

Extraktberechnung

bekannte Größen

- Würzevolumen: 2000 l
- Leerraum im Tank: 1000 l
- Stammwürze: 11,9 °P

zu berechnende Größen vor Gärung:

- $\text{Würzemasse} = \text{Wassermasse} \cdot \text{rel. Dichte} \rightarrow m_W = 2000 \text{ kg} \cdot 1,048 = 2096 \text{ kg}$
- $\text{Extraktmasse} = \frac{\text{Stammwürze} \cdot \text{Würzemasse}}{100} \rightarrow m_E = \frac{11,9^\circ \text{P} \cdot 2096 \text{ kg}}{100} \approx 250 \text{ kg}$

zu erwarten während der Gärung:

(Richtwerte aus Brauer & Mälzer)

- 2/3 des Extrakt vergären $\rightarrow E_{\text{verg.}} \approx 250 \text{ kg} \cdot 0,66 \approx 165 \text{ kg}$
- 46,3 % werden zu CO₂ $\rightarrow m_{\text{CO}_2} \approx 165 \text{ kg} \cdot 0,463 \approx 76,4 \text{ kg}$
- 15% des vergorenen CO₂ verbleiben im Bier $\rightarrow m_{\text{frei}} \approx 76,4 \text{ kg} \cdot 0,85 \approx 65 \text{ kg}$
- 1 kg CO₂ nehmen 510 l Volumen ein $\rightarrow V_{\text{CO}_2} \approx 65 \text{ kg} \cdot 510 \frac{\text{l}}{\text{kg}} \approx 33117 \text{ l}$
- 1000 l im Tank über Flüssigkeit $\rightarrow V_{\text{durchSensor}} \approx 33117 \text{ l} - 1000 \text{ l} \approx 32117 \text{ l}$

→ zu erwarten ist ein CO₂-Durchfluss von etwa 32117 Litern

CO2-Durchfluss aus Sensordaten:

- Messwert: $\left[\frac{l}{60s}\right]$ alle 5 Sekunden
- $Messwert \cdot \frac{5}{60} = \left[\frac{l}{5s}\right]$
- Aufsummieren aller berechneten Messwerte ergibt gesamten CO2-Durchfluss
 - $Durchfluss_{gesamt} \approx 422690 l$
 - $m_{Durchfluss} = \frac{422690 l}{510 \frac{l}{kg}} = 829 kg$
- Fehlermöglichkeiten:
 - Fluss nach Hauptgärung wurde = 0 gesetzt
 - negative Werte wurden auf 0 gesetzt
 - Werden beide möglichen Fehlerursachen korrigiert, ergibt sich in Summe ein noch höherer Durchfluss. $Durchfluss_{gesamt} \approx 436361 l$
 - Wird nur der zweite Punkt korrigiert, ergibt sich ein ähnlich hoher Durchfluss. $Durchfluss_{gesamt} \approx 422406 l$

detaillierte Extraktberechnung

Bekannt:

- Würzevolumen: $V_{\text{würze}} = 2000 \text{ l}$
- Leerraum im Tank: $V_{\text{leer}} = 1000 \text{ l}$
- Stammwürze: 11,9 °P
- molare Masse von CO₂: $m_{\text{CO}_2 \text{ mol}} = 44,01 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$
- Henry-Konstante von CO₂: $H_{\text{konst}} = 0.0338 \frac{\text{mol}}{\text{lbar}}$
- Druck p [bar], Temperatur T [°C] und Durchfluss Q [l/5s] sind in jedem 5-Sekunden-Schritt bekannt.

zu berechnende Größen vor Gärung:

- Würzemasse = Wassermasse · rel. Dichte → $m_w = 2000 \text{ kg} \cdot 1,048 = 2096 \text{ kg}$
- Extraktmasse = $\frac{\text{Stammwürze} \cdot \text{Würzemasse}}{100}$ → $m_E = \frac{11,9^\circ \text{P} \cdot 2096 \text{ kg}}{100} = 249,424 \text{ kg}$

Berechnung in jeden Messwert i (Schleife):

- $K_i = T_i + 273,15$
Temperaturwert in Kelvin
- $\rho_i = \frac{p_i \cdot 100000}{188,9 \cdot K_i}$
Dichte [kg/m³] aus Gasgesetz inkl. Umrechnung bar → Pascal
(https://de.wikipedia.org/wiki/Thermische_Zustandsgleichung_idealer_Gase)
(https://de.wikipedia.org/wiki/Gaskonstante#Spezifische_Gaskonstante)
- **ausströmendes CO₂:**
 - $m_{\text{Durchfluss } 5i} = Q_i \cdot \rho_i \cdot 0,001$
Masse des Durchfluss [kg] der letzten 5s inkl. Umrechnung l → m³
 - Masse des gesamten Ausgeströmten CO₂ durch Aufsummieren
- **CO₂ im Tank über dem Bier:**
 - $m_{\text{frei Tank}} = \rho_i \cdot V_{\text{leer}} \cdot 0,001$
Masse des freien CO₂ im Tank [kg] inkl. Umrechnung l → m³
- **im Bier gebundenes CO₂:**
(z.B <https://de.wikipedia.org/wiki/Henry-Gesetz>)

- $H_{TempKomp} = e^{2400 K \cdot (\frac{1}{K_i} - \frac{1}{298,15 K})}$
- $H_{koeff} = H_{konst} \cdot H_{TempKomp}$
- $c_{CO2} = H_{koeff} \cdot p_i$
- $m_{CO2 in Bier} = c_{CO2} \cdot V_{Wuerze} \cdot m_{CO2 mol}$

Masse des im Bier gelösten CO2 [kg] berechnet über Henry-Gesetz

- **gesamt entstandenes CO2:**

- $m_{CO2 total} = m_{Durchfluss 5i} + m_{frei Tank} + m_{CO2 in Bier}$
Summe aller Masseanteile des entstandenen CO2 [kg]
- → ergibt mit unseren Messwerten am **Ende der Gärung 209 kg**

mögliche Fehler:

- Temperatur am Sensor ist höher als im Tank
 - mit 10K mehr in der Rechnung für das ausgeströmte CO2 ergeben sich **insgesamt 202 kg CO2**