

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 72 (1954)
Heft: 43

Artikel: Druckabfallmessung an porösen Quarzfiltern
Autor: Keller, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-61276>

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: 14.03.2025

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

Druckabfallmessungen an porösen Quarzfiltern

Von Dipl. Ing. H. Keller, Zürich

DK 66.067.3: 532.55

1. Zusammenfassung

Versuche über den Druckabfall von Luft an keramischem Filtermaterial konnten mit Hilfe dimensionsloser Zahlen allgemein gültig dargestellt werden. Kontrollversuche mit Wasserstoff und der Vergleich mit von anderer Seite durchgeführten Druckabfallmessungen an Füllkörpersäulen bestätigen die Gültigkeit der erhaltenen Beziehung. Um die Berechnung des Druckabfalles, bzw. der zulässigen Durchflussmenge oder der benötigten Filterfläche für das geprüfte Material zu erleichtern, wurde ein Nomogramm aufgestellt.

2. Einleitung und Theorie

Im Rahmen von Untersuchungen, welche für den Bau von Hochdruckhydrier-Anlagen zur Herstellung von Fettalkoholen durchgeführt worden sind, stellte sich das Problem der Gasreinigung vor Wasserstoffhochdruckkompressoren. Aus verschiedenen Gründen sah man zu diesem Zwecke keramische Filterkerzen vor. Die für die Auslegung der Filter benötigten Angaben über den Druckabfall des Filtermaterials waren durch Versuche zu ermitteln. Da die Versuche nur mit Luft statt mit Wasserstoff durchgeführt werden konnten, mussten die Versuchsergebnisse allgemein gültig dargestellt werden, um den Uebergang auf die wirklichen Verhältnisse zu erlauben.

Die Betrachtung der Energiegleichung zeigt, dass für den Druckabfall die Aenderung der kinetischen Energie der Strömung infolge Ortsveränderung und der Einfluss der Zähigkeit wesentlich sind. Infolge der kleinen für die Filterung zulässigen Geschwindigkeiten und Druckabfälle ist die Kompressibilität der filtrierte Gase vernachlässigbar. Dagegen wird die geometrische Form des Filterkörpers für den Druckverlust eine Rolle spielen.

Der Druckabfall und die Aenderung der kinetischen Energie infolge Ortsveränderung können in der dimensionslosen Euler'schen Kennzahl

$$Eu = \frac{\Delta p}{\rho v^2}$$

zusammengefasst werden. Der Zähigkeitseinfluss lässt sich wie üblich durch die Reynolds'sche Zahl berücksichtigen, während man die Form des Filterkörpers durch eine charakteristische Ausdehnung je in Strömungsrichtung und quer dazu einbezieht. Es ist somit zu erwarten, dass die Gleichung für den Druckabfall die Form

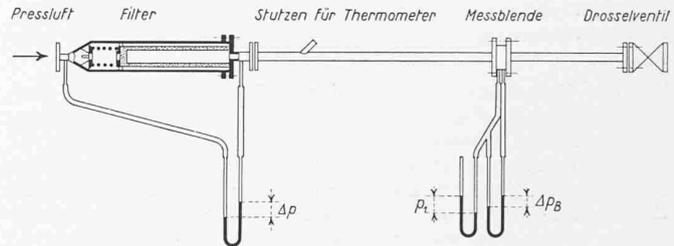


Bild 1. Versuchsanordnung für die Druckabfallmessungen an einer Filterkerze

$$(1) \quad Eu = f(Re, d/l)$$

annimmt. Diese lässt sich in Anlehnung an den Druckverlust in geraden Rohrleitungen noch etwas vereinfachen, indem man Eu und d/l zu einer einzigen dimensionslosen Zahl zusammenfasst:

$$(2) \quad Eu \, d/l = f(Re)$$

Durch Versuche muss somit nur der Zusammenhang zwischen diesen zwei Grössen ermittelt werden, was auf einfache Art und durch Variation einer einzigen Variablen, z. B. der Durchflussmenge, erfolgen kann.

Als massgebende Länge in der Richtung quer zur Strömung wäre hier, wie allgemein üblich, der hydraulische Durchmesser und zwar bezogen auf die Poren des Filtermaterials einzusetzen. Da dieser jedoch sicher in der Grössenordnung des Korndurchmessers d des Filterplattenmaterials liegt und da sich d am ehesten zuverlässig bestimmen lässt, erscheint die Wahl des Korndurchmessers als massgebende Länge quer zur Strömungsrichtung zweckmässiger. In der Strömungsrichtung wird die Dicke l der Filterschicht als massgebend angesehen. Diese ist mit genügender Sicherheit proportional dem tatsächlichen Strömungswege und lässt sich ebenfalls leicht bestimmen. Es ist somit

$$(3) \quad Eu \, d/l = \frac{\Delta p \, d}{\rho v^2 \, l}$$

Um die Berechnung zu vereinfachen, wird nach Erweiterung des Ausdruckes mit der mittleren Filterfläche F die Durchflussmenge G eingeführt:

× Luft Blende $\phi 4 \text{ mm}$	△ Luft Blende $\phi 16 \text{ mm}$ Drosselung
+ " " $\phi 8 \text{ mm}$	△ " " " " "
○ " " $\phi 16 \text{ mm}$	▽ " " " " "
∅ " " " Drosselung	□ " " " " "
○ " " " " "	∅ H_2
○ " " " " "	

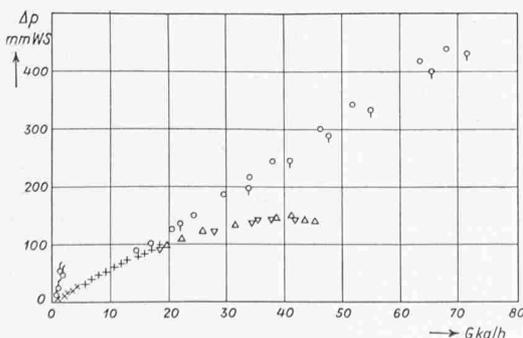


Bild 2. Druckabfall an einer Filterkerze in Funktion der durchfliessenden Gasmengen

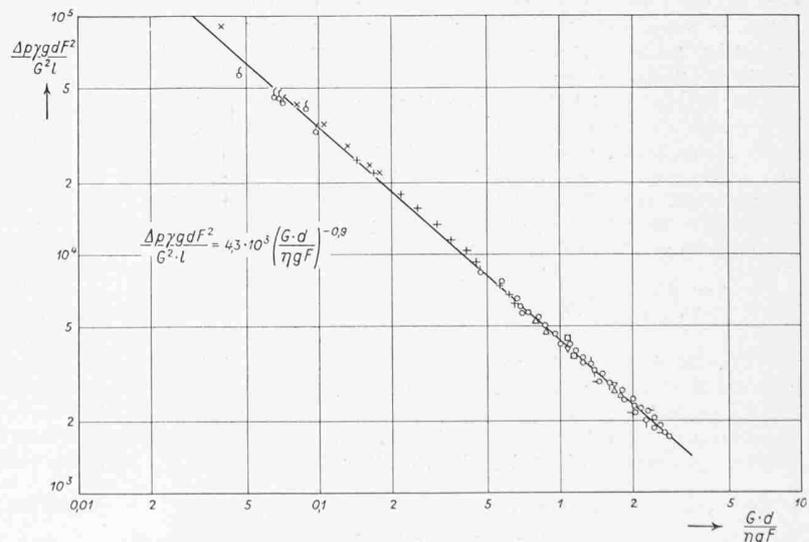


Bild 3. Druckabfall in porösem Filtermaterial in dimensionsloser Darstellung

$$(4) \quad Eu \, d/l = \frac{\Delta p \, \gamma \, g \, d \, F^2}{G^2 \, l}$$

Nach ähnlichen Umformungen findet man für:

$$(5) \quad Re = \frac{G \, d}{\eta \, g \, F}$$

3. Anordnung und Durchführung der Versuche

Die Messungen wurden an einer Filterkerze aus Quarzmaterial QR 10 des Tonwerkes Lohn mit folgenden Hauptdaten durchgeführt:

Aussendurchmesser	60 mm	Porosität	31 %
Innendurchmesser	40 mm	Korngrösse	0,20 mm
Länge	502 mm		

Die Versuchsanordnung ist aus Bild 1 ersichtlich. Versuche an einem Wasserstoffvorwärmer der Fettkoholanlage für die Firma Desmarais Frères in Le Havre erlaubten es, einige Kontrollmessungen mit Wasserstoff am Filter durchzuführen. Die Versuchsanordnung blieb im wesentlichen gleich. Die Messung der Wasserstoffmenge erfolgte jedoch durch eine Blende, welche mit überkritischem Druckgefälle arbeitete.

4. Auswertung der Versuche

In Bild 2 ist für eine Anzahl von Versuchen der Druckabfall $\Delta p = f(G)$ wie üblich aufgetragen. Die Unbrauchbarkeit dieser Methode, selbst bei relativ kleinen Aenderungen der Versuchsbedingungen, liegt auf der Hand. In Bild 3 wurden die Versuche nach der in Abschnitt 2 angegebenen Methode dargestellt. Die verhältnismässig grosse Streuung der Messpunkte bei kleinen Re rührt hauptsächlich von den grösseren Schwierigkeiten der Mengemessung bei kleinen Gas-mengen (prozentual grösserer Einfluss von Ablesefehlern, grössere Toleranz der Blendenmessung) her.

Die Versuchsergebnisse lassen sich durch die in Bild 3 eingetragene Beziehung

$$(6) \quad \frac{\Delta p \, \gamma \, g \, d \, F^2}{G^2 \, l} = 4,3 \cdot 10^3 \left(\frac{G \, d}{\eta \, g \, F} \right)^{-0,9}$$

gut darstellen. Bei der Verwendung dieser Gleichung zu Berechnungen ist folgendes zu beachten:

a) Gleichung 6 gilt streng nur für Filterplatten aus dem Material QR 10 oder aus solchem mit gleichen strömungstechnischen Eigenschaften, weil die Gleichung weder die Porosität noch die Form der Kanäle bzw. der Körner, aus welchen die Filterplatte aufgebaut ist, noch deren Oberflächenrauigkeit berücksichtigt. Diese Faktoren spielen jedoch für den Druckabfall in porösen Körpern eine wesentliche Rolle, wobei der Einfluss der Porosität stark überwiegt [1].

b) Eine Extrapolation nach höheren Reynolds'schen Zahlen ist nicht zulässig, weil, wie später noch gezeigt werden soll, der Uebergang zur turbulenten Strömung ungefähr bei $Re = 3$ beginnt.

c) Die Beziehung gilt nur für leere Filter. Bei vollen Filtern ist der Druckabfall wesentlich höher. (Meist werden die Filter so ausgelegt, dass sie bei einem Druckabfall, der dem doppelten Wert desjenigen für das leere Filter entspricht, gereinigt werden müssen.)

Gleichung (6) ist für die Berechnung nicht sehr geeignet; dies besonders dann nicht, wenn für einen bestimmten zulässigen Druckabfall die benötigte Filterfläche, bzw. die zulässige Durchflussmenge bestimmt werden soll. Wenn man berücksichtigt, dass die Gleichung streng nur für Quarzfilterplatten QR 10 gültig ist, also für $d = \text{konstant}$, so lässt sich die Beziehung für den Druckabfall wie folgt schreiben:

$$(7) \quad \frac{\Delta p \, \gamma \, F^{1,1}}{G^{1,1} \, l \, \eta^{0,9}} = 3,66 \cdot 10^{10}$$

Um die Arbeit weiter zu vereinfachen und um insbesondere die Berechnung der Potenzen mit gebrochenen Exponenten zu vermeiden, wurde auf Grund von Gleichung (7) das Nomogramm Bild 4 aufgestellt. Mit dessen Hilfe kann jede benötigte Grösse rasch und einfach bestimmt werden.

5. Vergleiche mit andern Versuchen

Wenn mir auch keine eingehenden Versuche an Filtern ähnlicher Art bekannt sind, so lassen sich die vorliegenden Ergebnisse doch mit den Resultaten von Druckabfallmessungen

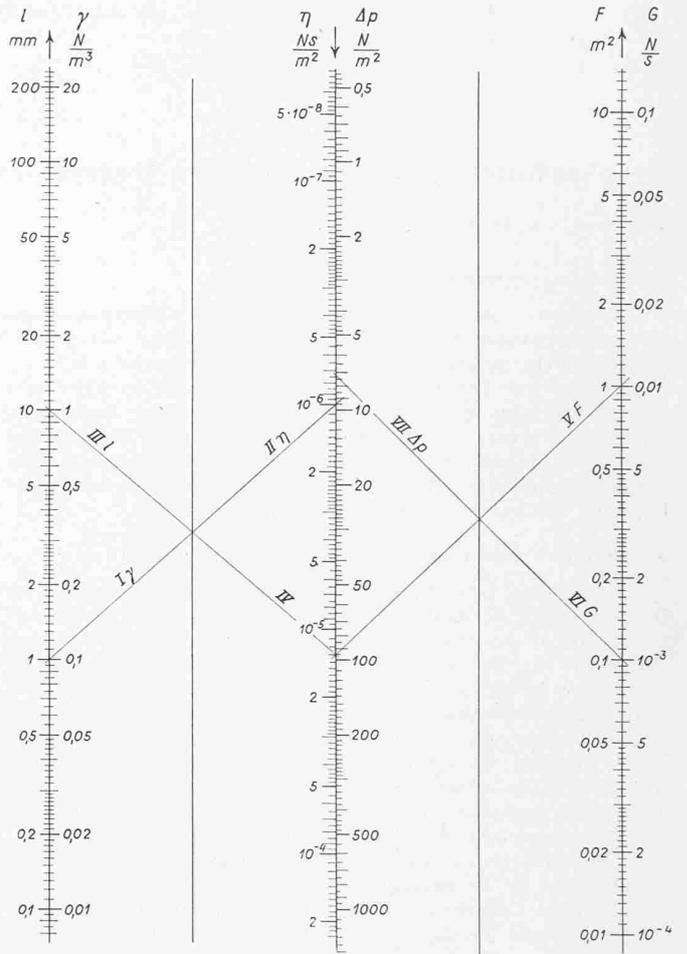


Bild 4. Nomogramm zur Berechnung des Druckabfalles in Filtern aus Quarzmaterial QR 10, gültig für leere Filter und $Re = \frac{G \cdot d}{\eta \cdot F} < 3$

gen an Füllkörpersäulen vergleichen. Es soll im folgenden nur der Vergleich mit der Arbeit von Brownell und Katz [2] durchgeführt werden, da diese die Ergebnisse verschiedener Forscher miteinbezogen haben und da dort auch das uns besonders interessierende Gebiet der laminaren Strömung berücksichtigt wird.

Brownell und Katz gelang es, die Messungen an den verschiedensten Kolonnenpackungen in der Form

$$(8) \quad \frac{\Delta p \, d \, X^n}{l \, v^2 \, \rho} = f \left(\frac{d \, v \, \rho}{\eta \, X^m} \right)$$

darzustellen. Diese Funktion ist nichts anderes als eine Erweiterung von Gleichung (2), in der sowohl $Eu \, d/l$ als auch Re mit einer Potenz der Porosität X multipliziert wurden. Dabei sind die Exponenten m und n der Porosität vom Verhältnis der Kugelförmigkeit ψ der Packungselemente zur Porosität X der Packung abhängig.

Die Umrechnung der vorliegenden Messungen auf die Darstellungsart von Brownell und Katz ist somit relativ einfach. In Bild 5 wird Gleichung (6) unter Berücksichtigung der Porosität $X = 0,31$ und mit einer geschätzten Kugelförmigkeit $\psi = 0,75$ mit den bei Brownell und Katz zusammengestellten Daten verglichen. Es zeigt sich, dass die Messungen an der Filterkerze gut an die Messungen an Füllkörpersäulen anschliessen. Die Uebereinstimmung der Resultate trotz der scheinbaren Verschiedenheit der durchströmten Körper und der Differenz im Durchmesser und in der Form der Teilchen beweisen, dass die gewählte Darstellungsart zweckmässig ist und dass die Versuche mit genügender Genauigkeit durchgeführt werden konnten.

6. Schlussbemerkungen

Aus Bild 5 ist ersichtlich, dass der Uebergang zur turbulenten Strömung bereits bei den höchsten in den Versuchen an der Filterkerze erreichten Werte von Re beginnt. Wie schon

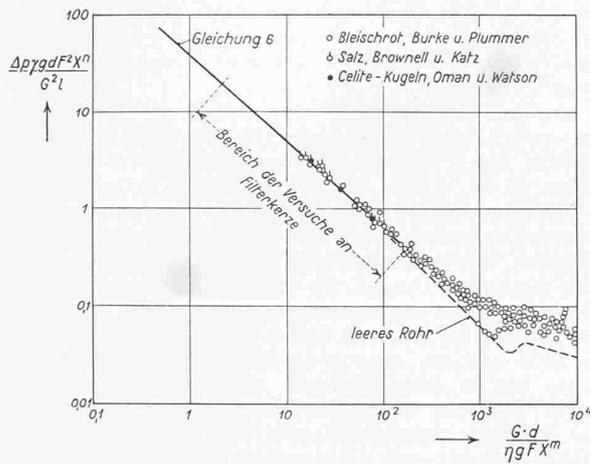


Bild 5. Vergleich der Versuche an einer Filterkerze mit Messungen an Füllkörpersäulen

in Abschnitt 4 bemerkt, darf daher die erhaltene Beziehung für den Druckabfall an Filtermaterial QR 10 nur bis zu $Re = 3$ benutzt werden.

Es ist weiter nicht erstaunlich, dass der Uebergang von laminarer zu turbulenter Strömung bereits ungefähr bei $Re = 3$, statt wie in Rohrleitungen erst bei $Re = 2100$ beginnt. Die für die Druckabfallversuche an der Filterkerze verwendete Reynolds'sche Zahl kennzeichnet ja wohl die Modellähnlichkeit der Strömung durch poröses Material, ist jedoch nicht gleich definiert, wie die Reynolds'sche Zahl, mit der die Strömung in Rohren charakterisiert wird.

Die Tatsache, dass in porösen Materialien der Uebergang von laminarer zu turbulenter Strömung allmählich und ohne Diskontinuität erfolgt, lässt sich dadurch erklären, dass in einzelnen der vielen Strömungskanäle schon bei relativ kleinen Gasmengen turbulente Strömung auftritt, während diese in andern bis zu viel grösseren Gasmengen laminar bleibt. Da nur der Druckabfall entsprechend der Summe aller Teilströme

feststellbar ist, ergibt sich im Gegensatz zur Strömung im Rohr ein allmählicher Uebergang von laminar zu turbulent.

*

Ich möchte an dieser Stelle dem Tonwerk Lohn meinen besten Dank für die Zurverfügungstellung der für die Versuche verwendeten Filterkerze aussprechen. Ebenfalls zu Dank verpflichtet bin ich der Direktion der L. von Roll AG., Zürich, für die Bewilligung zur Veröffentlichung dieser Arbeit sowie Dr. F. Bion für die Bereitstellung der für die Versuche verwendeten Apparaturen.

Bezeichnungen

- d m Korndurchmesser des Filtermaterials
- F m² Filterfläche
- G N/s durchfliessendes Gasgewicht
- l m Dicke der Filterschicht
- m Exponenten
- n Exponenten
- Δp N/m² Druckabfall am Filter
- v m/s Strömungsgeschwindigkeit
- X Porosität
= Volumen der Hohlräume/Gesamtvolumen
- γ N/m³ spezifisches Gewicht
- η Ns/m² dynamische Zähigkeit
- ρ Ns²/m⁴ Dichte
- ψ Kugelförmigkeit = $\frac{\text{Oberfl. e. Kugel m. gl. Volumen}}{\text{wirkliche Oberfläche}}$

$$Eu = \frac{\Delta p \gamma g F^2}{G^2} \text{ Euler'sche Kennzahl}$$

$$Re = \frac{G d}{\eta g F} \text{ Reynolds'sche Kennzahl}$$

Literaturverzeichnis

[1] W. Barth: Der Druckverlust bei der Durchströmung von Füllkörpersäulen und Schüttgut mit und ohne Berieselung. «Chem. Ing. Techn.» 23 (1951) 12, 289.
 [2] L. E. Brownell and D. L. Katz: Flow of Fluids through Porous Media. «Chem. Eng. Progress» 43 (1947) 10, p. 537.
 Adresse des Verfassers: H. Keller, Ing. bei der L. v. Roll AG., Zürich, Uraniastrasse 31/33.

Von der Erdgasverschwendung zur Erdgasnutzung

Von Dr. J. Kopp, Geologe, Ebikon

DK 623.324

Erdgas, ein Nebenprodukt der Erdölgewinnung, hatte in den letzten Jahrzehnten des verflissenen und am Anfang dieses Jahrhunderts fast keinen kommerziellen Wert. Es wurde in der Regel in die Luft ausgeblasen, da man zu diesen Zeiten auf die Erhaltung des Lagerstättendruckes zur rationalen Oelförderung noch wenig Wert legte. Der amerikanische Erdölfachmann B. Soyster bezeichnete die Geschichte der Erdgasindustrie in USA als eine empörende Urkunde ungläublicher Verschwendung und belegte dies durch eine Reihe von Erfahrungstatsachen. In Westvirginien wurden um die Jahrhundertwende täglich rd. 30 Mio m³ Erdgas zwecklos verschwendet. Im Jahre 1907 schätzte man die in die Luft ausgeblasene Erdgasmenge ungefähr gleich hoch wie die technisch verwendete, nämlich 10 Milliarden m³ im Jahr. Mit den verwendeten Gasmengen hätte die Hälfte der amerikanischen Städte beleuchtet werden können.

Die reichsten bis heute bekannt gewordenen Gasbohrungen liegen im Caddo-Feld in Louisiana; ihre Erträge können auf mehrere hundert bis gegen tausend Mio m³ Erdgas geschätzt werden. Die Dawes Well in diesem Feld lieferte fünf Jahre täglich durchschnittlich eine halbe Mio m³ Gas, die in die Luft ausströmten. Die 630 m tiefe Bohrung stand während dieser Zeit meistens in Flammen. Die Wild Gas Well im gleichen Feld blies von 1907 bis 1913 im Tag rd. 120 000 m³ Gas aus.

Der Schweizer Erdölgeologe Dr. Blumer gibt eine interessante Zusammenstellung der grössten Tageserträge von Gasbohrungen. Den Rekord hält ein Brunnen des Fox Feldes bei Oklahoma, der im Tag 35 Mio m³ Erdgas ausblies. Der grösste Gasbrunnen von Texas im Corpus-Christi-Distrikt erreichte 3 Mio m³; der Druck betrug 75 Atmosphären. Das beim Anbohren entweichende Gas und Wasser zerstörte in zwanzig

Minuten den Bohrturm; der Spritzer konnte in 25 km Abstand gesehen werden und das Rauschen nahm man einige km weit wahr. Am 17. Jan. 1916 fing der Brunnen Feuer und brannte zwei Monate lang mit 100 m hoher Flamme, die das Gelände kilometerweit erhellte. Alle Vegetation in einem km Umkreis wurde vernichtet und die Gegend mit Sand und Schlamm überschüttet. Die Mündung des Bohrloches bildete einen siedenden Krater von Wasser, Schlamm und Gas, der die Ueberreste des Bohrturmes verschlang. Auch das texanische Ranger Feld hatte einen Brunnen, der 3 Mio m³ im Tag ergab. Zehn Gasbrunnen in den Erdölgebieten von Oklahoma, Louisiana, Texas und Californien lieferten ungefähr 2 Mio m³ Erdgas im Tag.

In Europa sind grosse Gasbrunnen in Ungarn, Siebenbürgen und Rumänien erbohrt worden. In Kissarmas in Siebenbürgen lieferte eine Gasbohrung im Jahre 1909 eine Million m³. Zweieinhalb Jahre lang entwich das Gas unter donnerndem Getöse, bevor der Ausfluss gebändigt werden konnte. Bei Lipik in Jugoslawien blies ein Gasbrunnen 1918 rd. 1 Mio Kubikmeter Gas aus. In Rumänien gingen noch vor 30 Jahren ungefähr 95 % der Naturgasproduktion in die Luft.

Eine riesige Gasverschwendung herrschte in Texas Panhandle. Von einer nutzbaren Gasmenge von 370 Milliarden m³ wurden nur 113 Milliarden m³ verwertet; davon wurden mehr als 68 Milliarden m³ nach Benzinenzug in die Luft abgeblasen. Das entzogene Benzin stellt weniger als 3 % des Brennwertes des Gases dar. Den Rekord der Gasspritzer hält wohl der mexikanische Las Bocas Brunnen. Nach dem Anbohren des Gas-Oelstromes riss die Verrohrung und es entstanden in der Umgebung Spalten, aus denen Oel und Gas herausdrang. Alles Oel verbrannte, so dass die Bohrung nie ausgebeutet werden konnte. Später erschien Salzwasser.