

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 87/88 (1926)
Heft: 21

Artikel: Festigkeitsuntersuchungen an Transportflaschen für komprimierte Gase als Grundlage für ein neues Regulativ
Autor: Roš, M.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-40896>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 13.03.2025

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

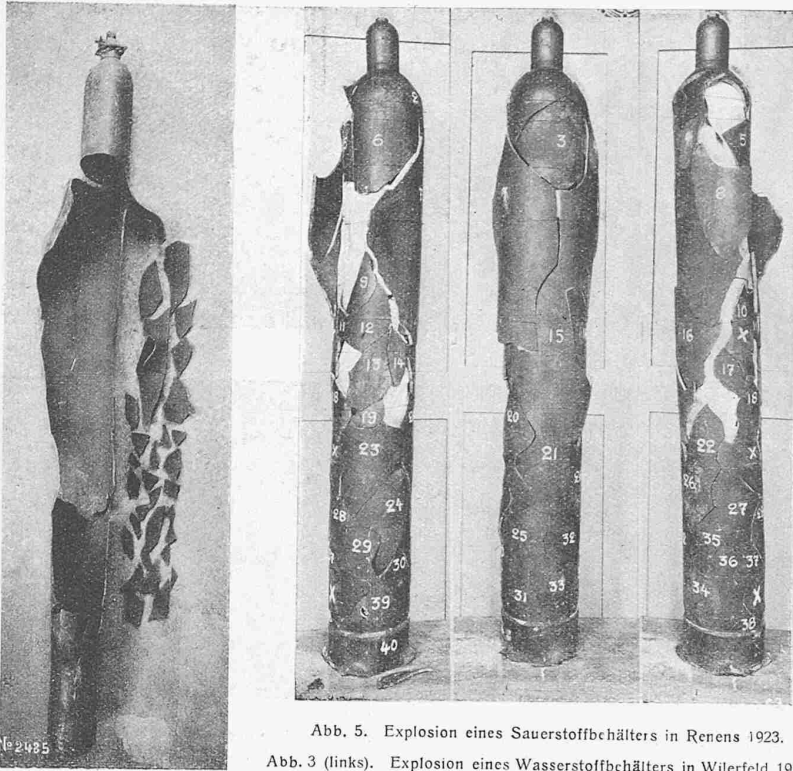


Abb. 5. Explosion eines Sauerstoffbehälters in Renens 1923.
Abb. 3 (links). Explosion eines Wasserstoffbehälters in Wilerfeld 1922.

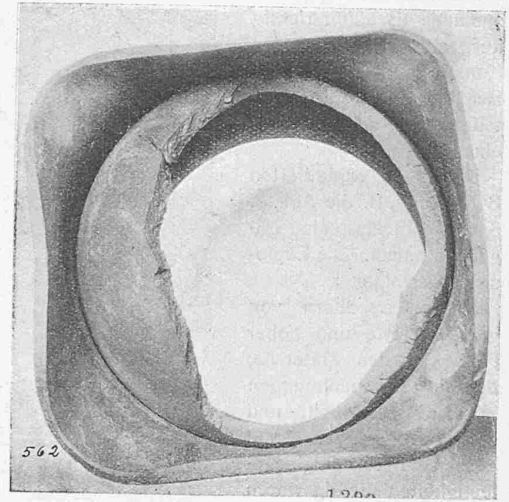


Abb. 4. Explosion eines Sauerstoffbehälters in Colombier 1922.

Festigkeitsuntersuchungen an Transportflaschen für komprimierte Gase

als Grundlage für ein neues Regulativ.

Von Prof. Dr. Ing. M. ROS, Direktor der E. M. P. A.¹⁾

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 Gefässe 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 Gefässe, 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,

¹⁾ 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 (Gütwerte) 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 Gefügebeschaffenheit und seine Festigkeitseigenschaften ist und in welchen weiten Grenzen diese Eigenschaften schwanken.

Es lagen 25 Beispiele richtig ausgeglühter Behälter vor. An unausgeglühten Gefässen sind 12 Stück vorhanden und 15 Gefässe deuten auf unvollkommenes Ausglühen hin. Zwei Gefässe 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 niedrigeren 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 Anlieferungszustande 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 Gleichgewichtszustande (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 spröde und gegen Stosswirkungen empfindlich;

c) Das Mikrogefüge des Konstruktionsmaterials 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 t/cm²
Fließgrenze rd. 0,6 der Zugfestigkeit . . = 2,4 bis 4,5 t/cm²
Sie darf 4,5 t/cm² nicht überschreiten.

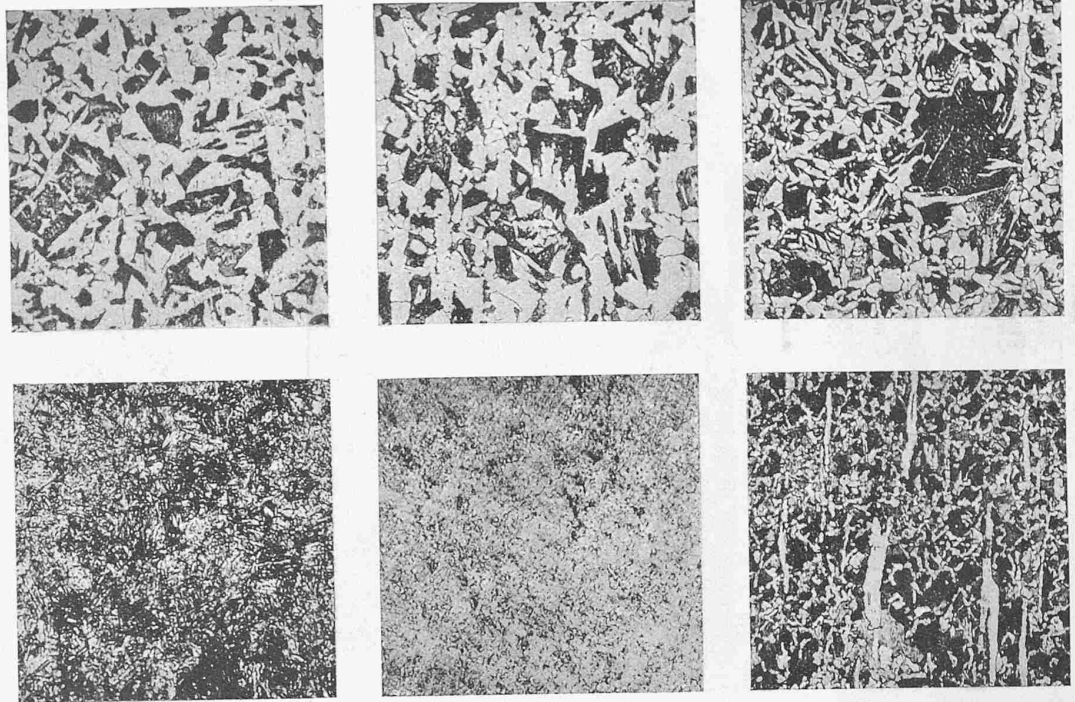


Abb. 7. Mikrogefüge von explodierten Behältern (in 110-facher Vergrösserung).
Wasserstoffbehälter Altdorf 1921. Wasserstoffbehälter Wilerfeld 1922. Pressgasbehälter Lachen 1923.
Oben je im ausgeglühten, darunter je im Anlieferungszustand.

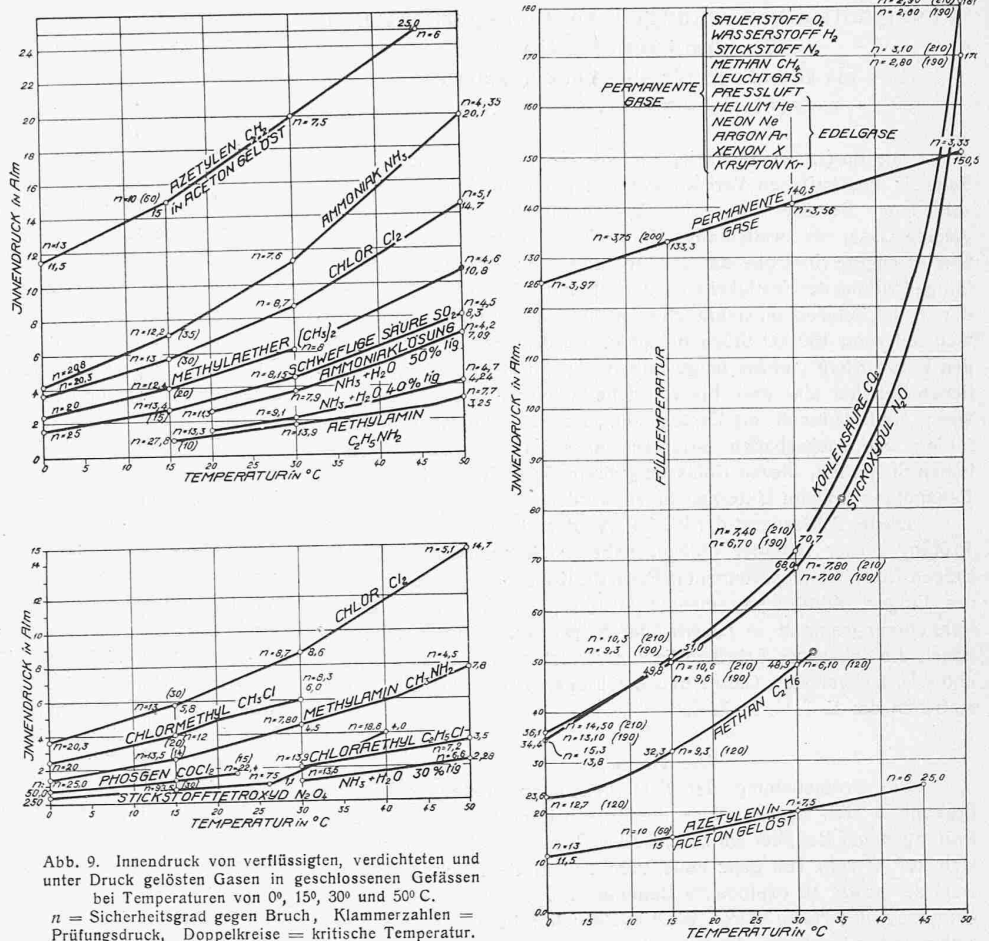


Abb. 9. Innendruck von verflüssigten, verdichteten und unter Druck gelösten Gasen in geschlossenen Gefässen bei Temperaturen von 0°, 15°, 30° und 50° C.
n = Sicherheitsgrad gegen Bruch, Klammerzahlen = Prüfungsdruck, Doppelkreise = kritische Temperatur.

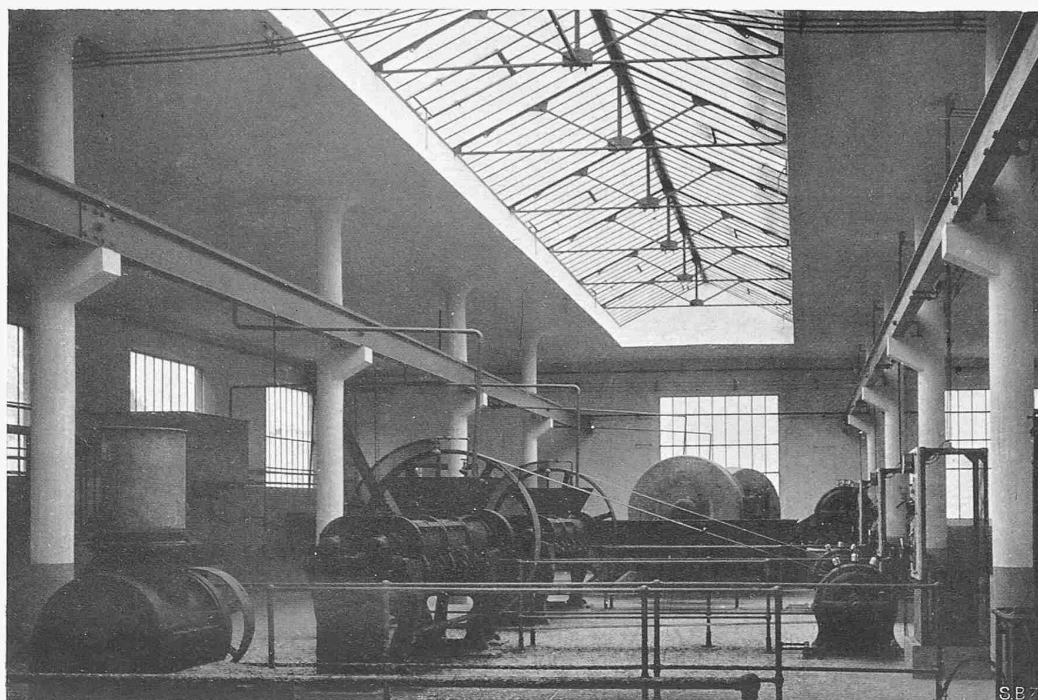
3. Bruchdehnung in Längsrichtung = 30 bis 16%

$$\text{Messlänge: } 5d \text{ bzw. } \frac{11.3}{2} \sqrt{F}$$

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



Runde Säulen, auskragende Platte zur Aufnahme des Oberlichts

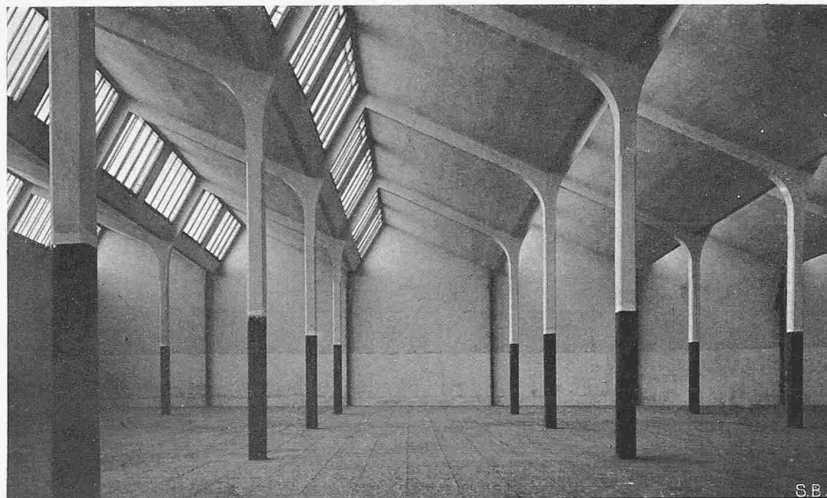


Runde Säulen mit Konsolen für die Kranbahn

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



Kabelfabrik von
Pirelli in Villa-
nueva, Spanien



Spinnerei Benet
in Barcelona
Erbaut 1924



Spinnerei Benet
in Barcelona
Pfeilerabstand 5 m
Keine Zugbänder

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

	VERFLÜSSIGTE GASE														UNTER DRUCK GELÖSTE GASE			VERDICHTETE GASE									
	KOHLENSAURE CO ₂	ÄTHAN C ₂ H ₆	STICKSTOFFTETROXYD N ₂ O	AMMONIAK NH ₃	CHLORID CCl ₂	SCHWEFELIGE SÄURE SO ₂	PROBEN COCl ₂	CHLORÄTHYL C ₂ H ₅ Cl	CHLORÄTHYL C ₂ H ₅ Cl	METHANÄTHER (CH ₃) ₂ O	METHANÄMIN CH ₃ NH ₂	ÄTHANÄMIN C ₂ H ₅ NH ₂	IN WASSER GELÖSTES	AMMONIAK	IN FLÜETON GELÖSTES	IN FLÜETON GELÖSTES	Sauerstoff O ₂	Wasserstoff H ₂	Stickstoff N ₂	Methan CH ₄	Leuchtgas	Pressluft	Helium He	Neon Ne	Argon Ar	Krypton Kr	
<i>Anmerkung:</i> + bei -2°C ++ bei 20°C +++ bei 52°C bei 22°C bei 40°C bei 26°C																											
PRÜFUNGS-DRUCK in Atm.	210	120	30	210	35	30	15	15	20	10	20	14	10	6	8	12	60	1 1/2 facher									
1925 Internationales } 1909 Internes-Schweizer } Reglement	190	190	20	190	30	20	12	12	20	12	20	14	10	6	8	12	60										
Höchste zulässige Füllung ausgedrückt in Füllungsraum des Gefässes pro 1kg Flüssigkeit	1,34	3,30	0,8	1,34	1,88	0,8	0,8	0,8	1,25	1,25	1,65	1,70	1,70	1,20	1,25	1,3	Maximal-Fülldruck 200 kg/cm ²										
EIGENSCHAFTEN DER GASE																											
I. KRITISCHE TEMPERATUR in °C	31	32	158	36,5	132,5	144	157	183	14,3	187	127	157	193														
II. KRITISCHER DRUCK in kg/cm²	72,9	48,9	100	71,7	112,5	78,1	77,7	65,9	51,7	53	73,6	53,5															
III. VERHALTEN BEI 0°C																											
Dampfdruck in Atm.	34,4	25,0	0,3	38,1	4,2	3,7	1,5	0,75	2,5	0,8	CO 2,5	CO 1,4															
Dichte bezogen auf H ₂ O = 1	0,814	0,91	0,819	1,488	1,435	1,32	0,954	0,921	0,708																		
Spezif. Volumen (Vol. pro 1kg verflüssigtes Gas)	1,09	1,10	1,57	0,68	0,7	0,7	1,05	1,09	1,41																		
IV. VERHALTEN BEI 15°C																											
Dampfdruck in Atm.	51,0	32,3	0,80	49,8	7,2	5,8	2,0	1,3	4,2	1,2	CO 4,0	CO 2,8	1,5	2,66	15												
Dichte	0,814	0,91	0,821	0,87	1,435	1,398	1,392	0,974	0,689																		
Spezif. Volumen	1,23	0,69	1,22	1,62	0,70	0,72	0,72	1,09	1,47																		
V. VERHALTEN BEI 30°C																											
Dampfdruck in Atm.	70,7	48,9	3,0	88,0	11,5	8,6	4,0	1,67	6,0	1,8	CO 6,3	CO 4,5	1,1	2,2	3,8	20											
Dichte	0,598	0,875	0,596	1,377	1,556	0,894																					
Spezif. Volumen	1,67	1,48	1,68	0,72	0,74	1,12																					
VI. VERHALTEN BEI 50°C																											
Dampfdruck in Atm.	181	CO 4,0	170	201	14,7	8,30	11,2	3,5	16,6	7,9	CO 12,5	CO 2,8	4,24	7,09	25												
Dichte	0,584	0,51	0,298																								
Spezif. Volumen	1,77	0,78	0,77																								
FÜLLUNGSFAKTOR																											
Bei 0°C	81,3	82,1	81,5	85,0	87,5	87,5	84,0	87,2	82,9																		
Bei 15°C	91,8	86,3	91,0	86,2	87,5	90,0	90,0	88,5	85,5																		
Bei 30°C	99,4	90,0	92,5	89,6																							
Bei 50°C	94,2	95,0	96,3																								
SICHERHEITS-GRAD																											
Für Prüfungsdruck	2,70	1,80	1,20	3,0	2,0	1,90	3,0	1,5	1,5	2,0	1,0	2,0	1,4	1,0	6	8	12	60	1 1/2 facher								
Bei 0°C	15,3	13,8	12,7	25,0	14,5	13,1	20,8	20,5	25,0	50,0	20,0	44,7	20	25	13,0	3,97											
Bei 15°C	10,3	9,3	9,3	19,5	10,8	12,2	13,0	13,4	28,8	12,0	20,8	10,4	13,5	27,8	11,3	11,3	10,0	3,75									
Bei 30°C	7,4	6,7	6,1	7,5	7,9	7,0	7,6	8,7	8,15	22,4	8,3	13,9	8,0	7,8	13,9	13,3	8,1	7,9	7,5	5,56							
Bei 50°C	2,9	2,8	2,8	18,8	11,0	12,8	4,35	5,10	4,50	7,2	4,6	4,5	7,7	6,8	4,7	4,20	6,0	6,0	6,0	3,33							

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. Regulative 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 Füllungsgrade und die Sicherheitsgrade gegen Bruch.

In Abbildung 9 ist der Verlauf der Innendrucke 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 σ_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/cm² 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 Gefässe müssen dabei dicht bleiben und dürfen keine bleibenden Formänderungen aufweisen.

Ergibt diese Prüfung einen den Vorschriften entsprechenden Befund, so werden sämtliche neuen Behälter mit dem Prüfstempel der E. M. P. A. versehen und die Gefässe 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) Azetylen in Azeton gelöst, dessen Gefässe 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 grösseren Anzahl entnommenen Gefässes, das zerschnitten wird.

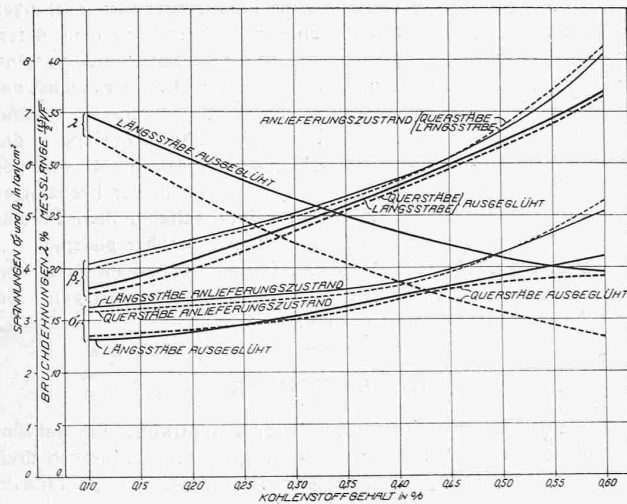


Abb. 8. Zugfestigkeiten β , Fließgrenzen σ und Bruchdehnungen λ nicht explodierter Behälter. Kohlenstoffstähle geordnet nach C-Gehalt.

- 4. Güterwert (Arbeitswert) c = 1,15
- 5. Biegezahl, längs k = 100 bis 50
- quer k = 65 bis 35
- 6. Kerbzähigkeit (Normalstab 10 x 10 mm²)
- längs = 10 bis 6 mkg/cm²
- quer (Stäbe geglüht) = 7 bis 4 mkg/cm²