdot \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa-1} \left( \frac{\rho}{\rho_R} \right)^2 \cdot P_R - \rho_R \left[ 1 - \left( \frac{P}{P_R} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \right]} \quad (19)$$

Aus der Isentropenbeziehung (3) folgt:

$$\left( \frac{\rho}{\rho_R} \right)^{\frac{2}{\kappa}} = \left( \frac{P}{P_R} \right)^{\frac{2}{\kappa}} \quad (20)$$

Das gilt für unterkritisches Druckverhältnis

$$P_{N \max} \text{ und } P_R = P_{H \min}$$

Damit ergibt sich für den notwendigen freien Querschnitt der Düse (bei unterkritischem Druckverhältnis)

$$F^* = \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa-1} \cdot \frac{P_{H \min}}{V_{H \min}} \left[ \left( \frac{P_{N \max}}{P_{H \min}} \right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left( \frac{P_{N \max}}{P_{H \min}} \right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa}} \right]} \quad (21)$$

### 3.2.3 Düsendurchmesser und Öffnungshub des Schließorgans

#### 3.2.3.1 Die Bemessung der Düse eines einstufigen Lungenautomaten mit gegen den Druck dichtendem Schließelement

Bild 6 zeigt das Prinzip eines solchen Ventils. In diesem Fall gibt der Schließbolzen den gesamten Düsenquerschnitt frei. Da die Düse nicht strömungstechnisch günstig ausgebildet ist, hat es sich als zweckmäßig erwiesen den theoretisch errechneten Wert  $F^*$  um einen Faktor  $K = 2 \div 3$  zu vergrößern. Damit wird außerdem erreicht, daß die Maximalgeschwin-

## *Düsenteil (Ausschnitt) mit gegen den Hochdruck schließendem Schließelement*

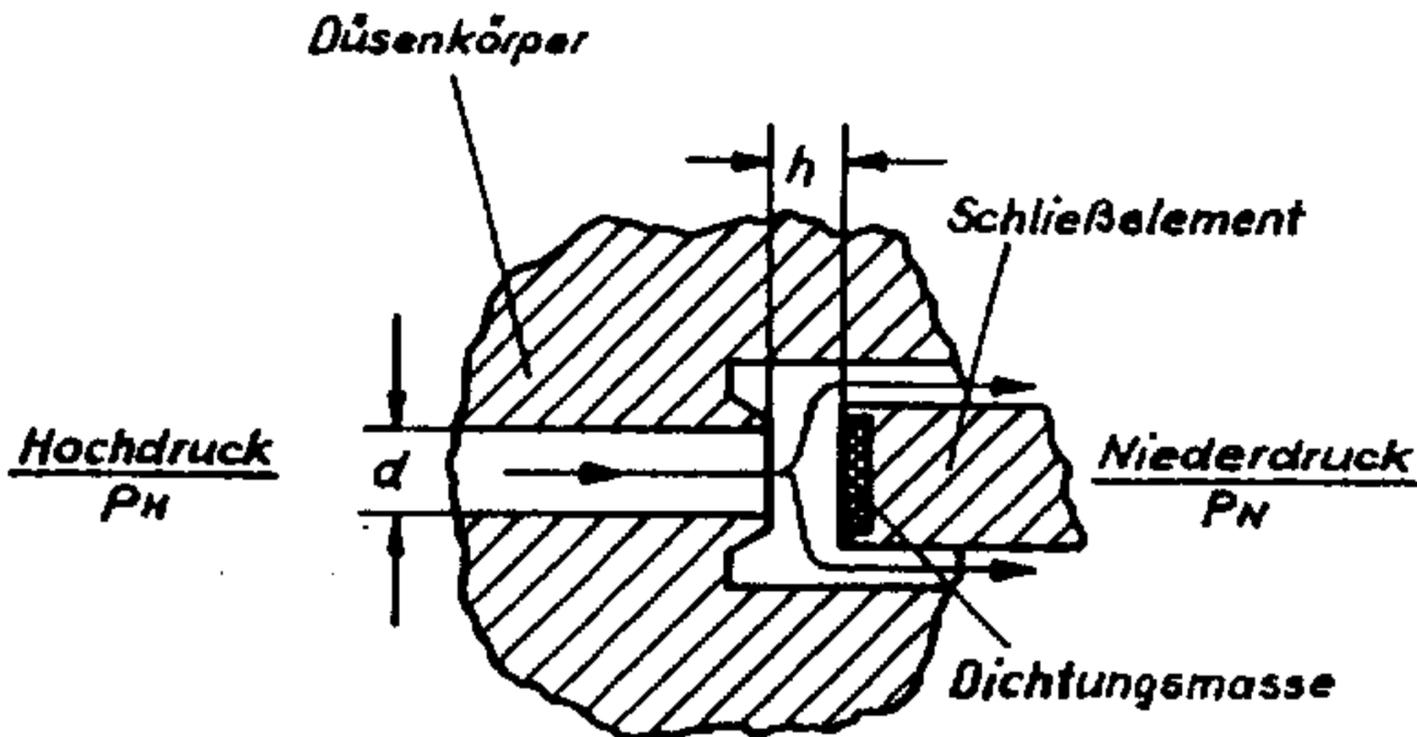


Bild 6 Düsenteil (Ausschnitt) mit gegen den Hochdruck dichtendem Schließelement

$d$  = Düsendurchmesser

$h$  = Öffnungshub

digkeit des Gases nicht in der Düse, sondern in dem durch das Schließelement freigegebenen Querschnitt auftritt, wodurch die Regelungsmöglichkeit verbessert wird.

Der Düsendurchmesser  $d$  eines solchen Lungenautomaten wird aus

$$d = \sqrt{\frac{4 k F^*}{\pi}} \quad (22)$$

bestimmt ( $F^*$  entsprechend (15) )

Den Öffnungshub  $h$  des Schließelements bestimmt man aus der Beziehung

$$h = \frac{k \cdot F^*}{\pi} + h^* \quad (23)$$

wobei  $h^*$  der Weg ist, um den sich der Düsenkrater in den Dichtwerkstoff eindrückt ( $h^* \approx 0,1 \text{ mm}$ )

### 3.2.3.2 Die Bemessung der Düse eines einstufigen Lungenautomaten, dessen Schließelement mit dem Druck dichtet

Bild 7 zeigt den Ausschnitt eines Ventils, das mit dem Druck dichtet. Dies bedingt das Vorhandensein eines Druckbolzens zur Übertragung der Kraft

## *Düsenteil (Ausschnitt) mit Schließelement, das mit dem Hochdruck schließt*

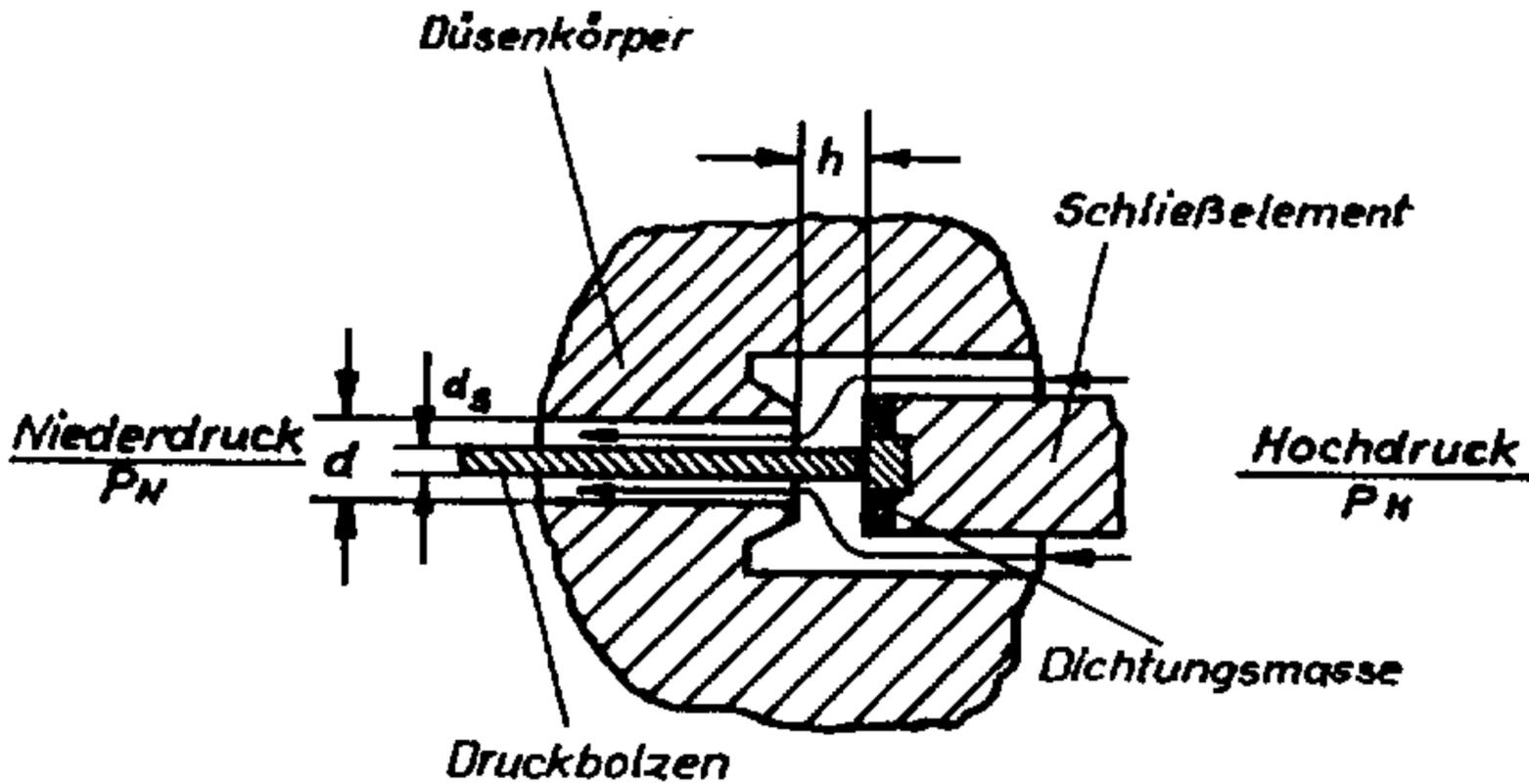


Bild 7 Düsenteil (Ausschnitt) mit Schließelement, das mit dem Hochdruck dichtet

$d_s$  Schaftdurchmesser des Druckbolzens

auf den Ventilstein. Dieser Druckbolzen vermindert den freien Querschnitt der Düse, so daß die Querschnittsfläche des Druckbolzenschaftes

$$F_s = \frac{\pi}{4} d_s^2$$

berücksichtigt werden muß.

Der praktisch zu wählende freie Querschnitt ergibt sich somit aus der Summe

$$k \cdot F^* + F_g$$

Der Düsendurchmesser muß also

$$d = \sqrt{\frac{4}{\pi} (kF^* + F_g)} \quad (24)$$

und der Öffnungshub

$$h = \frac{l}{\pi} (kF^* + F_g) + h^* \quad (25)$$

sein.

### 3.2.3.3 Bemessung der Düsen bei zweistufigen Lungenautomaten

Zweistufige Lungenautomaten besitzen sowohl in der Reduktorstufe als auch in der Lungenautomatischen Stufe ein Ventil. Diese können getrennt berechnet werden, wobei zu beachten ist, ob das Ventil mit oder gegen den Druck dichtet. Es ist wichtig, daß bei der Düsenberechnung für beide Ventile die gleiche Durchsatzmenge  $G$  angenommen wird. Bei der Berechnung der Düse im Druckminderer muß in Gleichung (15) beachtet werden, daß

$$p_{H \min} \geq \frac{p_{N \max} + p_M}{0,528} \quad (26) \quad (p_M \text{ in at Ü})$$

gilt.

Zur Berechnung der 2. Stufe hingegen gilt

$$p_{H \min} \geq p_M \quad (27) \quad (\text{in at Ü})$$

Es bleibt hierbei unberücksichtigt, daß der Zwischendruck  $p_M$  (at Ü) ebenfalls kleinen Schwankungen unterliegt (s. Abschnitt 3.3.4).

## 3.3 Konstruktive Grundlagen von Federn, Membranen und Hebelwerken

### 3.3.1 Einstufige Lungenautomaten mit gegen den Druck dichtendem Ventil

#### 3.3.1.1 Konstruktiver Aufbau und Kräftebilanz

Bild 8 zeigt das Prinzip eines solchen Lungenautomaten. Sein besonderes Kennzeichen ist das Vorhandensein einer starken Schließfeder, die in der

*Funktionsschema eines LA-einstufig, Hebelwerk einfach ausgelegt, gegen den Hochdruck schließend*

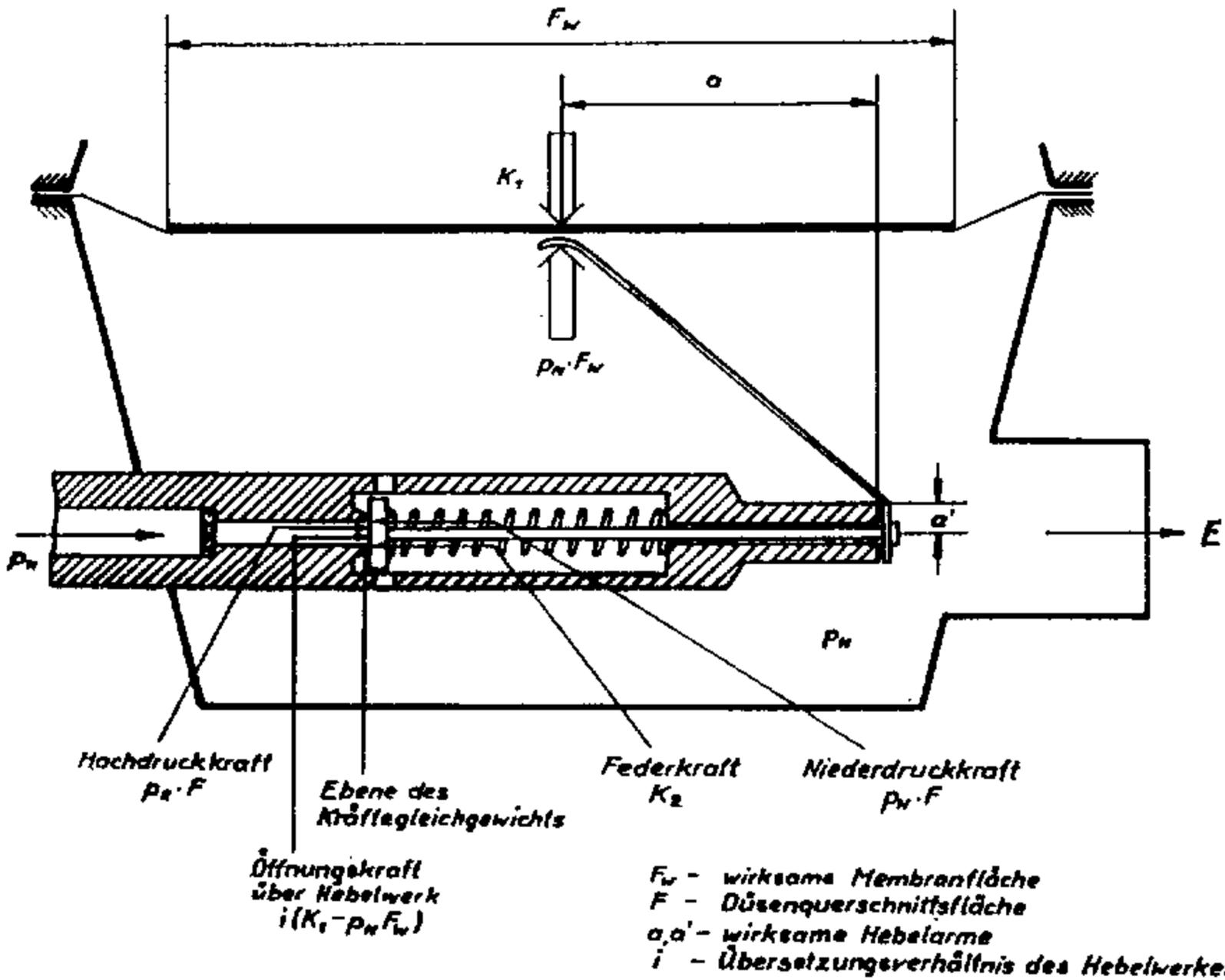


Bild 8 Funktionsschema eines einstufigen Lungenautomaten mit gegen den Druck dichtendem Schließelement, Hebelwerk einfach ausgelegt

Lage ist, die Düse entgegen dem Hochdruck  $p_H$  dicht zu verschließen. Der Düsenkegel bildet die Ebene des Kräftegleichgewichtes. In Öffnungsrichtung wirken zwei Kräfte, die durch den Hochdruck erzeugte  $p_H \cdot F$  und die Summe der an der Membrane wirkenden, deren Resultierende über den Hebel verstärkt wird und die Zugstange mit dem Ventilteller vom Sitz abheben will. Über die Membrane mit der wirksamen Fläche  $F_N$  erzeugt der Wasserdruck die Kraft  $K_1$ . Dieser wirkt der Niederdruck über die Membrane mit der Kraft  $p_N \cdot F_N$  entgegen. Demnach greift die Kraft  $K_1 - p_N \cdot F_N$  am Hebel an. Durch die Hebelarme  $a, a'$  wird die Kraft um den Faktor

$$i = \frac{a}{a'} \quad (28)$$

verstärkt.

Folgende Kräfte wirken schließend auf den Ventilsitz:

- die Schließfeder mit der Kraft  $K_2$  und
- die Niederdruckkraft auf den Düsenquerschnitt  $p_N \cdot F$ .

Damit kann man folgende Kräftebilanz für einen solchen Lungenautomaten aufstellen:

$$p_H \cdot F + i (K_1 - p_N F_W) = K_2 + p_N F \quad (29)$$

### 3.3.1.2 Der Einfluß des fallenden Hochdruckes auf den Atemwiderstand

Erfolgt keine Gasentnahme, so herrscht am Hebel ein Kräftegleichgewicht ( $K_1 = p_N \cdot F_N$ ). Für diesen Zustand gilt

$$p_H \cdot F = K_2 + p_N \cdot F \quad (30)$$

Die Gasentnahme wird durch Erzeugung eines Unterdruckes  $\Delta p$  im Unterteil eingeleitet. ( $\Delta p$  muß durch die Atemmuskulatur aufgebracht werden und ist damit der Atemwiderstand):

$$p_H \cdot F + i \cdot \Delta p \cdot F_W = K_2 + p_N \cdot F \quad (31)$$

Für Druckminderer gilt ebenfalls die Kräftebilanz (29) wobei allerdings  $K_1$  durch die Stellfeder aufgebracht wird.

Schreibt man (31) in der Form

$$i \cdot \Delta p \cdot F_W = K_2 - (p_H - p_N) \cdot F \quad (32)$$

erkennt man den Einfluß eines abnehmenden Vorratsdruckes  $p_H$  auf die Kräftebilanz. Der schließenden Kraft  $K_2$  steht die öffnende  $(p_H - p_N) \cdot F$  gegenüber. Die Ansaugkraft  $i \cdot \Delta p \cdot F_W$  muß diese Differenz überwinden. Bei vollen Flaschen ( $p_{H \max}$ ) ist diese Differenz  $K_2 - (p_H - p_N) \cdot F$  klein und damit genügt eine kleine Ansaugkraft zum Betätigen des Ventils. Mit fallendem Hochdruck wird  $K_2 - (p_H - p_N) \cdot F$  größer und so wächst auch die notwendige Ansaugkraft.

Der Atemwiderstand eines Lungenautomaten mit einem gegen den Druck schließenden Dichtelement steigt mit fallendem Vorratsdruck  $p_H$  linear an.

Dies läßt sich quantitativ genau untersuchen und dazu folgende Beziehung ableiten:

$$\Delta A_H = \frac{\Delta p_H \cdot F}{i F_W} = \frac{\Delta p_H}{i} \left( \frac{d}{D_W} \right)^2 \quad (33)$$

$D_W$  wirksamer Membrandurchmesser

$d$  Düsendurchmesser

Das Bild 9 zeigt dieses Verhalten. Das starke Ansteigen des Atemwiderstandes nach dem Erreichen von  $p_{H \min}$  resultiert aus der nun unterkritischen Strömung und dem dadurch stark verringerten Durchsatz in der Düse.

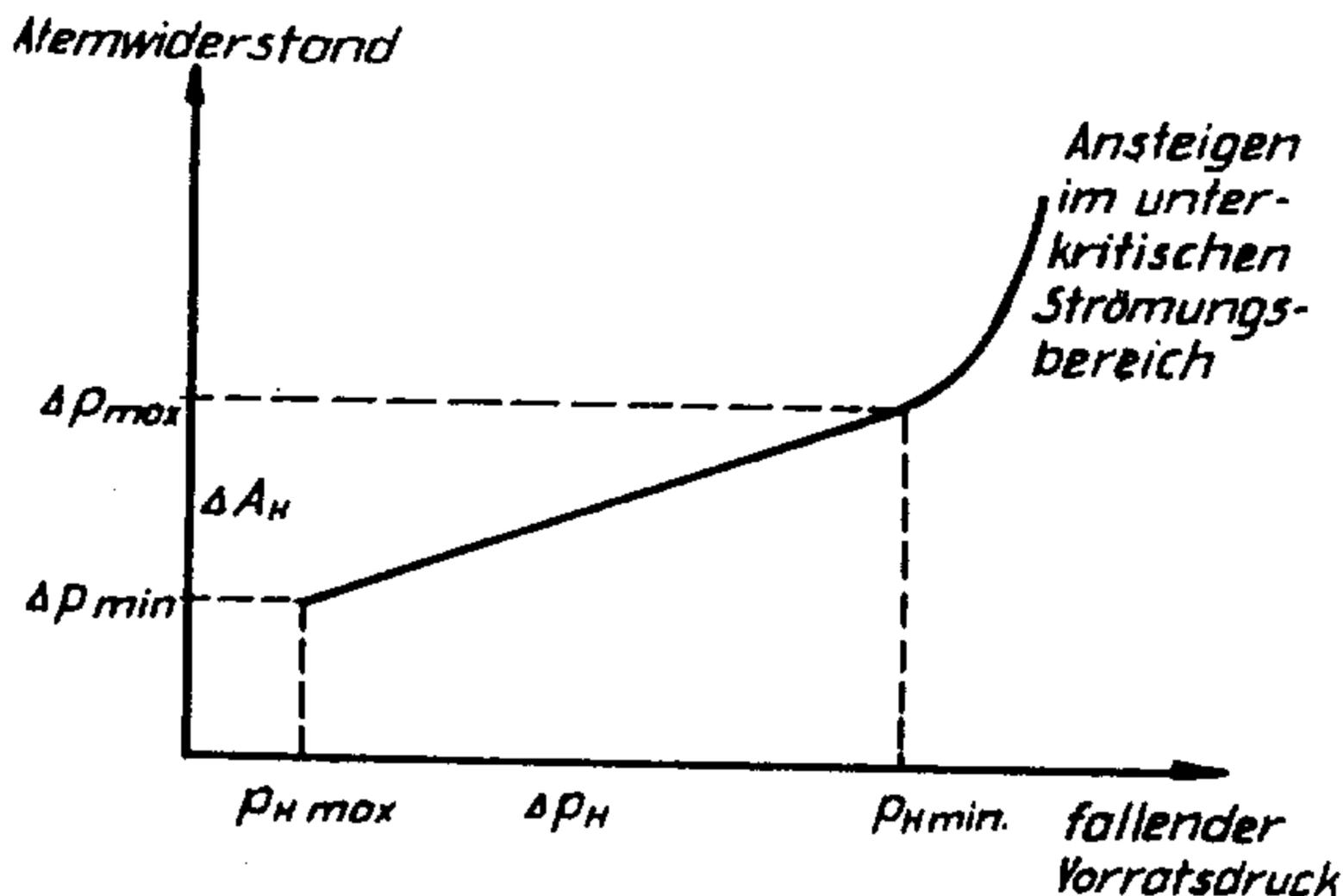


Bild 9 Atemwiderstand eines einstufigen Lungenautomaten mit gegen den Druck dichtendem Ventil

### 3.3.1.3 Der Einfluß der Hebelübersetzung und der wirksamen Membranfläche auf den Atemwiderstand

Gleichung (33) läßt ebenfalls den Einfluß der Hebelübersetzung  $i$  und der wirksamen Membranfläche  $F_w$  erkennen.

Der Atemwiderstand eines Lungenautomaten mit gegen den Druck dichtendem Ventil ist um so geringer, je größer die Hebelübersetzung  $i$  und die Membranfläche  $F_w$  sind.

### 3.3.1.4 Der Einfluß der Tauchtiefe auf den Atemwiderstand

Nimmt man an, daß der Entnahmestrom  $G$  und der Hochdruck  $p_H$  konstant sind, so kann man den Einfluß der Tauchtiefeänderung

$$\Delta p_N = p_{N \max} - p_{N \min} \quad (34)$$

Tauchtiefe  $p$  als konstant angesehen. Eine größere Entnahme kann nur auf den Atemwiderstand untersuchen. Damit läßt sich ableiten:

$$\Delta A_N = \frac{\Delta p_N \cdot F}{i \cdot F_W} = \frac{\Delta p_N}{i} \left( \frac{d}{D_W} \right)^2 \quad (35)$$

Der Atemwiderstand eines Lungenautomaten mit gegen den Druck dichtendem Ventil steigt mit wachsender Tauchtiefe an.

### 3.3.1.5 Der Einfluß der Gasentnahme auf den Atemwiderstand

Um diese Auswirkung zu untersuchen, werden Vorratsdruck  $p_H$  und Tauchtiefe  $p_N$  als konstant angesehen. Eine größere Entnahme kann nur erreicht werden, wenn der Ventilteller weiter vom Sitz abgehoben wird. Eine Änderung der Gasentnahme von  $G_{min}$  auf  $G_{max}$  kann nur durch eine Hubänderung  $\Delta h$  des Schließelementes erreicht werden. Das bedeutet aber, daß die Feder ebenfalls um den Wert  $\Delta h$  zusammengedrückt werden muß. Diese zusätzliche Kraft muß über die Membrane und den Hebel einwirken.

$$K_2 = c_2 \cdot \Delta h \quad (36)$$

wobei  $c_2$  die Federkonstante der Schließfeder ist und  $\Delta K_2$  die für die Hubänderung erforderliche Kraft. Mit Hilfe der Kräftebilanz (32) kann man für die durch Entnahmestromänderung bewirkte Änderung des Atemwiderstandes ableiten:

$$\Delta A_G = \frac{\Delta K_2}{i \cdot F_W} \quad (37)$$

und mit (36) entsteht

$$\Delta A_G = \frac{G_2 \cdot \Delta h}{i \cdot F_W} = \frac{C_2 \cdot \Delta h}{i \cdot \frac{\pi}{4} D_W^2} \quad (38)$$

Der durch Erhöhung des Entnahmestromes bewirkte Atemwiderstand eines Lungenautomaten mit gegen den Druck dichtendem Ventil steigt linear mit der Federsteife der Schließfeder und der erforderlichen Hubänderung an. Eine große Hebelübersetzung bzw. Membranfläche verringern den Einfluß der Entnahmestromänderung auf den Atemwiderstand.

## 3.3.2 Der einstufige Lungenautomat, dessen Ventil mit dem Druck dichtet

### 3.3.2.1. Konstruktiver Aufbau und Kräftebilanz

Bild 10 zeigt das Schema eines solchen Lungenautomaten. Sein besonderes Kennzeichen ist die Kraftübertragung auf den Schließbolzen mittels

Druckbolzen. Da der Hochdruck die Dichtungskraft zum größten Teil aufbringt, ist nur eine relativ schwache Feder erforderlich, die sicheres Schließen bei geringstem Vorratsdruck bewirkt. Die Kraftübertragung von

*Funktionsschema eines LA – einstufig, Hebelwerk zweifach ausgelegt, mit dem Hochdruck dichtend*

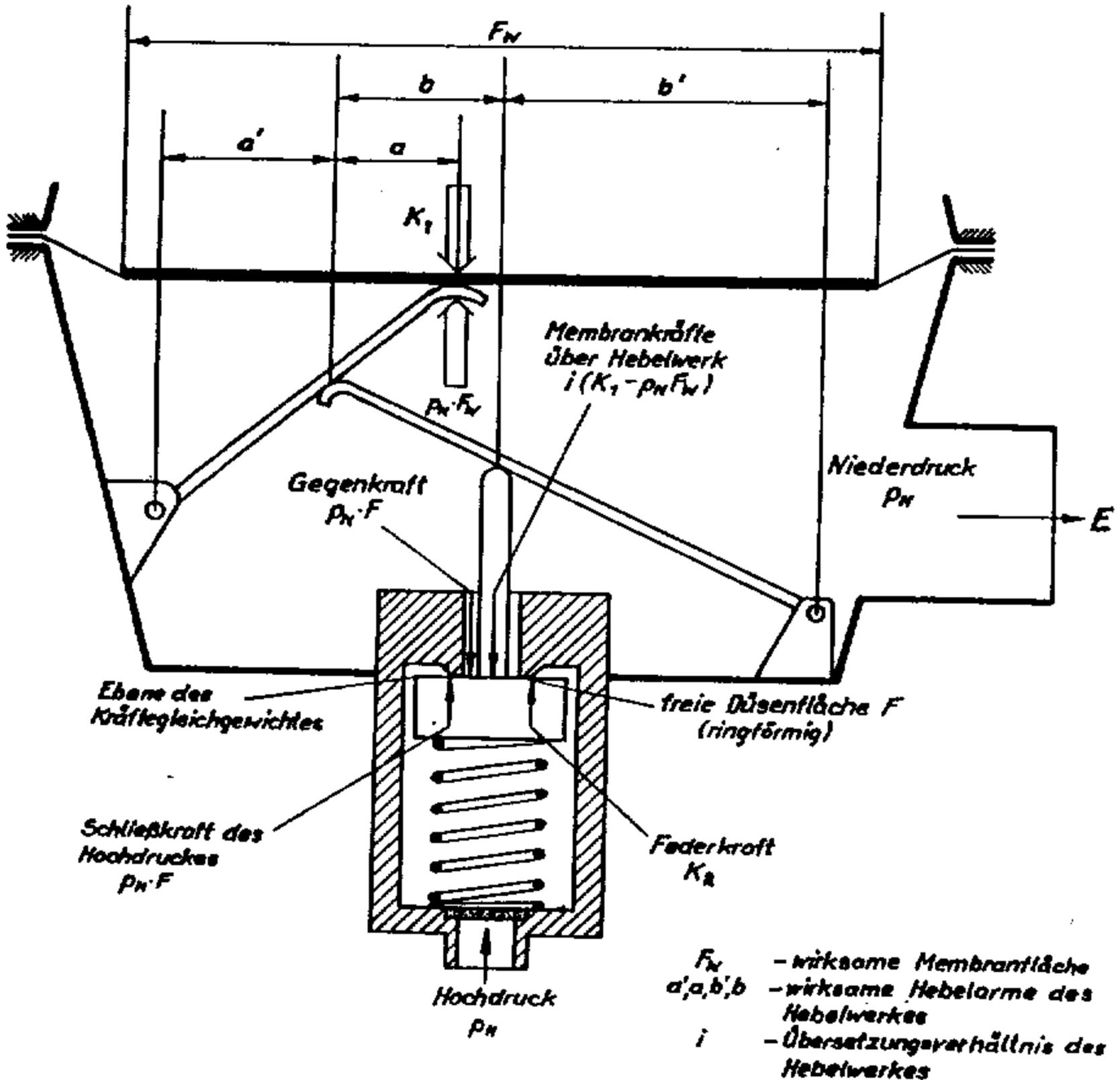


Bild 10 Funktionsschema eines einstufigen Lungenautomaten, dessen Ventil mit dem Druck dichtet, Hebelwerk zweifach ausgelegt

der Membrane erfolgt im Beispiel mit zwei Hebeln. Um die Kräftebilanz aufzustellen, müssen alle Kräfte, die auf den freien Düsenquerschnitt  $F$

wirken, bekannt sein. (Bei der Bestimmung der Düse muß die Fläche des Druckbolzens berücksichtigt werden,  $F = k F^* + F_S$  (39) )

In Öffnungsrichtung wirkt der Niederdruck auf die freie Düsenfläche mit der Kraft  $p_N \cdot F$ , die Membrankräfte  $K_1 - p_N \cdot F$ , die über das Hebelwerk verstärkt werden:

$$i = \frac{a' \cdot b'}{(a + a') \cdot (b + b')} \quad (40)$$

Als Schließkräfte wirken der Hochdruck mit der Kraft  $p_H \cdot F$  und die Feder mit der Kraft  $K_2$ .

Es gilt demnach für die Fläche des Gleichgewichtes:

$$i (K_1 - p_N \cdot F_W) + p_N^{\text{eff}} \cdot F = K_2 + p_H \cdot F \quad (41)$$

### 3.3.2.2 Der Einfluß des sinkenden Vorratsdruckes auf den Atemwiderstand

Erfolgt keine Gasentnahme, so herrscht an der Membrane Kräftegleichgewicht ( $K_1 = p_N \cdot F_W$ ), d.h. es wirken am Schließbolzen die Kräfte

$$p_N F = K_2 + p_H F \quad (42)$$

Analog zu Gleichung (32) erhält man bei Luftentnahme (Ansaugdruck  $\Delta p$ )

$$i \cdot \Delta p \cdot F_W = K_2 + (p_H - p_N) F \quad (43)$$

Man erkennt, daß sich mit abnehmendem Vorratsdruck die Schließkraft verringert und damit der zum Öffnen des Ventils erforderliche Ansaugdruck  $\Delta p$  ebenfalls kleiner wird.

Der Atemwiderstand eines Lungenautomaten, dessen Ventil mit dem Druck dichtet, fällt mit sinkendem Vorratsdruck ab.

Analog zu Punkt 3.3.1.2 läßt sich folgende Gleichung ableiten (Luftentnahme und Tauchtiefe bleiben konstant)

$$\Delta A_H = \frac{-\Delta p_H}{2} \left( \frac{d}{D_W} \right)^2 \quad (44)$$

$\Delta A_H$  ist hier die lineare Abnahme des Atemwiderstandes mit fallendem Vorratsdruck.  $d$  muß entsprechend (24) verwendet werden.

Für den Einfluß der Hebelübersetzung und der wirksamen Membranfläche gilt das unter Abschnitt 3.3.1.3 Gesagte in gleichem Maße.

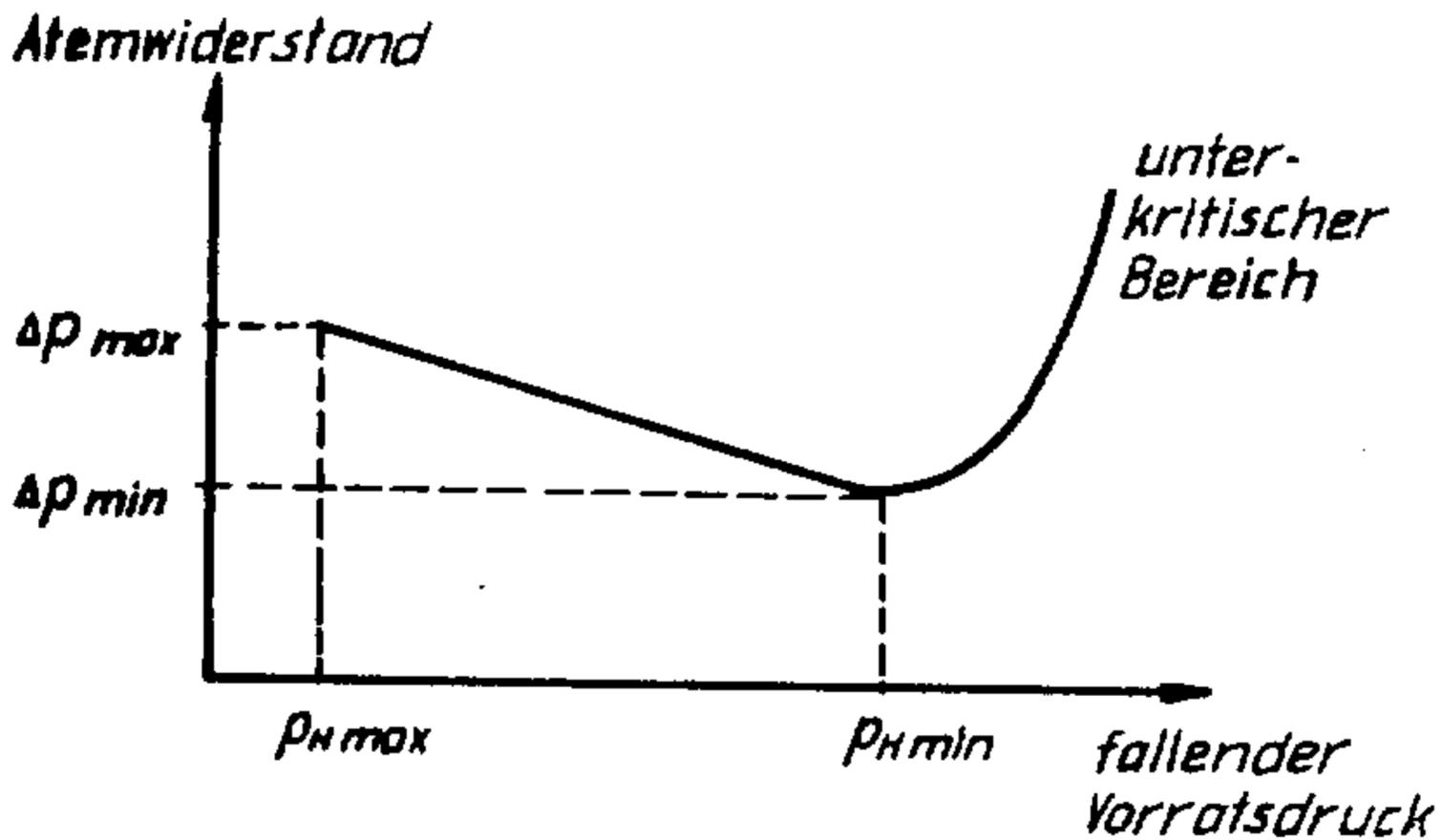


Bild 11 Atemwiderstand eines einstufigen Lungenautomaten, dessen Ventil mit dem Druck dichtet

### 3.3.2.3 Der Einfluß der Tauchtiefe auf den Atemwiderstand

Nach Gleichung (43) sinkt mit zunehmender Tauchtiefe die Schließkraft, d. h. der Atemwiderstand nimmt ab. Bleiben  $G$  und  $p$  konstant, kann man angeben:

$$\Delta A_{II} = \frac{-1 p_N}{i} \left( \frac{d}{Dw} \right)^2 \quad (45)$$

Der Atemwiderstand eines solchen Lungenautomaten sinkt mit wachsender Tauchtiefe.

Für den Einfluß der Luftentnahme auf den Atemwiderstand gelten die Ausführungen unter 3.3.1.5 analog.

### 3.3.3 Einstufige Lungenautomaten mit Injektor

Bild 12 zeigt einen solchen Lungenautomaten mit Injektordüse. Sie leitet den Atemgasstrom in den Einatemschlauch. In der Düse entsteht eine Überschallströmung. Die Düse ist strömungstechnisch so ausgebildet, daß die maximale Strömungsgeschwindigkeit genau im Spalt zwischen Düse und Einatemschlauch entsteht. Nach 3.2.1.4 bedeutet dies, daß an dieser Stelle der Druck ein Minimum annimmt. Da dieser Druck wesentlich geringer als  $p_N$  ist, wird aus dem Raum unter der Membrane viel Luft abgesaugt und von der Strömung mitgerissen.

## Injektor - Wirkung bei einstufigen LA

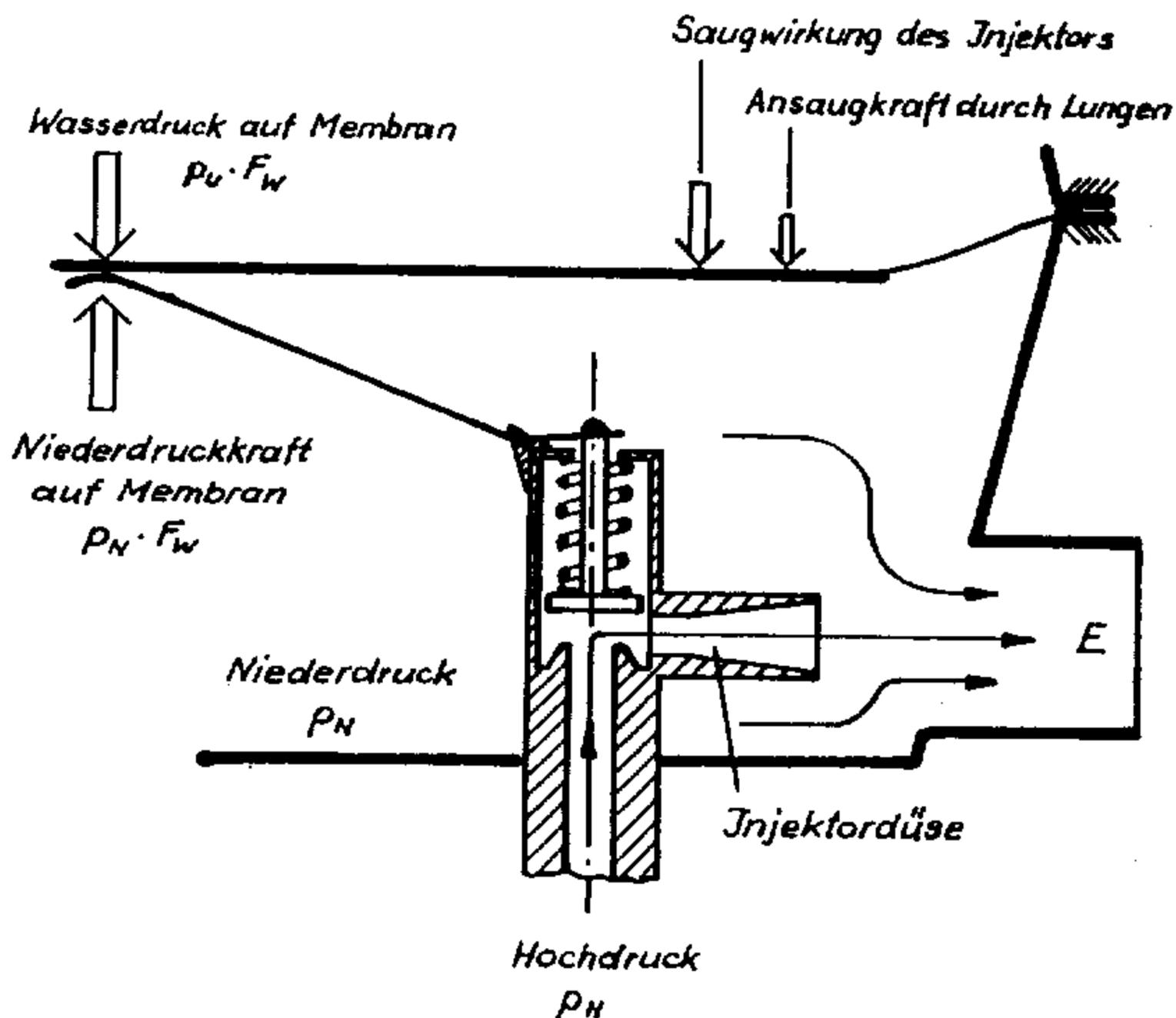


Bild 12 Injektor-Wirkung bei Lungenautomaten

Durch die Absaugung entsteht ein relativer Unterdruck der auf die Membrane wirkt, durch das Hebelwerk verstärkt wird und das Offenhalten des Ventils während der Einatmung wesentlich unterstützt.

Dadurch wird der Atemwiderstand während des Einatemvorganges stark herabgesetzt.

Allerdings wirkt der Injektor erst nach Öffnen des Ventils, so daß zu Beginn des Einatemvorganges der normale Atemwiderstand auftritt, der dann schnell absinkt. Injektoren sind sehr wirkungsvoll, aber reagieren auch empfindlich gegenüber Spaltgröße und Sekundärluftzufuhr. Daher müssen sie sorgfältig justiert werden um negative Auswirkungen (z. B. selbständiges Offenhalten des Ventils) zu vermeiden.

### 3.3.4 Der zweistufige Lungenautomat

#### 3.3.4.1 Konstruktive Besonderheiten

Bild 13 zeigt den schematischen Aufbau eines zweistufigen Lungenautomaten. Auf die Vielfalt der konstruktiven Auslegung war in den Abschnitten 2 und 3.1.2 hingewiesen worden.

Lungenautomaten werden zweistufig ausgelegt um den Atemwiderstand weitgehend unabhängig vom Vorratsdruck zu gestalten. Durch den Druck-

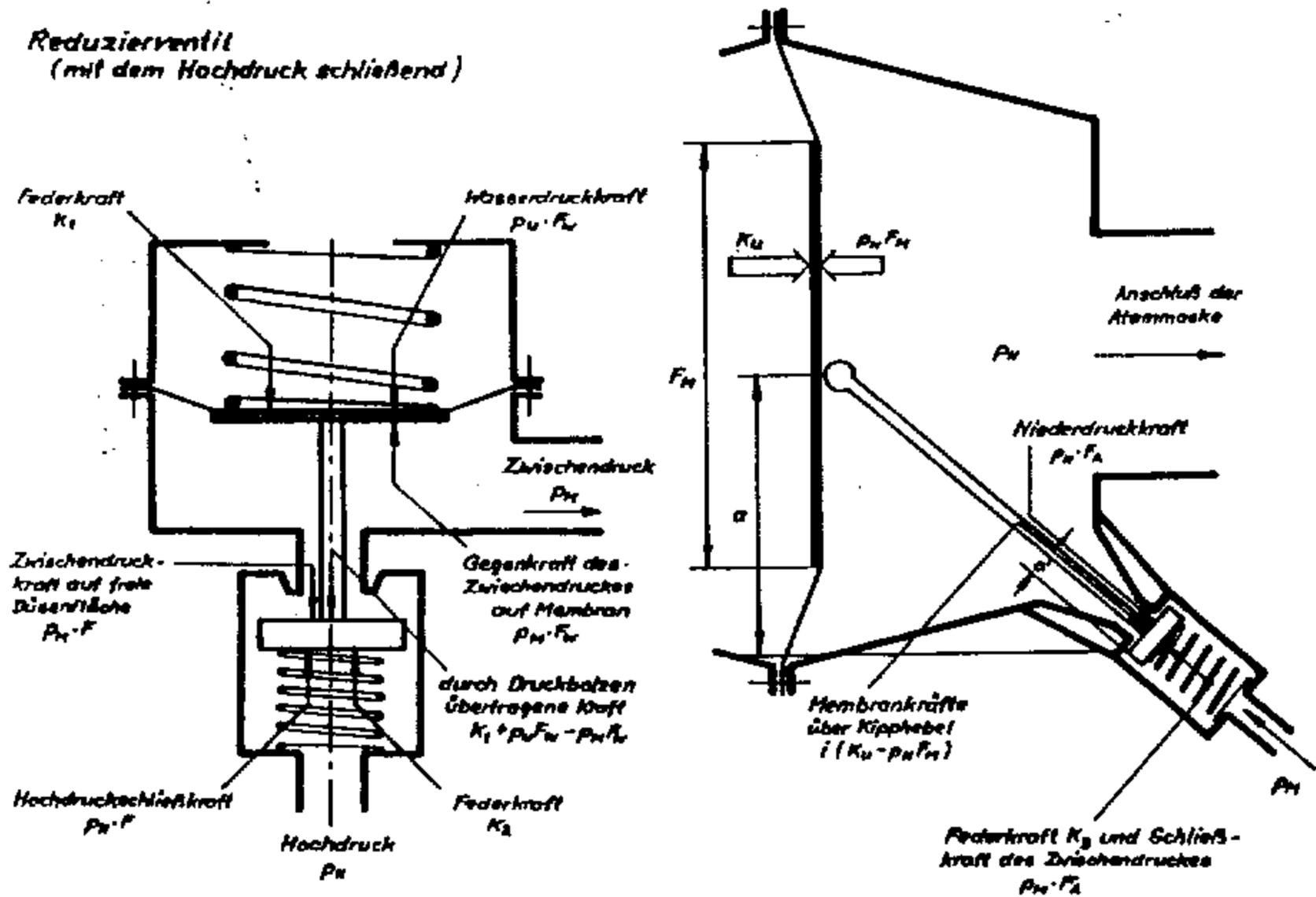


Bild 13 Funktionsschema eines zweistufigen Lungenautomaten

minderer als erste Stufe wird ein nahezu konstanter Zwischendruck  $p$  erzeugt, der dann bewirkt, daß der Atemwiderstand der zweiten Stufe ebenfalls konstant bleibt.

Um den Einfluß der Tauchtiefe gering zu halten wirkt neben der Stellfeder noch der Umgebungsdruck auf den Druckminderer.

### 3.3.4.2 Arbeitsweise des Druckminderers

#### 3.3.4.2.1 Druckminderer, deren Ventil gegen den Hochdruck dichtet

Hierfür gelten prinzipiell die Ausführungen des Abschnittes 3.3.1. Die Kräftebilanz lautet:

$$p_H \cdot F + i (K_1 + p_U \cdot F_W - p_M \cdot F_W) = p_M \cdot F \quad (46)$$

mit

$F_W$  wirksame Fläche der Druckminderermembrane

$K_1$  Stellfederkraft

$p_M$  Zwischendruck

$p_U$  Umgebungs(Wasser-)-druck

Für die Hochdruckabhängigkeit kann man aus (46) ableiten (Tiefe und Entnahmestrom konstant):

$$\Delta p_M = \Delta p_H \frac{F}{F + i \cdot F_W} \quad (47)$$

Der Zwischendruck steigt mit fallendem Vorratsdruck leicht an (in der Praxis um 1 ÷ 2 at). Größere Hebelübersetzungen bzw. Membranflächen vermindern diesen Einfluß.

Der Zwischendruck  $p_M$  [at Ü] wird entsprechend Abschnitt 3.2.1.3 gewählt. Da er im Betrieb ansteigt, bleiben die Strömungsverhältnisse überkritisch.

Für die Abhängigkeit des Zwischendruckes von der Tauchtiefe gilt

$$\Delta p_M = \Delta p_U \frac{F + i F_W}{i F_W} \text{ [at abs]}$$

oder

$$\Delta p_M [\text{Ü}] = \Delta p_U \frac{F}{i F_W} \text{ in at Ü} \quad (48)$$

Da  $F \ll iF$  ist der Einfluß der Tauchtiefe sehr gering.

#### 3.3.4.2.2 Druckminderer, deren Ventil mit dem Hochdruck dichtet

Für den im Bild 13 dargestellten Druckminderer ohne Hebelübersetzung gilt folgende Kräftebilanz:

$$K_1 + p_U F_W = p_M F_W + K_2 + (p_H - p_M) F \quad (49)$$

Die Hochdruckabhängigkeit des Zwischendruckes bei konstanter Tiefe und gleichbleibendem Entnahmestrom ist

$$\Delta p_M = - \Delta p_H \frac{F}{F_W - F} \quad (50)$$

Der Zwischendruck sinkt mit fallendem Vorratsdruck ebenfalls ab.

Dies muß bei der Einstellung des Zwischendruckes entsprechend Abschnitt 3.2.1.3 unbedingt beachtet werden, da sonst mit absinkendem Vorratsdruck die Strömungsverhältnisse plötzlich unterkritisch werden können, was ein starkes Absinken des Durchsatzes zur Folge hat. Der Zwischendruck (als Überdruck) muß demzufolge entsprechend der Beziehung (51) eingestellt werden:

$$p_M \geq \frac{p_{U \max}}{0,528} - p_{U \max} + \Delta p_H \frac{F}{F_W - F} \quad [\text{at U}] \quad (51)$$

Für die Abhängigkeit des Zwischendruckes (als Überdruck) von der Tauchtiefe findet man:

$$\Delta p_M^{(U)} = \Delta p_U \frac{F}{F_W - F} \quad (52)$$

### 3.3.4.3 Arbeitsweise der lungenautomatischen (zweiten) Stufe

Hier gilt prinzipiell das für einstufige Lungenautomaten gesagte. Besonderheiten liegen nur im Zusammenwirken der beiden Stufen. Am Beispiel der im Bild 13 gezeigten zweiten Stufe soll dies gezeigt werden.

#### 3.3.4.3.1 Einfluß des fallenden Vorratsdruckes auf den Atemwiderstand

Die Kräftebilanz für die zweite Stufe lautet:

$$i \cdot \Delta p \cdot F_M = K_3 + (p_M - p_U) F_A \quad (53)$$

mit

$$i = \frac{a}{a'}$$

$F_M$  wirksame Membranfläche der 2. Stufe

$K_3$  Schließfederkraft

$F_A$  freie Düsenfläche der 2. Stufe

Den Gleichungen (44 und 50) entsprechend findet man

$$\Delta A_H = - \frac{\Delta p_M F_A}{i F_M} = \Delta p_H \frac{F \cdot F_A}{i F_M (F_W - F)} \quad (54)$$

Der Faktor  $\frac{F \cdot F_a}{i \cdot F_M (F_W - F)}$  ist so klein, daß selbst große Hochdruckschwankungen die Atemwiderstandsschwankungen sehr klein gestalten, d. h. der Atemwiderstand bleibt nahezu konstant.

### 3.3.4.3.2 Einfluß der Tauchtiefe auf den Atemwiderstand

Für das betrachtete Beispiel gelangt man für die Änderung des Atemwiderstandes infolge einer Tauchtiefenänderung zu der Beziehung

$$\Delta A_N = - \Delta p_U \frac{F_W \cdot F_A}{i F_M (F_W - F)} \approx - \Delta p_U \frac{F_A}{i F_M} \quad (55)$$

Der Atemwiderstand sinkt mit zunehmender Tauchtiefe leicht ab.

## 4. Die Lungenautomaten der Hydromat-Serie

In wachsender Anzahl werden in der GST Tauchergeräte des VEB Medizintechnik Leipzig vom Typ „Hydromat“ eingesetzt. Unabhängig von dem durch Gerätewart oder Techniker durchzuführenden Wartungs- bzw. Reparaturumfang sind umfangreiche, exakte Kenntnisse über Arbeitsweise und Aufbau notwendig, soll das Gerät einen hohen Gebrauchswert über lange Zeit behalten bzw. sollen Fehlerursachen qualifiziert einzuschätzen sein.

Im folgenden wird der Aufbau der Lungenautomaten 62004 G 01 (2-Schlauchregler mit zwangsöffnender 2. Stufe) sowie seine ältere Ausführung (Abb. 15) und der 2-stufige Einschlauchregler 62017 beschrieben.

### 4.1 Die Zweischlauchregler

#### Die Hauptteile der Lungenautomaten

Die Hauptteile der beiden erstgenannten Lungenautomaten stimmen weitestgehend überein, nur der Einschlauchautomat hat naturgemäß größere Abweichungen.

#### 4.1.1 Das Hochdruckteil (Anschlußzapfen, 1)

dient zum Anschluß des Lungenautomaten am Flaschenventil bzw. T-Stück mittels Handverschraubung (2). Die Abdichtung erfolgt durch O-Ring (3). Das Hochdruckteil nimmt den Schließbolzen (Ventilstein, 4),

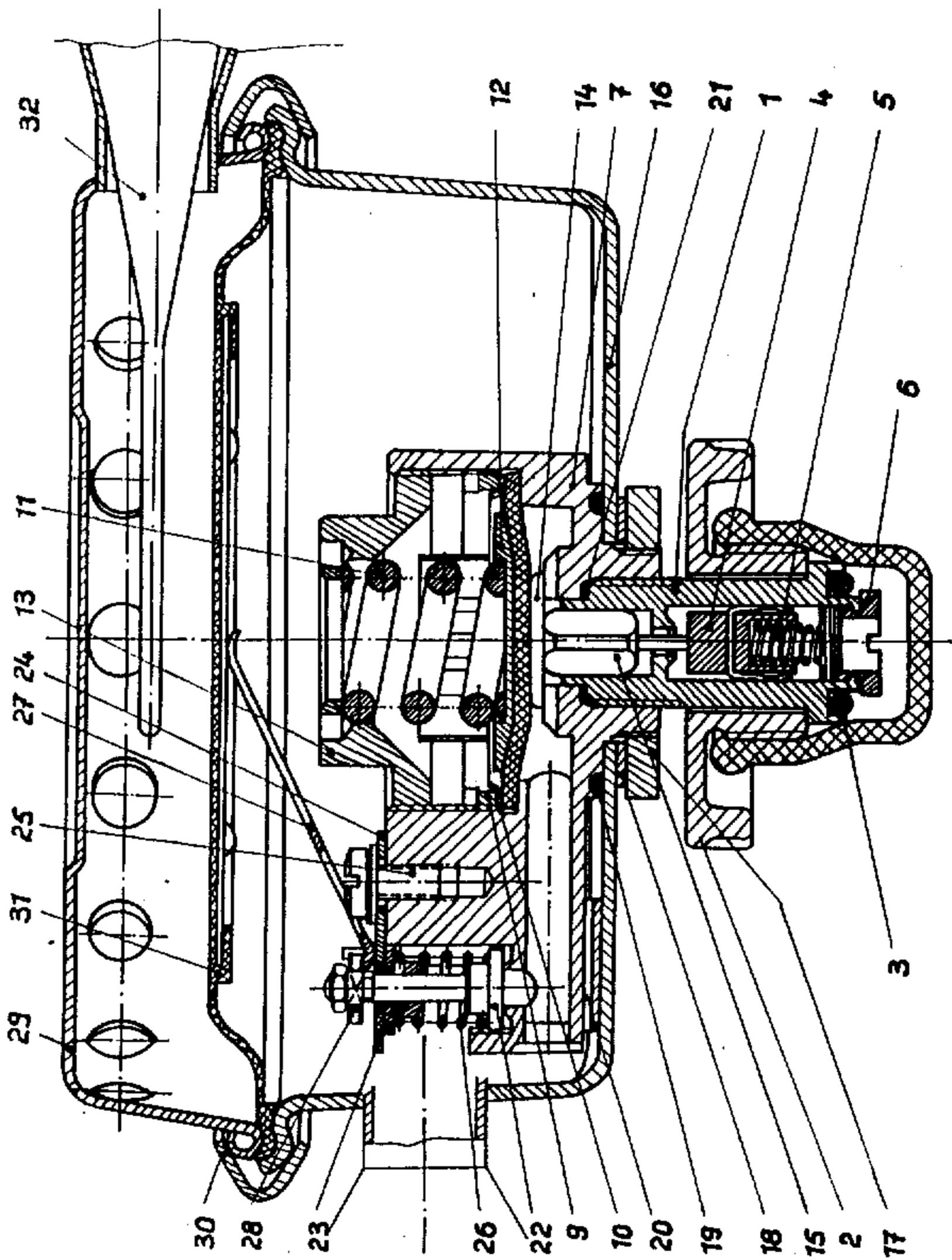


Bild 14 Lungenautomat 62004 GO 1

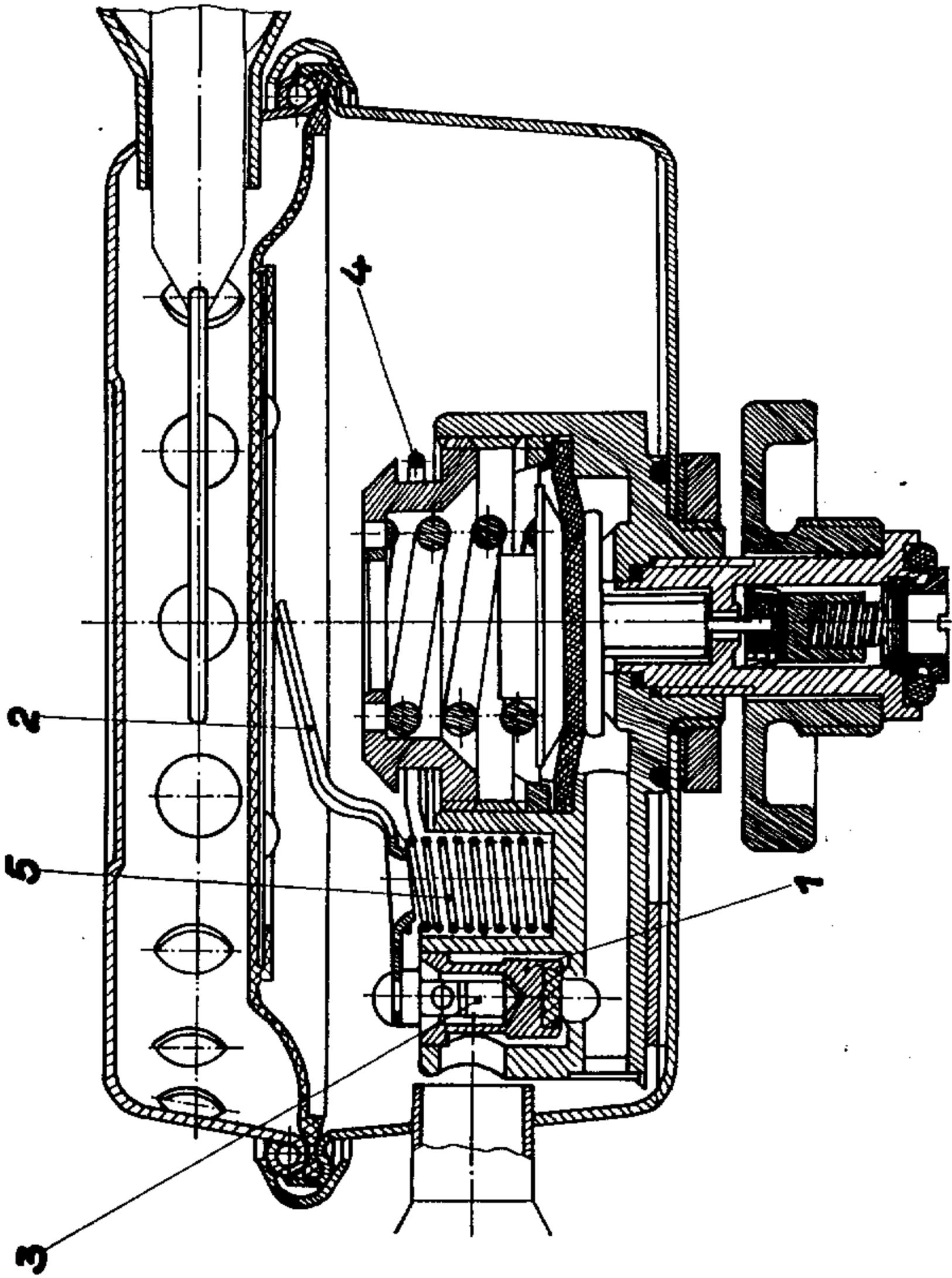


Bild 15 Lungenautomat 62004 GO 1

die Druckfeder (5), die ein sicheres Abdichten des Schließbolzens bei Erreichen des eingestellten Zwischendrucks bewirkt und die Siebschraube (6) auf. Der Schließbolzen einiger Serien besitzt eine Feder, die sein Schwingen verhindern soll.

Sie darf nicht zu straff eingestellt sein, da sonst keine richtige Abdichtung möglich ist.

#### 4.1.2 Der Druckminderer (Gehäuse)

reduziert im Zusammenwirken mit dem Ventil des Hochdruckteils den Vorratsdruck auf den eingestellten Zwischendruck. Er besteht aus dem Gehäuse (7), der Membrane (8), die mit dem Gewindingring (9) eingespannt ist, wobei ein Verziehen durch die zwischengelegte Scheibe (10) verhindert wird.

Die Kraft der Stellfeder (11) wird über einen Membranteller (12) auf die Membrane übertragen. Die richtige Einstellung der Federspannung erfolgt mittels Schraube (13).

Die Stellfeder ist teilweise durch eine Wellblechmanschette bandagiert. Die Verbindung zwischen Membrane und Schließbolzen wird durch Scheibe (14) und Bolzen (15) hergestellt.

Die Befestigung des Druckminderers im Unterteil (16) erfolgt durch die Mutter (17) wobei eine Scheibe (18) zwischengelegt ist.

Dichtigkeit wird durch den O-Ring (19,  $30 \times 2$ ) erzielt. Gegen Verdrehung der Teile gegeneinander schützt ein U-Blech (20).

Dichtigkeit zwischen Anschlußzapfen und Druckminderergehäuse wird durch Kupferdichtung (21) erreicht.

#### 4.1.3 Die 2. Stufe

Auf dem Krater des Druckminderers (der 2. Stufe) sitzt der Ventilteller (22), dessen Stock in der Buchse (23) geführt wird. Diese wird durch die Platte (24), die mit der Schraube (25) befestigt ist, gehalten.

Zwischen Buchse und Ventilteller sitzt die Druckfeder (26), die das Ventil in Ruhelage abdichtet.

Geöffnet wird es durch das Herunterdrücken des Hebels (27), dessen kurzer Arm die gekonterte Mutter (28) und damit den Ventilteller nach oben schiebt.

#### 4.1.4 Das Gehäuse

Es nimmt alle Bauteile des Reglers auf.

Im Unterteil (16) ist der Druckminderer befestigt, außerdem der Stutzen zur Befestigung des Einatemschlauches. Unter- und Oberteil (29) werden durch den Spannring (30) zusammengehalten, dazwischen sitzt die Membrane (31), die gleichzeitig für die Abdichtung sorgt.

Die Membrane besitzt im Zentrum eine biegesteife Aluminiumplatte.

Im Oberteil sitzt im Stutzen des Ausatemschlauches das Ausatemventil (32), das zusammen mit dem Faltenschlauch befestigt ist.

Die ältere Ausführung des Reglers (Bild 15) in Kompaktbauweise unterscheidet sich im wesentlichen nur durch die Ausführung der 2. Stufe von der bisher beschriebenen. In der Bohrung über dem Krater der 2. Stufe sitzt der Schließbolzen (1), der durch die Wandung der Bohrung bei der Bewegung geführt wird.

Der Hebel (2) besitzt einen schwenkbar befestigten Stift (3) und wird durch die Feder (4) am Druckminderergehäuse angelenkt. Das Schließen des Ventils bewirkt die Druckfeder (5), das unmittelbare Öffnen jedoch im Unterschied zur vorher beschriebenen Variante der Zwischendruck im Druckminderer, wenn bei Einatmung der Hebel durch die Membrane herabgedrückt wird.

#### 4.1.5 Der Atemanschluß

Der Einatemschlauch ist mit Schlauchanschluß und Überwurfmutter am Stutzen des Unterteils (16) befestigt und mit Dichtung abgedichtet. Die Mundstückkammer (T-Stück, 1) (Bild 16) trägt das Gummimundstück, im Inneren die Richtungsventile (2), die auf Ventilhalterungen aus Plast sitzen. Auf der Ausatemseite wird das komplette Ventil durch die Distanzbuchse (3) gehalten. Die Schlauchanschlüsse (5) werden durch Überwurfmuttern befestigt und mit den Dichtungen (4) abgedichtet.

## 4.2 Der Einschlauchautomat (62017)

Der Druckminderer unterscheidet sich im Aufbau nur unwesentlich von dem des Reglers in Kompaktbauweise mit Ausnahme des zusätzlich vorhandenen Überdruckventils. Da die 2. Stufe des Lungenautomaten mit dem Druck dichtet kann sie im Unterschied zu den vorher beschriebenen Ausführungen diese Funktion nicht mit übernehmen.

Trotz des ähnlichen Aussehens sind jedoch nicht alle Teile des anderen Typs mit diesem austauschbar, insbesondere nicht das Gehäuse des Reduzierventils, das eine in sich abgeschlossene Form besitzt.

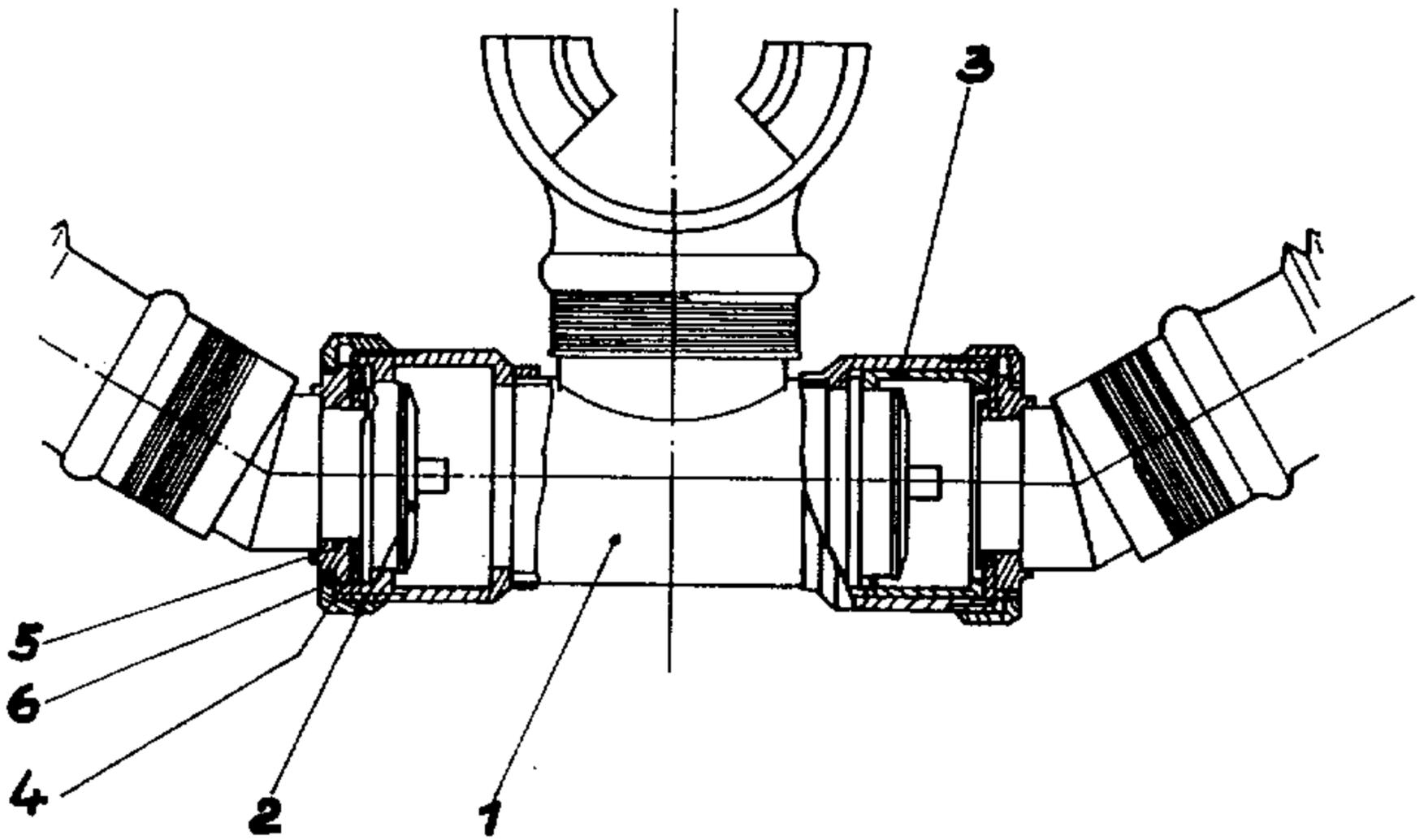


Bild 16 Atemanschluß

Druckminderer und Lungenautomat sind durch einen (Mitteldruck) PVC-Schlauch mit Textilverstärkung (Import) von 650 mm Länge verbunden, der auf den Stützen auf ca. 10 mm Länge mit Ms-Draht abgebunden ist.

#### 4.2.1 Der Lungenautomat

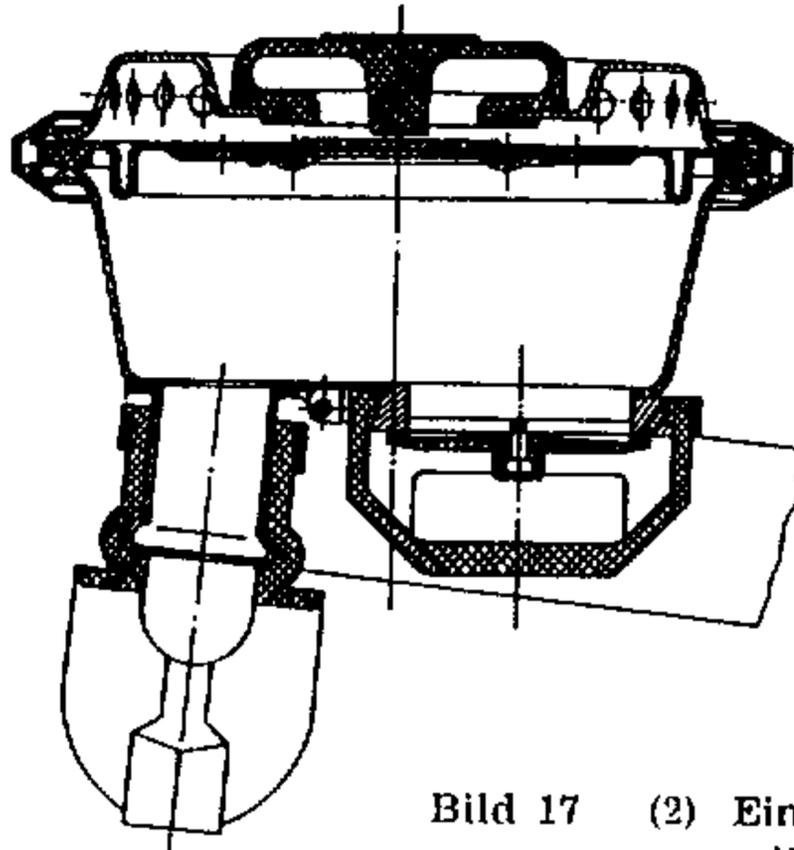
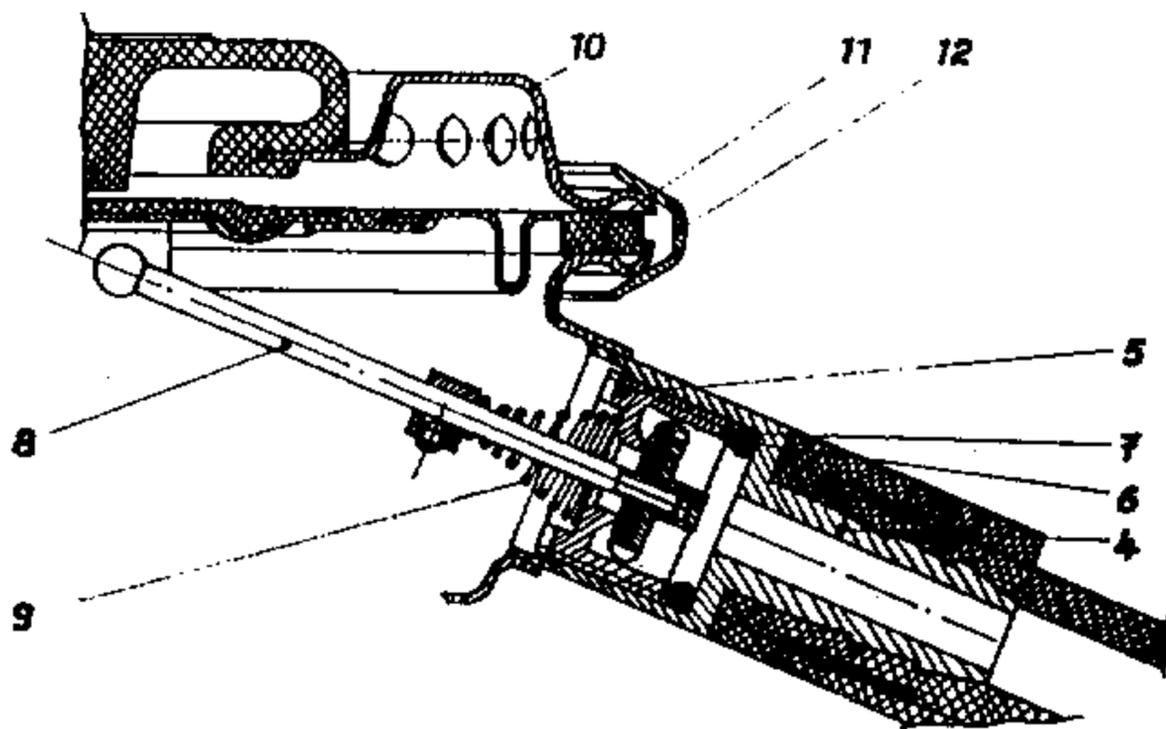


Bild 17 (2) Einschlauchautomat 62017 mit Einzelteil: Ventil



Das Gehäuseunterteil (1) des Lungenautomaten trägt das Gummimündstück, darunter das Ausatemventil, das durch das Ausatemrohr (2) aus Gummi geschützt wird und das die Ausatemluft seitlich ableitet.

Das Rohr ist durch eine Schelle (3) befestigt.

An der Seite des Unterteils ist der Anschlußstutzen (4) eingelötet, der das Ventil der 2. Stufe aufnimmt.

Der Ventilsitz selbst besteht aus der Schraube (5) mit dem Krater, er ist nach außen durch den O-Ring (6) abgedichtet.

Das Ventil stellt einen Winkelhebel dar, bestehend aus Teller (7) mit ein-vulkanisierter Dichtung und dem eingeschraubten Hebel (8) mit Kugelkopf.

Das Ventil wird im Ruhezustand durch die Kegelfeder (9) geschlossen gehalten. Die Federspannung ist einstellbar. Zwischen Gehäusedeckel (10) und Unterteil sitzt die Membrane (11), die Teile werden durch den Spannungsring (12) zusammengehalten.

Im Deckel befindet sich eine Gummikappe (Spülknopf) über die der Regler durch mechanischen Druck auf die Membrane ausgeblasen werden kann, wenn Wasser in den Regler eingedrungen ist.

Der Lungenautomat besitzt ein in der Zeichnung nicht dargestelltes Nackenband, dessen Länge mit einer Schnalle einstellbar ist.

## 5. Wartung und Pflege von Lungenautomaten

### Allgemeines

Der Lungenautomat eines jeden Tauchergerätes stellt ein Präzisionsgerät dar, von dessen sicherer Funktion wie von keinem anderen Teil die Arbeitsfähigkeit und die Sicherheit des Tauchers abhängen. Dementsprechend verlangt er auch besonders sorgfältige Handhabung und Pflege.

Die Ausführungen über das strömungstechnische Verhalten von Düsen und die Wirkungsweise von Lungenautomaten zeigen, daß kleine Veränderungen im Lungenautomaten großen Einfluß auf die Kräftebilanz und damit die Funktion des Lungenautomaten nehmen.

Dabei zeigen die Erfahrungen, daß weniger ein Zuviel an Durchsichten und Wartung schaden sondern in erster Linie unsachgemäße Maßnahmen, Einsatz unzureichender Werkzeuge und mangelnde Kenntnisse.

Hier gilt wie bei kaum einer anderen Arbeit: Sorgfalt, Zweckmäßigkeit, jeden Handgriff durchdenken!

Bevor dazu mit der eigentlichen Arbeit begonnen wird, richtet man sich den Arbeitsplatz ein und legt Werkzeuge und Hilfsmittel zurecht. Im wesentlichen sind dazu erforderlich:

- sauberer, gutbeleuchteter Arbeitstisch
  - Luftvorrat
  - Schraubstock
  - Trichloräthylen und Alkohol zum Reinigen
  - saubere weiße, nicht fasernde Putzlappen
  - Streichhölzer o. ä. Holzspäne
  - Pinzette
  - Lupen (3fach und 10fach)
  - Schleifpaste fein
  - Silikonfett NP 13, Silikonspray 50
  - Schraubenzieher
  - Zangen
  - Schlüssel
  - Meßgeräte
    - Durchflußmengenmesser
    - U-Rohr-Manometer
    - Dichtigkeitsprüfgerät
- } entsprechend dem jeweiligen Reglertyp
- u. a. entsprechend den für die jeweiligen Lungenautomaten notwendigen Prüfmethoden.

## 5.1 Hochdruckanschluß

### 5.1.1 Das Hochdruckteil (Anschlußzapfen)

Das Hochdruckteil dient zum Anschluß an den Luftvorratsbehälter und trägt die dazu erforderlichen Bauteile und (meist) das Ventil der 1. Stufe.

### 5.1.2 Handverschraubung

Die Handverschraubung ist normalerweise wartungsfrei, es ist darauf zu achten, daß die Gewindegänge saubergehalten werden und bei Nichtgebrauch des Reglers der ganze Stutzen mit einer Kappe oder Blindschraube geschützt wird.

Eine Beschädigung kann erfolgen, wenn die Befestigung an beschädigten oder nicht passenden Anschlüssen mit Gewalt oder nur auf 1 ÷ 2 Gewindegängen erfolgte. Das Ausbessern ist dann meist nicht mehr möglich, dann muß die Schraube ausgewechselt werden.

### 5.1.3 O-Ring-Dichtung

Die O-Ring-Dichtung hält bei richtiger Ausführung der Nut und richtiger Handhabung jahrelang. Eine Abnutzung tritt nur ein, wenn der Regler bei festsitzender Dichtung (also unter Druck) gedreht wird oder die Anschlußteile scharfe Kanten aufweisen. In solchen Fällen können die Ringe nicht nur quer — sondern auch längs reißen, letzteres ist äußerlich nicht immer sichtbar. Zu einer eingehenden Kontrolle muß der Ring abgenommen werden, dazu sind z. B. abgeflachte Hartholzspäne oder Metallstreifen aus weichem Material gut geeignet. Das Abnehmen des Ringes sollte nicht öfter als unbedingt nötig erfolgen.

### 5.1.4 Sieb

Das Sieb besteht bei Lungenautomaten unserer Produktion meist aus einigen Lagen feinmaschiger Metallgaze. Sie sollten von Zeit zu Zeit gereinigt oder ausgewechselt werden. Nach dem Reinigen in Benzin dürfen sie natürlich erst nach vollständiger Trocknung wieder eingebaut werden. Beim Umgang mit den kleinen Plättchen ist darauf zu achten, daß sie möglichst wenig deformiert werden. Fallen an den Rädern die ersten Drähte aus, ist das Sieb zu ersetzen.

Regler ohne bzw. mit weniger Siebscheiben als vorgesehen arbeiten zwar auch, allerdings kommt es meist nach kurzer Zeit zu Schäden am Ventil.

## 5.2 Das Ventil der 1. Stufe

Auf die Bedeutung der richtigen Bemessung und Funktion dieses Bauelementes wurde im Abschnitt 3.2 ausführlich eingegangen.

Verschmutzungen oder Querschnittsveränderungen in den Strömungswegen, raue Oberflächen, die zu Turbulenz führen, senken den Luftdurchsatz und verringern die Leistung des Lungenautomaten.

Die meisten 1- und 2-stufigen Lungenautomaten besitzen in der 1. Stufe ein mit dem Druck dichtendes Ventil.

Die 2 wesentlichsten Ausführungen sind dabei:

- Kraterventilsitz, Abdichtung erfolgt durch Schließbolzen aus Plast bzw. mit Plasteinsatz als Dichtwerkstoff
- Ventilsitz aus Dichtwerkstoff, Ventil mit Kegel- oder Kugelform aus Metall, meist V<sub>2</sub>A oder Silberstahl.

Beide Varianten haben ihre Vor- und Nachteile, sowohl bei der Herstellung als auch in der Wartung.

So lange das Ventil funktioniert, sollte es bei industriell gefertigten Lungenautomaten nicht aufgenommen werden. Die meisten Plastdichtwerkstoffe benötigen bei Kraterventilsitzen einen schwachen Eindruck des Kraters, der beim Zusammenbau durch einen leichten Schlag auf den Schließbolzen erzeugt wird. Da dazu wie beim Hydromat das Reduzierventil demontiert werden muß, dessen Neueinstellung aber Spezialvorrichtungen voraussetzt, ist diese Arbeit dem Hersteller bzw. autorisierten Reparaturwerkstätten vorbehalten.

## 5.3 Das Reduzierventil (1. Stufe)

Im Abschnitt 3.3.4 wurden die Gründe für die 2-stufige Bauweise und die Bauweise und die Bedeutung des Zwischendruckes dargelegt. Selbsttätige Veränderungen des eingestellten Zwischendruckes sind eigentlich selten, aber durch Korrosion oder Ermüdung der Stellfeder besonders bei Einschlauchreglern durch unmittelbare Berührung mit dem Wasser beim Tauchen ebenso möglich wie durch Stauchung oder Abnutzung des Druckbolzens oder Ventilsteins.

Periodische Kontrollen sollten daher in größeren Abständen zumindest bei Eigenbauten durchgeführt werden. Daß diese Messungen bei dem für die Bauart richtigen Vorratsdruck (vergl. 3.3.4) durchzuführen sind, muß nicht noch einmal betont werden.

Bei Hydromat-Lungenautomat erfolgt die Einstellung des Mitteldruckes bei mittlerem Vorratsdruck und gleichzeitiger Luftentnahme von 30 l/min. Eine Veränderung der Einstellung, die in jedem Fall mit Bruch der Plombierung verbunden ist, ist nicht zulässig.

Zwischendruckveränderungen, die ihre Ursache in Undichtigkeiten des Ventils selbst haben, können natürlich nicht durch Veränderung der Stellfedervorspannung beseitigt werden, sondern setzen eine Reparatur des Ventils voraus.

## 5.4 Das Ventil der 2. Stufe

Das Dichtmaterial des Schließelementes besteht im Gegensatz zu dem der 1. Stufe aus relativ weichen, meist synthetischen Erzeugnissen (Gummi). Das Ventil ist in Bezug auf Undichtigkeiten naturgemäß viel weniger anfällig als das des Druckminderers. Undichtigkeiten bei gegen den Druck schließenden Ventilen haben ihre Ursache daher meist im zu hohen Zwischendruck, der wegen Undichtigkeiten in der 1. Stufe ansteigt, seltener im Ventil der 2. Stufe selbst.

Die zwei meist verwendeten Ausführungen

- Schließbolzen auf Kraterventilsitz, gegen den Druck dichtend (z. B. Bild 15)
- Tellerventil als Winkelhebelkonstruktion, mit dem Druck dichtend (z. B. Bild 17)

sind somit – richtige Materialauswahl und Konstruktion vorausgesetzt – fast wartungsfrei.

Durchzuführende Maßnahmen dürften sich auf gelegentliche Kontrollen des richtigen, festen Sitzes aller Teile beschränken, aufeinander reibende metallische Oberflächen können mit Silikonfett dünn eingerieben werden. Diese Maßnahme ist besonders bei der älteren Ausführung des 2-Schlauch-Automaten „Hydromat“ unerlässlich. Das Schließbolzenmaterial wird speziell beim Tauchen in Seewasser sehr stark durch Korrosion angegriffen und sitzt dann nach kurzer Zeit in seiner Führungsbohrung des Druckminderers vollständig fest. Der Ausbau ist oft nur unter Zuhilfenahme von Gewindebohrern, die in die obere Öffnung eingedreht werden, möglich.

Solch ein Schließbolzen (Bild 18) ist natürlich nicht mehr zu verwenden und muß ersetzt werden. Abhilfe ist auch hier durch die regelmäßige Verwendung von Silikonfett zu schaffen – oder durch den Einsatz eines anderen Materials.

Da das Blockieren der Stufe meist nach längeren Arbeitspausen auftritt und dabei das Ventil geschlossen ist, ist die Unfallgefahr relativ klein, da der Mangel bei der Überprüfung vor dem Einsatz bemerkt wird.



Bild 18 Korrodierter Schließbolzen

## 5.5 Hebelsysteme

Die richtige Einstellung und Funktion des Systems der Kraftübertragung (Hebel) der lungenautomatischen Stufe hat entscheidenden Anteil am Atemwiderstand des Reglers. Geringe Verbiegungen und Verstellungen verändern das Übertragungsverhältnis der Membrankräfte auf das Schließelement des Ventils und führen zum Anwachsen des Atemwiderstandes.

Ungenügender Hebelweg bedingt einen zu geringen Öffnungshub des Ventils und wirkt sich auf den Durchsatz, mittelbar also auch auf den Widerstand aus. Schwergängige, klemmende Hebel, korrodierte Lager u. ä. benötigen durch ihre Reibung einen Teil der zu übertragenden Kräfte.

Besonders korrosionsanfällig sind die Splinte der Hebellager und -achsen. Das Hebelsystem ist auf Leichtgängigkeit und richtige Befestigung bzw. Sicherung aller Teile zu kontrollieren. Besonders Achsen, Einstell-Justierschrauben u. ä. müssen gut versplintet bzw. fest gekontert sein. Bei größeren Durchsichten (jährlich) sind die Hebellagerungen und -achsen auf Abnutzung bzw. Ausarbeitung zu kontrollieren und zu überprüfen ob ein eventuelles seitliches Spiel nicht zu groß ist. Letzteres ist besonders bei Lungenautomaten des Typs AWM notwendig.

## 5.6 Gehäuse

Das Gehäuse der Lungenautomaten ist in erster Linie der Einwirkung von Wasser, Verunreinigungen und artfremden mechanischen Belastungen ausgesetzt. Das Grundmaterial ist im allgemeinen Messing, dessen Oberfläche nach den bekannten Verfahren verchromt oder kadmiert wurde.

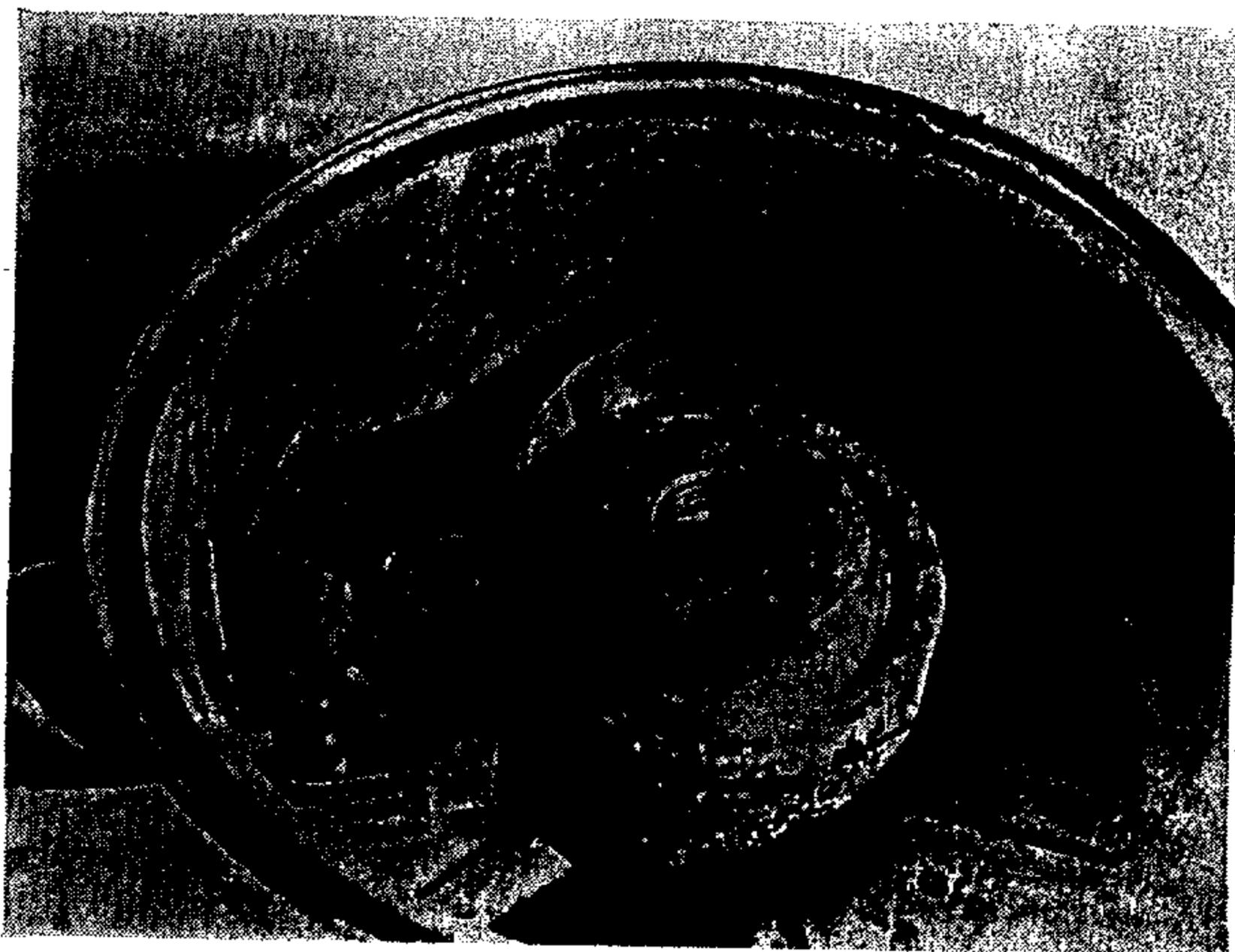


Bild 19 Korrodiertes Gehäuse eines Lungenautomaten

Je nach Stärke und Güte der Schutzschicht ist seine Haltbarkeit und Belastbarkeit. Und hieran werden beim meist doch recht rauen UW-Betrieb hohe Anforderungen gestellt.

Selbst bei Erzeugnissen renommierter Firmen treten oft schon nach relativ kurzer Zeit Anzeichen dafür auf, daß hier vom Betreiber mehr zur Pflege getan werden muß — Korrosion: „Grünspan“ verringert die Lebensdauer des Lungenautomaten. (Bild 19)

Besonders groß ist die Gefährdung beim Einsatz in See- oder gechlortem Wasser.

Es ist erstaunlich, welch Erfolg in der Pflege schon mit dem Abspülen mit Süßwasser nach dem Tauchen erreicht wird — und wie oft andererseits diese doch an sich profane Maßnahme unterlassen wird.

Dabei muß jedoch beachtet werden:

Es wird von Abspülen, nicht Ausspülen gesprochen, das Reglerinnere sollte möglichst nicht naß werden. Ist dennoch einmal Wasser eingedrungen, muß nach Abnahme des Spannrings und der Membrane das Unterteil sorgfältig getrocknet werden, in zusammengebautem Zustand ist das nur schwer möglich.

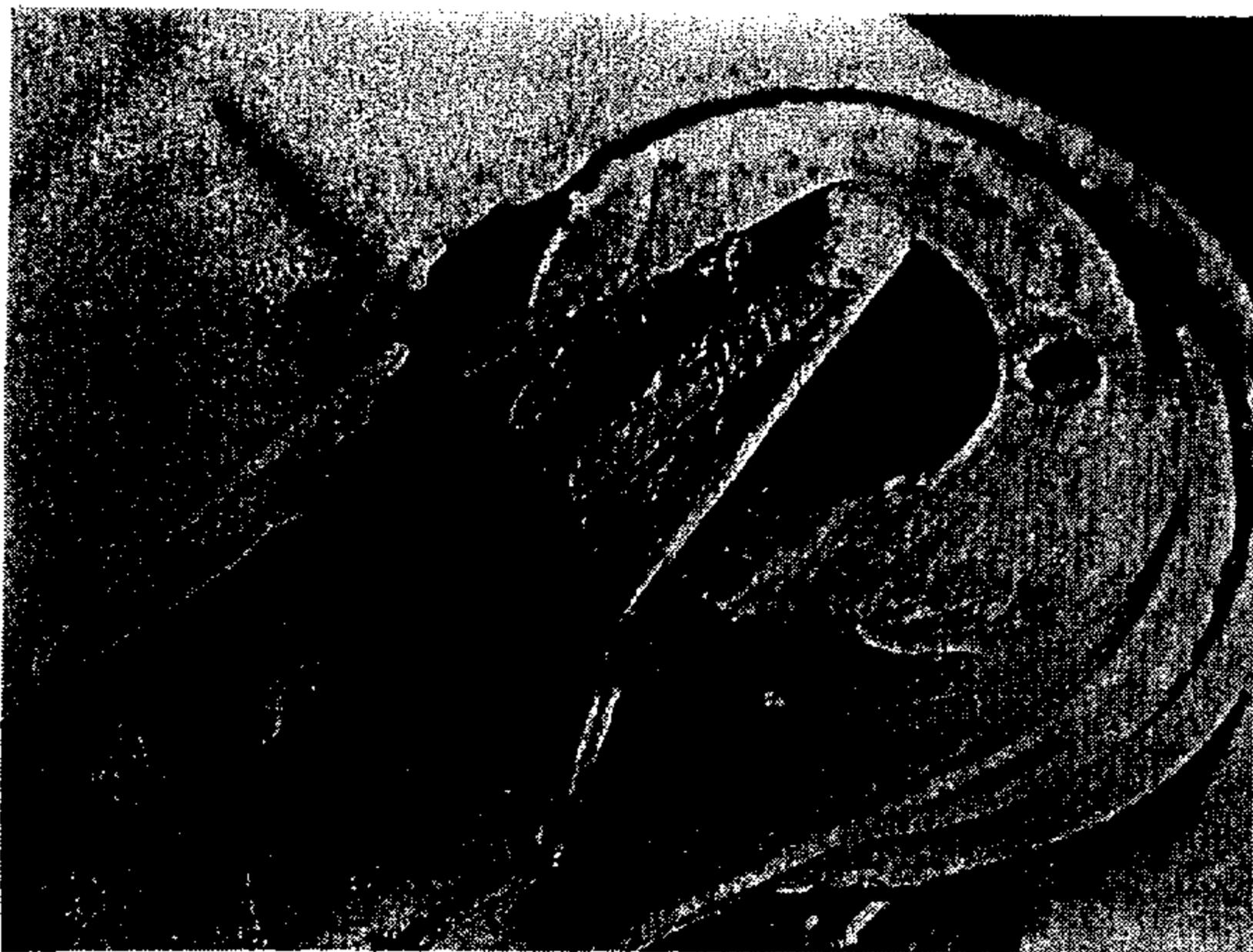


Bild 20 Durch Fettschicht „gepflegter“ Lungenautomat

Auch ist darauf zu achten, daß kein Wasser in den Luftweg am Hochdruckteil eintritt, schnellerer Verschleiß, im Winter aber auch Einfrieren des Lungenautomaten sind möglich!

Im Anschluß an den Zusammenbau nach diesem teilweisen Auseinandernehmen muß die richtige Montage und Dichtigkeit des Lungenautomaten überprüft werden, für den „Hydromat“ ist das in Abschnitt 6.5 beschrieben. Die Kontrolle der Innenansicht des Lungenautomaten sollte von Zeit zu Zeit entsprechend Einsatzbedingungen und -häufigkeit erfolgen, beginnenden Korrosionserscheinungen und Verunreinigungen ist dann sofort zu begegnen.

Als beste Möglichkeit hat sich dabei das dünne Einreiben mit in Silikonfett getauchte Lämpchen oder die Verwendung von Silikonspray erwiesen. Dabei darf keine sichtbare Fettschicht entstehen wie dies z. B. in Bild 20 dargestellt ist.

Geeignetes Silikonfett wird vom VEB Chemische Werke Nünchritz unter der Bezeichnung NP 13 oder als Silikonspray – 200 oder – 50 hergestellt. Besonders das Spray ist gut auch zur Pflege der Ventile, Federn u. a. Teile geeignet, es soll aber nochmals auf die sparsame Verwendung hingewiesen werden die auch der relativ hohe Preis der Mittel unterstreicht.

## 5.7 Membranen, Gummiventile, Faltenschläuche

Alle Gummitteile unterliegen einer natürlichen Alterung. Sie verlieren ihre Elastizität, werden porös und reißen leicht ein. Dieser Alterungsprozeß wird durch unsachgemäße Handhabung, Hitze- und Sonnenlichteinwirkung, besonders aber durch den unmittelbaren Einfluß von Kohlenwasserstoffen wie Benzin und Öl stark beschleunigt.

Zur Pflege dieser Teile gehört daher, daß sie saubergehalten werden, nicht auf Heizungen und durch unmittelbare Sonneneinstrahlung getrocknet und besonders Öl, Benzin u. a. Verunreinigungen schnellstmöglich mit warmem Seifenwasser abgewaschen werden. Nach dem Abspülen mit Frischwasser schließt sich die Trocknung an, danach können die Teile leicht talkumiert werden.

### 5.7.1. Die Membrane des Lungenautomaten

Nach Abnahme des Spannrings ist die Membrane des Lungenautomaten zugänglich. Der Membrangummi ist gegenüber Verschmutzungen mit Öl oder Benzin u. ä. Stoffen sehr anfällig. Schon wenn man in Gewässern mit einer dünnen Ölschicht an der Oberfläche taucht, muß die Membrane nach dem Tauchen mit warmem Seifenwasser gewaschen und mit klarem Wasser abgespült werden.

Korrosion an den Auflageflächen des Gehäuses drückt sich tief in den Gummi ein und kann seine Oberfläche zerstören. (Bild 21)

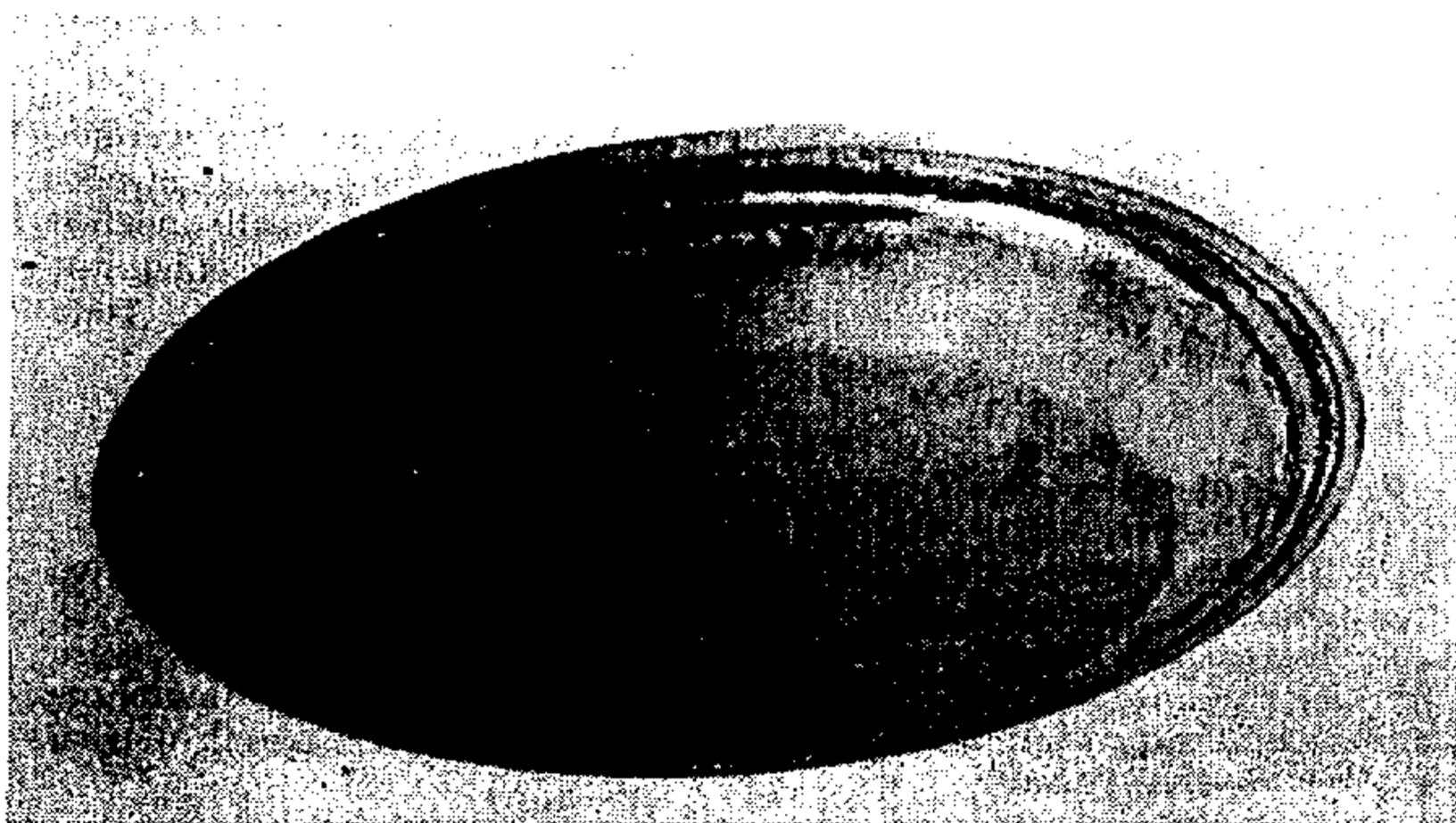


Bild 21 (2) Öl- und korrosionsgeschädigte Membranen

Die Membranen sind im Zentrum durch biegesteife Metall- oder Plastscheiben verstärkt. Besonders bei Metall ist darauf zu achten, daß – speziell beim Tauchen in See – zwischen Hebel und Platte keine elektrolytische Korrosion und damit Zerstörung beginnt. (Bild 22)

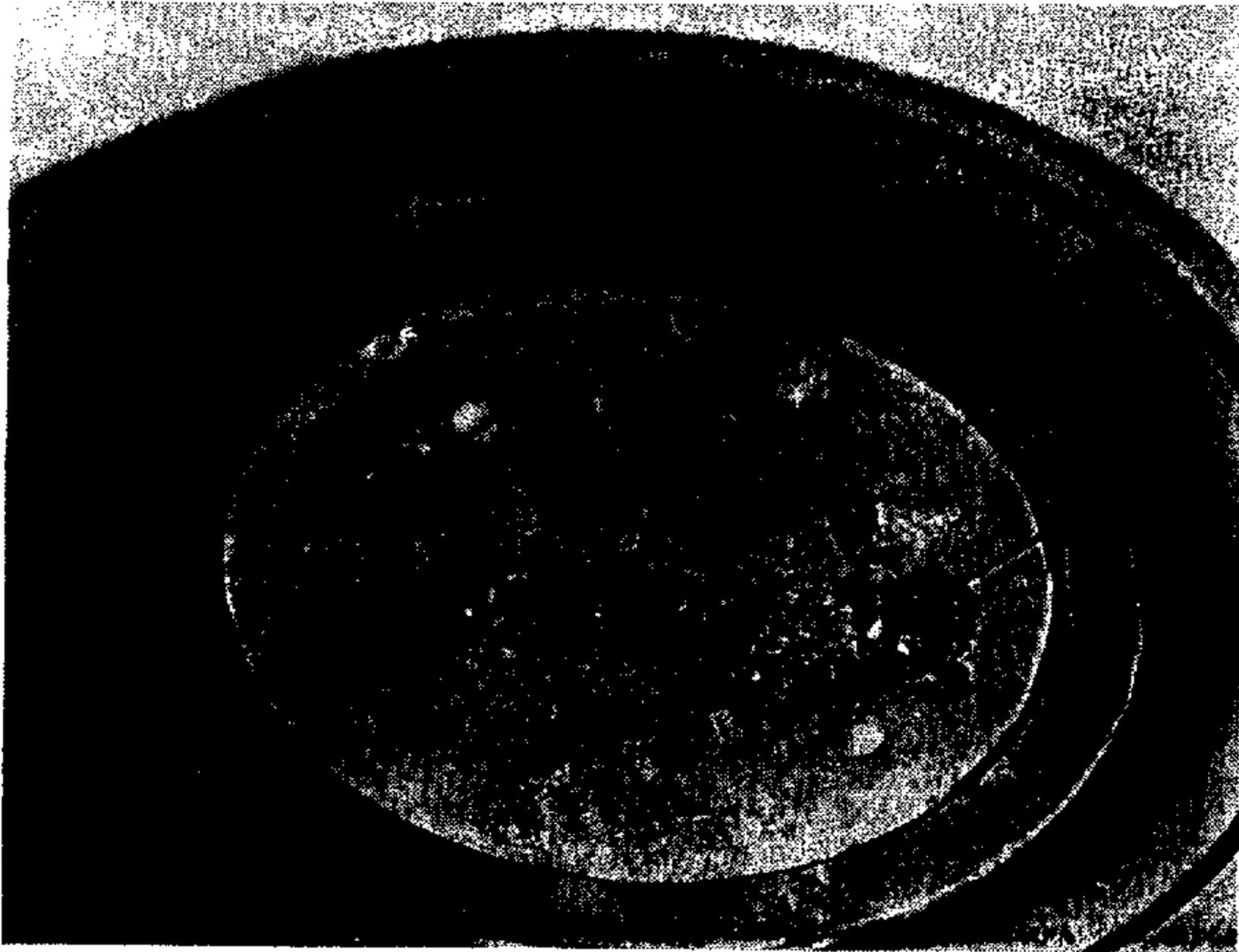


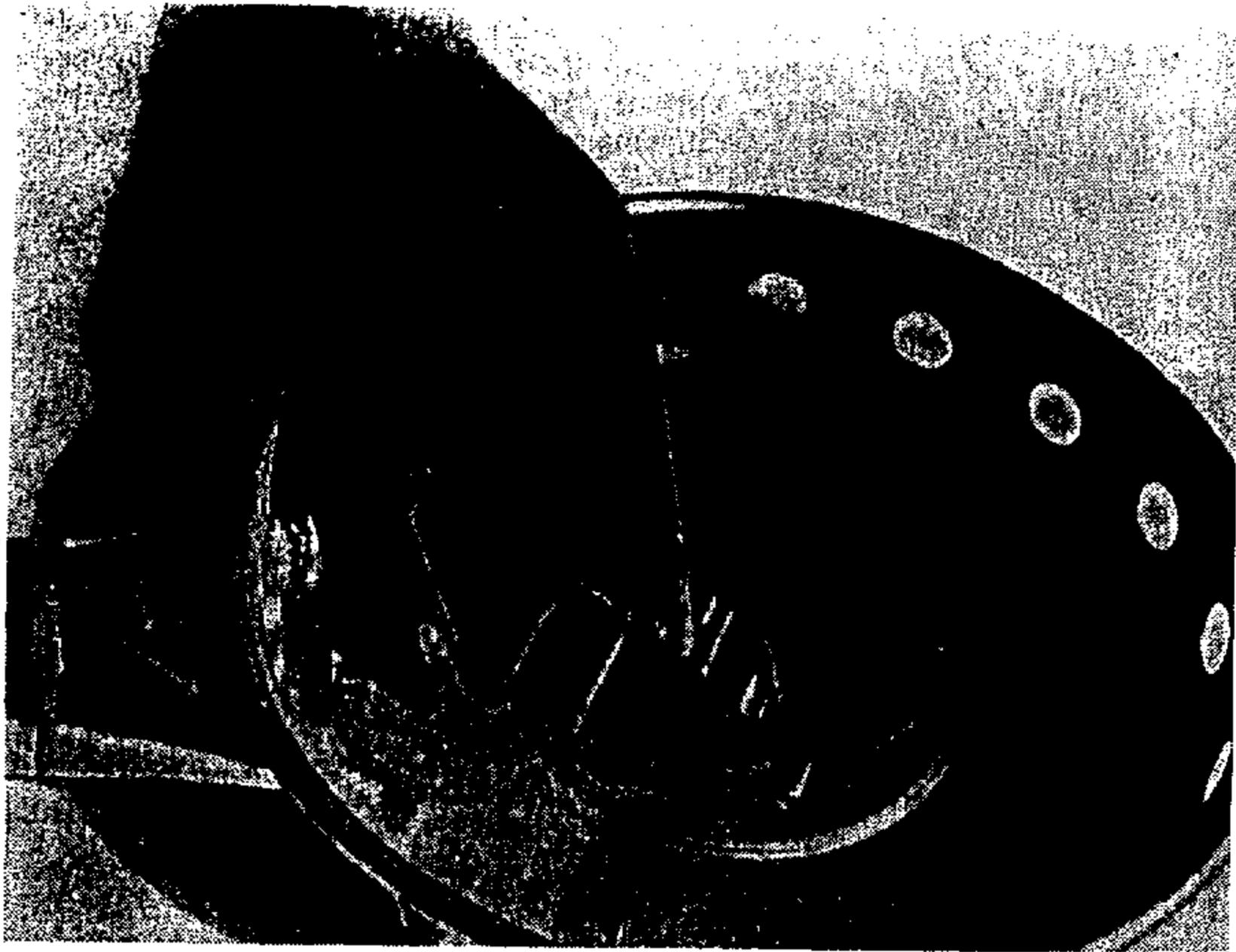
Bild 22' Korrodierte Membranverstärkung

### 5.7.2 Membrane des Reduzierventils

Die Membrane der 1. Stufe ist meist nicht ohne Demontage zugänglich. Sie reagiert auf o. g. Verschmutzungen ähnlich anfällig und kann während des Betriebes reißen. Das kann ungünstigstenfalls Lungenbarotraumen zur Folge haben, gewöhnlich wird dem Taucher nur das Mundstück aus dem Mund gerissen. Besteht die Möglichkeit, daß Verunreinigungen im Regelinneeren längere Zeit gewirkt haben können, sollte man den Lungenautomaten bis zu einer Generalkontrolle aus dem Verkehr ziehen.

### 5.7.3 Das Ausatemventil

Als Ausatemventile finden Entenschnabel (Bunsen-) und Tellerventile (bzw. Stufenscheibenventile) Verwendung. Für sie tritt das für Mem-



**Bild 23** Beschädigtes Ausatemventil

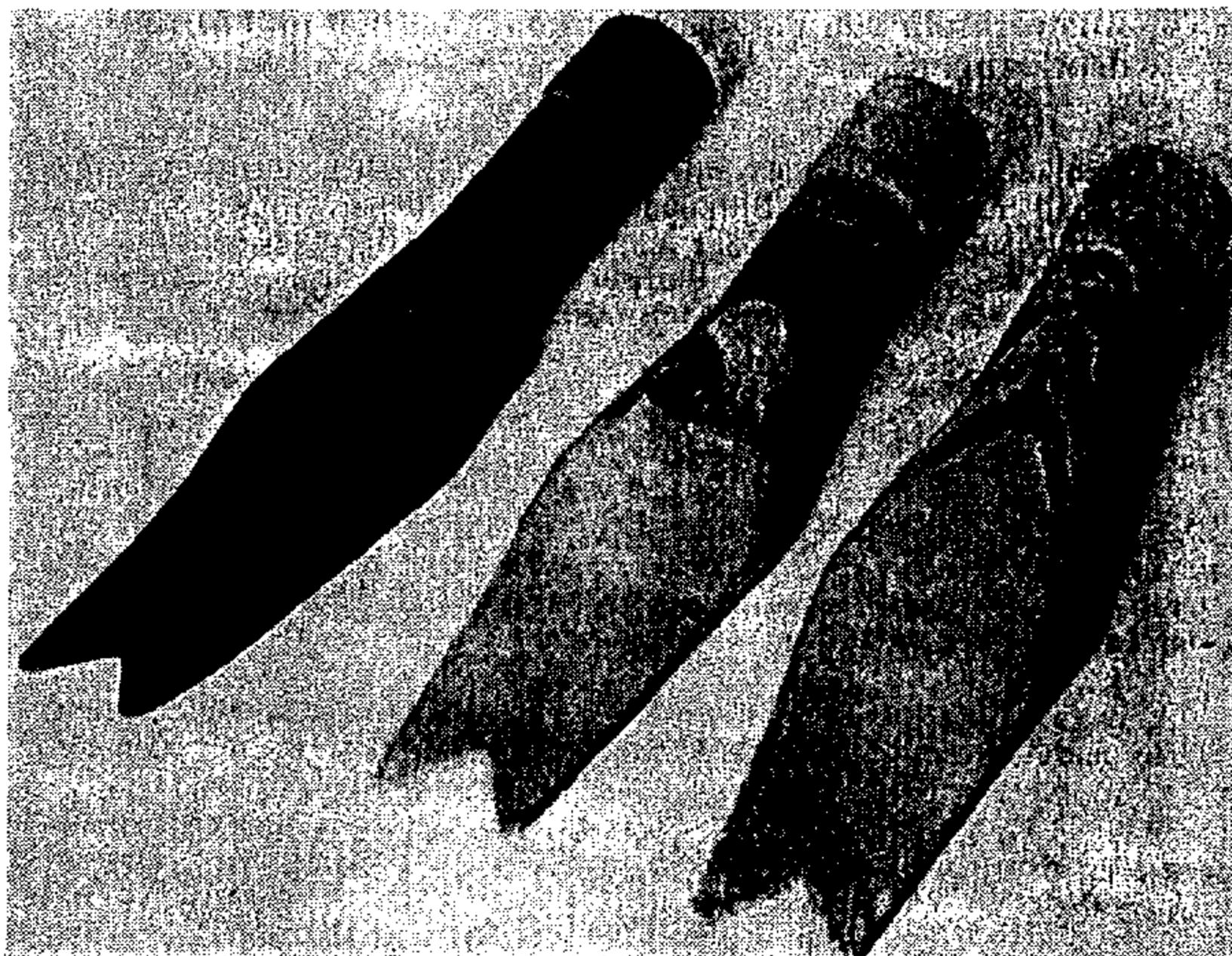
branen gesagte vollinhaltlich zu. Wenn auch die Anfälligkeit besonders der bisher in 2-Schlauchautomaten noch meist verwendeten Bunsenventile relativ hoch ist – da seine Lippen dicht aneinander und am Gehäuseoberteil anliegen – halten sich aggressive Flüssigkeiten lange und wirken dementsprechend intensiv. (Bild 23 und 23 a)

Solche Schäden werden bei einer einfachen äußeren Kontrolle, beim Durchatmen nicht festgestellt, unter Wasser steigt dann unter Umständen der Ausatemwiderstand stark an. Ist zusätzlich auch das Ausatemventil in der Mundstückkammer nicht in Ordnung, kann die „mitzuatmende“ Wassermenge beträchtlich werden.

#### **5.7.4 Faltenschläuche**

Faltenschläuche werden heute aus recht robustem Gummi hergestellt, teilweise besitzen sie Gewebereinlagen oder -Beschichtung.

Im allgemeinen recht anspruchslos unterliegen sie einer ständigen Sichtkontrolle, so daß Fehler und Mängel frühzeitig bemerkt werden.



**Bild 23** Beschädigte Ausatemventile

Ihre Pflege unterscheidet sich nicht von der in den vorhergehenden Abschnitten beschriebenen. Faltenschläuche und Ausatemventil sind nach dem Tauchen unbedingt mit Frischwasser durchzuspülen. Wird das Gerät längerer Zeit nicht genutzt, werden geringe Talkummengen in Schläuche und Ausatemventil geblasen. Im Ventil verhindert das gleichzeitig das Zusammenkleben der Lippen.

#### **5.7.5 Atemanschlüsse**

Mundstücke, Halbmasken und z. T. auch Vollgesichtsmasken dienen als Atemanschluß. Da diese Teile meist sehr unmittelbar mit dem Körper des Tauchers in Berührung stehen, versteht sich absolute Sauberkeit eigentlich von selbst. Werden diese Teile von mehreren Tauchern genutzt, sind sie zu desinfizieren (Abschnitt 5.9). Für das Metall der Mundstückkammern trifft das unter Lungenautomaten-Gehäuse gesagte zu. Die Ventile und Dichtungen sind entsprechend Abschnitt 5.7 zu pflegen.

Alle Teile sollten im zerlegten Zustand getrocknet und erst danach wieder zusammengebaut werden.

## 5.8 Auswechseln von Faltenschläuchen, Ventilen und Mitteldruckschläuchen

Faltenschläuche und Lippenventile sind grundsätzlich durch Taklings oder Schellen vor unbeabsichtigtem Abziehen auf den Stutzen gesichert. Die Ventile sind dabei entweder unmittelbar befestigt oder es wird, wie z. B. beim Hydromat, durch den Stutzen gezogen, umgekrempt und durch den darübergezogenen Faltenschlauch gehalten.

Vor dem Aufziehen neuer Teile werden die Stutzen sorgfältig von altem Kleber gereinigt, beide Teile dünn mit Gummilösung eingestrichen und Schlauch bzw. Ventil aufgeschoben.

Das Aufsetzen der Schellen dürfte keine besonderen Schwierigkeiten verursachen, es ist nur darauf zu achten, daß sie keine scharfen Kanten bzw. Grat besitzen, so daß weder Reglerteile beschädigt werden können noch der Taucher verletzt wird.

Taklings werden mit Kunstfaserschnur (keine Sehne) ausgeführt, wobei diese nach der im Bild 24 gezeigten Variante straff gewickelt, das lose

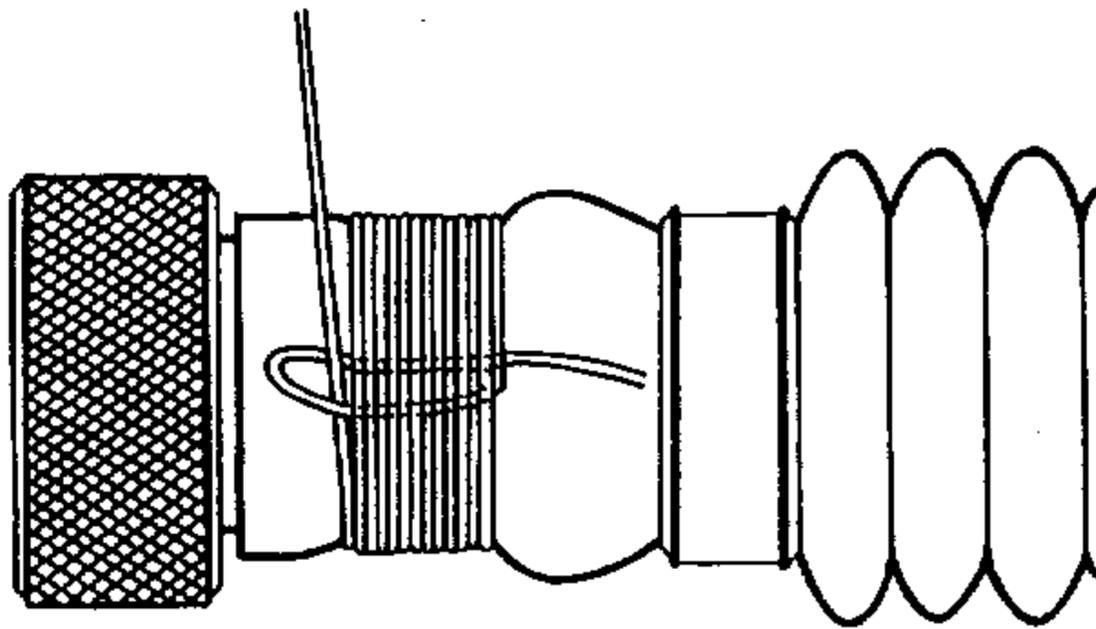


Bild 24 Takling

Ende durch die Schlinge geführt und bis zur Mitte unter die Wicklung gezogen wird.

Alle Schläuche, die innerem Überdruck ausgesetzt sind, werden zweckmäßigerweise mit weichem Messingdraht von ca. 1 mm  $\phi$  abgebunden. Um eine von der 1. Windung an feste Wicklung zu erzielen, arbeitet man vorteilhaft mit einem Holzspatel wie im Bild 25 gezeigt. Die Enden werden zusammengedreht (Bild 26) und parallel zur Wicklung an den Schlauch gedrückt.

Bei richtiger Handhabung lassen sich feste, gutaussehende Wicklungen herstellen, allerdings braucht man dazu etwas Übung.

Alle Wicklungen müssen so fest ausgeführt werden, daß die Teile auch bei unbeabsichtigten zusätzlichen Belastungen (Festhaken eines Schlauches

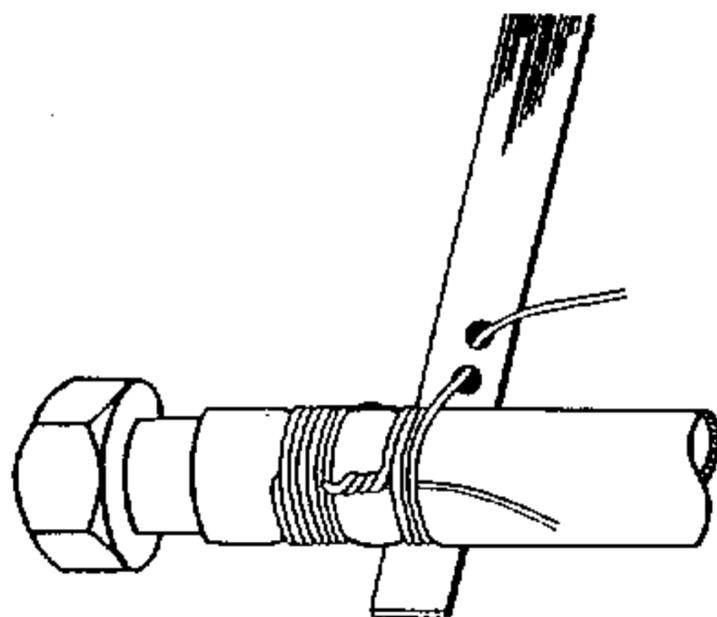


Bild 25 Ausführung einer Drahtwicklung

an UW-Hindernissen) sicher gehalten werden; wiederum nicht zu stark, damit das Material durch Draht oder Schnur nicht zerschnitten wird.

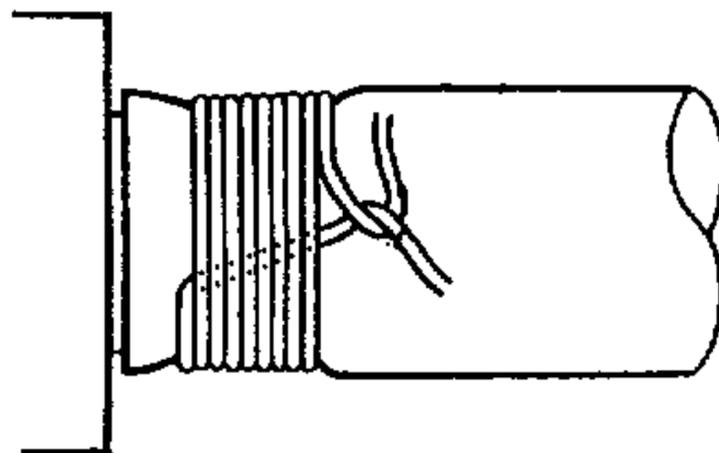


Bild 26 Drahtwicklung

Teller- und Stufenscheibenventile werden auf den Haltedorn gedrückt. Dieser besitzt am Ende einen vorstehenden Rand, der in die Rille des Ventils faßt. Der richtige Sitz ist an der regelmäßigen Form des Ventilzentrums erkennbar.

## 5.9 Desinfektion

Bei Neuinbetriebnahme, nach längerer Lagerung oder beim Auftreten von Infektionskrankheiten ist der Regler zu desinfizieren.

Dazu werden Lungenautomat und Atemanschluß so weit wie notwendig demontiert, alle Teile mit warmem Wasser abgewaschen und mit einem in 70 %-igen Alkohol getränktem Lappen oder Tupfer ausgewischt. Danach werden alle Teile nochmals kurz mit Wasser abgespült, sorgfältig getrocknet und zusammengebaut.

Die Atemschläuche spült man mit je ca. 20 g Alkohol durch.

Es ist unbedingt darauf zu achten, daß keinerlei Gewebefasern oder andere Verschmutzungen in den Luftwegen des Reglers zurückbleiben, aus diesem Grund ist auch die Verwendung von Watte nicht ratsam.

Benutzen mehrere Taucher ein Gerät, ist bei jedem Wechsel das Mundstück mit einem alkoholgetränktem Lappen abzuwischen.

Für die Desinfektion werden benötigt:

Regler	20 g
Mundstückkammer	20 g
Faltenschläuche	40 g

## 6. Die Überprüfung der Lungenautomaten

Unabhängig von den durch Herstellerbetriebe und zugelassene Reparaturwerkstätten für die jeweiligen Reglertypen vorgesehenen Maßnahmen und den vom DAMW oder der Marineschule durchgeführten Prüfungen bei der Zulassung von Lungenautomaten müssen vom Gerätewart eigene Prüfmaßnahmen durchgeführt werden.

Bei industriell gefertigten und GST-eigenen Lungenautomaten kann dabei durchgeführt werden:

- Messung der Ein- und Ausatemwiderstände
- Überprüfung der Dichtigkeit des Reglers

Für private Lungenautomaten sind zusätzliche Überprüfungen in Bezug auf Hebeleinstellung, Federkräfte, Spiel u. a. möglich, die in jedem Fall nach Instandsetzungen und Reparaturen zusätzlich zu den o. g. Maßnahmen durchgeführt werden müssen, um optimale Sicherheit und Leistungskennwerte zu erreichen.

Der Grund für die Nichtzulassung von Instandsetzungen, Demontagen und Reparaturen an industriell gefertigten Reglern, z. B. des „Hydromat“ durch den Gerätewart, resultiert aus der umfangreichen Ausbildung, die einer-

seits zur richtigen Ausführung dieser Arbeit notwendig ist, zum anderen in dem nicht unerheblichen technischen Aufwand. Sind doch außer der abschließenden Überprüfung der Leistungsparameter an der Prüflinge und der noch beschriebenen Dichtigkeitsprüfung nicht weniger als sieben Kontrollen und Prüfmaßnahmen nur beim Zusammenbau des Lungenautomaten erforderlich.

Ohne die rechtlichen Bestimmungen über Reglerreparatur und -Zulassung zu verletzen, sollten die anfangs genannten Überprüfungen mit jedem Lungenautomaten

- am Tag der Bereitschaft
- nach Wartungsmaßnahmen
- vor größeren Einsätzen (Taucherlager, Tieftauchen, Tauchen unter Eis u. a.)

durchgeführt werden.

Einfaches, mehrmaliges Durchatmen reicht nicht aus, es ergibt nur eine subjektive Einschätzung und keine objektiv vergleichbaren Meßwerte.

Die Anlagen für die Messungen sind mit relativ geringem Aufwand selbst herzustellen und werden deshalb hier näher beschrieben.

## 6.1 Meßgröße Atemwiderstand

Unter „Atemwiderstand“ verstehen wir den Druckabfall, dem ein Luftstrom beim Passieren der Atemwege unterliegt. (Analog zur Elektrotechnik: an einem Widerstand entsteht beim Fließen eines Stromes ein Spannungsabfall  $U$ , der gleich dem Produkt aus Widerstand  $R$  und Stromstärke  $I$  ist.)

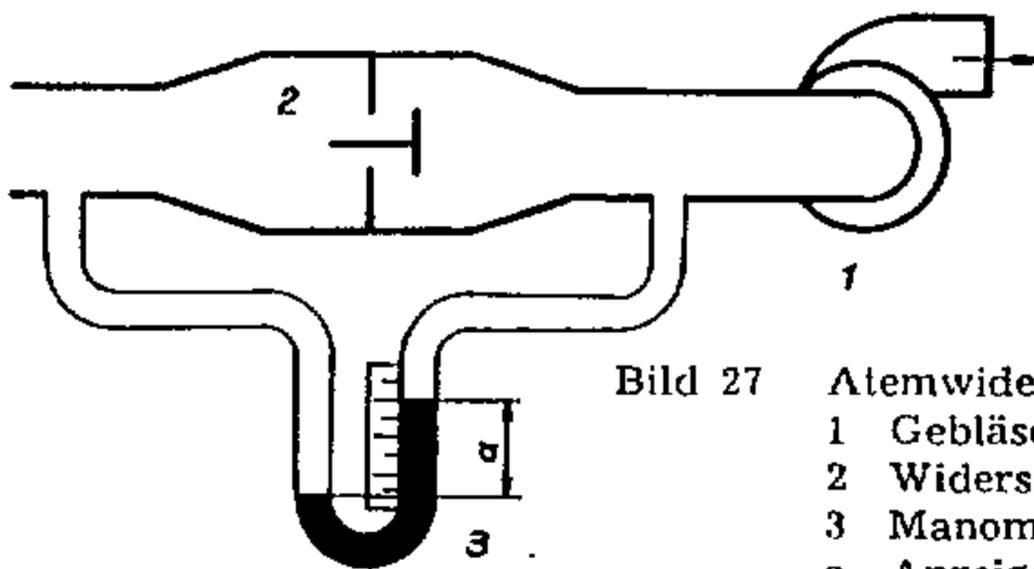


Bild 27 Atemwiderstand  
 1 Gebläse  
 2 Widerstand  
 3 Manometer  
 a Anzeige

Oder anders ausgedrückt: der Atemwiderstand eines DTG von 40 mm Ws bedeutet, daß beim Einatmen in der Mundstückkammer ein Unterdruck von 40 mm Ws erzeugt werden muß, damit eine bestimmte Luftmenge je Zeiteinheit aus dem Regler über den Atemanschluß in die Atemwege des Tauchers gelangen kann. Bild 27

Der Druckabfall läßt sich als Funktion des Luftstromes darstellen, er wächst stark zunehmend mit steigendem Luftstrom. Bild 28

Der für Berechnung zugrundegelegte Luftverbrauch von 30 l/min läßt noch keine Rückschlüsse auf die Luftmenge zu, die die Atemwege in einem bestimmten Zeitpunkt passiert. Zu Beginn der Einatmung beträgt sie 0,

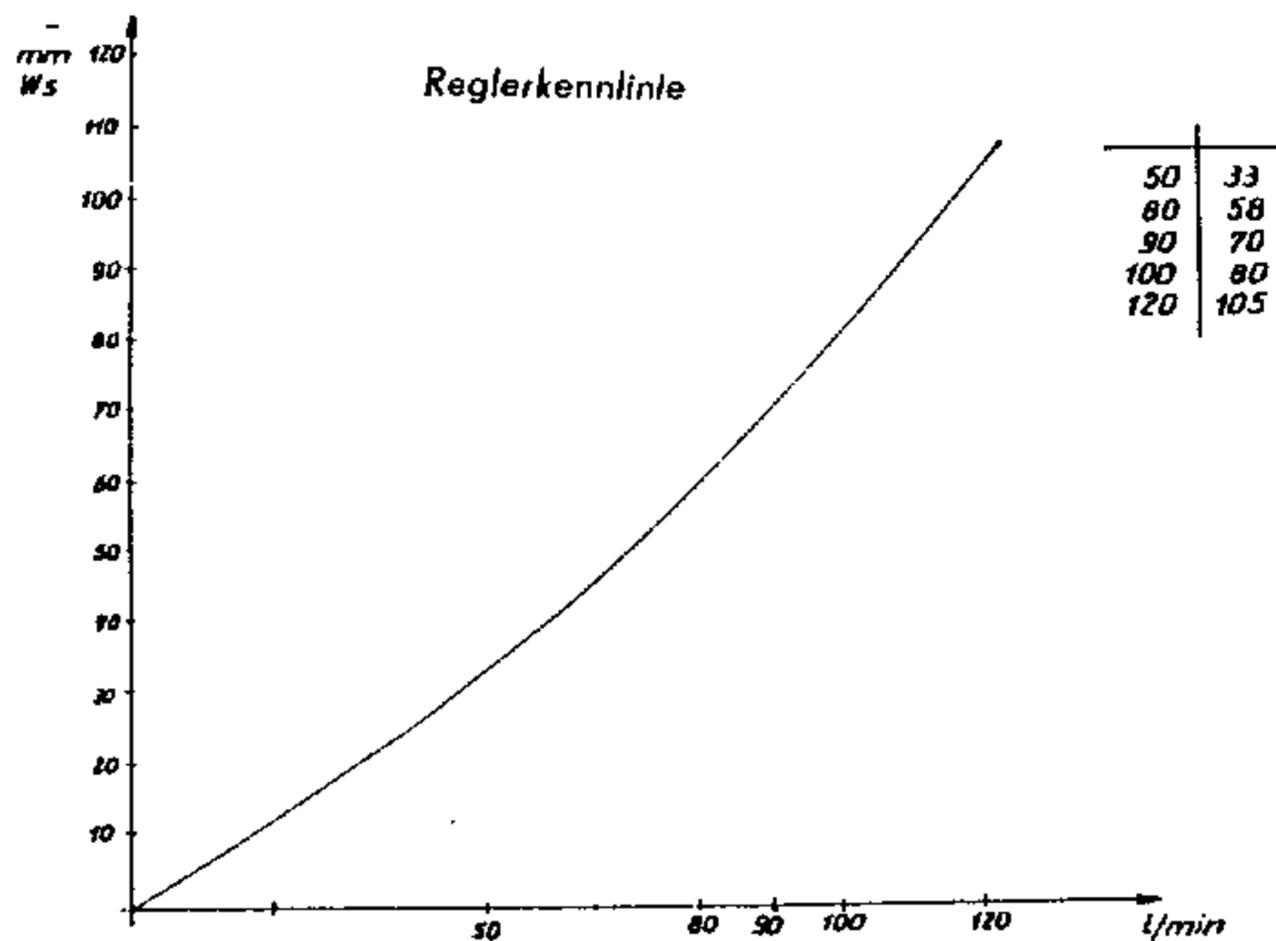


Bild 28 Reglerkennlinie

steigt dann auf ein Maximum um wieder auf 0 zurückzugehen. Die Ausatmung erfolgt genauso.

Wird zur Prüfung des Lungenautomaten ein gleichmäßiger Luftstrom verwendet (statische Meßmethode), muß dieser so groß sein wie das Maximum der Atmung.

Da der Verlauf des Atemluftstromes annähernd einem Sinus-Kurvenverlauf folgt, läßt sich ein Spitzenwert von 94,2 l/min errechnen.

Die bei einem Luftstrom von 90 ÷ 100 l/min gemessenen Werte entsprechen dann etwa denen der Spitzenwerte bei der Beatmung durch den Menschen.

Natürlich wird mit diesem Meßverfahren bei Injektor-Lungenautomaten der Anfangswert bei Einleitung des Atemvorganges nicht erfaßt.

Die Überprüfung des Lungenautomaten an einer künstlichen Lunge, die diese Ungenauigkeit ausschließt, alle Einschwingvorgänge erfaßt und eine Messung der aufzubringenden Atemarbeit zuläßt, ist jedoch apparativ wesentlich aufwendiger und wird daher in diesem Rahmen nicht weiter betrachtet.

## 6.2 Das Manometer

Zur Messung des Atemwiderstandes wird ein Manovakuummeter mit einem Meßbereich von etwa  $\pm 200$  mm Ws benötigt. Dazu können Zeigermanometer ebenso wie Flüssigkeitsmanometer eingesetzt werden. Letztere haben den Vorteil, daß sie billiger und selbst herstellbar, außerdem auf Meßbereichsüberschreitung zwar mit „Ausspucken“ der Meßflüssigkeit reagieren, aber im Gegensatz zu dem anderen Typ schnell wiederhergestellt sind und nicht neu geeicht werden müssen.

Das Manometer verbindet man mit dem Atemanschluß des Gerätes, wird nun geatmet, lassen sich Ein- und Ausatemwiderstand ablesen.

## 6.3 Luftstrommessung

Um reale Vergleichswerte zu bekommen, muß auch die Größe des Luftstromes gemessen werden. Seine Erzeugung kann durch Injektoren, Wasserstrahlpumpen oder Gebläse erfolgen. Gut geeignet ist dazu der in jedem Haushalt vorhandene Staubsauger. Die Saugleistung ist je nach Typ und Alter unterschiedlich, aber i. a. weit höher als die erforderlichen 100 l/min, der erzeugte Unterdruck erreicht Spitzenwerte über 1000 mm Ws. Zur Minderung wird ein Manipuliertventil zwischengeschaltet (Dreiwegehahn), gut geeignet ist dazu das zum Lieferumfang moderner Staubsauger gehörende Luftregulierungsrohr. Einfache Drosselung ist nicht zu empfehlen, da durch mangelnde Kühlwirkung der Gebläsemotor durchbrennen kann.

Die Messung der Luftmenge kann erfolgen:

- durch Messung und Umrechnung des sinkenden Luftvorratsdruckes pro Zeiteinheit
- über die Messung des Druckabfalls an einer Meßblende (Querschnittsverengung) im Luftstrom
- in Durchflußmessern mit Schwebekörpern.

Das erste Verfahren sollte wegen seiner Ungenauigkeit nicht angewandt werden.

Die zweite Möglichkeit ist sehr billig zu realisieren, als Meßblende kann für den in Frage kommenden Bereich ein teilweise zugedrücktes Rohr von etwa dem Durchmesser verwendet werden, den auch die übrigen Leitungen haben. Der Druckabfall wird mit einem zweiten U-Rohrmanometer gemessen. Die ganze Anlage muß natürlich mit Hilfe eines genauen Durchflußmessers geeicht werden. Bild 29

Am besten wird das Problem durch den Einsatz von **Durchflußmessern** mit Schwebekörpern gelöst. Diese vom VEB MLW Prüfgerätewerk Medingen, Sitz Freital, produzierten Geräte sind für die verschiedensten Meßbereiche lieferbar, allerdings recht teuer. Gut geeignet sind die Durchflußmesser der Typen PF/PG 517.1 und AO 5.1 mit den entsprechenden Meßbereichen.

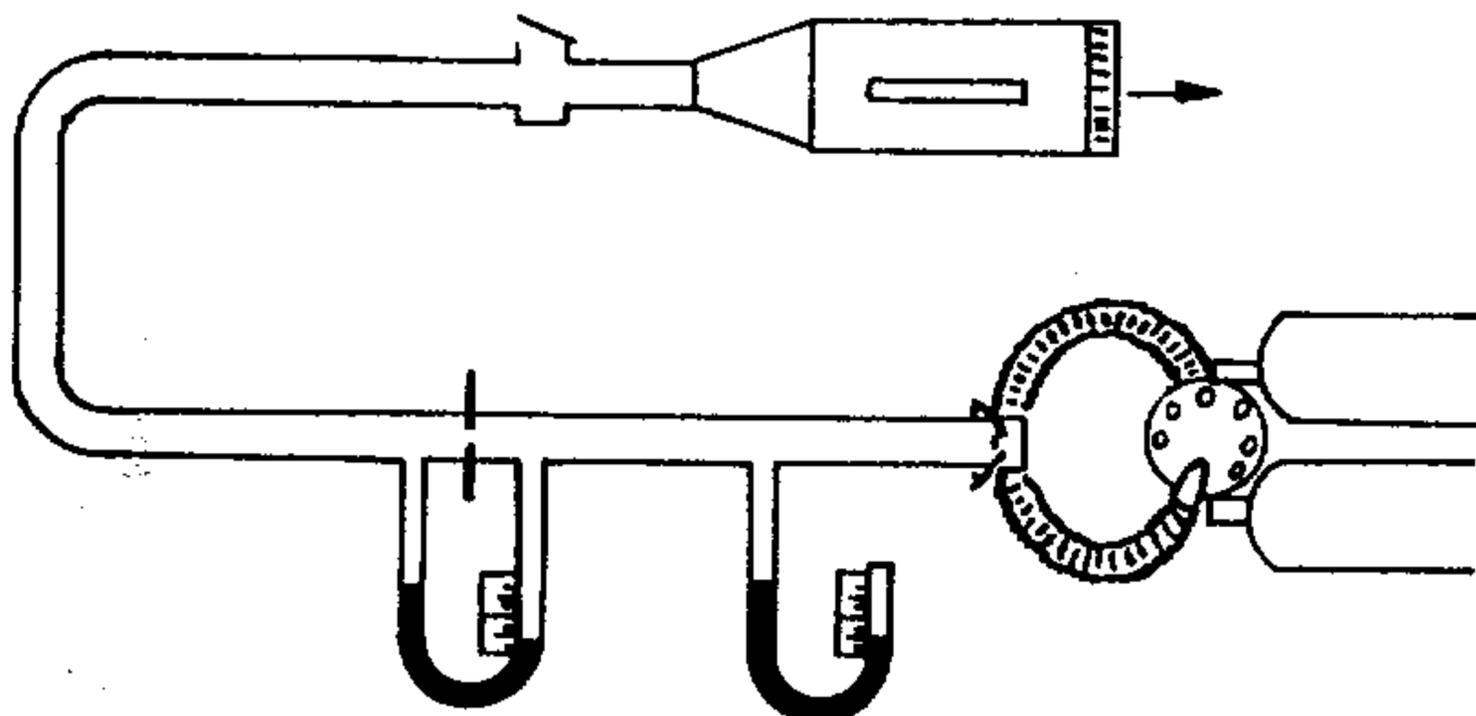


Bild 29 Meßplatz Atemwiderstand

Beim Einsatz dieser Meßrohre ist wesentlich, daß sie senkrecht aufgestellt und von unten nach oben durchflossen werden. Ablesekante am Schwebekörper ist bei der meist verwendeten „Plumb-Bomb“ bzw. Kugelform der oberste Rand.

#### 6.4 Die Aufnahme von Reglerkennlinien

Mit diesem Meßplatz ist nun die Aufnahme von Reglerkennlinien möglich, also den Atemwiderstand in Abhängigkeit vom Luftvorratsdruck bzw. von der Durchflußmenge zu messen. Bild 30

Bei der Vorbereitung wird das DTG normal überprüft und die Prüfanlage einsatzklar gemacht. Nach dem Öffnen eines Flaschenventils wird das Manipuliertventil ganz geöffnet und das Gebläse eingeschaltet. Erfolgt das Einschalten bei abgesperrtem Luftvorrat, bei geschlossenem Dreiwegehahn oder läuft das Gebläse noch bei zu Ende gehendem Luftvorrat, kann das Manometer beschädigt werden, bei U-Rohren wird die Meßflüssigkeit mit angesaugt.

Bei Durchflußmengen über 200 l/min kann, wenn längere Zeit gemessen wird, der Lungenautomat einfrieren. Zur Messung des Ausatemwiderstandes wird nur der Anschluß am Gebläse und am Durchflußmesser geändert.

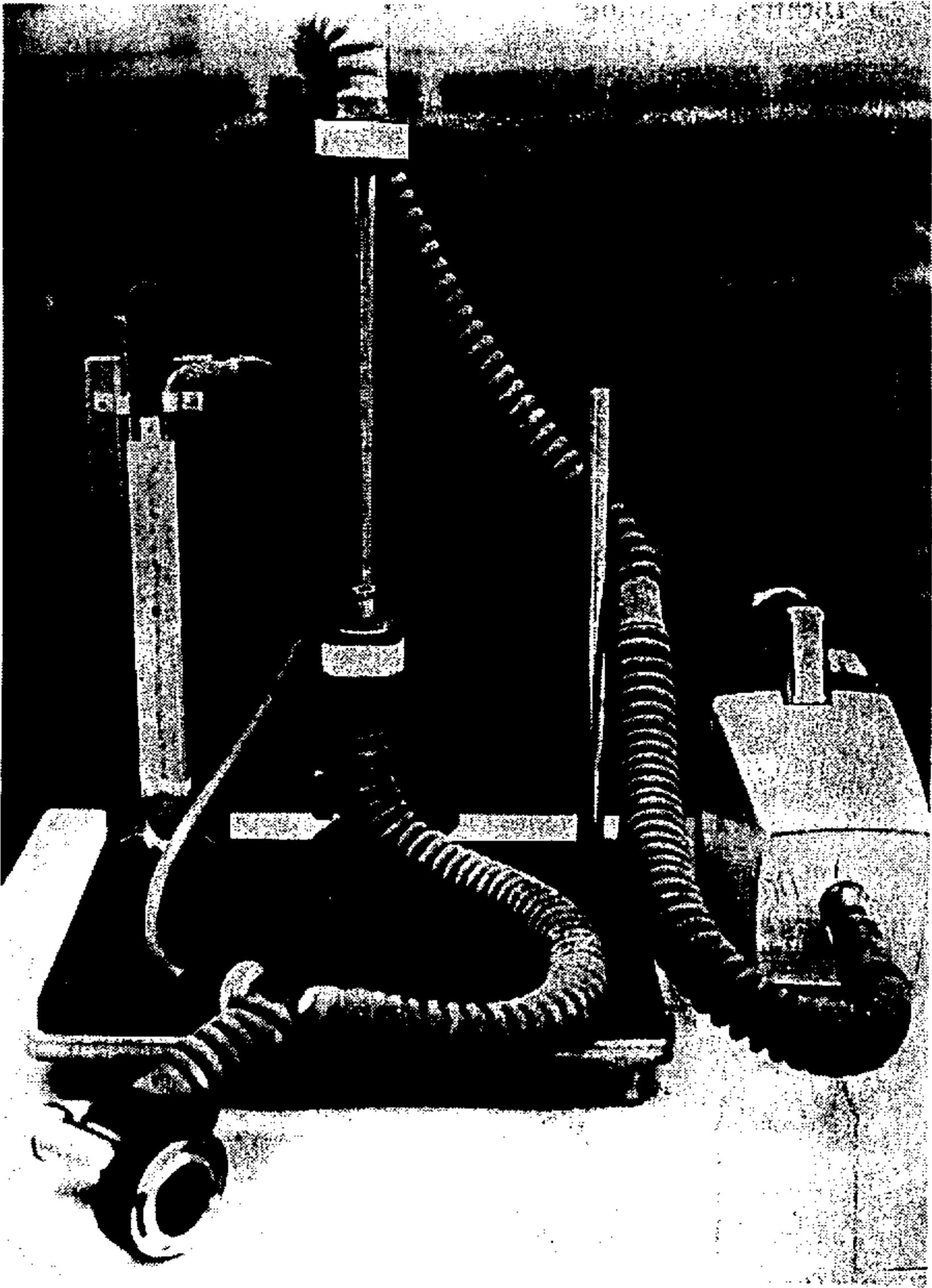


Bild 30 Meßplatz Atemwiderstand

## 6.5 Dichtigkeitsprüfung

Nach jeder Durchsicht eines Lungenautomaten muß die richtige Einspannung der Membrane, damit gleichzeitig ihre Haltbarkeit, und wenn möglich, die Dichtigkeit des ganzen Systems einschließlich Atemanschluß überprüft werden.

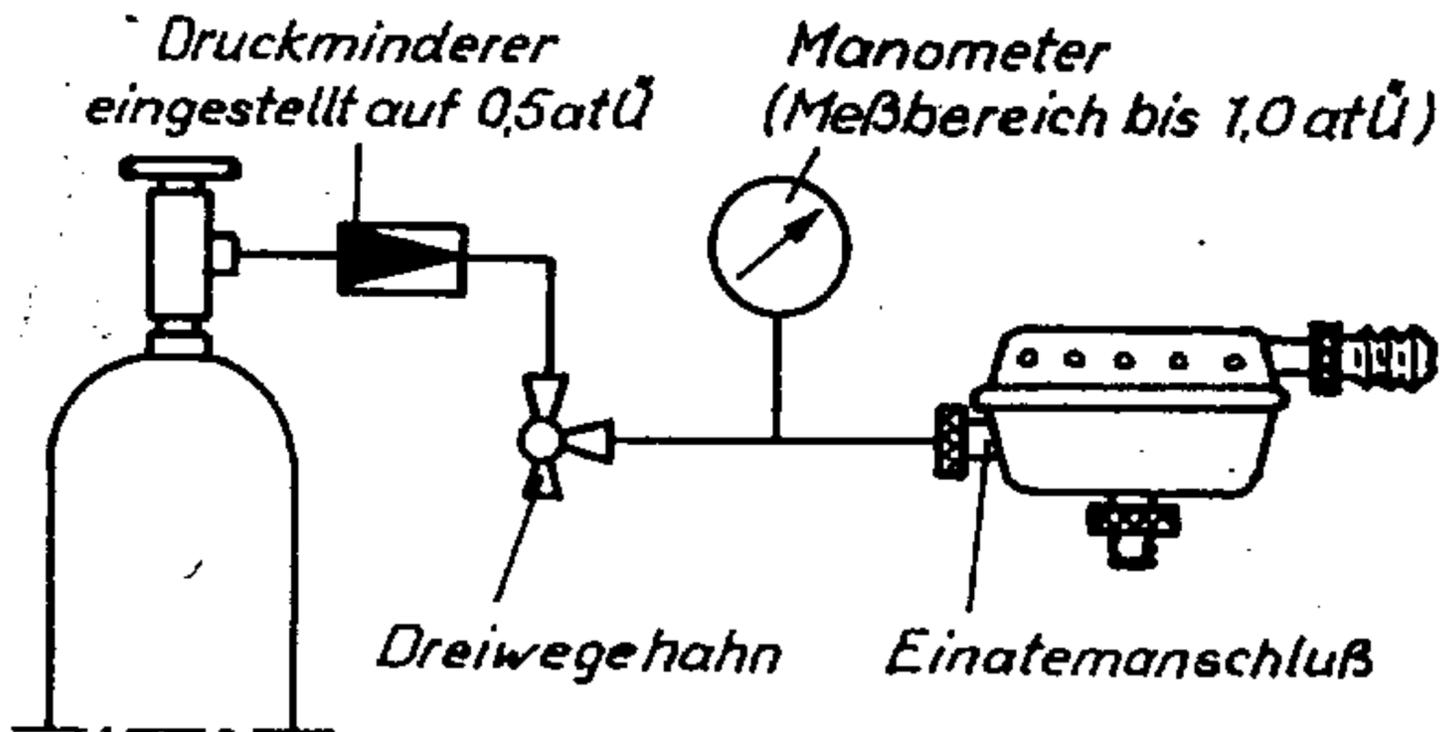
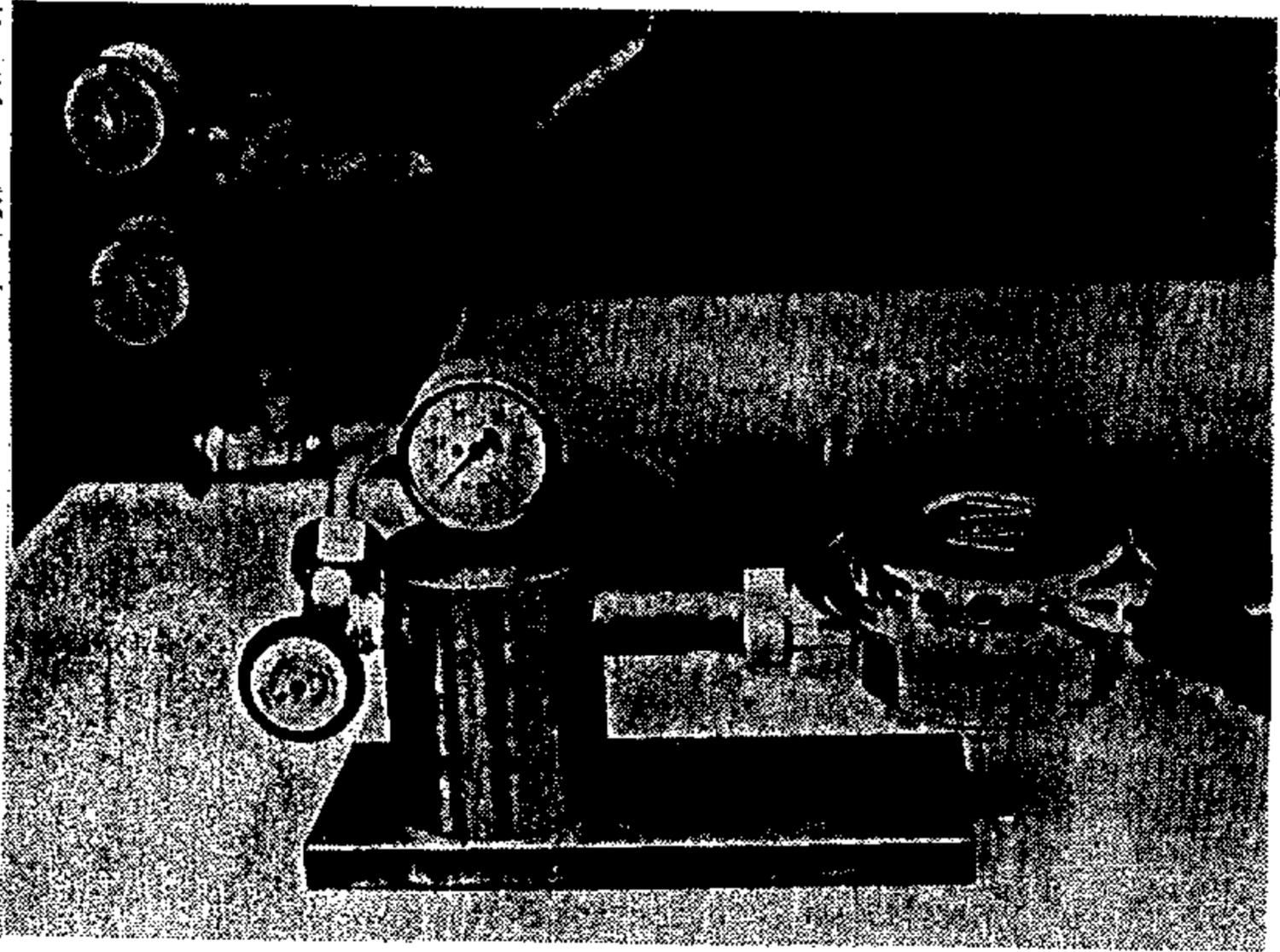


Bild 31 (2) Dichtigkeitsprüfung Hydromat

Das ist prinzipiell durch Unter- oder Überdruck möglich.

Für Lungenautomaten des Typs „Hydromat“ wird dabei gefordert, daß der Regler nach der Montage mit innerem Überdruck von 0,5 at zu überprüfen ist, wobei innerhalb einer Minute kein Druckabfall auftreten darf. Das Prüfgerät besteht aus einem Anschlußstutzen entsprechend dem des Einatemschlauches, einem Manometer mit Meßbereich bis 1 at Ü und einem Druckminderer oder einer Luftpumpe. (Bild 31)

## 6.6 Weitere Maßnahmen

Außer den bisher beschriebenen Maßnahmen und einer allgemeinen Sichtkontrolle sind für nicht industriell hergestellte und nicht organisations-eigene Lungenautomaten weitere Überprüfungen möglich, die sich im einzelnen nach dem jeweiligen Typ und seinen Besonderheiten richten müssen.

Es handelt sich hierbei u. a. um:

- Kontrolle des Sicherheitsventils der ersten Stufe bei Lungenautomaten, deren zweite Stufe mit dem Druck dichtet
- Messung der maximalen Liefermenge bei von außen mechanisch bis zum Anschlag herabgedrückter Membrane
- Kontrolle der Festigkeit der Verbindungen des Mitteldruckschlauches bei Einschlauchautomaten
- Messung des Hebelweges, d. h. Kontrolle der Hebeleinstellung
- Messung des Öffnungshubes der Ventile (zusammen mit dem vorigen lassen sich daraus zu großes Spiel- bzw. Hebeldeformierungen ermitteln
- Kontrolle der Federkennlinien

Alle Prüf- und Kontrollmaßnahmen sind mit größter Genauigkeit und Gewissenhaftigkeit vorzunehmen. Wer einen Lungenautomaten überprüft und zum Tauchen freigibt übernimmt damit die Verantwortung für die Sicherheit des Tauchers in gerätemäßiger Hinsicht! Dieser Verantwortung muß sich der Gerätewart ständig bewußt sein.

## 7. Konstruktive Besonderheiten von Lungenautomaten

Aus den in den Abschnitten 2 und 3.1.2 beschriebenen Unterscheidungsmerkmalen ist die Vielfalt von Typen und Konstruktionen der DTG annähernd ersichtlich. Die riesige Zahl der verschiedenen konstruktiven Lösungen bei Baugruppen und Teilen auch nur grob zu erfassen ist äußerst schwer und in keiner Weise Aufgabe des vorliegenden Heftes. Trotzdem sollen einige interessante technische Lösungen vorgestellt werden.

## 7.1 Einfriersichere Reduzierventile

Im Abschnitt 3.2.1.1 wurde der Einfachheit halber angenommen, daß es sich bei der Gasströmung durch die Düse des Lungenautomaten um einen adiabatischen Vorgang (ohne Wärmeaustausch) handelt. Tatsächlich kühlt sich das Gas bei der Drucksenkung sehr stark ab und entzieht der Umgebung damit Wärme. Dadurch können Regler unter Wasser vereisen. Tritt die Vereisung nur an Gehäuseaußenflächen ein, ist sie belanglos, da aber bei Einschlauchautomaten auch der Stellfederraum betroffen wird,

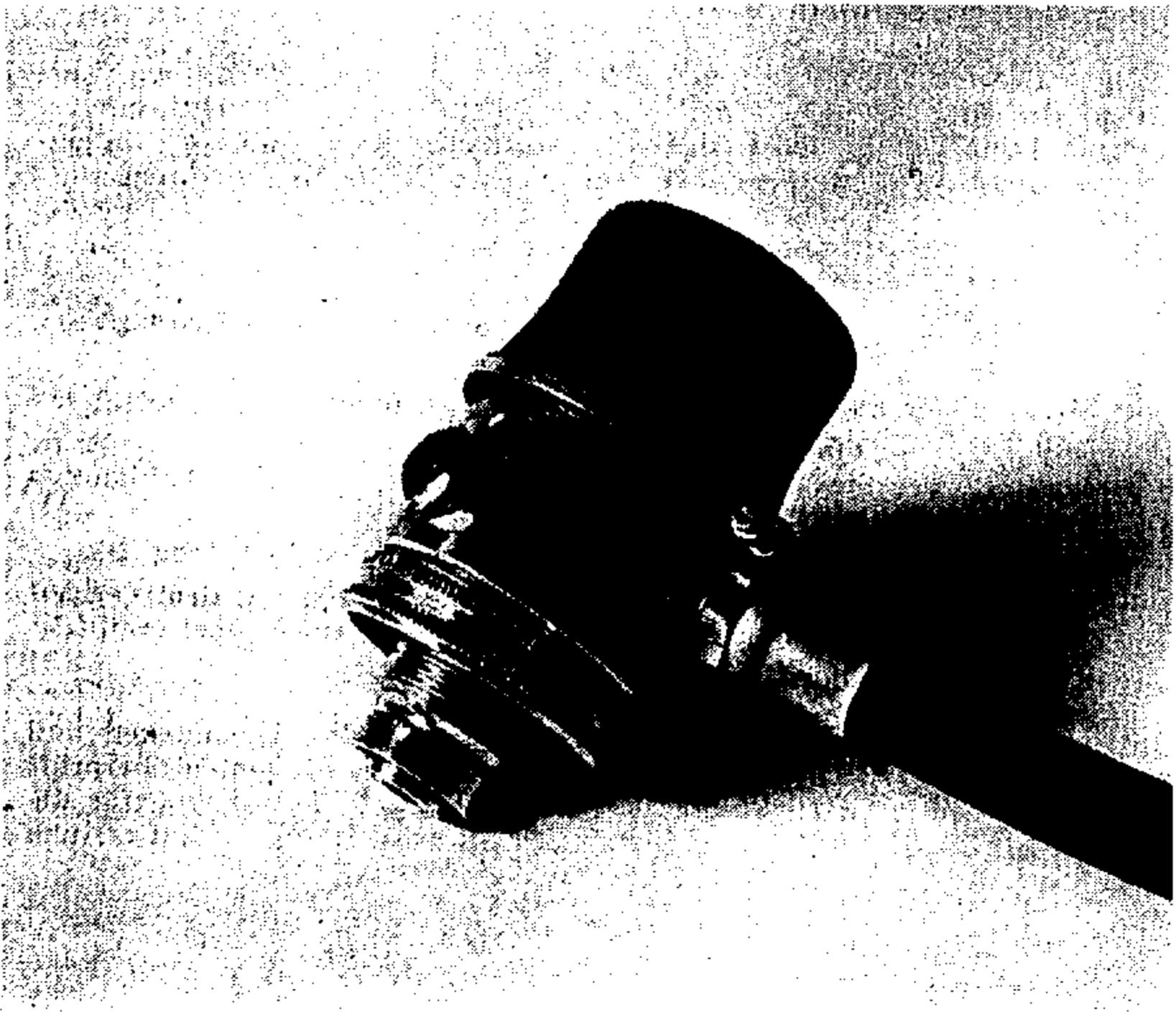


Bild 32 Einfriersichere erste Stufe

muß beim Tauchen im Winter und in größeren Tiefen damit gerechnet werden. Abhilfe ist zu schaffen, indem der Stellfederraum vom umgebenden Wasser isoliert wird, dabei muß der Umgebungsdruck weiter zusätzlich auf die Membrane der ersten Stufe wirken können. Der Stellfederraum wird durch eine zweite, biege weiche Membrane nach außen abgeschlossen (Bild 32, als Gummikappe ausgeführt) und der Zwischenraum mit einer

niedriggefrierenden, inkompressiblen Flüssigkeit, z. B. Silikonöl, gefüllt. Auf einfrierende Ventile durch in den Luftwegen vorhandene Feuchtigkeit (Ausspülen des Reglers!) kann natürlich nur durch sorgfältige Trocknung aller Teile vor dem Einsatz Einfluß genommen werden.

## 7.2 Druckentlastete Ventile

Um den Einfluß des schwankenden Vorratsdruckes weiter abzubauen ist der Einsatz druckentlasteter Ventile (Bild 33) möglich. Durch die aller-

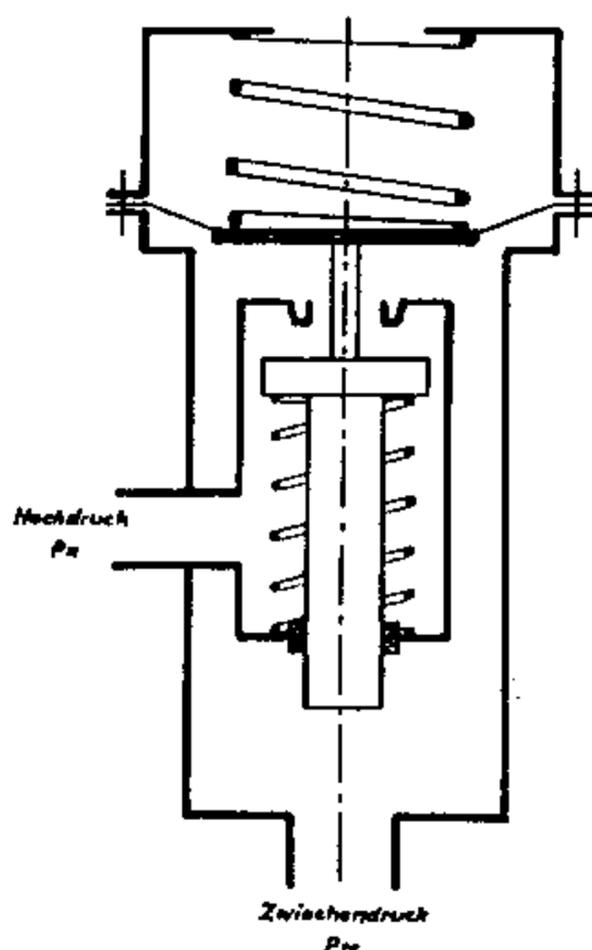


Bild 33 Druckentlastetes Ventil

dings zusätzlich auftretenden Dichtungsprobleme und wegen der erhöhten Herstellungskosten haben sich diese Typen in der Praxis bisher nicht durchsetzen können.

## 7.3 Hebelsysteme – leicht und einfach

Hebelsysteme, besonders einstufiger Lungenautomaten, sollen außer den Grundforderungen nach absoluter Funktionssicherheit, Leichtgängigkeit und geringem Gewicht weiterhin einfach zu fertigen und servicefreundlich, also gut zugänglich, leicht auswechselbar usw. sein. Eine der vielen guten Lösungen zeigt Bild 34 und 34 a.

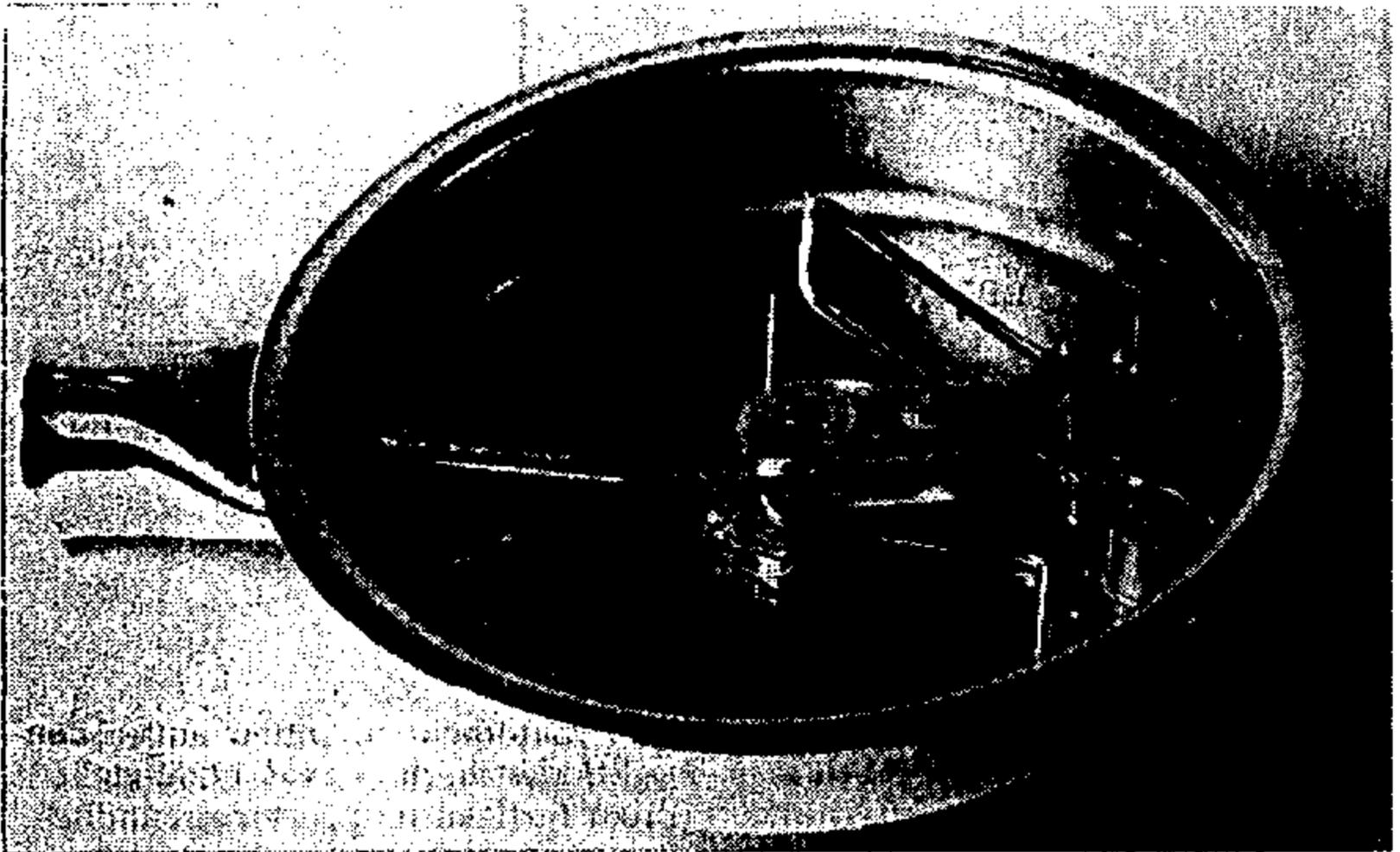
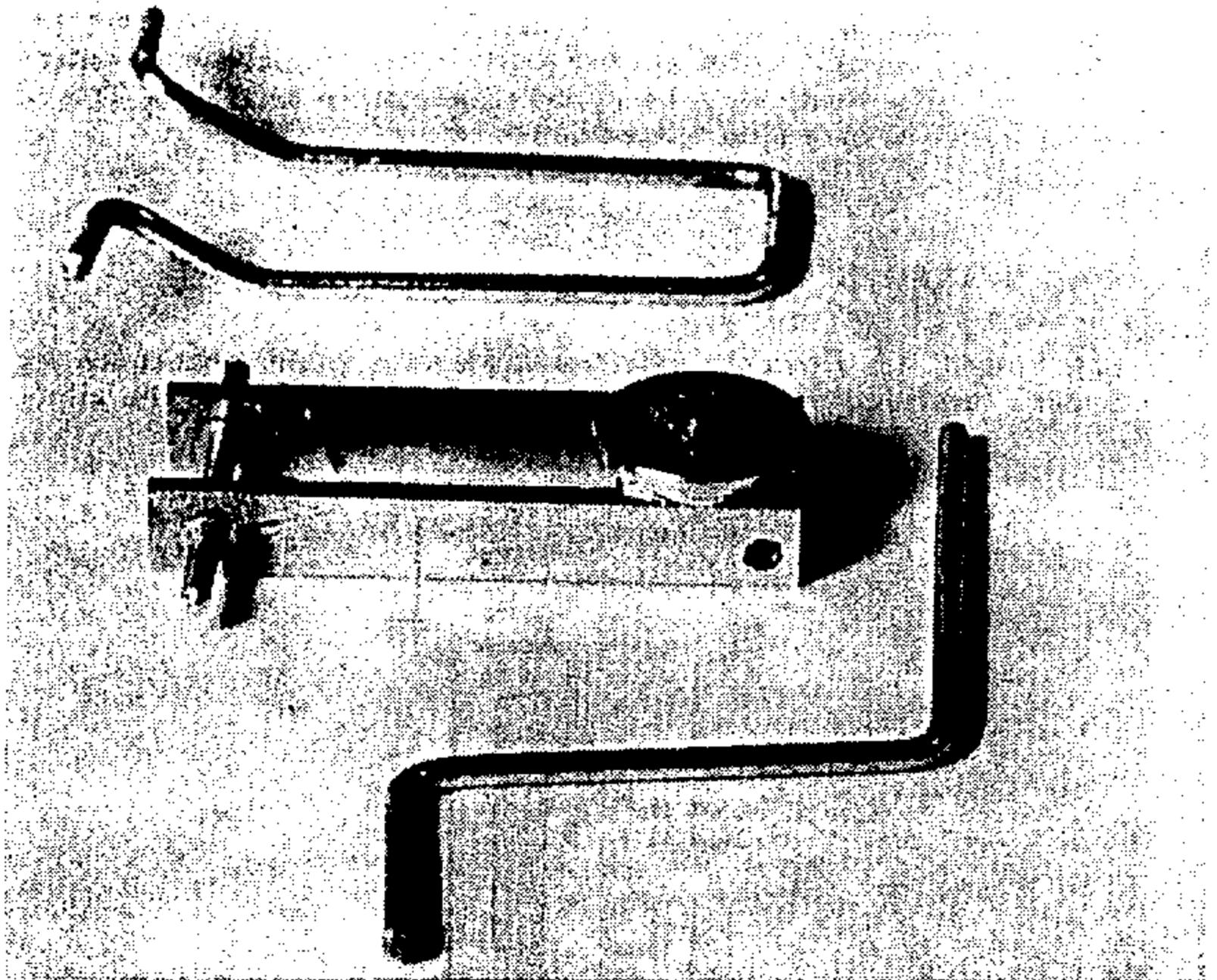


Bild 34 (2) Hebelsystem – einfach

## 7.4 Einstellbare Injektordüse

Injektordüsen sind um so wirksamer, je mehr sie den Atemvorgang des Tauchers unterstützen — dürfen andererseits aber die Luftentnahme nicht allein in Gang halten. Ihre Förderleistung sollte daher leicht verstellbar sein, um Einflüssen durch die Verwendung verschiedener Atemanschlüsse

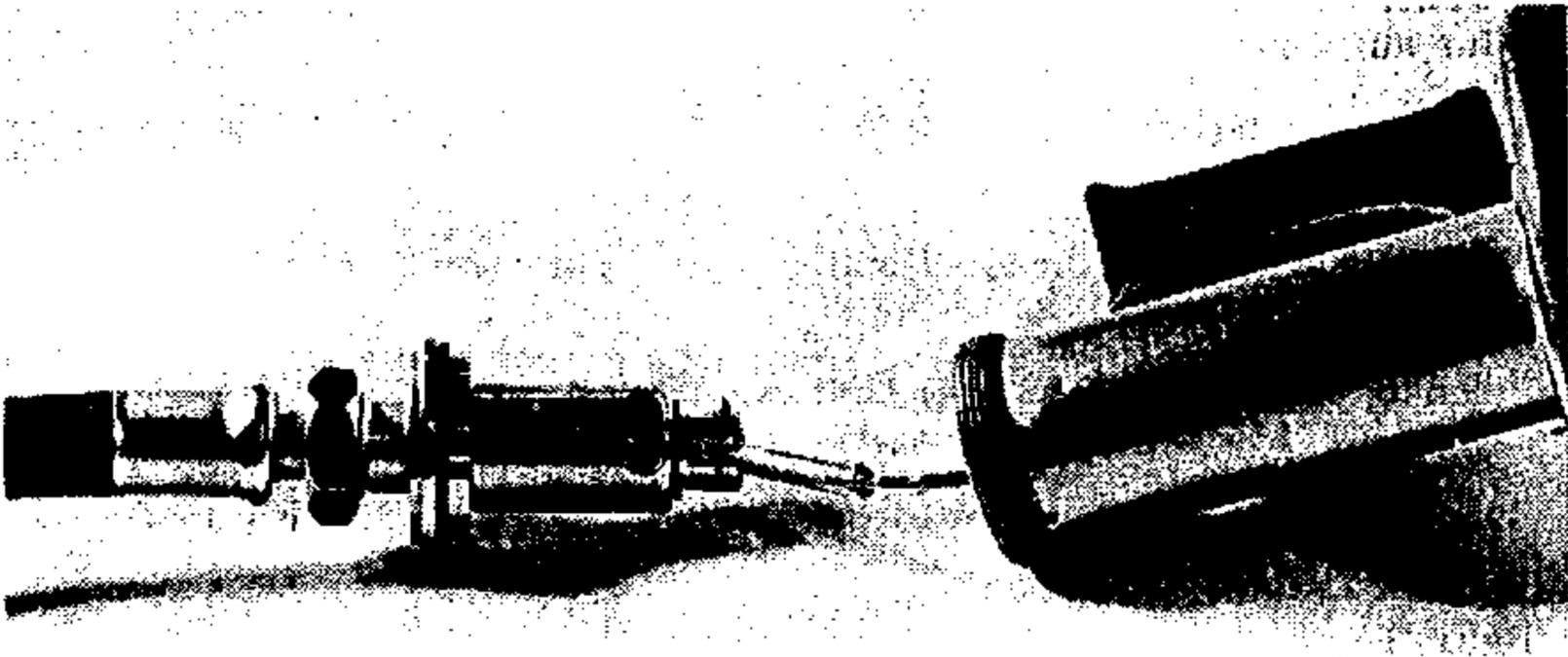


Bild 35 Einstellbare Injektordüse

(Faltenschlauchdurchmesser und -längen, Ventile) und Atemweisen mehrerer Taucher einfach begegnen zu können. Dies ist z. B. durch Blenden mit verschiedenen Öffnungsmessern, die in den Injektorweg gebracht werden, denkbar. Eine einfache Lösung bei Einschlauchautomaten zeigt Bild 35, wobei je nach gewünschter Injektorwirkung die Schelle mit der Bohrung in Richtung Mundstück oder seitlicher gedreht wird.

## Literatur

Die Erarbeitung der Lehrhefte erfolgte vorrangig auf der Basis der mit dem DTG „Hydromat“ gewonnenen Erfahrungen, den in der Zeitschrift „poseidon“ zu diesem Thema erschienenen Beiträgen und dem Lehrheft „Theoretische Grundlagen des Tauchens Teil 2“.

Darüber hinaus wurde folgende, auch dem Sporttaucher zugängliche Literatur ausgewertet:

Albring, Angewandte Strömungslehre, Steinkopf-Verlag Dresden-Leipzig  
1962

Autorenkollektiv, Tauchen – Handbuch für Sporttaucher, Deutscher Militärverlag 1968

Bulenko, Turin, Handbuch des Unterwasserschwimmers, DOSAAF-Verlag Moskau (1968) russisch

Burkhard, Kiesewetter, Der Gasdruckregler, VEB Verlag Technik Berlin  
1958

Haux, Tauchtechnik Band I, Springer Verlag 1969

Hispanksi, Eigenbau-Drucklufttauchergeräte, Gdynia 1966 (polnisch)

Richter, Unterwasserfotografie und -Fernsehen, fotokinoverlag Halle 1960

Weizel, Physikalische Formelansammlung, Bibliografisches Institut Mannheim, Hochschultaschenbücher Bd. 28

## Zeitschriften

poseidon, Deutscher Militärverlag Berlin

Bibliothek des Sporttauchers, DOSAAF-Verlag Moskau (russisch)

Atemschutzinformationen, Verlag Die Wirtschaft Berlin

Delphin

## Lehrhefte des Zentralvorstandes der GST

Theoretische Grundlagen des Tauchens



