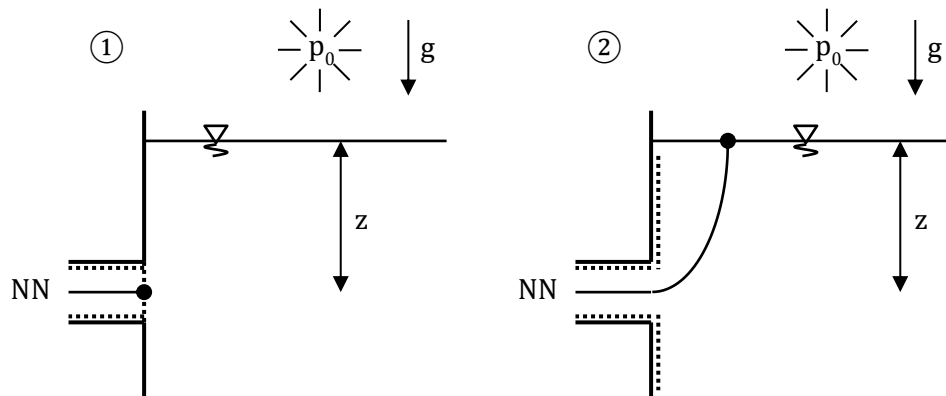


## Anmerkungen zu Austritt ins Freie / „Carnot'scher Austrittsverlust“

Tritt ein Fluidstrahl aus einem Rohr in die Umgebung oder einen sehr großen Behälter aus, gibt es prinzipiell zwei Möglichkeiten diesen Fall zu behandeln:



Im ersten Fall wird das Kontrollvolumen genau an das Ende des Rohres, aber noch im Rohr gelegt. Für das Aufstellen der Energiegleichung sind hierbei die statische Druckenergie, die potentielle Energie, sowie die Geschwindigkeitsenergie zu beachten. Der statische Druck ergibt sich aus dem Umgebungsdruck am Rohraustritt (gemittelt über den Querschnitt). Dieser ergibt sich beispielsweise beim Ausströmen in einen großen Behälter aus dem hydrostatischen Druck  $p_0 + \rho g z$ . Die Geschwindigkeit an dieser Stelle ergibt sich aus der Kontinuitätsbedingung (mit Volumenstrom und Querschnittsfläche des Rohres):  $v = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} D^2}$ . Für die potentielle Energie wird die Höhe des Austrittes – bezogen auf das gewählte Null-Niveau - verwendet. Dies führt im gezeigten Beispiel auf die Energie:  $(p_0 + \rho g z) + \frac{\rho}{2} v^2 + \rho g \cdot 0$

Im zweiten Fall, kann das Kontrollvolumen bis in die Umgebung oder an die Oberfläche des großen Behälters gelegt werden. Der statische Druck ergibt sich wiederum aus dem Umgebungsdruck, bzw. dem Druck an der Oberfläche des großen Behälters. Zu beachten ist hier, dass die Querschnittsfläche des Kontrollvolumens in der Umgebung sehr groß wird und (lt. Konti) die Geschwindigkeitsenergie dadurch gegen Null geht (vgl. Kapitel 5.4.2). Um die Energieerhaltung aber dennoch zu erfüllen muss bei einem solchen Austritt dieser Verlust im sogenannten „Carnot'schen Austrittsverlust“ beachtet werden.

Dieser ist definiert zu  $(p_e)_{carnot} = \zeta_{carnot} \alpha \frac{\rho}{2} v^2$  mit  $\zeta_{carnot} = 1$ . Für turbulente Strömungen gilt  $\alpha = 1$  und für laminare Strömungen  $\alpha = 2$ . Dies führt im gezeigten Beispiel auf die Energie:  $p_0 + \frac{\rho}{2} \cdot 0^2 + \rho g z + 1 \cdot \frac{\rho}{2} v^2$  und ist somit äquivalent zum ersten Fall.

Dieses Vorgehen ist unabhängig von der Beachtung eventuell auftretender Verluste. Im reibungsbehafteten Fall können am Austritt aufgrund dessen geometrischer Ausformung allerdings weitere Verluste hinzukommen, die dann entsprechend zu beachten sind.

Eine weitere Anmerkung:

Bei der Vernachlässigung von Reibung erweitert sich der Strahl nach dem Verlassen des Rohres nicht. Das Kontrollvolumen kann um diesen Freistrahle herum gelegt werden. Der statische Druck prägt sich aus der Umgebung auf und die Geschwindigkeitsenergie ist aufgrund der konstanten Querschnittsfläche gleich der im Rohr vorliegenden. Das Aufstellen einer Energiegleichung bis zur Oberfläche eines großen Behälters ist hier genau genommen nicht zulässig, da der Stromfaden dadurch verlassen wird, führt aber auf dasselbe Ergebnis.