

<b>Zeitschrift:</b>	Schweizerische Bauzeitung
<b>Herausgeber:</b>	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
<b>Band:</b>	87/88 (1926)
<b>Heft:</b>	21
<b>Artikel:</b>	Festigkeitsuntersuchungen an Transportflaschen für komprimierte Gase als Grundlage für ein neues Regulativ
<b>Autor:</b>	Roš, M.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-40896">https://doi.org/10.5169/seals-40896</a>

### Nutzungsbedingungen

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

### Conditions d'utilisation

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

### Terms of use

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

**Download PDF:** 15.01.2026

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

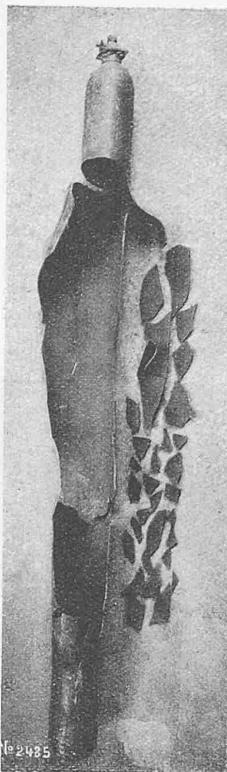


Abb. 5. Explosion eines Sauerstoffbehälters in Renens 1923.  
Abb. 3 (links). Explosion eines Wasserstoffbehälters in Wilerfeld 1922.

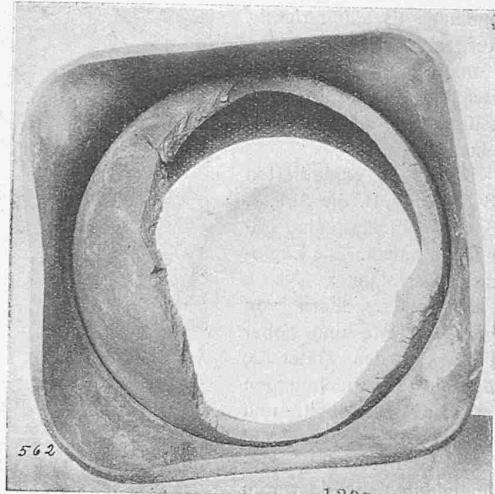
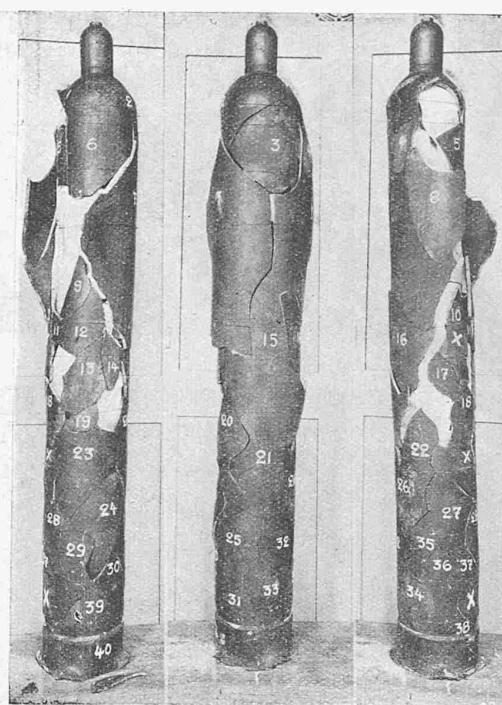


Abb. 4. Explosion eines Sauerstoffbehälters in Colombier 1922.

## Festigkeitsuntersuchungen an Transportflaschen für komprimierte Gase als Grundlage für ein neues Regulativ.

Von Prof. Dr. Ing. M. ROŠ, Direktor der E. M. P. A.<sup>1)</sup>

Die durch den Weltkrieg und die Nachkriegszeit auch in der Schweiz geschaffenen Verhältnisse bezüglich der Verwendung verschiedener Behälter für verflüssigte, verdichtete und unter Druck gelöste Gase, oft zweifelhafter Herkunft und Qualität, rechtfertigen eine strengere Kontrolle der Behälter und ganz besonders eine sorgfältige Prüfung der Festigkeitseigenschaften des Materials. Die Anzahl der in der Schweiz im Gebrauch stehenden derartigen Gefässen dürfte sich auf rund 100 000 Stück belaufen. Da die grosse Mehrzahl der den Vorschriften gemäss hergestellten und im Betriebe sich befindlichen Behälter eine drei- bis vierfache Sicherheit gegen Bruch aufweist, und dennoch oft Explosionen eintreten, die Menschenopfer fordern und Sachschaden anrichten, muss, im Interesse der öffentlichen Sicherheit, diesen Gefässen grösste Sorgfalt bei der Prüfung, Behandlung und im Unterhalt zuteil werden.

Dieser Auffassung der E. M. P. A., der als amtlicher Stelle die Prüfung dieser Behälter obliegt, haben sich angeschlossen: das Eidgen. Eisenbahndepartement in Bern, die Kriegstechnische Abteilung des Eidgen. Militärdepartementes in Bern, die Schweizer. Unfall-Versicherungsanstalt in Luzern, der Schweizer. Azetylen-Verein in Basel, die Schweizer. Fabrikanten von verdichteten, verflüssigten und unter Druck gelösten Gasen und die Eidgen. Prüfanstalt für Brennstoffe an der E. T. H. in Zürich.

\*

### Die Versuche.

Die Untersuchung der Festigkeitseigenschaften, auf deren Ergebnisse sich insbesondere die Vorschriften für die erstmalige Prüfung neuer Behälter im kommenden Regulativ stützen, erstreckte sich auf 43 zum Teil ganz neue, zum Teil in Gebrauch gestandene Gefässen, sowie 10 explodierte Behälter und umfasste: 1. Die Bestimmung der Härte durch die Kugeldruckprobe an den Behältern selbst und an herausgeschnittenen Probestäben, Behältern und Stäben im Anlieferungszustand. — 2. Die Bestimmung der Zugfestigkeit,

<sup>1)</sup> Auszug eines Berichtes, vorgetragen am II. Diskussionstag der Eidgen. Materialprüfungsanstalt an der E. T. H. am 4. Juli 1925. Der ausführliche Bericht ist in der Festschrift „Acetylen und autogene Schweißung“ Nr. 11 und 12, 1925, und als Diskussionsbericht Nr. 3 der E. M. P. A. unter dem Titel „Das kommende schweizerische Regulativ über die Prüfung der Behälter für den Transport verflüssigter, verdichteter und unter Druck gelöster Gase“ erschienen.

Fliessgrenze und Bruchdehnung an Stäben a) in der Längsrichtung der Behälter entnommen, im Anlieferungszustand und ausgeglüht; b) in der Umfangsrichtung der Behälter (quer) herausgearbeitet, in ausgeglühtem Zustande. Mit einigen Versuchstäben von nicht explodierten Behältern und allen Stäben der explodierten Behälter wurden überdies Elastizitätsmessungen vorgenommen. — 3. Die Bestimmung der Arbeitswerte (Gütewerte) mit Längsstäben im Anlieferungszustand und ausgeglüht. — 4. Kaltbiegeversuche mit Stäben, der Längs- und Querrichtung entnommen, im Anlieferungszustand und ausgeglüht. — 5. Kerbschlagbiegeversuche mit Normalstäben von  $10 \times 7,5$  mm Bruchquerschnitt, Kerbtiefe 2,5 mm, Kerbradius 1 mm, Stützweite 60 mm, a) entnommen der Längsrichtung, im Anlieferungszustand und ausgeglüht; b) entnommen der Querrichtung, in ausgeglühtem Zustande.

Diese Festigkeitsuntersuchungen wurden ergänzt durch:  
6. Chemische Analysen und 7. Metallographische Untersuchungen.

\*

### Die Versuchsergebnisse.

Die Versuchsergebnisse zeigen, wie verschiedenartig das Konstruktionsmaterial der Behälter in Bezug auf seine chemische Zusammensetzung, seine Gefügebescassenheit und seine Festigkeitseigenschaften ist und in welch weiten Grenzen diese Eigenschaften schwanken.

Es lagen 25 Beispiele richtig ausgeglühter Behälter vor. An unausgeglühten Gefässen sind 12 Stück vorhanden und 15 Gefässen deuten auf unvollkommenes Ausglühen hin. Zwei Gefässen wiesen grobe Materialfehler (Risse) auf (Abbildung 1).

Einer zweckmässigen chemischen Zusammensetzung und hervorragenden Festigkeitsqualität des Konstruktionsmaterials, der gleichmässigen und erforderlichen Dicke der Gefäßwandungen und einer sorgfältigen thermischen Behandlung der Behälter (sorgfältiges Ausglühen und allmähliches Abkühlen) muss, insbesondere für hochwertige und legierte Stähle, grösste Aufmerksamkeit sowohl bei der Herstellung, als auch bei der Prüfung der Behälter geschenkt werden. Auf Grund der amtlichen Prüfung mussten: 1. eine bedeutende Anzahl von Behältern wegen unvorschriftsmässigem, zu hartem Material dem Gebrauch gänzlich entzogen werden; 2. viele Behälter wegen zu geringer Wanddicke auf einen niedrigen Prüfungs- und demzufolge Füllungsdruck herabgestempelt werden, und 3. bedeutende Mengen von Gefässen nachträglich ausgeglüht werden.

Das Material von ausgeglühten Behältern ist gegenüber dem Material im Anlieferungszustand normalerweise gekennzeichnet durch die Unveränderlichkeit oder geringe Schwankungen der Festigkeitseigenschaften und des Mikrogefüges (Behälter bereits im Anlieferungszustand gut ausgeglüht) oder durch eine ausgeprägte Erniedrigung der Fliessgrenze, deutliche Vergrösserung der Bruchdehnung, Erhöhung der Biegezahl, Steigerung der Kerbzähigkeit und eine nicht immer sehr deutliche Erniedrigung der Zugfestigkeit (Behälter im Anlieferungszustand unausgeglüht).

In diesem Gleichgewichtzustande (Behälter richtig ausgeglüht) lässt sich das Konstruktionsmaterial der Behälter eindeutig beurteilen und daher richtig einschätzen.

Ueber die explodierten Behälter (z. B. die Abb. 2, 3, 4 und 5) lässt sich folgendes sagen. Die Explosionen erfolgten:

a) Bei Behältern von grosser Härte und hoher Festigkeit des Materials, dessen Bruchdehnungen klein, dessen Arbeits- und Biegevermögen gering und dessen Kerbschlagbiegefestigkeiten niedrig waren (Abbildung 6);

b) In der Regel handelt es sich um kohlenstoffreiche Stähle und Nickelstähle, mit starkem Gehalt an Si, oft durch P verunreinigt. Das Material ist spröd und gegen Stosswirkungen empfindlich;

c) Das Mikrogefüge des Konstruktions-Materials zeigt Unregelmässigkeiten und Störungen zufolge unsachgemässer thermischer Behandlung und unrichtiger mechanischer Verarbeitung (Abbildung 7);

d) Behälter, wo infolge zu dünner Wandungen beim Prüfungs- oder bereits beim Füllungsdruck die rechnerischen Ringspannungen das zulässige Mass von  $\frac{2}{3}$  der Fliessgrenze überstiegen. Insbesondere ist die Explosionsgefahr gross, wenn die bereits beim Füllungsdruck auftretenden Ringspannungen die zulässige max. Beanspruchung von  $\frac{2}{3}$  der Fliessgrenze überschreiten. Die Gefahr ist umso grösser, je höher diese Ueberschreitung.

\*

#### *Das neue Regulativ 1926.*

Das zukünftige schweizerische Regulativ über die Prüfung der Behälter für den Transport verflüssigter, verdichteter und unter Druck gelöster Gase, das das bisher gültige aus dem Jahre 1909 ersetzen soll, schreibt sorgfältig ausgeglühte Behälter vor und lässt nur solche für den Gebrauch zu. Bei Gefässen von 5 bis 10 cm Durchmesser dürfen die Wanddicken nicht weniger als 2 mm betragen und bei Gefässen unter 5 cm Durchmesser nicht unter  $1\frac{1}{2}$  mm sein. Das Konstruktionsmaterial, aus Kohlenstoffstählen oder schwach legierten Stählen bestehend, wird folgende Festigkeitseigenschaften, im Anlieferungszustand geprüft, auszuweisen haben:

1. Härte nach Brinell . . . . .  $H = 135$  bis  $270$
  2. Zugfestigkeit in Längsrichtung . . . . .  $= 3,8$  bis  $7,5 \text{ t/cm}^2$
  - Fliessgrenze rd.  $0,6$  der Zugfestigkeit . . . . .  $= 2,4$  bis  $4,5 \text{ t/cm}^2$
- Sie darf  $4,5 \text{ t/cm}^2$  nicht überschreiten.

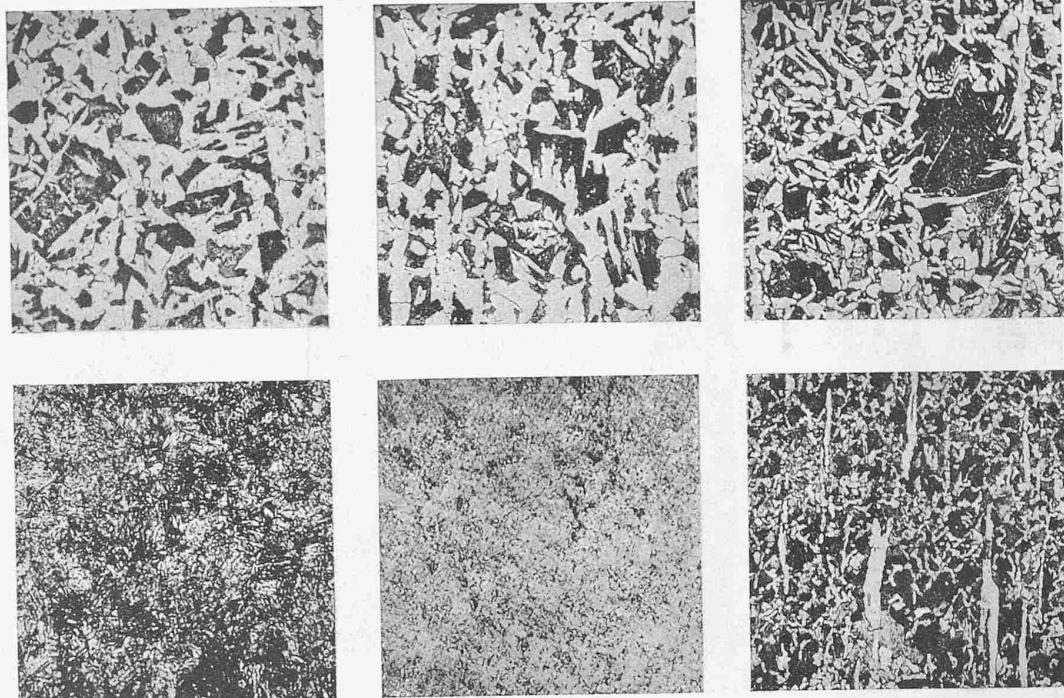


Abb. 7. Mikrogefüge von explodierten Behältern (in 110-facher Vergrösserung).  
Wasserstoffbehälter Altdorf 1921. Wasserstoffbehälter Wilerfeld 1922. Pressgasbehälter Lachen 1923.  
Oben je im ausgeglühten, darunter je im Anlieferungs-Zustand.

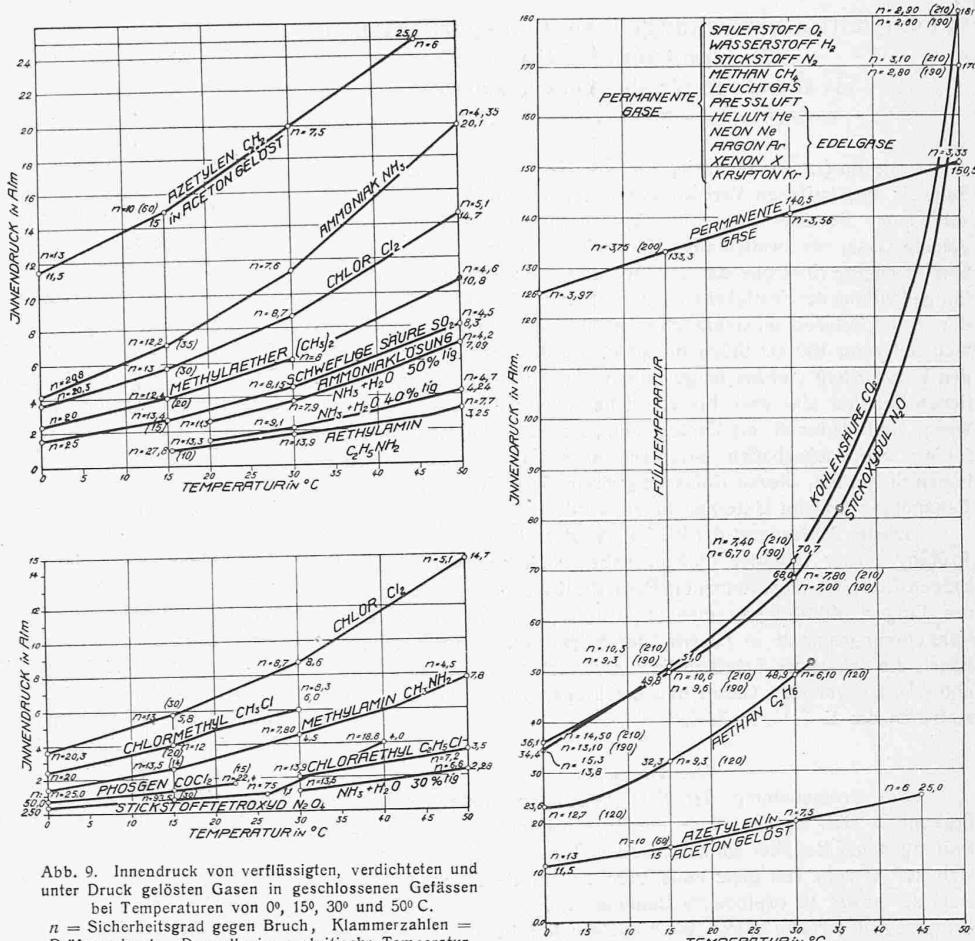


Abb. 9. Innendruck von verflüssigten, verdichteten und unter Druck gelösten Gasen in geschlossenen Gefässen bei Temperaturen von  $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $30^\circ$  und  $50^\circ\text{C}$ .  
 $n$  = Sicherheitsgrad gegen Bruch, Klammerzahlen = Prüfungsdruck, Doppelkreise = kritische Temperatur.

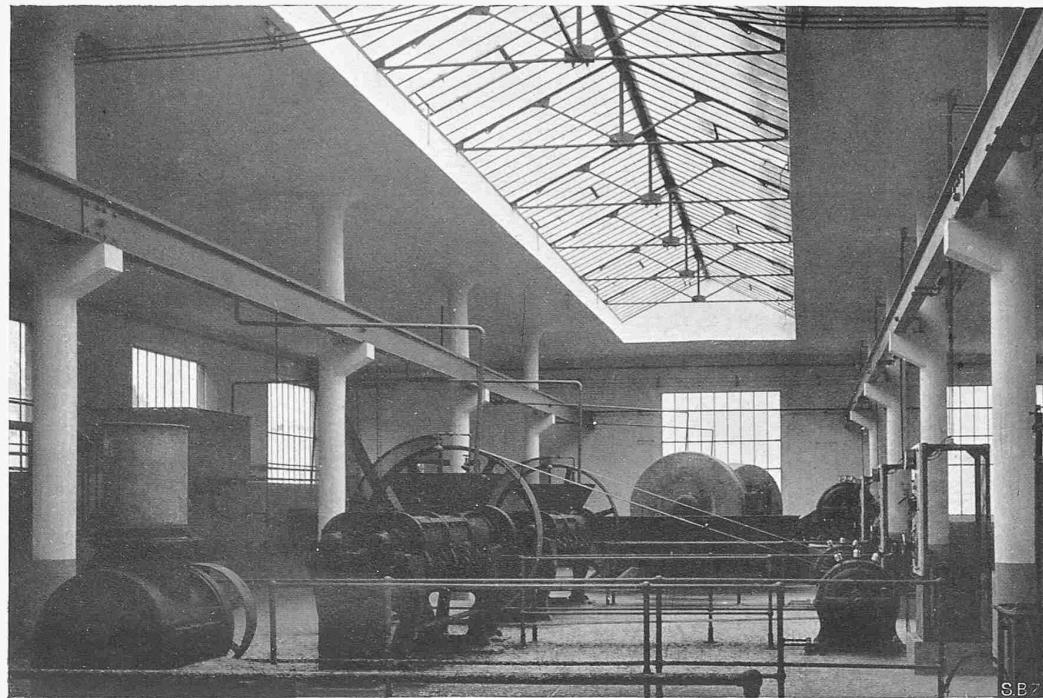
3. Bruchdehnung in Längsrichtung . . . . .  $= 30$  bis  $16\%$

Messlänge:  $5 d$  bzw.  $\frac{11,3}{2} \sqrt{F}$

Zwischenwerte der Zugfestigkeiten und Bruchdehnungen sind entsprechend Abbildung 8 zu interpolieren.



Runde Säulen, auskragende Platte zur Aufnahme des Oberlichts



Runde Säulen mit Konsolen für die Kranbahn

KARTONFABRIK IN LANCEY, DEP. ISÈRE, FRANKREICH  
ERBAUT 1913/14 NACH BAUWEISE MAILLART & CIE. DURCH G. L. MEYER



Kabelfabrik von  
Pirelli in Villa-  
nueva, Spanien

S.B.Z.



Spinnerei Benet  
in Barcelona  
Erbaut 1924

S.B.Z.



Spinnerei Benet  
in Barcelona  
Pfeilerabstand 5 m  
Keine Zugänder

EISENBETON-SHEDBAUTEN IN SPANIEN  
ENTWORFEN UND AUSGEFÜHRT 1924/25 VON MAILLART & CIE.

ANMERKUNG:	VERFLÜSSIGTE GASE												UNTER DRUCK GELÖSTE GASE			VERDICKTE GASE		
	KOHLENSAURE CO <sub>2</sub>	ETHAN C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	STICKSTOFFTETROXYD N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	AMMONIAC NH <sub>3</sub>	CHLOR Cl <sub>2</sub>	SCHWEFELSAURE SO <sub>2</sub>	PHOSGEN COCl <sub>2</sub>	CHLORETHYL CH <sub>2</sub> Cl	CHLORHETYL CH <sub>2</sub> HCl	METHYL-ETHER (CH <sub>3</sub> O) <sub>2</sub>	METHYLAMIN CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub>	JN WASSER GELÖSTES	JN AZETON GELÖSTES	JN FLEISCH GELÖSTES	SAUERSTOFF O <sub>2</sub>	WASSERSTOFF H <sub>2</sub>	STICKSTOFF N <sub>2</sub>	
+ bei -2°C															METHAN CH <sub>4</sub>	LEUCHTGAS	PRESSLUFT	
++ bei 20°C															HELIUM He	NEON Ne	ARGON Ar	
+++ bei 32°C															XENON Xe		KRYPTON Kr	
• bei 22°C																		
.. bei 40°C																		
... bei 26°C																		
<b>PRÜFUNGSDRUCK in Atm.</b>																		
1925 Internationales 1909 Internes-Schweizerisches Reglement	210	120	30	210	35	30	15	15	20	10	20	14	10	6	8	12	50	
	190	190	22	190	30	22	12	30	20	12	20	16	10	6	8	12	50	
Höchste zulässige Füllung ausgedrückt in Füllungsraum des Gefäßes pro 1kg Flüssigkeit	1,34	3,30	0,8	1,34	1,68	0,8	0,8	0,8	1,25	1,23	1,65	1,70	1,70	1,20	1,25	1,3		
<b>EIGENSCHAFTEN DER GÄSE</b>																		
I. KÄRISTISCHE TEMPERATUR IN °C	31	32	158	30,5	132,5	144	157	183	143	187	127	157	193					
II. KÄRISTISCHER DRUCK IN kg/cm²	22,9	48,9	100	71,7	112,3	78,1	77,7	65,9	51,7	53	73,5	55,5						
III. VERHALTEN BEI 0°C																		
Dampfdruck in Atm. Dichte bezogen auf H <sub>2</sub> O = 1 Spezif. Volumen (Vol. pro 1kg verflüssigtes Gas)	34,4	23,0	0,3	36,1	4,2	3,7	1,5	0,75	2,5	0,8	2,5	1,4		11,5		MAX. 180		
	0,914			0,91	0,639	1,68	1,435	1,432	0,324	0,321			0,708					
IV. VERHALTEN BEI 15°C	1,09			1,10	1,57	0,68	0,7	0,7	1,05	1,09			1,41					
V. VERHALTEN BEI 30°C																		
Dampfdruck in Atm. Dichte Spezif. Volumen	51,0	32,3	0,80	48,6	7,2	5,8	2,8	1,3	6,2	1,2	6,0	2,6	0,9	1,5	2,66	15	max. 200	
	0,814	4,651	0,821	0,87	1,423	1,590	1,392	0,906				0,689						
	1,83	0,69	1,22	1,62	0,70	0,72	0,72	1,09				1,47						
VI. VERHALTEN BEI 50°C																		
Dampfdruck in Atm. Dichte Spezif. Volumen	70,7	48,9	***	68,0	11,5	8,6	4,0	1,87	8,0	1,8	8,3	4,5	1,8	1,1	2,0	3,8	20	max. 211
	0,538			0,575	0,598	0,377	0,356	0,694										
	1,87			1,68	1,68	0,72	0,74	1,12										
FÜLLUNGSFAKTOREN																		
Bei 0°C	87,5			82,1	83,5	85,0	87,5	87,5	84,0	87,2			82,9					
Bei 15°C	91,8			86,3	91,0	86,5	87,5	90,0	90,0	88,5			86,5					
Bei 30°C																		
Bei 50°C	8,9	2,6		84,2	93,0	92,5	92,5	92,5	92,5	92,5								
SICHERHEITS - GRAD																		
für Prüfungsdruck	87,0	190	120	30	200	30	30	15	15	20	10	20	14	10	6	8	12	80
Bei 0°C	15,3	14,8	12,7	25,0	45,1	37,2	28,2	2,05	2,5	3,0	2,0	4,7	2,0	2,5	1,3,0		3,97	
Bei 15°C	10,5	9,3	9,3	32,5	66,8	12,2	13,0	13,4	26,8	12,0	20,8	12,4	13,5	2,78	1,5,5	1,1,5	1,0,0	3,75
Bei 30°C	7,4	6,7	6,1	7,5	7,8	10,7	8,0	8,7	8,15	22,4	8,3	13,9	8,0	7,8	1,5,9	1,3,1	9,1	7,5
Bei 50°C	2,9	2,6		18,8	31,0	2,8	4,55	5,10	4,50		7,0	4,6	5,5	7,7	6,6	4,7	4,0	6,0
				**											0,6	0,4	3,33	

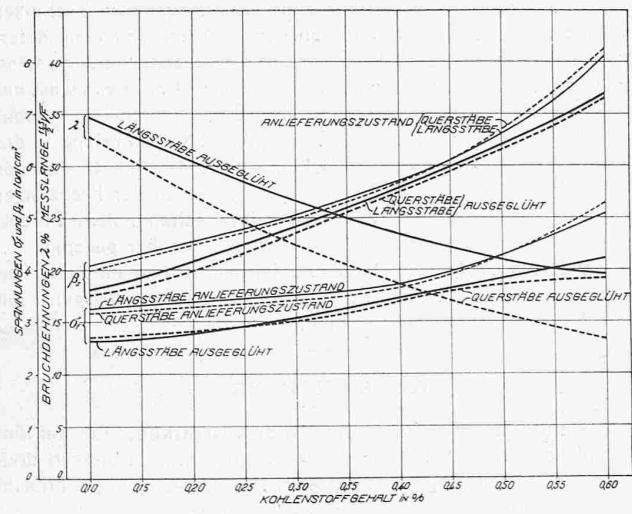


Abb. 8. Zugfestigkeiten  $\beta$ , Fließgrenzen  $\sigma$  und Bruchdehnungen  $\delta$  nicht explodierter Behälter.  
Kohlenstoffstähle geordnet nach C-Gehalt.

4. Gütewert (Arbeitswert) . . . . . c = 1,15
5. Biegezahl, längs . . . . . k = 100 bis 50  
quer . . . . . k = 65 bis 35
6. Kerzhäufigkeit (Normalstab 10 × 10 mm<sup>2</sup>)  
längs . . . . . = 10 bis 6 mkg/cm<sup>2</sup>  
quer (Stäbe gegläut) = 7 bis 4 mkg/cm<sup>2</sup>

Hochwertige legierte Stähle sind als Konstruktionsmaterial zulässig. Die Festigkeitseigenschaften sind vor der Bestellung der Gefässe mit der E. M. P. A. zu vereinbaren.

Die amtliche Prüfung erstreckt sich auf die Gefässe für alle in Abbildung 9 enthaltenen Gase, woselbst auch die Prüfungs- und Füllungsdrücke bzw. die höchstzulässigen Füllungen entsprechend dem internationalen Uebereinkommen und dem jetzigen schweizer. Regulativ von 1909 angegeben sind. Die nebenstehende Tabelle enthält auch wertvolle Angaben über kritische Temperaturen, kritische Drücke, Dichten, spezifische Volumina, Dampfdrücke bei Temperaturen von 0°, 15°, 30° und 50° C und gibt Aufschluss über die Füllungsfaktoren und die Sicherheitsgrade gegen Bruch.

In Abbildung 9 ist der Verlauf der Innendrücke für die verschiedenen verdichteten, verflüssigten und unter Druck gelösten Gase, auf die sich die amtliche Prüfung erstreckt, bei Temperaturen von 0°, 15°, 30°, 50° graphisch dargestellt und die Sicherheitsgrade gegen Bruch, die Prüfungs- und Füllungsdrücke, diese letzten bei 15° C, angegeben. Die erstmalige Prüfung neuer, noch nicht gebrauchter Behälter umfasst:

1. Eine eingehende Qualitätsprüfung des durch Zerschneiden einer oder mehrerer Flaschen erhaltenen Konstruktionsmaterials, gemäss dem Versuchsprogramm der E. M. P. A.
2. Die Messung der geringsten Wanddicke an einer Anzahl von rund 10% der leichtesten Gefässe von sämtlichen neuen Flaschen einer Serie und die Bestimmung der rechnerischen Spannung, entsprechend dem massgebenden Prüfungsdruck nach der Ringformel:

$$\sigma_r = \frac{\text{Innendruck} \times \text{Innenradius}}{\text{Kleinste Behälterwand-Stärke}} = \frac{p_i \cdot r}{\delta}$$

Die grösste Ringspannung  $\sigma_r$  infolge des Prüfungsdruckes darf höchstens  $\frac{2}{3}$  der Fließgrenze des Materials (Probestab dem Gefäß entnommen) erreichen. Bei geschweißten Gefässen darf diese Ringspannung 1000 kg/cm<sup>2</sup> nicht übersteigen.

3. Feststellung der Härte und der Gleichmässigkeit des Behältermaterials durch Kugeldruckversuche an der unter 2. erwähnten Auswahl von 10% von sämtlichen neuen Gefässen.

4. Hydraulisches Abpressen der entsprechend 2. und 3. geprüften Behälter auf den vorgeschriebenen Prüfungsdruck (Tabelle). Die Gefässen müssen dabei dicht bleiben und dürfen keine bleibenden Formänderungen aufweisen.

Ergebnis dieser Prüfung einen den Vorschriften entsprechenden Befund, so werden sämtliche neuen Behälter mit dem Prüfstempel der E. M. P. A. versehen und die Gefässen für den Gebrauch freigegeben. Behälter, die den Prüfungsbedingungen nicht entsprechen, werden von der E. M. P. A. nicht abgestempelt und sind für den Verkehr nicht zulässig.

Die erstmalige Prüfung von neuen Behältern hat sofort nach ihrer Herstellung zu erfolgen und ohne diese Prüfung dürfen neue Behälter nicht dem Verkehr übergeben werden.

Die nachherige periodische Wasserdruckprobe bis zu dem jeweilig vorgeschriebenen Prüfungsdruck, der bereits der erstmaligen Prüfung unterzogenen Behälter, erfolgt:

- a) alle zwei Jahre bei Gefässen für Chlor, Stickstofftetroxyd, schweflige Säure, Chlor-Kohlenoxyd, Chlor-Methyl, Chlor-Aethyl;
- b) alle fünf Jahre bei Gefässen für alle übrigen verdichteten, verflüssigten und unter Druck gelösten Gase, mit Ausnahme von
- c) Acetylen in Azeton gelöst, dessen Gefässen und Füllmasse alle zehn Jahre einer sorgfältigen Untersuchung unterzogen werden, ohne Ausführung der Wasserdruckprobe. Allfällige Veränderungen des Behältermaterials, der Füllmasse und Rostbildungen, werden festgestellt durch stichweise Prüfung eines, einer grössern Anzahl entnommenen Gefässes, das zerschnitten wird.