



# MODELL GAS-THEORIE

## WASSERSTOFF SPEICHERUNG

### Experiment Gas-Theorie

Der Zusammenhang zwischen den Zustandsgrössen **Druck**, **Volumen** und **Temperatur** eines **idealen Gases** wird durch die Gasgesetze beschrieben.

Je kleiner das Volumen der eingeschlossenen Luft ist, desto grösser ist der Druck in der Luft. (Druck-Volumen-Gesetz)

Je höher die Temperatur ist, desto grösser ist bei einem bestimmten Druck das Volumen, das eine bestimmte Gasmenge einnimmt. (Volumen-Temperatur- Gesetz)

Dies bedeutet:

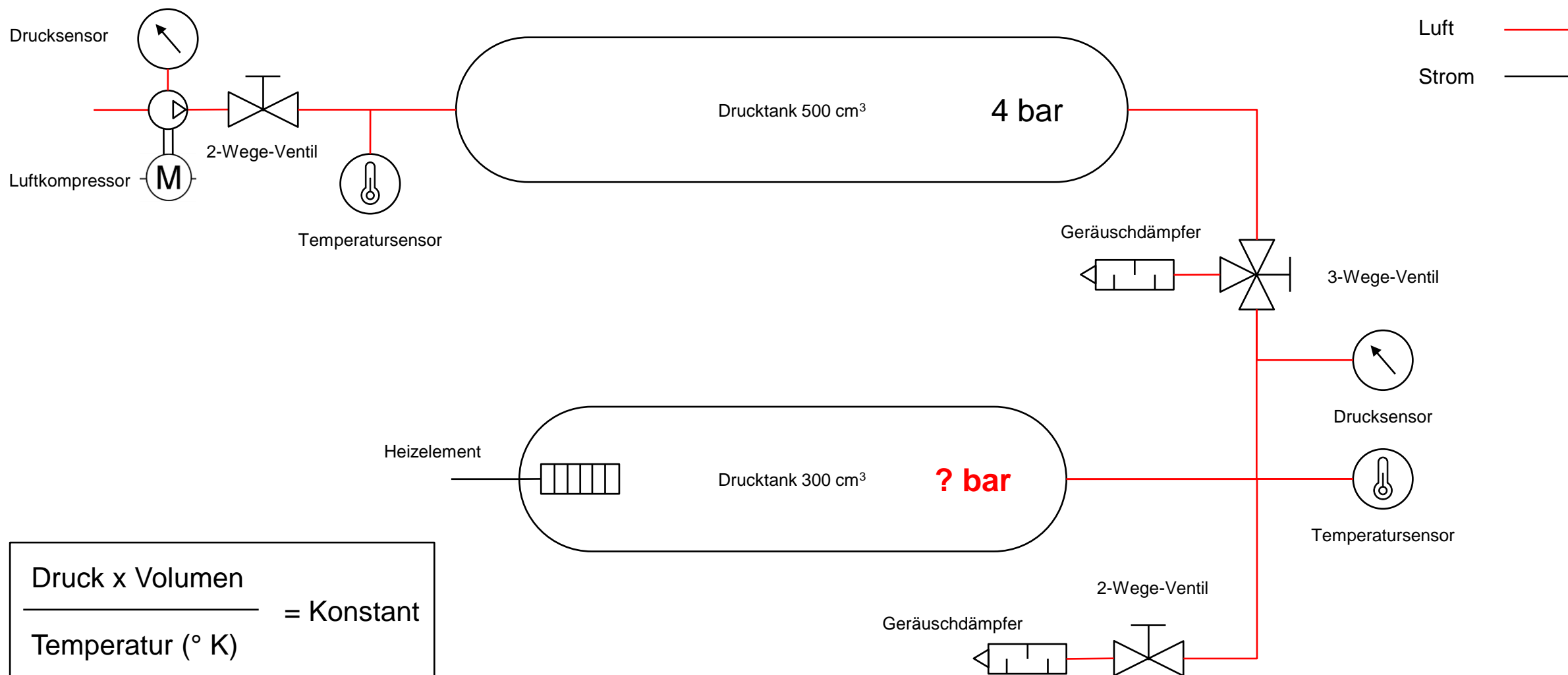
Verändern sich die Aussentemperaturen (u.a. auch durch die Sonneneinstrahlung), ändern sich auch die Gastemperaturen im Tanksystem, d.h. bei gleichem Tankvolumen, aber steigender Gastemperatur, steigt der Druck.

Beim Tankvorgang wird der Wasserstoff im Tank verdichtet, das Tankvolumen bleibt gleich, der Druck steigt, somit steigt auch die Gastemperatur (85 ° C dürfen nicht überschritten werden). Wird der Tankvorgang nun bei 350 bar beendet und die Gastemperatur sinkt mit der Zeit wieder auf die Aussentemperatur, fällt der Druck weit unter die 350 bar. Dies bedeutet, dass der Tank nicht voll ist (Ziel 100 % bei 20° C). Die Zapfsäule muss also je nach Gastemperatur und Füllmenge den Zieldruck erhöhen. Der maximale Betriebsdruck darf aber nicht überschritten werden (350 bar System - 438 bar/85° C oder 700 bar System - 875 bar/85° C)

– 100 kPa = 1 bar

# WASSERSTOFF SPEICHERUNG

## Aufgabe Gastheorie Experiment



## WASSERSTOFF SPEICHERUNG

### Lösung Experiment (Basis ideales Gas)

1. Die Temperatur im Tank (0.5 lt) steigt durch das Verdichten auf 4.1 bar.
2. Die Temperatur im Tank (0.5 lt) sinkt durch das Überströmen der Luft in den Tank (0.3 lt). Hier findet eine Entspannung statt. Im Tank (0.3 lt) hingegen wird die Luft komprimiert und somit steigt hier die Temperatur.
3. Berechnung End-Druck

$$P1 * V1 = P2 * V2$$

$$P2 = \frac{P1 * V1}{V2} = \frac{4 \text{ bar} * 0.5 \text{ lt}}{(0.5 \text{ lt} + 0.3 \text{ lt})} = 2.5 \text{ bar}$$

*(Achtung V2 ist das Volumen nach dem Überströmen, d.h. das Volumen vom Tank 1 vergrößert sich um das Volumen von Tank 2 inkl. Leitungsvolumen)*

## WASSERSTOFF SPEICHERUNG - BETANKUNG

### Betankung (1)

Die **Betankung gasförmiger Treibstoffe** unterscheidet sich für den Tankstellennutzer kaum von der Betankung mit konventionellen flüssigen Treibstoffen. In Bezug auf die Prozessführung, Steuerung und Messung ist die Betankung von Gasen aber deutlich **komplexer**.

Eine Methan-Tankstelle wird in den meisten Anwendungen direkt von einer **Pipeline** gespeist. Wasserstoff wird aktuell noch mehrheitlich per **LKW** zur Tankstelle transportiert. Längerfristig ist es aber unabdingbar, dass eine Alternative für die Versorgung mit Lastwagen angestrebt wird.

Eine Wasserstoffproduktion vor Ort auf der Tankstelle ist in naher Zukunft nicht wirtschaftlich realisierbar. (Netzgebühren, Platzbedarf, Sicherheitsvorschriften u.s.w.)

Im Unterschied zur Betankung flüssiger Treibstoffe, wo die Flüssigkeit in den Fahrzeugtank gepumpt wird, werden **gasförmige Treibstoffe** im Vorfeld verdichtet und mithilfe des Druckgefälles vom Endspeicher in den Fahrzeugtank **überströmt**.

Der Energieeinsatz für die Verdichtung der Gase ist abhängig vom Druckniveaus am Ein- und Auslass des Verdichters. Bei der Verdichtung erhöht sich die Temperatur – dies führt zu einer Erhöhung der Verdichterenergie. Aus diesem Grund erfolgt die Verdichtung normalerweise über mehrere Stufen (Zwischenkühlung)

## WASSERSTOFF SPEICHERUNG - BETANKUNG

### Betankung (2)

Bei der Betankung von gasförmigen Treibstoffen wird grundsätzlich angestrebt, dass ein vollständig gefüllter Drucktank nach jeder Betankung ungefähr die gleiche Gasmasse, b.z.w den gleichen Energieinhalt aufweist.

Was bei flüssigem Treibstoff relativ einfach über einen Schwimmer im Tank definiert werden kann, ist bei gasförmigen Treibstoffen stark von **Tankdruck** und **Tanktemperatur** abhängig.

Die **Nenndrücke** (350 bar, 700 bar) sind definiert bei einer Temperatur von 15 ° C (288.15 K). Die Tankinnentemperatur ist abhängig von der Umgebungstemperatur und der thermodynamischen Zustandsänderung (Druckaufbau) durch das Überströmen des Gases aus dem Endspeicher in den Fahrzeugtank. Dies bedeutet für die Betankungsregelung, dass der **Zieldruck** den Nenndruck überschreitet, um die Temperaturabweichung zu kompensieren.

## WASSERSTOFF SPEICHERUNG - BETANKUNG

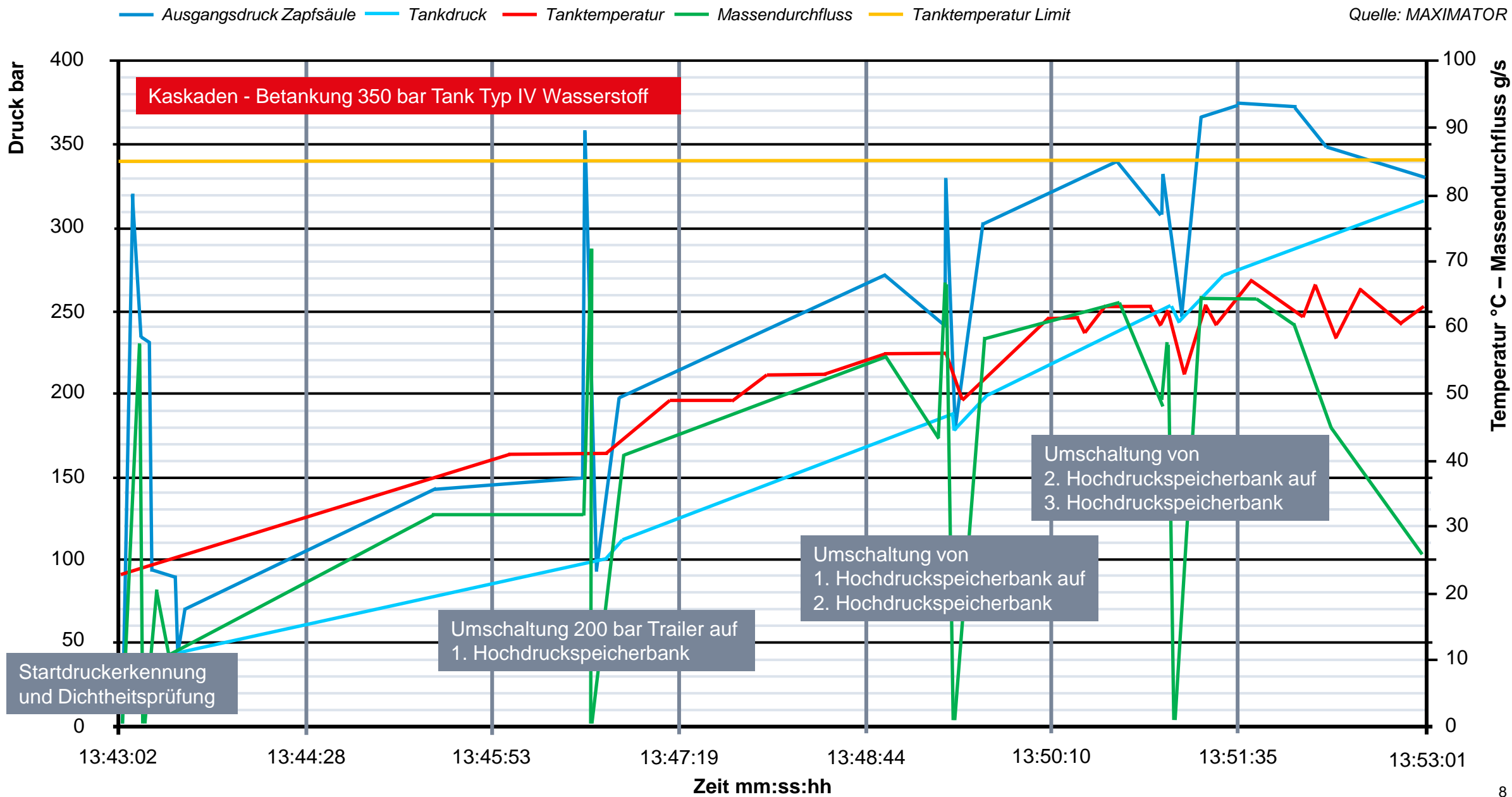
### Betankung (3)

Der Einfluss der **Umgebungstemperatur** kann auf diese Weise sehr einfach **kompensiert** werden. Komplexer wird die Kompensation der Temperaturänderung durch das Überströmen in den Fahrzeugtank. Die Temperatur wird durch die Expansion im Leitungssystem und durch die Kompression im Fahrzeugtank beeinflusst. Auf dem Weg vom Endspeicher mit hohem Druck in den Fahrzeugtank mit tieferem Druck, expandiert das Gas entlang der Leitungen und Armaturen. Vor allem die Ventile mit engerem Querschnitt stellen Orte mit vergleichsweise hohem Druckabfall dar.

Bei **Wasserstoff** ist der **Joule-Thomson-Koeffizient negativ**, d.h. bei einer Druckabnahme kommt es zu einem Temperaturanstieg. Tritt das Gas im Fahrzeugtank ein und wird bei fortschreitender Betankung wieder komprimiert, steigt der Druck. Diese Kompression führt zur Freisetzung von Wärme und somit zu einer Temperaturzunahme. Auch diese Temperaturzunahme hat nun zusätzlich zur Umgebungstemperatur einen wesentlichen Einfluss auf die Festlegung des Zieldruckes.

Je nach Betankungsgeschwindigkeit, Startdruck im Tank, Tankmaterial (Wärmeübergangskoeffizient) und Tankgeometrie können sich stark abweichende **Temperaturprofile** ergeben.

Eine möglichst genaue Definition der Temperaturänderung aufgrund des Überströmens und den Druckaufbau ist Voraussetzung für die Bestimmung des Zieldruckes jeder Betankung.





## WASSERSTOFF SPEICHERUNG

