

Het rekenen aan recepten

© Peter Wester

Het rekenen aan recepten zal bestaan uit de volgende zes onderdelen, gevolgd door aanbevelingen en referentielijst:

- Basisgegevens en brouwtechnische relaties
- De storting vs volumepercentagealcohol en vice versa
- De hopgift(en)
- De kleur
- Het koolzuurgehalte en koolzuurproductie
- Het inmaischen en spoelen

Bieren worden gebrouwen aan de hand van vooraf op te stellen doelstellingen. Doordat de ingredienten en het brouwproces zich meestal niet geheel laten voorspellen, zal het altijd moeilijk blijven om alle doelstellingen te verwezenlijken. Het is aan de brouwer welke doelstellingen de hoogste prioriteit krijgen. Deze handleiding belicht de mathematische aanpak om zodoende de doelstellingen zo goed mogelijk te benaderen.

Basisgegevens en brouwtechnische relaties

- De dichtheid (SG van soortelijk gewicht) van het wort of bier wordt uitgedrukt in kg/dm^3 of g/dm^3 (= kg/m^3 , officiële SI-eenheid). Vb: OG=1060 g/dm^3 of OG=1.060 kg/dm^3 . Verschil zit in de komma notatie. De dichtheid of soortelijk gewicht is afhankelijk van de temperatuur. Hierdoor zal een SG-dompelaar een verkeerde aflezing geven als de temperatuur van de te meten vloeistof anders is dan de ijktemperatuur van de SG-meter. Immers, als de SG-meter is geijkt bij 20 °C en het te meten wort is 50 °C zal het wort door uitzetting minder wegen per volume-eenheid. De SG-meter zal dus dieper in de vloeistof zakken en een lager soortelijk gewicht aanwijzen.
- De suikerconcentratie C_s wordt weergegeven in gr/l.
- %Extract wordt weergegeven als gr/100gr wort; beter bekend als graden Plato, Brix of Balling. Voor de thuisbrouwer is het verschil tussen graden Plato, Brix of Balling van weinig belang. In de uiteindelijke meting zit miniem verschil. Het verschil zit hem in de temperaturen, en dus de dichtheden, waarbij de graden berekend zijn en gemeten moeten worden.

In Tabel 1 zijn de dichtheden van maltose concentraties weergegeven, net als de waterconcentratie per liter, het verlies aan water per liter, de brekingsindex, het verschil in brekingsindex tussen een maltoseoplossing en water vermenigvuldigd met 10000, de viscositeit en de viscositeit van een maltoseoplossing gedeeld door de viscositeit van water [1].

Uit Tabel 1 zijn de volgende relaties te halen na het toepassen van lineaire regressie op de datapunten t/m SG=1100 g/dm^3 . Dit is niet anders dan een mathematische schatting voor een lijn maken, waarbij de afstand tussen de lijn en de datapunten geminimaliseerd wordt. De formules (1), (2) en (3) zijn te gebruiken in het gebied

waarbij het SG tussen 1010 en 1100 g/dm³ is. Bedenk overigens wel dat een wort oplossing anders is dan een maltoseoplossing!!

$$(1) \quad C_s = \frac{SG - 1000.7484}{0.3779} \quad \quad \quad SG = 1000.7484 + 0.3779 * C_s$$

$$(2) \quad \%E = \frac{SG - 999.5410}{4.1168} \quad \quad \quad SG = 999.5410 + 4.1168 * \%E$$

$$(3) \quad C_s = \frac{\%E - 0.29328}{0.091795} \quad \quad \quad \%E = 0.29328 + 0.091795 * C_s$$

- De vergisting van een hoeveelheid maltose levert ca. de helft aan ethanol en de helft aan koolzuur qua gewicht; verder komt er een kleine hoeveelheid energie vrij. Dus,

•

$$(4) \quad 2X \text{ gr maltose} \rightarrow X \text{ gr ethanol} + X \text{ gr koolzuur} + \text{energie (kJ)}$$

- Het *brouwzaalrendement* (BZR) wordt gedefinieerd als het gewicht van de totale hoeveelheid opgeloste stof gedeeld door de totale storting (S). Het BZR kan in procenten of decimaal worden weergegeven.

$$(5) \quad BZR = \frac{\text{totaal opgeloste stof}}{\text{Storting}} = \frac{C_s * \text{Volume}}{\text{Storting}} \text{ of } BZR = \frac{SG * V * \%E}{S}$$

V in liters

Storting in grammen

SG in g/dm³

- De *vergistingsgraad* (VG) is gedefinieerd als de hoeveelheid vergiste suikers gedeeld door de totale hoeveelheid aan suikers in het wort. De totale hoeveelheid aan vergiste suikers is moeilijk te bepalen omdat in de *final gravity* (FG) ook een bijdrage van de ethanol zit. Om de correcte FG te bepalen, dient het bier eerst gekookt te worden totdat er ca. 35-40% overblijft om de ethanol te verdrijven en vervolgens aangevuld te worden met (liefst) gedemineraliseerd water tot het oorspronkelijke volume. Hiervan moet dan de dichtheid bepaald worden (=FG*). Als deze FG* bepaald is, kunnen we de *werkelijke VG* bepalen met:

$$(6) \quad \text{werkelijke VG} = \frac{OG - FG *}{OG - 1}$$

OG en FG* in kg/dm³

De *schijnbare VG* wordt beschreven als:

$$(7) \quad \text{schijnbare VG} = \frac{OG - FG}{OG - 1}$$

OG en FG in kg/dm³

De SVG is groter dan de WVG omdat de dichtheid van ethanol kleiner is dan 1 kg/dm^3 . De SVG is dus veel makkelijker te bepalen dan de WVG. De vergistingsgraad kan decimaal of procentueel worden weergegeven.

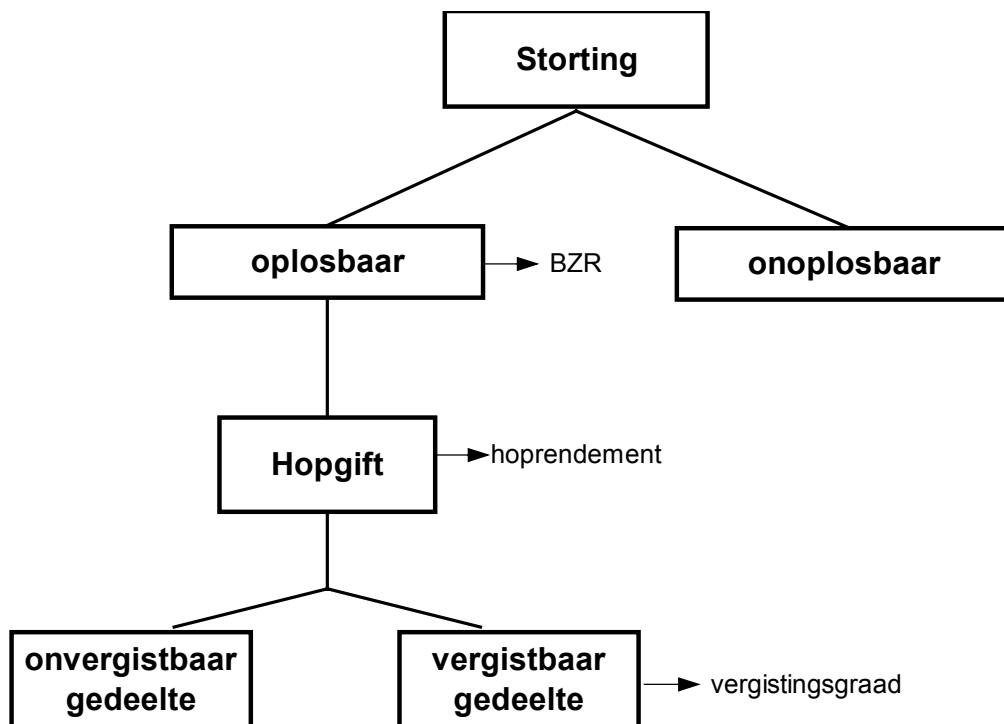
- Het *soortelijk gewicht van ethanol* is ca. 0.7907 kg/dm^3 bij 20°C [2].
- Het *volumepercentage ethanol in bier* kan geschat worden door het verschil in OG en FG te vermenigvuldigen met 0.135, zie formule (8) [3].

(8) $\text{vol\%} = 0.135 * (\text{OG} - \text{FG})$ of: $\text{vol\%} = 135 * (\text{OG} - \text{FG})$
OG en FG in g/dm³ of: OG en FG in kg/dm³

Formule (8) is niet geheel exact maar beschrijft het vol% redelijk goed.

De storting vs volumepercentagealcohol en vice versa

In Figuur 1 is het ‘mathematische brouwproces’ schematisch weergegeven. Hierin zien we dat van de storting S een gedeelte oplost in het wort (afhankelijk van het BZR) en hiervan weer een gedeelte vergist wordt. Verder weten we dat van 2X gr maltose ca. X gr ethanol overblijft en dat het soortelijk gewicht van ethanol ca. 0.8 kg/dm³ bedraagt. Het berekenen van het volumepercentage aan de hand van bovenstaande wordt beschreven met formule (9).



Figuur 1: flowchart van het ‘mathematische brouwproces’

$$(9) \quad \text{vol\%} = \frac{S * \text{BZR} * \text{WVG}}{\text{totaal volume bier}} * 0.5 * 1.25 * 100\%$$

S in kg
Totaal volume bier in liters
BZR en WVG decimaal

Andersom kan (9) herschreven worden om de Storting S te berekenen, zie formule (10).

$$(10) \quad S = \frac{\text{vol\%} * \text{totaal volume bier} * 2}{\text{BZR} * \text{WVG} * 1.25 * 100\%}$$

S in kg
Totaal volume bier in liters
BZR en WVG decimaal

Voorbeeld 1:

Doelstellingen zijn 10 l bier, 5.0 vol%, BZR=0.65, WVG=0.65. Wat moet de storting S zijn?

$$S = (5.0 \text{ vol\%} * 10 \text{ l} * 2) / (0.65 * 0.65 * 1.25 * 100\%) = 1.893 \text{ kg}$$

Als het recept uit 80 % pilsbier en 20 % münchenerbier bestaat moet de storting als volgt zijn:

$$\text{Pilsbier} = 0.80 * 1.893 \text{ kg} = 1.515 \text{ kg}$$

$$\text{Münchenerbier} = 0.20 * 1.893 \text{ kg} = 0.378 \text{ kg}$$

Deze manier heeft als nadeel dat er met werkelijke vergistingsgraden gewerkt moet worden, welke voor de doorsnee thuisbrouwer enigszins ondoorzichtig en ontoegankelijk is. Liever werken we OG en FG, die voor elke thuisbrouwer eenvoudig te meten zijn. Formule (8) geeft de relatie tussen volumepercenten en het verschil in OG en FG weer. Met een doelstelling voor het volumepercentage ethanol en FG, kan een schatting voor de OG gemaakt worden welke m.b.v. formule (1) omgerekend kan worden tot grammen suiker per liter. Formule (5) kan nu ingevuld worden om de storting te berekenen.

$$S = \frac{V * C_s}{\text{BZR}}$$

$$S = \frac{V * \frac{\text{OG} - 1000.7484}{0.3779}}{\text{BZR}}$$

$$S = \frac{V * \frac{\text{vol\%} / 0.135 + \text{FG} - 1000.7484}{0.3779}}{\text{BZR}}$$

$$S = \frac{\frac{V}{BZR} \cdot \frac{\text{vol\%}}{0.135} + \text{FG} - 1000.7484}{0.3779} *$$

Voorbeeld 2:

Doelstellingen zijn 10 l bier, 5.0 vol%, BZR=0.65, FG=1011 g/dm³. Wat moet de OG en de storting S zijn?

$$OG = 5.0/0.135 + 1011 = 1048 \text{ g/dm}^3$$

$$S = (10 * (5.0/0.135 + 1011 - 1000.7484)/0.3779) / 0.65 = 1925 \text{ g}$$

Zoals verwacht, zit er geen groot verschil tussen voorbeeld 1 en 2 in storting. Echter, OG en FG's worden meer vermeld in recepten dan werkelijke vergistingsgraden en is daarom hanteerbaarder. De methode gehanteerd in voorbeeld 2 verdient wat mij betreft de voorkeur. Het is wat meer rekenwerk, maar makkelijk te verwerken in een eenvoudig spreadsheet.

Tot nu toe is er uitgegaan van een overall brouwzaalrendement. Het zal duidelijk zijn dat niet iedere moutsoort hetzelfde brouwzaalrendement heeft. Ook als er honing of suiker toegevoegd moet worden is er sprake van een afwijkend bZR. Hoe verrekenen we dit?

Als we onze doelstelling wat betreft de ingredienten, totale hoeveelheid, alcoholpercentage en FG hebben gesteld, is het nu mogelijk om de totale hoeveelheid suikers uit te rekenen die we nodig hebben voor het recept. Bereken eerst OG en vervolgens de suikerconcentratie. Geef vervolgens aan hoeveel procent van de suikerconcentratie afkomstig moet zijn van een ingredient (= %ingr). Bereken deze specifieke suikerconcentratie en deel deze door het specifieke decimale brouwzaalrendement (BZRspec) en vermenigvuldig vervolgens met het totaal aantal gewenste liters om de totale hoeveelheid storting per ingredient te krijgen (=Sspec). In formulevorm ziet het er als volgt uit:

$$(11) \quad S_{\text{spec}} = \frac{\%_{\text{ingr}} * C_s * V}{BZR_{\text{spec}}}$$

Zie verder voorbeeld 3

Voorbeeld 3:

C_s= 150 gr/l, 10 liter in totaal

Tabel 2: voorbeeld van specifieke bZR

ingredient	%ingr	Spec suikerconc.	BZRspec	Storting (gr)
Pilsmout	60	90	0.70	1280

munchenermout	30	45	0.65	692
suiker	10	15	1.00	150

De hopgift(en)

Het hoprendement (=hoeveel alfazuur uit de hop dat uiteindelijk als iso-alfazuur in het wort terecht komt t.o.v. de maximale hoeveelheid alfazuur die beschikbaar is) berekend volgens Glenn Tinseth is een zeer gangbare methode die vrij betrouwbaar lijkt [3,4]. Deze methode van Tinseth gaat ervan uit dat het hoprendement (door Tinseth bepaald met hopbloemen) een functie is van de kooktijd en de dichtheid van het wort op het moment van de hopgift. De door hem afgeleide functies zijn:

$$(12) \quad \text{Dichtheid factor} = 1.65 * 0.000125^{(\text{dichtheid}-1)}$$

dichtheid in kg/dm³.

$$(13) \quad \text{kooktijd factor} = 0.240964 * (1 - e^{-0.04 * \text{tijd in minuten}})$$

$$(14) \quad \text{Hoprendement Tinseth} = \text{dichtheid factor} * \text{kooktijd factor}$$

In Tabel 3 staan de hoprendementen decimaal weergegeven voor degenen die het rekenwerk willen mijden.

Het hoprendement is van veel meer factoren afhankelijk, zoals o.a. het gebruik van wel of niet een hopzak, de grootte van de hopgift zelf, de hoogte waarbij het kookproces plaatsvindt en de opslag van de hop. Deze laatste factor kan voor de thuisbrouwer van belang zijn.

Het percentage alfazuur in de tijd ($\alpha\%(t)$) is afhankelijk van de volgende factoren:

- de hoedanigheid, bloemen of pellets
- vacuum- of gasverpakt
- zuurstofwerende verpakking
- bij welke temperatuur wordt de hop bewaard?
- hoe lang is de hop opgeslagen?
- hoe snel verliezen hopbloemen alfazuur? Door hopproducenten wordt een verlies bepaald van bloemen na zes maanden los bewaard bij 20 °C.

Deze factoren bepalen de afname van het alfazuur in de tijd en kan beschreven worden als een vervalproces, zoals in formule (15).

$$(15) \quad \alpha\%(t) = \alpha\%(0) * e^{-k*t}$$

Verder is het ook zo dat betazuren tijdens de opslag oxideren en deze geven ook een bitterheid. Afname van het alfazuur gecombineerd met het ontstaan van geoxideerde betazuren geeft Tabel 4. Hierin worden hopopslagfactoren (HOF's) weergegeven van hop die 50% verlies vertonen los bewaard bij 20 °C na zes maanden en de helft aan betazuren bevatten vergeleken met de alfazuren [5].

Tabel 4: Hopopslagfactoren voor 'standaard hop' [5]

tijd (j)	k=1,386294	k=0,693147	k=0,173287	k=0,218328	k=0,054582	k=0,027291
	bl,los+20	pe,los+20	pe,vv+20	bl,los-20	bl,vv-20	pe,vv-20
0,25	0,744	0,861	0,963	0,954	0,988	0,994
0,5	0,563	0,744	0,927	0,910	0,976	0,988
0,75	0,434	0,645	0,893	0,868	0,965	0,982
1	0,344	0,563	0,861	0,828	0,954	0,976
1,5	0,234	0,434	0,800	0,756	0,931	0,965
2	0,180	0,344	0,744	0,690	0,910	0,954
2,5	0,152	0,280	0,692	0,632	0,888	0,942
3	0,139	0,234	0,645	0,580	0,868	0,931

Dus uit Tabel 4 kunnen we concluderen dat we *het beste nieuwe oogst hop in kleine verpakkingen kunnen kopen en deze gelijk in de vriezer moeten bewaren.*

Om de bitterheid van een bier aan te duiden wordt de eenheid EBU (= 1 mg/l iso-alfazuur) gebruikt. Het aantal EBU dat een bier heeft is afhankelijk van de hoeveelheid toegevoegde alfazuren afkomstig uit de gebruikte hopsoorten en het rendement van de bitterstoffen. Dit rendement is afhankelijk van diverse factoren zoals hierboven beschreven. In Tabel 5 volgt een overzicht van de beschrijving van de bitterheid en de EBU waarden die daar ongeveer bij horen [6]. Of een bier als bitter wordt ervaren of niet, is afhankelijk van de EBU waarde alsmede van de hoeveelheid restsuikers in het bier.

Tabel 5: beschrijving bitterheid versus EBU-waarden [6]

Beschrijving bitterheid	EBU-waarden
weinig bitter	5-20
bitterig	20-30
bitter	30-40
zeer bitter	>40

Zoals gezegd kunnen restsuikers een bittere smaak kan maskeren. Voor bieren met meer restsuikers, dit zijn in de regel de meer zware bieren, betekent dat deze bieren meer hop behoeven. Tabel 6, ontwikkeld door Quentin B. Smith [7], geeft de relatie weer tussen het begin SG van het wort en de EBU-waarden om een evenwichtig bier te krijgen. J. Bertens stelde verder vast bij het bestuderen van de ingezonden bieren voor de Open Nederlandse Kampioenschappen voor Amateur-bierbrouwers, dat de vergistingsgraad bepalend is voor de ervaring van de bitterheid [6].

Tabel 6: Evenwichtig bier [7]

Begin SG	EBU	Begin SG	EBU
1010	4	1060	32
1020	8	1070	40
1030	12	1080	48
1040	16	1090	56
1050	24	1100	64

Hoe berekenen we nu de hopbitterheid? De algemene formule luidt:

$$(16) \quad \text{EBU} = \frac{\text{gram hop} * \text{HRTinseth} * \text{hopopslagfactor} * \alpha\%(0)}{10 * \text{totaal volume bier}}$$

in mg iso-alfazuur per liter (=EBU, European Bitter Units)
HRT_{inseth} procentueel

Voorbeeld 4:

Bepaling van de bitterhopgift is afhankelijk van de bitterheid die de aromahop afgeeft. Aromahop wordt veelal gedoseerd in de range van 0.5 - 1.0 gr/l bier. Stel dosering aromahop (4.5% alfazuur, bloemen) op 1.0 gr/l. Totaal volume moet 100 l worden met 35 EBU als doel. OG=1060 g/dm³ en de verwachte kooktijd bedraagt 60 min. voor de bitterhop (8% alfazuur, pellets) en 5 min. voor de aromahop. Bloemen en pellets een jaar oud, vacuum verpakt bewaard in de vriezer.

Uit Tabel 3 en 4 halen we resp. de hoprendementen en hopopslagfactoren.
aromahop: HOF= 0.954 en HR= 0.040 is 4.0%
bitterhop: HOF= 0.976 en HR= 0.211 is 21.1%

$$\text{EBUaromahop} = 100 * 4.5\% * 0.954 * 4.0\% / 10 * 100 \text{ liter} = 1.7 \text{ mg isoalfazuur/l}$$

Bitterhopgift moet 35-1.7=33.3 EBU leveren.

$$\begin{aligned} \text{gram hop} &= \text{EBU} * 10 * \text{totaal volume bier} / \alpha\%(0) * \text{HOF} * \text{HR} \\ &= 33.3 * 10 * 100 / 8\% * 0.976 * 21.1\% \\ &= 202 \text{ gr bloemen} \\ &= 182 \text{ gr pellets} \end{aligned}$$

Pellets hebben door hun bewerking een hoger hoprendement (ca. 10% hoger). Dus 10% in mindering brengen in gewicht als er pellets gebruikt worden!

Een ander zeer belangrijk feit is dat de nauwkeurigheid van het alfazuurpercentage, vermeld op de verpakking, voor pellets nauwkeuriger is dan voor bloemen. Immers, pellets zijn grootschalig vermalen bloemen en zijn dus homogener van samenstelling dan bloemen. Gebruik dus voor de bitterhopgift hoppellets!

De kleur

De kleur van een bier, maar ook van mout, wordt uitgedrukt in een EBC waarde. Naarmate een bier donkerder is heeft het een hogere EBC waarde. Ter indicatie van deze waarden volgt in Tabel 7 een overzicht van beschrijvingen van bierkleuren en de EBC waarden die daar ongeveer bij horen [8]:

Tabel 7: de kleur van bier met bijbehorende EBC-waarden weergegeven [8]

Kleur	EBC waarden
-------	-------------

bleek/licht blond	6 - 9
blond/geel	9 - 12
goud	12 - 20
amber	20 - 30
koper	30 - 45
donker koper/bruin	45 - 75
zeer donker bruin (doorschijnend)	75 - 120
zwart (niet doorschijnend)	> 120

Over de bepaling van de te verwachten kleur van een bier kunnen we kort zijn: het is niet exact te bepalen! Wel kunnen we het grof benaderen met formule (17) volgens biergoeroe Charlie Papazian [9]:

$$(17) \quad EBC = 8.36 * \frac{\sum (\text{gr mout} * EBC - \text{waarde})}{V_{\text{totaal}}}$$

Op deze manier wordt de EBC-waarde redelijk benaderd. Andere lieden propageren het gebruik van een logaritmische schaal na ca. 30 EBC. In ieder geval is het zo dat men door eenzelfde schaal aan te houden, voor jezelf al een goede indruk kunt krijgen wat de kleur zal worden.

Professionele brouwerijen bepalen 'eenvoudig' met kleurstalen de EBC-waarde van hun bier. De mouterijen doen dat ook. Ze maken een wort volgens een door de EBC exact voorschreven methode en kijken dan wat de kleur van dat wort is. De kleur van een bier gemaakt met bijvoorbeeld 3 EBC mout zal altijd boven deze waarde liggen omdat bij de EBC-methode het wort niet gekookt wordt [10].

De kleur van het uiteindelijke bier is niet alleen afhankelijk van de gebruikte moutsoorten - het is wel de grootste factor - maar ook van een groot aantal andere zaken. Deze factoren zijn sterk afhankelijk van de brouwer, de gebruikte apparatuur en het beoogde biertype. Je moet dan denken aan:

- wijze verwarmen van het beslag. Directe verhitting van het beslag met een gasvlam kan karamelisering van het beslag met zich brengen. Hierdoor krijg je veel kleuring. Veel professionele brouwers verwarmen daarom hun beslag met stoom
- de duur van het maischen. Hoe langer je maischt des te meer kleurstoffen vrijgemaakt zullen worden uit de kaf van de mout
- de pH van het beslag. Een pH boven de 5,6 zal leiden tot meer kleurvorming
- de duur van het filteren en de mate waarin het beslag uitgespoeld wordt. Door langer te spoelen worden er meer kleurstoffen vrijgemaakt
- de duur van het koken van het wort. Dit is een zeer belangrijke factor
- eventuele toevoegingen aan het wort (bijvoorbeeld kruiden)
- de vorm en het materiaal van de kookketel. Een betere geleiding van de toegevoegde warmte zal voor een toename van de kleur zorgen
- de snelheid waarmee het wort afgekoeld wordt na het koken. Door het wort op hoge temperaturen te houden worden door er meer sterk kleurende verbindingen van aminozuren en suikers gevormd, de zogenaamde maillard-producten
- het wel of niet afscheppen van de hopharsen tijdens de gisting
- de mate waarin de gist kleurstoffen opneemt
- de mate waarin oxidatie van het wort plaatsvindt gedurende het gehele proces [10]

Het koolzuurgehalte en koolzuurproductie

Het totale koolzuurgehalte (CO₂-gehalte) in bier wordt bepaald door het koolzuur aanwezig na de hoofdgisting en het koolzuur wat ontstaat tijdens de nagisting op de fles. Koolzuur lost op in bier (lees: water) en 'hecht' zich aan bier en verschilt per biersoort. Verder is het koolzuurgehalte van het jongbier ook afhankelijk van de verkregen behandeling (geschud vlak voor bottelen?). Deze laatste factoren zijn onvoorspelbaar. Koolzuur lost beter op in bier/water als de temperatuur lager is. Zo zal bier na de hoofdgisting bij ca. 20 °C een koolzuurgehalte rondom de 2.5 gr/l bevatten. Door wat extra suiker te voegen kan het gewenste koolzuurgehalte bereikt worden. In Tabel 8 staan enige indicatiewaarden voor koolzuurgehaltenes voor verschillende biertypes [11]. Kortweg kunnen we stellen dat het koolzuurgehalte in bier varieert van 4.0 -7.5 gr/l .

Voor de nagisting op *vaatjes* gaat dit verhaal niet op; vaatjes moeten slechts 0.5 gr/l koolzuur extra krijgen, anders zullen de vaatjes binnen de kortste keren bol komen te staan!!

Tabel 8: koolzuurgehaltenes in gr/l voor verschillende biersoorten (gebotteld) [11]

biersoort	koolzuur gehalte	biersoort	koolzuur gehalte
alt	3.3-4.9	meibok	4.0-5.2
barley wine	4.0-4.5	pils	4.2-5.0
belgische ale	4.2-5.0	porter, stout	4.0-4.6
bokbier	4.1-4.6	scotch ale	4.5-5.3
dubbelbok	4.4-4.8	tarwebier	4.7-5.6
dubbel	5.8-6.6	tripel	5.8-7.4
engelse pale ale	3.5-5.0	weizen	6.0-7.0
fruit lambiek	6.0-9.0	winterbier	4.0-7.0
lambiek	4.8-5.6		

Hoe kunnen we nu berekenen hoeveel suiker we moeten toevoegen aan het te bottelen bier om aan een bepaald koolzuurgehalte te komen? We gaan uit van formule (4). Deze laat zien dat om Y gr koolzuur/l toe te voegen er 2Y gr suiker moet worden toegevoegd. Het een en ander is uitgewerkt in voorbeeld 5.

Voorbeeld 5:

Stel 2.5 gr/l koolzuur reeds aanwezig in het jonge bier. Gewenst 5.0 gr/l koolzuur. Per liter bier moet dan

$$(5.0 - 2.5) * 2 = 5 \text{ gr/l suiker} = 1.5 \text{ gr suiker per euroflesje}$$

worden toegevoegd. Formule (4) laat ook zien dat er ethanol gevormd wordt. In dit geval komt er tijdens de nagisting op de fles 2.5 gr/l ethanol extra bij. 2.5 gr is ca. 3.2 ml ethanol, kortom het alcoholpercentage stijgt met ca. 0.3 vol%. Hiermee kan dus rekening gehouden worden met de storting. Dit doe je door naast de doelstelling voor het volumepercentage alcohol, ook een doelstelling voor het koolzuurgehalte mee te nemen in de berekening.

Voorbeeld 6:

Doelstellingen: 6.5 vol% alcohol en 5.0 gr/l koolzuur.

De storting wordt dan gebaseerd op formule (18):

$$(18) \quad \text{Vol \% gecorrigeerd voor nagisting} = \text{vol\% gewenst} - (KZ_{\text{gewenst}} - 2.5) * 0.125$$

Ingevuld geeft dat: $6.5 \text{ vol\%} - (5.0 - 2.5) * 0.125 = 6.1875 \text{ vol\%}$

als uitgangswaarde voor de berekening van de storting.

Naast het berekenen en verkrijgen van het gewenste koolzuurgehalte en het corrigeren op de storting S voor alcohol gevormd tijdens de nagisting, is het ook mogelijk om de totale koolzuurproductie gedurende de vergisting in liters te bepalen. Zonder te veel op de achtergrond van de te gebruiken formule (19) in te gaan, wordt het aantal m³ koolzuur bepaald door de hoeveelheid koolzuur (uitgedrukt in mol; molecuulmassa van koolzuur is M=44 amu), de temperatuur (in Kelvin K, K= °C+273), de druk (in Pascal, 1 atm= 1.01365*10⁵ Pa) en de gasconstante R (R=8.3144 J mol⁻¹ K⁻¹).

$$(19) \quad V_{\text{CO}_2} = \frac{n * R * T}{p} \quad \text{in m}^3$$

Om het aantal mol (de hoeveelheid) koolzuur te bepalen, moeten we uitgaan van formule (4). Van de hoeveelheid te vergisten suiker in gram, blijft ca. de helft aan koolzuur over in gram. Verder weten we dat er ca. 2.5 gr/l koolzuur in het jongbier aanwezig blijft. Formule (19) wordt dan omgeschreven tot formule (20) en geeft:

$$(20) \quad V_{\text{CO}_2} = \frac{\frac{(Cs * WVG * 0.5 - 2.5) * V_{\text{bier}}}{44} * R * T}{p} \quad \text{in m}^3$$

Herschreven naar liters koolzuur en waarden voor p= 1 atm, T=293 K en R=8.3144 J mol⁻¹ K⁻¹ ingevuld, levert

$$V_{\text{CO}_2} = (Cs * WVG * 0.5 - 2.5) * V_{\text{bier}} * 0.5537 \quad \text{in dm}^3 \quad \text{oftewel liters}$$

Voorbeeld 7:

Stel V_{bier}= 20 l, Cs= 200 gr/l (OG= 1076 g/dm³), WVG= 0.65, p= 1 atm en T=293 K; hoeveel liter koolzuurgas wordt tijdens de vergisting geproduceerd?

Het invullen van de herschreven formule (20) geeft:

$$V_{\text{CO}_2} = (200 \text{ gr/l} * 0.65 * 0.5 - 2.5 \text{ gr/l}) * 20 \text{ liter} * 0.5537 = 692 \text{ liter}$$

Het inmaischen en spoelen

De manier waarop ingemaisched en gespoeld wordt, beïnvloedt de smaak van het uiteindelijke bier en het brouwproces. Met weinig water inmaischen zal een wat zoetiger bier geven en met veel water een droger bier. Verder zal een dunne maisch (met veel water dus) een hoofdwort geven met een relatief laag suikergehalte. Het concentreren van deze verdunde volmoute wort naar de doelgestelde OG zal dan resulteren in een langere kooktijd. Te lang spoelen leidt tot het meenemen van de looistoffen uit de bostel (ongewenst!). Te kort spoelen leidt tot een laag bzt. Het is wederom raadzaam om de doelstellingen te verwerken in de receptuur, ook voor het inmaischen en spoelen.

Richtlijnen voor het inmaischen is ca. 2.5-4.0 liter water per kg Storting. 2.5 l/kg storting voor zeer zware bieren zoals volmoute barley wines; 3.0-3.5 l/kg storting voor bijvoorbeeld tripels, dubbels en bokbieren en 3.5-4.0 l/kg storting voor drogere bieren zoals pilsners, alts, ales en bitters. De 'Ezelenbok' is bijvoorbeeld ingemaisched met 3.2 l/kg storting.

Richtlijnen voor het spoelen is lastig uit te drukken in liters waters. Normaal gesproken wordt bij volmoute bieren t/m een $OG=1065 \text{ g/dm}^3$ gespoeld totdat het filtraat een $OG \approx 1010 \text{ g/dm}^3$ bereikt. Met de juiste hoeveelheid maischwatter kan de kooktijd beperkt blijven tot ca. één uur. Wil men nog hogere OG's bereiken, zal toevlucht gezocht moeten worden in of suiker/honing toevoegen, of langer koken (kost meer energie) of korter spoelen (lager bzt, maar wel kwalitatief beter bier!). Een optie voor het verkrijgen van volmoute bieren met een $OG=1080-1100 \text{ g/dm}^3$, is de zogenaamde 'dubbelbrouw' of 'combi-draaien'. Hiertoe wordt het hoofdwort gescheiden van het wort verkregen na spoelen van een maisch gelijk aan 2.5 l/kg storting. Het hoofdwort wordt gekookt tot de gewenste OG is behaald en het wort verkregen na spoelen wordt gekookt tot ca. $OG=1050-1060 \text{ g/dm}^3$ om een dunbier te verkrijgen.

Om toch het spoelwater enigzins in liters te kunnen uitdrukken, moeten we rekening houden met het feit dat 1 kg mout uiteindelijk ca. 1.6 liter vocht vasthoudt [12]. Het volume van 1 kg mout is overigens ca. $2.5-3.0 \text{ dm}^3$ [13]. Het zal duidelijk zijn dat als het hoofdwort gewonnen is, de bostel nog rijk is aan suikers, welke door spoeling gewonnen kunnen worden. Hoeveel spoelwater nodig is, hangt af van de spoel efficiëntie. Door menging van het spoelwater met de suikers zal langzaam maar zeker de suikers uit de bostel gewonnen worden. Snel spoelen zal de spoel efficiëntie verminderen en resulteren in een groter uiteindelijk volume. Het aantal liters hoofdwort (HW, is die wort die nog niet verdund door spoelwater is) is te halen uit formule (21)

$$(21) \quad HW = \text{maischwater} - 1.6 * \text{Storting}$$

Een optimale verdringing van de suikers door het spoelwater zal betekenen dat het spoelwater evenveel is als de bostel vasthoudt. Doordat dit *niet* het geval is, is er meer spoelwater nodig. Stel dat het spoelwater (SW) 2 maal het aantal liters is dat de bostel vasthoudt (deze factor zal experimenteel moeten worden vastgesteld voor verschillende beslagen), levert formule (22).

$$(22) \quad SW = 2 * 1.6 * \text{Storting} = 3.2 * \text{Storting}$$

In voorbeeld 8 wordt het een en ander uitgewerkt.

Voorbeeld 8:

Stel storting $S = 10$ kg mout, maischwater = 3.0 l/kg en verwachtte bzt= 0.63 .

Te berekenen: liters maischwater, hoofdwort, spoelwater en dichtheid hoofdwort.

Het aantal liters maischwater bedraagt $10 \text{ kg} * 3.0 \text{ l/kg} = 30$ liter.

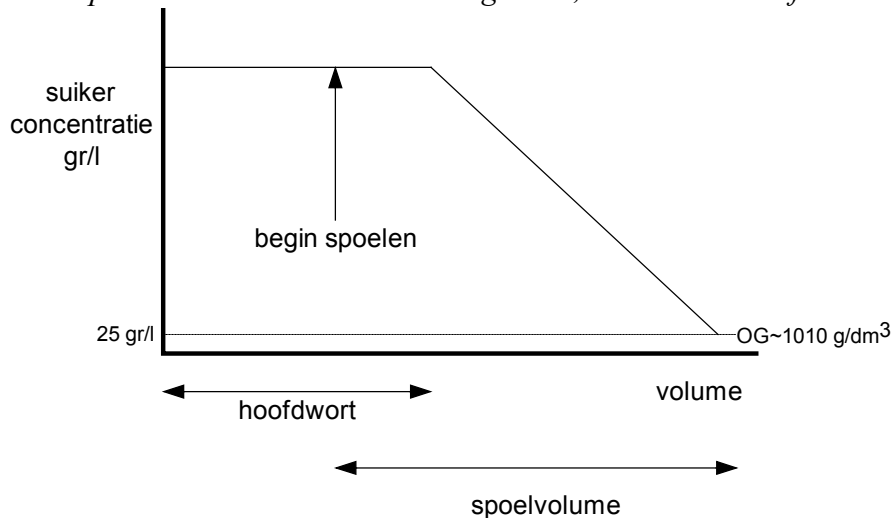
Het aantal liters hoofdwort bedraagt 30 liter minus $1.6 * 10 = 14$ liter. Het bzt van 0.63 vertelt ons dat er 6300 gr suikers in 30 liter zit. Het hoofdwort zal ca. $6300/30 = 210$ gr/l zijn, wat overeenkomt met een OG ≈ 1080 .

Het aantal liters spoelwater bedraagt $3.2 * 10 = 32$ liter, ervan uitgaande dat alle suikers uitgespoeld worden. In deze 32 l zit dan de rest van het suiker, te weten $16 \text{ l} * 210 \text{ gr/l}$ verdund tot 32 l geeft een nawort van ca. 105 gr/l, wat overeenkomt met een OG ≈ 1040 .

Het suikergehalte van het totaal verkregen wort bedraagt $14 \text{ l} * 210 \text{ gr/l} + 32 \text{ l} * 105 \text{ gr/l}$ gedeeld door 46 liter geeft 137 gr/l, wat overeenkomt met een OG ≈ 1052 .

N.B. Hou er rekening mee dat er nog hoofdwort gewonnen wordt, als het spoelen wordt in- en voortgezet; immers, het filterbed mag niet droog komen te vallen. De hoofdwortfractie is beëindigd als de suikerconcentratie begint te dalen. Het spoelproces is weergegeven in Figuur 2.

Korter spoelen levert weliswaar een lager bzt, maar kwalitatief betere bieren!!



Figuur 2: het spoelproces

Aanbevelingen

- Brouw met doelstellingen en registreer zoveel mogelijk relevante gegevens. Dit zal het reproduceren van het brouwsel vergemakkelijken
- Reken verkregen recepten na op de hier behandelde wijze. BZR voor brouwen in de Schuimkraag varieert van 0.60 t/m 0.70 , afhankelijk van de versheid van de ingredienten en de hoeveelheid ongemoute granen (deze hebben een lager bzt)
- Probeer de doelstelling voor het OG te verwezenlijken

- Stel altijd het totale eindvolume vast i.v.m. het uitrekenen van het BZR en bitterheid

Referenties

- [1] A.V. Wolf, M.G. Brown and P.G. Prentiss, Concentrative properties of aqueous solutions: conversion tables, CRC press Handbook of Chemistry 58th edition, D235-236 1977/1978
- [2] A.V. Wolf, M.G. Brown and P.G. Prentiss, Concentrative properties of aqueous solutions: conversion tables, CRC press Handbook of Chemistry 58th edition, D227 1977/1978
- [3] J. Bertens, Begin en Eind SG, blz. 16-18 PROOST 13, jan./feb. 1996
- [4] G. Tinseth, Glenn Tinseth's Hop Page, Internet, 1996,
URL= <http://www.teleport.com/~gtinseth/>
- [5] P. Wester, Rekenmethode om het verlies aan bitterheid van hop gedurende de opslag te schatten., blz. 15-20 PROOST 31, jan./feb. 1999
- [6] J. Bertens, Hoprendement (2), blz 17-21 PROOST 17, sept./okt. 1996
- [7] Quentin B. Smith, Zymurgy, Matching Hops with Beers Styles, Hops and Beer Special Issue, Brewers Publications, Boulder, Colorado, USA, 1990
- [8] Amateurbierbrouw vereniging 't Wort Wat,
http://www.xs4all.nl/~betonh/tww/ONK98/ONK98_programmaboekje.html
- [9] C. Papazian, The Homebrew Companion, blz. 39-40 1994
- [10] J. Bertens, antwoord op de vraag *om de kleur te voorspellen bij opstellen recepten* via e-mail, bierbrouwmailinglist 17-12-1997
- [11] J. Bertens, Koolzuur (1), blz. 23-26 PROOST 20, maart/april 1997
- [12] Bart Balis, Het spoelen van de bostel: hoe en hoeveel, blz. 25-26 PROOST 22, juli/augustus 1997
- [13] mededeling brouwer van de "Proef"brouwerij te Lochristi-Hijfte (Belgie), 1998