

ALLGEMEIN

Speicherberechnung

GRUNDLAGE

Die Berechnung eines Hydrospeichers bezieht sich auf die Zustandsänderung des Gases im Hydrospeicher. Die gleiche Veränderung erfolgt auf der Ölseite. Die Problematik bei der Auslegung von Hydrospeichern ist vor allem auf zwei Ursachen zurückzuführen:

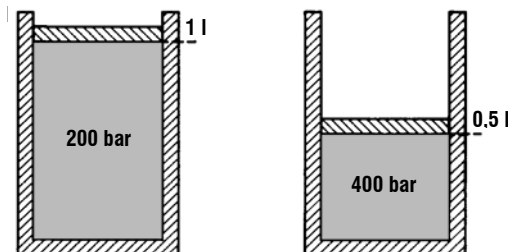
- 1 In der Praxis wird weitgehend vom Idealgasverhalten des Speichergases (Stickstoff) ausgegangen, was aber insbesondere bei hohen Drücken und tiefen Temperaturen nicht mehr zulässig ist.
- 2 Aufgrund der nicht bekannten Wärmeaustauschvorgänge werden entweder isotherme oder adiabate Zustandsänderungen vorausgesetzt.

Das ideale und das reale Gas

Ideale Gase: sind nicht vorhanden
 Reale Gase: Alle Gase, die wir kennen, sind reale Gase. Sie kommen dem idealen Gas am nächsten, je weiter entfernt das Gas von seinem Kondensationspunkt (gasförmig zu flüssig) liegt.
 Stickstoff-Kondensationspunkt - 196° C

Unter Voraussetzung eines idealen Gases lässt sich das Verhalten der Gasfüllung wie folgt anschaulich beschreiben:

Zustandsgleichung ideales Gas



GESETZ NACH BOYLE - MARIOTTE

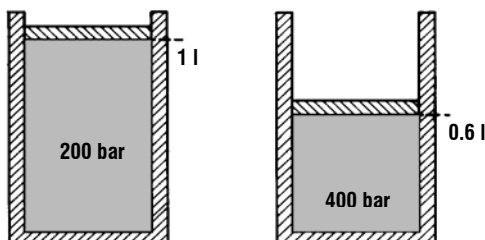
Bei gleich bleibenden Temperaturen ist das Produkt aus Druck und Volumen eines eingeschlossenen Gases immer konstant.

$$P \cdot V = \text{konstant}$$

Da aber keine idealen Gase vorhanden sind, müssen wir das reale Gasverhalten betrachten.

Zustandsgleichung reales Gas

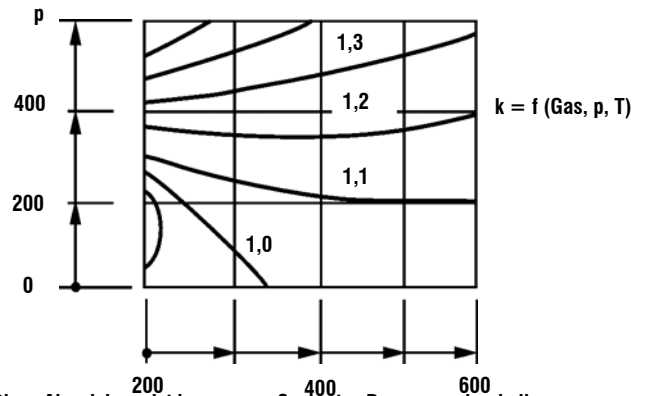
Bei konstanter Temperatur und isothermer Zustandsänderung:



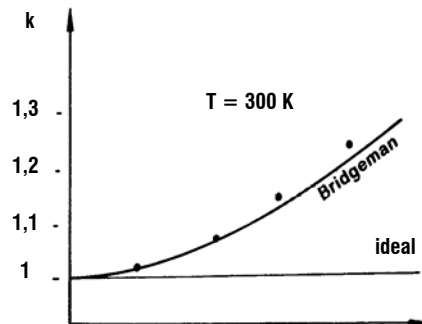
Die Zustandsgleichung $p \cdot V = k \cdot T$ beschreibt das reale Verhalten vor allem bei hohen Drücken und tiefen Temperaturen nicht mehr genügend.

Die Abweichung des realen Gases vom idealen Verhalten wird mit dem Kompressibilitätsfaktor "k" charakterisiert und stellt dar, wie weit das reale Gas vom idealen Verhalten abweicht.

P - T - Diagramm konstanter "k" Werte für Stickstoff



Diese Abweichung ist in unserem Computer-Programm durch die Gleichung von Beattie Bridgeman berücksichtigt.



Die Zustandsänderungen idealer Gase

Der Zustand eines Gases ist durch die drei Größen **Druck, Volumen und Temperatur** (Zustandsgrößen) bestimmt. Als Zustandsänderung bezeichnet man Änderungen von zwei oder allen Zustandsgrößen.

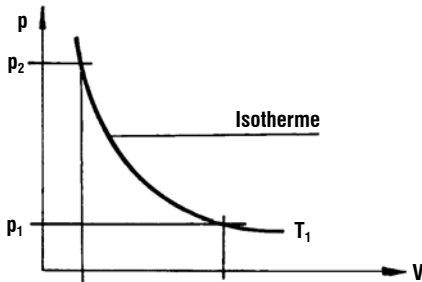
Wenn der Hydrospeicher Druckflüssigkeit aufnimmt oder abgibt, so erfolgt an der Gasfüllung ein Arbeitsaustausch. Wenn die Gastemperatur von der Umgebungstemperatur abweicht, so führt das zum Wärmeaustausch.

Die mit Arbeits- und/oder Wärmeaustausch verbundenen Vorgänge an der Gasfüllung können mit einer isobaren (konstanter Druck), isochoren (konstantes Volumen), isothermen (konstante Temperatur), adiabaten (wärmedicht) oder polytropen (zwischen isotherm und adiabat) Zustandsänderung beschrieben werden.

Nachstehend die Vorgänge mit Volumenänderung:

Die isotherme Zustandsänderung

Eine isotherme Zustandsänderung tritt beim Hydrospeicher auf, wenn sich der Lade- oder Entladevorgang über eine so lange Zeit erstreckt, dass zugleich ein vollständiger Wärmeaustausch mit der Umgebung erfolgt. Bei dieser Zustandsänderung tauscht die Gasfüllung also Arbeit und Wärme mit der Umgebung aus.



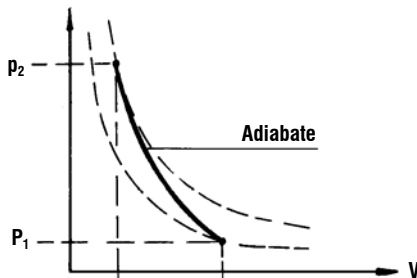
Beziehung zwischen p, V und T

Es gilt das Gesetz von Boyle - Mariotte

$$p \cdot V = \text{konstant} \quad T = \text{konstant}$$

Die adiabate Zustandsänderung

Eine adiabate Zustandsänderung tritt beim Hydrospeicher auf, wenn sich der Lade- oder Entladevorgang in einer so kurzen Zeit erfolgt, dass kein Wärmeaustausch mit der Umgebung erfolgen kann. Es findet nur ein Arbeitsaustausch statt.



Beziehung zwischen p, V und T

Es gilt das Gesetz:

$$p \cdot V^\chi = \text{konstant} \quad \text{mit } \chi = \text{Adiabatexponent}$$

$$\chi = f(p, T, \text{Gas})$$

$$\chi = \frac{c_p}{c_v}$$

c_p = spez. Wärmekapazität bei konstantem Druck
 c_v = spez. Wärmekapazität bei konstantem Volumen

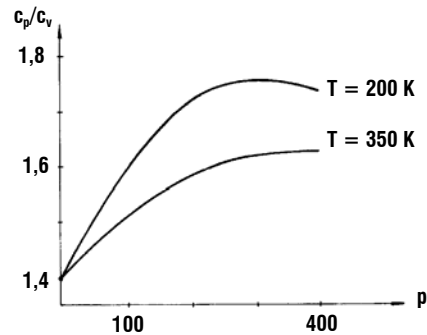
Wird ein ideales Gas vorausgesetzt, hängt der Adiabatexponent von der Anzahl der Atome des Gases ab.

$\chi = 1,67$	einatomiges Gas	} bei 0° C und 1 bar
$\chi = 1,4$	zweiatomiges Gas	
$\chi = 1,3$	dreiatomiges Gas	

Mit steigender Atomzahl nähert sich χ dem Wert 1. Für Stickstoff beträgt der Adiabatexponent $\chi = 1,4$.

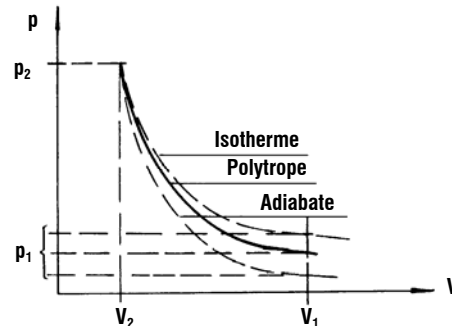
Wie bereits erwähnt, hängt der Adiabatexponent neben dem Gas vom Druck und von der Temperatur ab.

Dieser Adiabatexponent kann deshalb auch größer als 1,4 sein.



Die polytrophe Zustandsänderung

Beim Laden oder Entladen erfolgt die Zustandsänderung selten vollständig isotherm oder adiabat, das heißt, die Gasfüllung tauscht weder die Wärme vollständig aus, noch ist sie vollständig wärmedicht. Bei dieser als polytrop bezeichneten Zustandsänderung gibt es deshalb neben dem Arbeitsaustausch stets auch mehr oder weniger Wärmeaustausch.



Beziehung zwischen p, V und T

Es gilt das Gesetz:

$$p \cdot V^n = \text{konstant} \quad n = \text{Polytropenexponent}$$

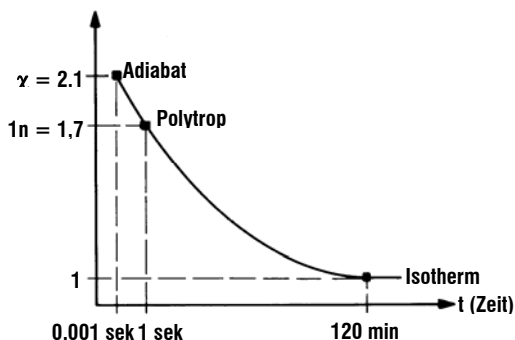
$$n = f(p_1, p_2, p_0, V_0, T_{\text{Gas}}, t, \text{Speicherform})$$

Bei Annäherung an den isothermen Fall geht der Wert "n" gegen 1, bei Annäherung an den adiabaten Fall gegen den Adiabatexponenten " χ " zu.

$$1 < n < \chi$$

Zusammenhang zwischen dem Adiabatexponent " χ " und dem Polytropenexponent "n"

Beispiel für einen Hydrospeicher Typ IHV 50 - 330, bei einem Arbeitsdruck von 300 bar und einer Arbeitstemperatur von 10° C:



χ ist der höchste Wert auf der Kurve. Der Polytropenexponent "n" liegt zwischen adiabat und isotherm und hängt ab von $t, p_1, p_2, p_0, V_0, T_{0el}, T_{Gas}$ und der Speicherform.

Die vorhergehenden Formeln und Erklärungen zeigen, dass eine genaue Speicherauslegung mit Diagramm oder einfachen Formeln nicht möglich ist. Eine exakte Berechnung kann nur mit einem Computerprogramm durchgeführt werden, das alle notwendigen Faktoren berücksichtigt.

OLAER hat dieses Programm !

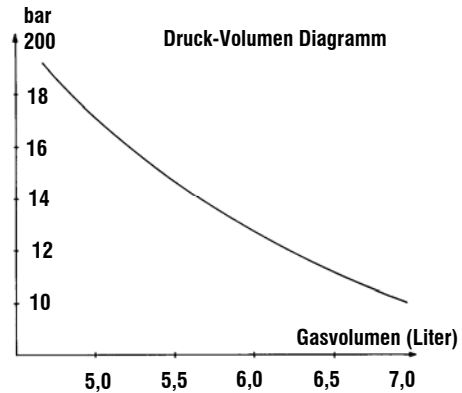
Sie können bei uns jederzeit eine Berechnung anfordern.

Wie ein solcher Computer-Ausdruck aussieht und welche Informationen daraus ersichtlich sind, zeigen nachfolgende Beispiele:

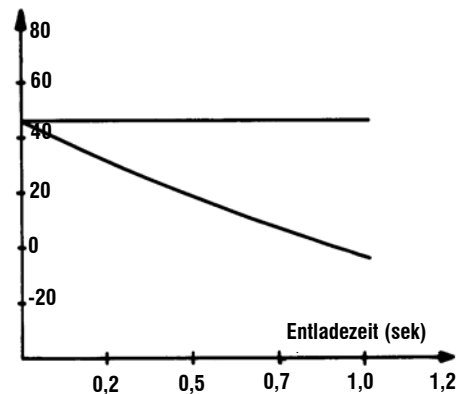
Ausdruck 1 technische Daten bei 45°C

OLAER® Speicher in Hydraulik		Berechnung	
OLAER Industries GmbH Zum Gunterstal 4 D-66440 Blieskastel Phone: (+49) 68 42 / 92 04-0 Fax: (+49) 68 42 / 92 04-15 http://www.olaer.de Email: info@olaer.de		Kunde:	
		Projekt:	
		Datum:	2001.10.29
BLASENSPEICHER			
IHV / 20 - 330 /			
Energiereserve	Enddaten		
Einblende	Verfüll		0.1
Flüssigkeit in der Blase			
Anzahl der Zyklen			1.
Technische Einzelheiten			
p_0 118.7 bar	p_1 150 bar	p_2 220 bar	
Gasdruck	18.1 l		
Enddruck	2 s		
Flüssigkeitstemperatur	20 °C		
Gas-Endtemperatur	20 °C		
Gasvolumen bei Beginn	9.02 l		
Technische Einzelheiten	88.1 l/min		
Flüssigkeit nach dem Entladen			
Enddruck	150 bar		
Gas-Endtemperatur	-7 °C		
Gas-Endvolumen	128 l		
χ 0.7	2.87 l		
Polytropenexponent	1.85		
Isothermische Energie	98 kJ		
Comprimierte Energie	84 kJ		

Ausdruck 2 das entsprechende p - V Diagramm



Ausdruck 3 das entsprechende T - t Diagramm



ÜBERSCHLÄGIGE HYDROSPEICHER - BERECHNUNG

Kenngrößen und Abkürzungen

- p_0 = Gasvorfülldruck (bar)
- p_1 = minimaler Arbeitsdruck (bar)
- p_2 = maximaler Arbeitsdruck (bar)
- ΔV = Nutzvolumen (l) ($V_1 - V_2$)
- T_1 = minimale Arbeitstemperatur (° C)
- T_2 = maximale Arbeitstemperatur (° C)
- t = Entlade- oder Aufladezeit (sek)
- V_0 = effektives Gasvolumen des Speichers (l)
- V_1 = Gasvolumen bei p_1 (l)
- V_2 = Gasvolumen bei p_2 (l)
- n = Polytropenexponent
- p_m = mittlerer Arbeitsdruck (bar)

- üblicherweise bei 20° C
- minimal zulässiger Betriebsüberdruck
- maximal zulässiger Betriebsüberdruck
- abzugebendes oder aufzunehmendes Flüssigkeitsvolumen
- minimale Außen- bzw. Flüssigkeitstemperatur
- maximale Außen- bzw. Flüssigkeitstemperatur
- Zeit, während der der Speicher ein Nutzvolumen entspricht dem Gasvolumen in der Dokumentation
- Speichergasvolumen bei Druck p_1
- Speichergasvolumen bei Druck p_2
- Koeffizient, der den Wärmeaustausch berücksichtigt für die Berechnung des Speichers als Pulsationsdämpfer

Für alle Speicherberechnungen sind die Absolutdrücke einzusetzen (relativ + 1 bar). Die Temperaturen T_1 und T_2 in ° Kelvin ($T + 273$).

Für Energiereserve:

Die Formel zur Berechnung des Gasvolumens V_n lautet:

$$V_0 = \frac{\Delta V \cdot p_1}{p_0 \left(1 - \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1}{n}} \right)}$$

Die Formel zur Berechnung des Nutzvolumens ΔV lautet:

$$\Delta V = V_0 \cdot p_0 \frac{1 - \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1}{n}}}{p_1}$$

Einfluss der Temperatur

Oben aufgeführte Formeln gelten bei annähernd stabilen Temperaturen. Wenn das System größeren Temperaturschwankungen unterworfen ist, muss dies auch bei der überschlägigen Speicherberechnung berücksichtigt werden.

Nach dem Gesetz von Gay - Lussac ist:

$$V'_0 = V_0 \cdot \frac{T_2}{T_1}$$

Gasfülldruck

Die Drücke p_1 und p_2 sind in der Regel vom Hydrosystem bestimmt. Der Gasfülldruck muss entsprechend dem Einsatzfall und der Speicherbauart gewählt werden.

Die Festlegung des Gasfülldruckes erfolgt immer bei maximaler Arbeitstemperatur (T_2). Das Füllen und Kontrollieren des Gasfülldruckes aber meistens bei einer Temperatur von 20° C. Deshalb verstehen sich sämtliche Angaben von OLAER bezüglich des Gasfülldruckes immer bei einer Temperatur von 20° C.

Generell gilt:

Bei Energiespeicherung/Sicherheitsreserve

$$P_0 = 0,9 \cdot p_1 \quad \text{bei } T_2$$

Grenzen : $p_0 \text{ min. } 0,2 \times p_2$
 $p_0 \text{ max. } = p_1$ (mit OLAER abklären; hängt von den Einsatzbedingungen ab)

Bei Gewichtsausgleich

$$P_0 = 0,9 \cdot p_1 \quad \text{bei } T_2$$

Bei Pulsationsdämpfung:

$$P_0 = 0,6 \cdot p_m \quad \text{bei } T_2$$

Bei Speicher-Nachschaltausführung:

Blasenspeicher $p_0 = (0,95 : 0,97) \cdot p_1 \quad \text{bei } T_2$

Kolbenspeicher $p_0 = p_1 - (2 : 5 \text{ bar}) \quad \text{bei } T_2$

Berechnung des Gasfülldruckes p_0 bei 20°C

$$p_{0 \text{ bei } 20^\circ\text{C}} = p_{0 \text{ bei } T_2} \cdot \frac{273 + 20}{T_2}$$

Berechnungsbeispiel:

Gegeben:

max. Arbeitsdruck p_2	190 bar
min. Arbeitsdruck p_1	100 bar
abzugebendes Nutzvolumen ΔV	2 l
Entladezeit	1 sek
min. Arbeitstemperatur T_1	25° C
max. Arbeitstemperatur T_2	45° C
Polytropenexponent n	bei 25° C = 1,638
(gemäß unserem PC-Programm)	bei 45° C = 1,617

Gesucht:

Hydrospeicher-Größe, das heißt, notwendiges Gasvolumen V_0

Lösung:

a) **Bestimmung des Gasfülldruckes p_0 bei maximaler Arbeitstemperatur**

$$p_0 = 0,9 \cdot 101 = 91 \text{ bar} = 90 \text{ bar relativ}$$

b) **Bestimmung des Gasvolumens V_0**

$$V_0 = \frac{\Delta V \cdot \frac{p_1}{p_0}}{1 - \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1}{n}}} = \frac{2 \cdot \frac{101}{91}}{1 - \left(\frac{101}{191}\right)^{\frac{1}{1,6}}} = 6,8 \text{ l}$$

c) **Bestimmung des Gasvolumens V'_0**

$$V'_0 = V_0 \cdot \frac{T_2}{T_1} = 6,8 \cdot \frac{318}{298} = 7,3 \text{ l}$$

d) **Bestimmung des Gasfülldruckes p_0 bei 20° C**

$$p_{0 \text{ bei } 20^\circ\text{C}} = 0,9 \cdot p_1 \cdot \frac{273 + 20}{T_2} = 0,9 \cdot 101 \cdot \frac{273 + 20}{318} = 84 \text{ bar} = 83 \text{ bar relativ}$$

Anhand der Datenblätter ist nun ein Speicher in der gewünschten Serie und dem notwendigen Druckbereich mit einem $V_0 > 7,3 \text{ l}$ zu wählen.

In unserem Beispiel ergibt dies den Hydrospeicher Typ **IHV 10 - 330 - K** oder **IHV 10 - 350 - L** (je nach gewünschter Speicherform)

Die Nachrechnung mit unserem Computer ergibt ein ΔV von 2,06 l bei 25° C und 2,26 l bei 45° C.

Achtung

Wie in der vorgängigen Theorie erwähnt, hat die Temperatur einen großen Einfluss auf die Speicherauslegung. So kann z.B. aus dem gleichen 10 l Speicher bei - 10° C nur noch 1,71 l Öl entnommen werden.