



Karbonisierung ohne Probleme

Natürliche Karbonisierung: Wie verhindert man einerseits "Flaschenbomben" und andererseits "laues Bier"? Handlingtipp Nr. 12

BrauLabor

**Karbonisierung
natürlich
Handlingtipp**

Tipps für das Braulabor

Karbonisierung = Anreicherung mit Kohlenstoffdioxid.

Im Verlaufe der alkoholischen Gärung bildet sich Kohlenstoffdioxid und Ethanol. Kohlenstoffdioxid (syn. Kohlendioxid, Kohlensäure) CO_2 entsteht bereits während der Hauptgärung oder Primärgärung, löst sich bis zu einem gewissen Grad im Jungbier, entweicht aber weitestgehend via Gärglocke/Gärröhrchen aus dem Gärbehälter. Um das Bier aber richtig genussfähig und spritzig zu machen, in der Fachsprache optimale Rezens zu erreichen, also letztlich die Biertyp-abhängige oder persönlichen Geschmack gewünschte CO_2 -Menge ins Bier zu lösen bedarf es der Nachgärung oder Sekundärgärung, beim Heimbrauer i.d.R. die Flaschengärung. Dieser Kohlensäuregehalt variiert zwischen 3.5 und 9 g/L CO_2 . Diese Menge an CO_2 lässt sich aber nicht unter normalem Luftdruck oder grösserer Kälte, bei der sich CO_2 besser lösen kann (Bsp. Konz. bei 25°C 1.501 g/L = 0.9 L CO_2 /L Wasser, bei 0°C 3.149 g/L = 1.7 L CO_2 /L Wasser) ins Wasser bringen. Daher wird die Kohlensäure unter Überdruck ins kalte Bier gelöst.

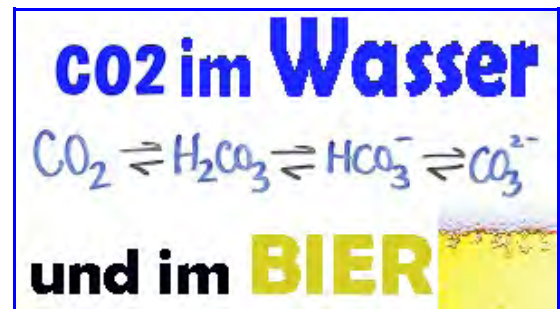


Abb. 1. CO_2 und Wasser.

Das CO_2 löst sich im Wasser und bildet (unstable) Kohlensäure H_2CO_3 . Der Zerfall (Retourreaktion) liefert wieder das Gas CO_2 . Unter Druck und bei tiefer Temperatur löst sich mehr CO_2 im Wasser.

Der **Profibrauer** macht dies üblicherweise mit einem verschlossenen (gespundeten) Metalltank und **Spundapparat**, an dem der CO_2 -Druck und damit die gelöste CO_2 -Menge in Abhängigkeit von der Temperatur eingestellt werden kann (Bsp. Kölsch-Bier, 5.0 g CO_2 /L, Nachgärung bei 10 °C, Überdruck von 1.22 bar am Spundapparat einstellen). Auch ist eine nachträglichen künstliche (forcierte) Karbonisierung mittels CO_2 aus der Druckflasche ein gängiges Verfahren.

Der **Heimbrauer** wendet meistens die "Flaschenmethode", also die **Nachgärung in einer Flasche** mit einem vergärbaren Restextrakt (Maltose, Saccharose, "Speise-Gabe" aus 10%iger Anstellwürze) zur Karbonisierung an. Dabei gilt die Faustregel: 10 g vergärbaren Extrakt wird von der Hefe in ca. 5 g Alkohol und 5 g Kohlensäure CO_2 verstoffwechselt, oder allgemeiner "y g CO_2 = 2y g vergärbaren Restextrakt".

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die Nachgärung mit vergärbarem Restextrakt zu versorgen:

► **Grünschlauchen:**

ein frühes, hefetrübes Abfüllen der Flaschen zur Nachgärung (früh: Abfüllen vor dem optimalen Zeitpunkt der Schlauchreife/Abfüllzeitpunkt, d.h. 1.5-2.0 GG% über Endvergärungswert).

Nachteil: 1. Bestimmung kleiner vergärbaren Restextrakte mit üblichen Aräometern kann nur ungenau bestimmt werden und damit auch der CO_2 -Gehalt, 2. Der Vergärungsgrad kann ebenfalls variabel sein. **Fazit:** zu hohe Restextrakte + höhere Vergärungsgrade können Bierflaschen zum gefährlichen Bersten bringen (Flaschenbomben, abgeschwächt auch Bierfontänen/ Übersäumen). Abhilfe schafft nur ein drucksicherer Behälter mit Spundapparat. **Die definierte gewünschte CO_2 -Menge ist dann abhängig vom Druck und der Temperatur!** ([Info1](#), [Info2](#)). Je nach Bierstil schwankt der Kohlensäuregehalt von 3.0 bis 9.0 g CO_2 /L (siehe [hier](#)).



Abb. 1. Gefürchtete Bierflaschenbomben und Bierfontänen.

[\[Quelle\]](#)



▶ **Extraktzugabe:**

Hauptgärung bis zur vollständigen Endvergärung Laufen lassen, d.h. obergärige Extraktabnahme (ΔE) in 8 h < 0.3-0.4 GG%, untergäriges ΔE in 24 h < 0.3-0.4 GG%. Anschliessend Nachgärung mit zusätzlicher Extraktgabe.

Variante Anstellwürze: mit Speise = unvergorene Anstellwürze (gefroren aus Tiefkühler nehmen!), bzw. entsprechenden Malzextrakt nehmen. Faustregel: 10 bis 15% Anstellwürze (Bsp. 20 L Sud \rightarrow 2 - 3 L Würze)

Variante Zuckerzugabe: einfach eine berechnete Zuckermenge zugeben, entweder 1. als gesamte Zuckermenge für gesamten Jungbiermenge (= Sud) in Wasser gelöst und abgekocht (oder autoklaviert), oder 2. auf jeweiligen Flascheninhalt (0.5 L oder 0.33 L) berechnet zugeben.
Zuckersorten/Zuckerwert:** Haushaltszucker/100% (Saccharose, 10g \rightarrow 5g CO₂/L Bier), Traubenzucker/90.9% (Glukose*, syn. Dextrose), Malzzucker/95% (Maltose*), Trocken-Malzextrakt/90% (12.5 g \rightarrow 5g CO₂/L Bier), Flüssig-Malzextrakt/ 80%, Honig/ 80%.

*: liegen meist als **Monohydrate** vor: C₆H₁₂O₆·H₂O, C₁₂H₂₂O₁₁·H₂O. **: ein "Zuckerwert" < 100% muss bei der Berechnung berücksichtigt werden.

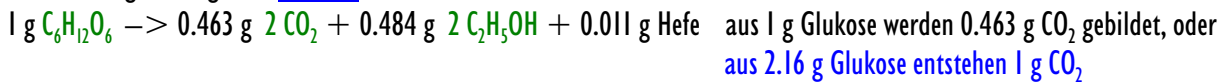
I. Berechnung der korrekten ZUCKERMENGE zur gewünschten Karbonisierung

❶ Gleichung der alkoholischen Gärung:



diese Summgleichung ❶ berücksichtigt weder Nebenprodukte noch die Hefevermehrung, daher verbesserte Formel ❷

❷ Summgleichung nach **BALLING**:



Vorgehen + Beispiel:

Ein Weizenbier soll einen CO₂-Gehalt von 7.0 g/L haben
 Vergärung (Hauptgärung + anschliessende Nachgärung) bei 20 °C

Pilsner 5.5 g/L
 9 °C

Schritt ❶	CO ₂ -Konz. cs[CO ₂] bei Gärungstemperatur* aus Abb. 2 ermitteln (* = sollte der Abfülltemperatur entsprechen; wenn nicht, dann aktuelle Abfülltemperatur als Bezugs-temperatur für cs[CO ₂]-Ermittlung aus Abb. 2 nehmen!) 1.66 g/L	2.35 g/L
Schritt ❷	Differenz zwischen SOLL- und IST-CO ₂ -Wert berechnen 7.0 - 1.66 = 5.34 g/L CO ₂	5.5 - 2.35 = 3.15
Schritt ❸	Benötigte Zuckermenge* berechnen 5.34 x 2.16 g = 11.54 g Zucker pro 1 L Jungbier	3.15 x 2.16 = 6.8
Schritt ❹	Zuckerzugabe nach Endvergärung für Flaschengärung/Nachgärung Sudvolumen bzw. Hauptgärvolumen in [L] x ❸ 20 x 11.54 = 230.8 g Zucker	20 x 6.8 = 136
Schritt ❺	- Zucker in Wasser lösen: ca. 1/2 der Zuckermenge entsprechend - anschliessend zum Kochen erhitzen - zum Sud- bzw. Hauptgärvolumen dazu geben und durchmischen - nach einer Ruhezeit (\rightarrow Hefen absetzen lassen) in Flaschen abfüllen 230.8 g in ca. 120 mL warmem Wasser lösen, erhitzen, dazu fügen, abfüllen	136 g in 80 mL
Alternative 1:	- Zucker in lauwarmem Wasser lösen, evtl. leicht erhitzen bis vollständig gelöst - Anteil pro desinfizierte bzw. sterilisierte Flasche mit Spritze oder Messpipette einfüllen 120 mL : 40* = 3.0 mL Zuckerlösung / 0.5 L Flasche (*bei 20 L-Sudvolumen)	80 : 40 = 2 mL
Alternative 2:	- festen Zucker direkt in Flaschen einfüllen, z.B. mit "Zuckerwaage" (Info) - Flaschenöffnung mit Alufolie abdecken, im Backofen erhitzen: ca. 160 °C, 15 min - Flaschen mit Jungbier aus endvergorener Hauptgärung abfüllen 230.8 g : 40* = 5.8 g Zucker / 0.5 L Flasche (*bei 20 L-Sudvolumen)	136:40 = 3.4 g

Gärtemp [°C]	cs[CO ₂]	Gärtemp [°C]	cs[CO ₂]
0	3.19	13	2.06
1	3.08	14	2.00
2	2.97	15	1.94
3	2.87	16	1.99
4	2.78	17	1.82
5	2.68	18	1.76
6	2.59	19	1.71
7	2.51	20	1.66
8	2.43	21	1.61
9	2.35	22	1.56
10	2.27	23	1.51
11	2.20	24	1.47
12	2.13	25	1.43

Abb. 2. CO₂-Sättigungskonz. cs[CO₂] in g/L bei Normaldruck.

*Hinweis zu "Zuckerwert": kommerzielle Glukose liegt i.d.R. als Glukose Monohydrat vor mit der Summenformel C₆H₁₂O₆·H₂O und der molaren Masse M von 198.17 g (Glukose wasserfrei 180.16 g/mol) \rightarrow d.h. das Kristallwasser macht die handelsübliche Glukose ca. 9.1% schwerer; folglich muss man den errechneten Glukose-Wert mit 1.091 multiplizieren bzw. 9.1% dazu schlagen. Bsp.: Weizenbier - statt 230.8 g Zucker (cf. Schritt 4) benötigt man 230.8 x 1.091 = 251.8 g (bzw. 230.8 + 0.091 x 230.8 = 230.8 + 21.0 = 251.8 g) Traubenzucker! Dito für Maltose-Monohydrat: Zuschlag von 5% bzw. x 1.05.



2. Berechnung der korrekten SPEISEMENGE zur gewünschten Karbonisierung

Mit der Zugabe einer Speise (meist Anstellwürze, die sofort nach der Entnahme aus dem Sudkessel gefroren wurde) zur Nachgärung wird die Berechnung etwas aufwändiger.

Schritt ①	<p>Tatsächlicher Restextrakt $RE_t = 0.1808 \times \text{Stammwürze StW} [^{\circ}\text{P} \equiv \text{GG}\%] + 0.8192 \times \text{scheinbarer Restextrakt } RE_s [GG\%]$ (Alkohol verfälscht Dichtemessung, cf. Info)</p> <p>$RE_t [GG\%] = 0.1808 \times \text{StW} [GG\%] + 0.8192 \times RE_s$</p> <p>Bsp.: Anstellwürze 13 °P, Endvergärungsgrad oder scheinbarer Restextrakt 3.5 GG%</p> <p>$RE_t = 0.1808 \times 13 \text{ °P bzw. GG\%} + 0.8192 \times 3.5 \text{ GG\%} = 5.2176 \text{ GG\%}$</p>	12 °P, 3 GG% 4.6272
Schritt ②	<p>Umgesetzte Extraktmenge $\Delta E_{vg} [g/100g \text{ Würze}] = \text{Stammwürze (der Anstellwürze) StW} [^{\circ}\text{P}] - \text{tatsächlicher Restextrakt } RE_t [^{\circ}\text{P}] = \text{StW} - RE_t$</p> <p>Umgesetzte Extraktmenge $\Delta E [g/100g \text{ Würze}] = 13 - 5.2176 = 7.7824 \text{ GG\%}$</p> <p>d.h. je 100 g Würze wurden 7.7824 g Extrakt umgesetzt</p> <p>1 g Würze 0.07824 g Extrakt</p>	7.3728 0.073728
Schritt ③	<p>Benötigte Speisemasse $m_{\text{Speise}} = \frac{\text{benötigte Zuckermenge/L}}{\text{Extraktumsatzmenge } \Delta E_{vg}}$ [= Schritt ③]</p> <p>Benötigte Speisemasse $m_{\text{Speise}} = \frac{11.54 \text{ g}}{0.07824 \text{ g}} = 147.5 \text{ g}$ → je Liter Jungbier braucht es 147.5 g Speise</p> <p>Hinweis: die notwendige Speisemenge m_{Speise} kann abgewogen werden, aber i.d.R. wird eine Volumenangabe bevorzugt → Umrechnung in Liter; dazu wird die Dichte der Würze benötigt</p>	92.23
Schritt ④	<p>Abschätzung der Würzedichte: relative Dichte $\rho_{20^{\circ}\text{C}/4^{\circ}\text{C}}$ ($= \sum \text{Massekonzentrationen aller Würzebestandteile/Würzevolumen} [kg/m^3]$)</p> <p>Formel für Dichte: $\rho_{\text{Speise}} [g/mL] = \frac{261.1}{261.53 - \text{Extrakt} [^{\circ}\text{P} = \text{GG}\%]}$</p> <p>$\rho_{\text{Speise}} [g/mL] = \frac{261.1}{261.53 - 13} = 1.051 \text{ kg/L} = 1.051 \text{ g/mL}$</p>	1.046
Schritt ⑤	<p>Umrechnung Speisemenge [g] in Speisevolumen [mL] pro L Jungbier vor Nachgärung (Flaschengärung, Sekundärgärung)</p> <p>$V_{\text{Speise}} [mL/L] = m_{\text{Speise}} [g] : \rho_{\text{Speise}} [g/mL]$</p> <p>$V_{\text{Speise}} = 147.5 \text{ g} : 1.051 \text{ g/mL} = 140.34 \text{ mL/L}$</p>	88.17
Schritt ⑥	<p>Umrechnung für Sudvolumen/Hauptgärvolumen</p> <p>$V_{\text{TOT-Speise}} [L] = (\text{Sudvolumen SV} [L] \times V_{\text{Speise}} [mL/L]) / 1'000$</p> <p>$V_{\text{TOT-Speise}} [L] = (20 \text{ L} \times 140.34 \text{ mL/L}) / 1'000 = 2.807 \text{ L}$</p>	1.76

3. Berechnung der korrekten ZUCKERMENGEN zur gewünschten Karbonisierung mit Hilfe von Karbonisierungsrechnern

Wichtig ist, das Bier vor der Abfüllung wirklich komplett ausgären zu lassen (Kriterium: z.B. 3 Tage stabiler Extraktgehalt [GG% (Masxe-%) bzw. FG (Final Gravity)]). Nur dann kann man mit einem der gängigen Karbonisierungsrechner die korrekte Zuckermenge oder Speisemenge berechnen lassen.

Maische Malz und Mehr: [Speise und Spunddruckrechner](#)

Vergleich mit Eigenberechnungen

Rechner

Bsp. Weizenbier	11.54 g Zucker	11.4 g	$\Delta 0.14 \text{ g}$	1.2%
	140.34 mL Speise	146.5 mL	$\Delta 6.2 \text{ mL}$	4.4%
Bsp. Pilsner	6.8 g Zucker	6.7 g	$\Delta 0.1 \text{ g}$	1.5%
	88.17 mL Speise	90.8 mL	$\Delta 2.63 \text{ mL}$	3.0%



Fabier: [Speise-/Zuckerberechnung zur Nachgärung](#)

	Vergleich mit Eigenberechnungen	Rechner		
Bsp. Weizenbier	11.54 g Zucker	10.47 g	Δ1.07 g	9.3%
	140.34 mL Speise	138.85 mL	Δ1.49 mL	1.1%
Bsp. Pilsner	6.8 g Zucker	6.18 g	Δ0.62 g	9.1%
	88.17 mL Speise	86.47 mL	Δ1.7 mL	1.9%

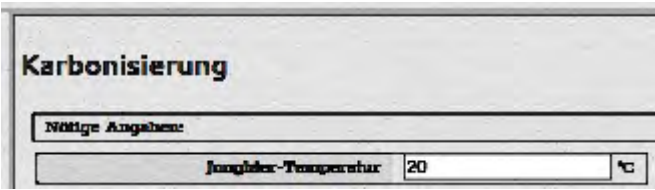
Müggelland Brauerei: [Karbonisierung](#)

	Vergleich mit Eigenberechnungen	Rechner		
Bsp. Weizenbier	11.54 g Zucker	10.7 g	Δ0.84 g	7.3%
	140.34 mL Speise	151.0 mL	Δ10.7 mL	7.6%
Bsp. Pilsner	6.8 g Zucker	6.4 g	Δ0.4 g	5.9%
	88.17 mL Speise	90.0 mL	Δ1.83 mL	2.1%

Vergleich der Karbonisierungsrechner:



Der "Maische Malz und Mehr"-Rechner stimmt gut überein mit den hier gewählten Berechnungsverfahren. Die Abweichungen sind minimal und nicht relevant (d = 2.5%).



Die "Müggelland-Brauerei"-Webseite ist allgemein sehr interessant. Sie enthält auch viele weitere Rechenwerkzeuge. Abweichungen d = 5.7%.



Die "Fabier"-Berechnungen enthalten einfache Masken zur Dateneingabe. Abweichungen d = 5.4%.

Ein weiteres Beispiel eines Karbonisierungs-Rechners ist der "Beer Priming Calculator" vom US Brewer's Friend. Unter Priming wird "Calculates how much priming sugar to add at bottling time for home brewed beer", also nur Zuckerzugaben in irgend einer Form zur Nachgärung verstanden. Eine einfache, gute Übersicht über die verschiedenen in der US-Heimbrauereiszene angesiedelten Verfahren zur Karbonisierung gibt der bekannte "BeerSmith" ([Carbonation Options for Your Home Brewed Beer](#)).

Während in Europa die Karbonisierung als CO₂-Gehalt gelöst im Bier meist als Gramm pro Liter [g/L] angegeben wird, wird in den USA von "volumes of CO₂" gesprochen. Darunter versteht man das Volumen an CO₂-Gas unter USA-Standardbedingungen, nämlich einem Druck von 15 pound per square inch (PSI, wobei 15 PSI ca. 1 bar [genau 1.034] entsprechen) und einer Temperatur von 32 °F (= 0 °C). 3 "volumes of CO₂" in 20 L Bier entsprechen somit 60 L gelöstem CO₂-Gas bei US-Standardbedingungen.

Verständlicherweise rechnet man deshalb die Einheiten um gemäss:

$$C_{CO_2} [g/L] = C_{CO_2} [volumes] \times 1.96 \quad \text{bzw.} \quad C_{CO_2} [volumes] = C_{CO_2} [g/L] \times 0.51$$

Bsp. $C_{CO_2} [g/L] = 3.57 \times 1.96 = 7.0 \text{ g/L}$ $C_{CO_2} [volumes] = 7.0 \times 0.51 = 3.57$ German White Beer (Hefeweizen): 3.3 - 5.5 volumes
European Lagers: 2.2- 2.7 volumes



Vergleich mit Eigenberechnungen Rechner*

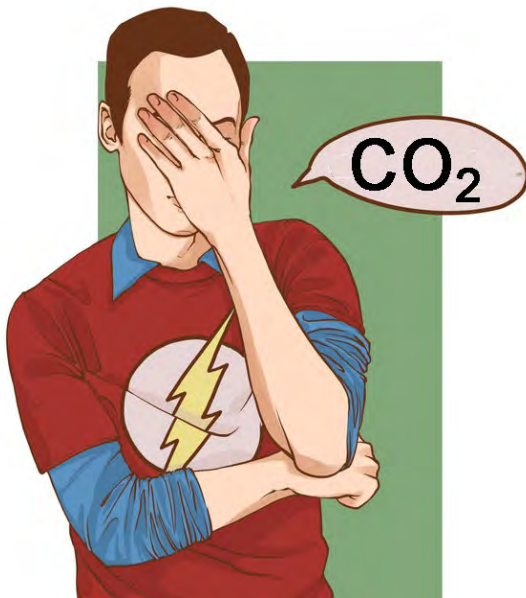
Bsp. Weizenbier	11.54 g Zucker	10.87 g	$\Delta 0.67$ g	5.8%
	140.34 mL Speise	--	Δ --	--
Bsp. Pilsner	6.8 g Zucker	6.3 g	$\Delta 0.5$ g	7.4%
	88.17 mL Speise	--	Δ --	--

*: [g] in [volumes] gemäss Formel S.4 berechnet

--: Berechnung nicht möglich

Dieser Rechner berücksichtigt viele verschiedenen Zuckerquellen

MKK Mit Kopf Karbonisieren damit das nicht passiert



Überkarbonisiert cf. Video durch Anklicken