



Hydrospeicher

Speicherberechnungen

OSP 050

GRUNDLAGE

Die Berechnung eines Hydrospeichers bezieht sich auf die Zustandsänderung des Gases im Hydrospeicher. Die gleiche Veränderung erfolgt auf der Oelseite.

Die Problematik bei der Auslegung von Hydrospeichern ist vor allem auf zwei Ursachen zurückzuführen:

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

Das ideale und das reale Gas

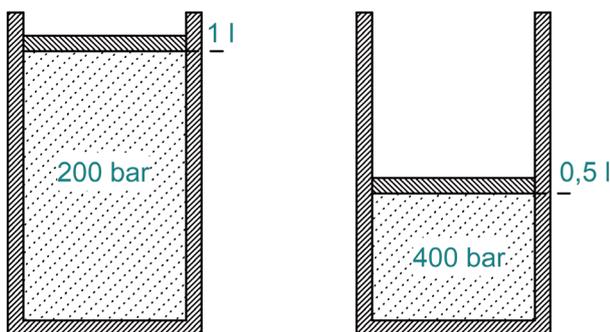
Ideale Gase: sind nicht vorhanden

Reale Gase: Alle Gase, die wir kennen, sind reale Gase. Sie kommen dem idealen Gas am nächsten, je weiter 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

Bei konstanter Temperatur und isothermer Zustandsänderung:



Gesetz nach Boyle-Mariotte

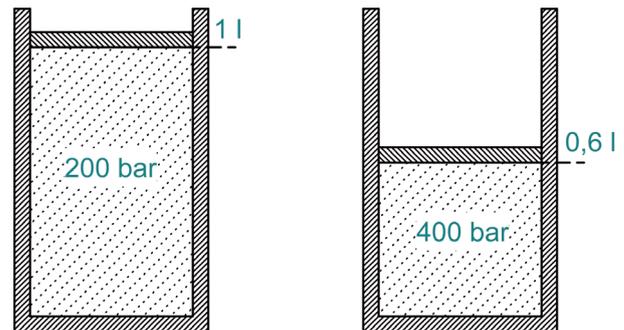
Bei gleichbleibenden Temperaturen ist das Produkt aus Druck und Volumen eines eingeschlossenen Gases immer konstant.

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

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

Zustandsgleichung reales Gas

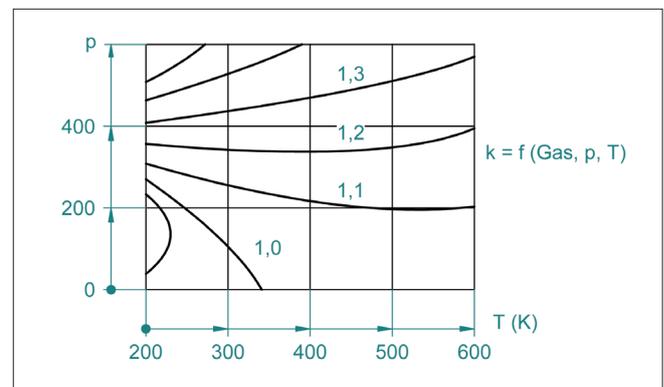
Bei konstanter Temperatur und isothermer Zustandsänderung:



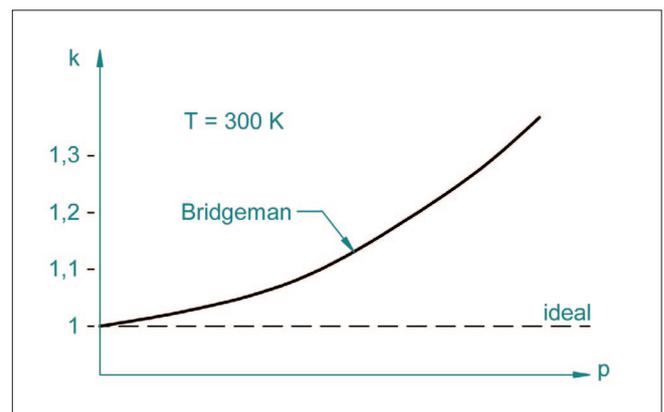
Die Zustandsgleichung $p \cdot V = k \cdot T$ beschreibt das reale Verhalten vor allem bei hohen Drücken und tiefen Temperaturen nicht mehr genügend.

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 Grosscomputer-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** (Zustandsgrösse) bestimmt. Als Zustandsänderung bezeichnet man Änderungen von zwei oder allen Zustandsgrössen.

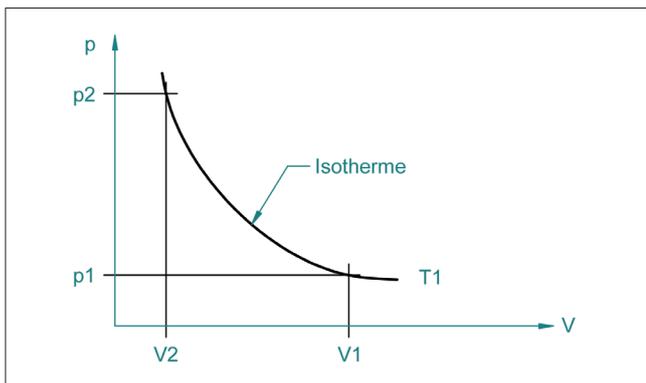
Wenn der Hydrospeicher Druckflüssigkeit aufnimmt oder abgibt, so erfolgt an der Gasfüllung ein Arbeitsaustausch. Wenn die Gastemperatur von der Umgebungstemperatur abweicht, so führt das zum Wärmeaustausch. Die mit Arbeits- und/oder Wärmeaustausch verbundenen Vorgänge an der Gasfüllung können mit einer 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 isothermische Zustandsänderung

Eine isotherme Zustandsänderung tritt beim Hydrospeicher auf, wenn sich der Lade- respektiv 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:

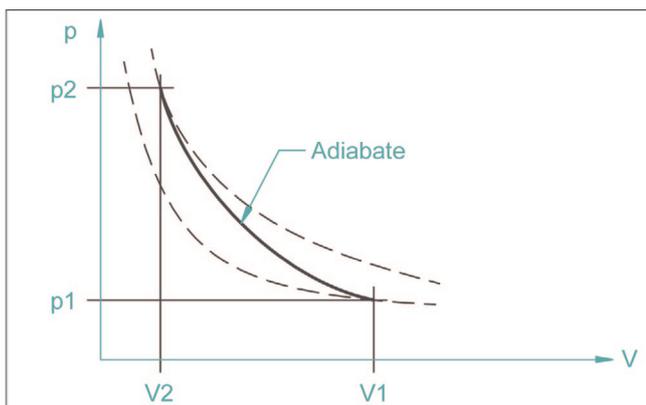
$$p \cdot V = \text{konstant}$$

T = 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:

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

mit χ = Adiabatenexponent

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

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

c_p = spez. Wärmekapazität bei konstantem Druck

c_v = spez. Wärmekapazität bei konstantem Volumen

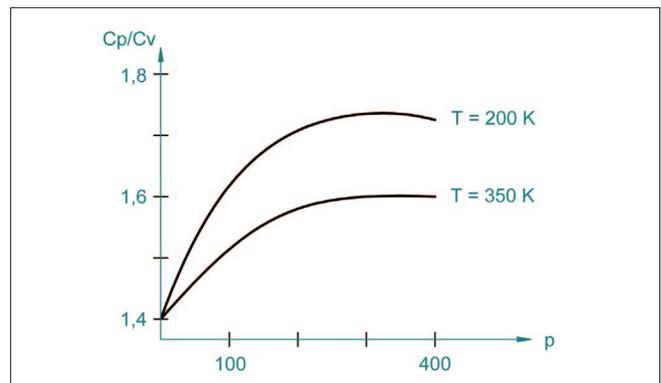
Wird ein ideales Gas vorausgesetzt, hängt der Adiabatenexponent von der Anzahl der Atome des Gases ab.

$\chi = 1,67$	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 Adiabatenexponent $\chi = 1,4$.

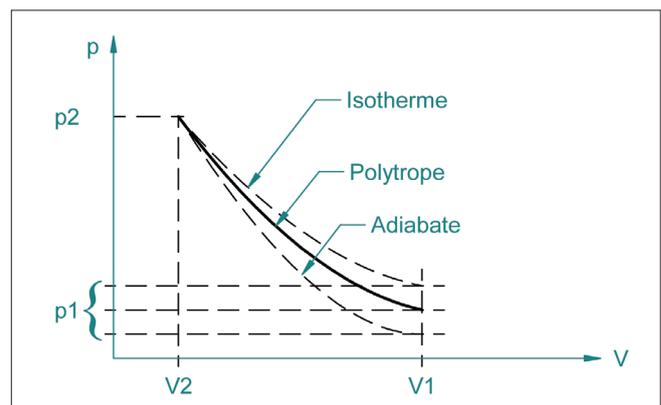
Wie bereits erwähnt, hängt der Adiabatenexponent neben dem Gas vom Druck und von der Temperatur ab.

Dieser Adiabatenexponent 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:

$$p \cdot V^n = \textit{konstant}$$

n = Polytropenexponent

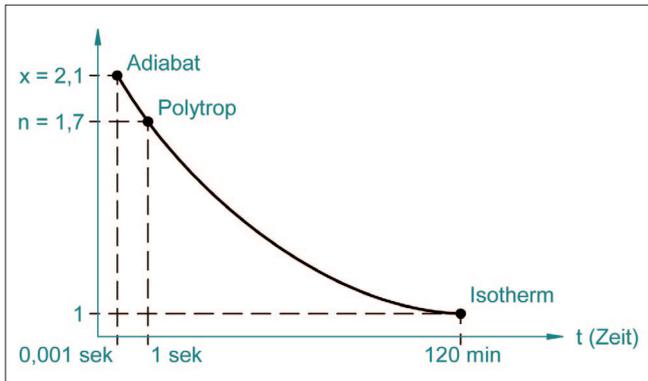
$$n = f(p_1, p_2, p_0, V_0, T_{0el}, T_{Gas}, t, \textit{Speicherform})$$

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

$$1 < n < \chi$$

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

Beispiel für einen Hydrospeicher Typ EHV 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, p₁, p₂, p₀, V₀, 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.

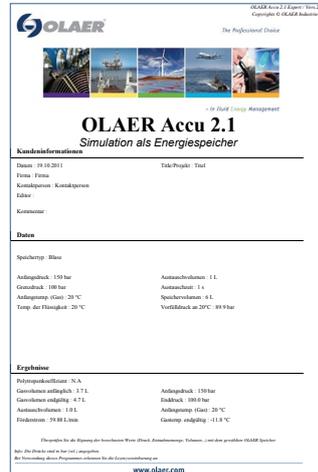
Eine exakte Berechnung kann nur mit einem Computerprogramm durchgeführt werden, das alle notwendigen Faktoren berücksichtigt.

OLAER hat dieses Programm!

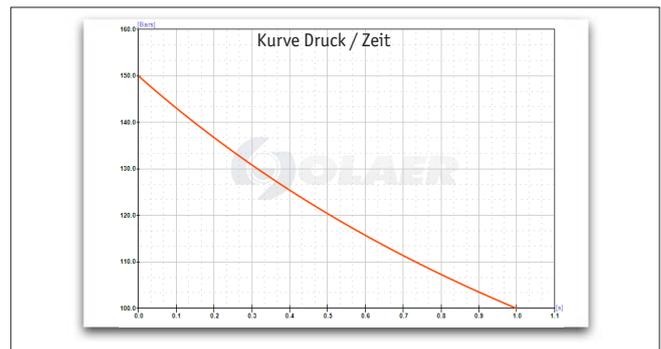
Sie können bei uns jederzeit eine Berechnung anfordern.

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

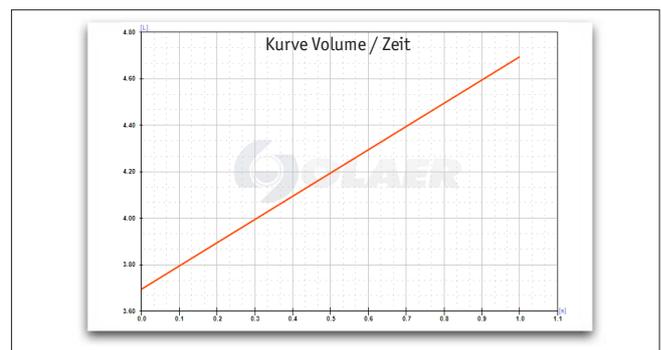
Ausdruck 1 - technische Daten bei 20 °C



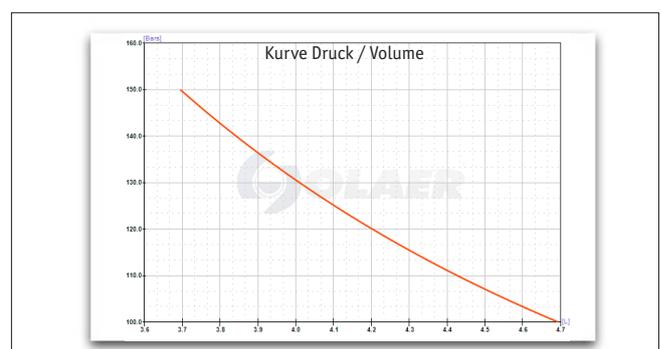
Ausdruck 2 - das entsprechende p - t Diagramm



Ausdruck 3 - das entsprechende V - t Diagramm



Ausdruck 4 - das entsprechende p - V Diagramm



Überschlägige Hydrospeicher-Berechnung

Kenngrößen und Abkürzungen

p_0 = Gasvorfülldruck (bar)	üblicherweise bei 20 °C
p_1 = minimaler Arbeitsdruck (bar)	minimal zulässiger Betriebsüberdruck
p_2 = maximaler Arbeitsdruck (bar)	maximal zulässiger Betriebsüberdruck
ΔV = Nutzvolumen (l) ($V_1 - V_2$)	abzugebendes oder aufzunehmendes Flüssigkeitsvolumen
T_1 = minimale Arbeitstemperatur (°C)	minimale Aussen- bzw. Flüssigkeitstemperatur
T_2 = maximale Arbeitstemperatur (°C)	maximale Aussen- bzw. Flüssigkeitstemperatur
t = Entlade- oder Aufladezeit (sek)	Zeit, während der der Speicher ein Nutzvolumen aufnehmen oder abgeben muss
V_0 = effektives Gasvolumen des Speichers (l)	entspricht dem Gasvolumen in der Dokumentation
V_1 = Gasvolumen bei p_1 (l)	Speichergasvolumen bei Druck p_1
V_2 = Gasvolumen bei p_2 (l)	Speichergasvolumen bei Druck p_2
n = Polytropenexponent	Koeffizient, der den Wärmeaustausch berücksichtigt
p_m = mittlerer Arbeitsdruck (bar)	für die Berechnung des Speichers als Pulsationsdämpfer

$$\frac{p_2 + p_1}{2} = p_m$$

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_0 lautet:

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

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 erfolgt 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 : $p_0 \text{ min.} \geq 0,2 \times p_2$
 $p_0 \text{ max.} = p_1$
 (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

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

Kolbenspeicher

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

Berechnung des Gasfülldruckes p_0 bei 20 °C

$$p_0 \text{ bei } 20 \text{ °C} = p_0 \text{ bei } T_2 \cdot \frac{273 + 20}{T_2}$$

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

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

c) Bestimmung des Gasvolumens V'_0

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

d) Bestimmung des Gasfülldruckes p_0 bei 20 °C

$$p_0 \text{ bei } 20 \text{ °C} = 0,9 \cdot p_1 \cdot \frac{273 + 20}{T_2} =$$

$$0,9 \cdot 101 \cdot \frac{273 + 20}{318} =$$

$$84 \text{ bar} = 83 \text{ bar relativ}$$

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

In unserem Beispiel ergibt dies den Hydrospeicher Typ **EHV 10 - 210 - K** oder **EHV 10 - 210 - 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 Oel entnommen werden.

