



Rekenmethode om het verlies aan bitterheid van hop gedurende de opslag te schatten.

3 december 1998

Inleiding

De aanleiding voor dit artikel is ontstaan in de praktijk. De doelstellingen die de (thuis)brouwer zich stelt om een bier te maken (alcoholpercentage, kleur, bitterheid, smaak, geur, enz), willen wel eens niet gehaald worden. Zo is ook mijn ervaring met het behalen van de gewenste bitterheid. Na zo'n 30 brouwsels is er een scheiding te maken van bieren die qua bitterheid wel aan de doelstelling voldeed en anderen niet (meestal te weinig bitterheid), rekening houdend met factoren zoals eindvolume, kooktijd, brouwzaalrendement, enz. Alhoewel de uiteindelijke bitterheid in bier sensorisch bepaald werd en zoals bekend is afhankelijk is van- en beïnvloedbaar door meerdere factoren, kan hiermee toch een redelijke schatting gemaakt worden of de doelstelling gehaald is ja of nee.

De gebruikte methode voor het bepalen van de hoprendementen om de bitterheid te berekenen was het model van Tinseth [1]. Deze methode van Tinseth gaat ervan uit dat het hoprendement (HR), wat eigenlijk inhoud welk gedeelte van het alfazuur uiteindelijk als iso-alfazuur in het wort terecht komt, van de kooktijd en de dichtheid van het wort afhangt [1]. Uit de literatuur werd verder duidelijk dat er meerdere factoren een rol spelen, zoals het wel of niet gebruiken van een hopzak, filtratie van het gekookte wort, de grootte van de hopgift, de hoedanigheid van de hop, kookpuntstemperatuur, enz. [2]. Het hoprendement kan dan ook worden voorgesteld als het produkt van al deze factoren [2], weergegeven in formule (1).

$$(1) \quad HR = F_{\text{kooktijd}} * F_{\text{dichtheid}} * F_{\text{hopgift}} * F_{\text{opslag}} * F_{\text{gist}} * F_{\text{hoedanigheid}} * F_{\text{hopzak}} * F_{\text{filtratie}} * F_{\text{kookpunt}}$$

In de meeste modellen voor het voorspellen van het hoprendement blijkt het hoprendement meestal te worden beschreven als functie van de kooktijd en dichtheid van het wort; zo ook die van Tinseth. De andere factoren komen òf niet aan bod òf zijn nagenoeg gelijk aan 1 (op één na zal blijken).

Zoals reeds beschreven, voldeden sommige van mijn brouwsels niet aan de bitterheid doelstelling en andere wel, ondanks dezelfde rekenmethode. Kennelijk speelde er een andere significante factor mee: de alfazuurwaarde, of beter gezegd het bitterend vermogen, van de gebruikte hop. Deze was of i) afwijkend van de opgegeven waarde op de verpakking of ii) veranderd gedurende de opslag.

ad i) de literatuur vermeldt dat de bemonsterfrequentie van hopbloemen wel eens zeer karig kan zijn en bemonstering van 1 op de 10 hopbalen is gemeld met een bijbehorende relatieve standaardafwijking in de opgegeven alfazuur waarde van wel 11% [3,4]. Statistisch gezien houdt dit in dat er ca. 67% kans is dat de waarde tussen opgegeven alfazuurwaarde minus standaardafwijking en opgegeven alfazuurwaarde plus standaardafwijking ligt. Kortom, het is niet onwaarschijnlijk dat de werkelijke waarde van het alfazuurgehalte van de verpakte hopbloemen duidelijk afwijkt van de op de verpakking vermelde waarde.

De spreiding in het alfazuurgehalte in hoppelletts is geringer; deze zijn immers grootschalig vermalen en zijn dan ook homogener van samenstelling dan hopbloemen.

ad ii) de verandering van het alfazuurgehalte tijdens de opslag is een bekend fenomeen en reeds besproken in de literatuur [5]. Garetz heeft een 'hopstorage' factor geïntroduceerd waarin een aantal bekende factoren een rol spelen zoals temperatuur, tijd en type opslag [6]. Echter, uit de literatuur is gebleken dat het toepassen van het model Garetz de hopgift behoorlijk kan verhogen [2]. Verder is empirisch vastgesteld dat een brouwsel van ca. 30 EBC (mg iso-alfazuur per liter) berekend met de Garetz methode, bijna 50 EBC was volgens de methode Tinseth, hetgeen sensorisch werd bevestigd [7].

In dit artikel zal een poging gewaagd worden om mathematisch de afname aan bitterheid gedurende de opslag te schatten. Het artikel is gebaseerd op recente inzichten in het opslaan van hop en het rekenkundig beschrijven daarvan [2], die echter op eigen wijze geïnterpreteerd worden. De doelstelling is dat de methode voor de (thuis)brouwer



Hopopslag

begrijpbaar, berekenbaar en werkzaam is. Hiertoe zal een aantal aannames gemaakt worden die het precieze rekenwerk vergemakkelijken. Uiteraard kan ook bij beschikbaar zijn van de werkelijke parameters, de afname aan bitterheid nauwkeuriger berekend worden.

Verder wordt in de voorbeelden uitgegaan van de hoprendementen volgens Tinseth met de bitterwaarde die verkregen wordt met de hier voorgestelde rekenmethode voor het bepalen van de EBC-waarde in het uiteindelijke bier. Naast de bitter smakende iso-alfazuren zal ook ingegaan worden op de bijdrage van de bitter smakende geoxideerde betazuren aan de totale bitterheid. Het één en ander zal verduidelijkt worden met voorbeelden.

Hopopslag

Bij de meeste (thuis)brouwers zal het bekend zijn dat om de hop 'vers' te houden, deze bij voorkeur vacuum verpakt in een zuurstofwerende verpakking in de vriezer bij -20 °C bewaard dient worden. Hierdoor zal het percentage alfazuur niet te veel afnemen en de vluchtige componenten verantwoordelijk voor het hoparoma niet verloren gaan. De volgende factoren spelen tijdens de opslag een rol:

- 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?

Het blijkt dat het alfazuur van losse hopbloemen bij 20 °C sterk verminderd [8]. Zo worden er verliezen aan alfazuur van 30-80% vermeld in zes maanden tijd onder reeds genoemde condities voor verschillende hopsoorten, zie Tabel 1 [8]. Grofweg gezegd is de afname aan alfazuur ca. 50% na zes maanden voor losse hopbloemen bewaard bij 20 °C.

Model

In het model wordt niet alleen rekening gehouden met de afname aan alfazuur in de tijd, maar ook met de toename aan geoxideerd betazuur in de tijd. Van geoxideerd betazuur is bekend dat het ca. 4 maal minder bitter is dan iso-alfazuur [9]. Kortom, de geoxideerde betazuren kunnen een bijdrage gaan leveren, de zogenaamde 'non-isohumulone bittering', aan de waar te nemen bitterheid in bier.

Hoe is de afname aan alfazuur mathematisch te beschrijven? Net als andere vervalprocessen zoals bijv. het ontladen van een condensator en het verval van radioactieve componenten, is de afname van alfazuur in de tijd te beschrijven als volgt:

$$(2) \quad \alpha\%(t) = \alpha\%(0) * e^{-k_1 t}$$

waarin

- e het natuurlijk getal is (e=2.718281828..)
- t de tijd in jaren voorstelt
- $\alpha\%(0)$ het alfazuurpercentage op tijdstip t=0 is
- $\alpha\%(t)$ het alfazuurpercentage op tijdstip t is
- k1 de vervalconstante; hoe groter k1, des te sneller is het verval aan alfazuur in de tijd.

In deze vervalconstante k1 zitten de bovengenoemde factoren die een rol spelen tijdens de opslag, dus

$$(3) \quad k_1 = F_{\text{verlies}} * F_{\text{hoed}} * F_{\text{verpak}} * F_{\text{zw}} * F_{\text{temp}}$$

waarin

F_{verlies} is verlies na zes maanden bij losse bloemen bij 20 °C (Tabel 1)

$$(4) \quad F_{\text{verlies}} = 2 * \ln(\alpha\%(0) / \alpha\%(t))$$

F_{hoed} is de factor voor hoedanigheid

F_{verpak} is de factor voor verpakking

F_{zw} is de factor voor zuurstofwerende verpakking



Hopopslag

F_{temp} is de factor voor de temperatuur

Tabel 2: hopvariateiten specificaties [8]

hop varieteit	alfazuur %w/w	% α over @6mnd@20°C	$F_{verlies}$	betazuur %w/w
Bramling Cross	5.0-7.0	60-70	1.022-0.713	2.5-3.5
Bullion	6.5-9.0	40-50	1.833-1.386	5.0-6.0
Cascade	4.5-7.0	48-52	1.468-1.308	4.5-7.0
Centennial	9.5-11.5	60-65	1.022-0.862	3.5-4.5
Challenger	6.5-8.5	70-85	0.713-0.325	4.0-4.5
Chinook	12.0-14.0	65-70	0.862-0.713	3.0-4.0
Cluster	5.5-8.5	80-85	0.446-0.325	4.5-5.5
Columbus	14-16	nog niet bekend		4.5-5.5
Crystal	2.0-4.5	50	1.386	4.5-6.5
Fuggle (UK)	4.0-5.5	70-80	0.713-0.446	2.0-3.0
Fuggle (US)	4.0-5.5	60-65	1.022-0.862	1.5-2.0
Galena	12.0-14.0	75-80	0.575-0.446	7.0-9.0
Hallertauer (D)	5.0-7.0	goed		4.0-5.0
Hallertauer (US)	3.5-5.5	52-58	1.308-1.089	3.5-5.5
Hallertauer Hersbruck	3.0-5.5	55-65	1.196-0.862	4.0-5.5
Hersbrucker (US)	3.5-5.5	55-65	1.196-0.862	5.5-7.0
Kent Goldings (UK)	4.0-5.5	65-80	0.862-0.446	2.0-3.5
Kent Goldings (US)	4.0-5.0	65-80	0.862-0.446	2.0-3.0
Liberty	3.0-5.0	35-55	2.100-1.196	3.0-4.0
Lublin (Polen)	3.0-4.5	40-55	1.833-1.196	2.5-3.5
Mount Hood	5.0-8.0	50-60	1.386-1.022	5.0-7.5
Northern Brew. (US)	8.0-10.0	70-85	0.713-0.325	3.0-5.0
Nugget	12.0-14.0	70-80	0.713-0.446	4.0-6.0
Perle	7.0-9.5	80-85	0.446-0.325	4.0-5.0
Pride of Ringwood (Aus)	7.0-10.0	45-55	1.597-1.196	4.0-6.0
Saaz (Tsjechie)	3.0-4.5	45-55	1.597-1.196	3.0-4.0
Saaz (US)	3.0-4.5	45-55	1.597-1.196	3.0-4.5
Spalt (D)	4.0-5.5	50-60	1.386-1.022	4.0-5.5
Spalt (US)	3.0-6.0	45-55	1.597-1.196	3.0-5.0
Styrian Golding (SI)	4.5-6.0	65-80	0.862-0.446	2.0-3.0
Tettnanger (D)	3.5-5.5	55-60	1.196-1.022	3.5-5.0
Tettnanger (US)	4.0-5.0	55-60	1.196-1.022	3.0-4.0
Ultra (US)	2.0-3.5	65-80	0.862-0.446	3.0-4.5
Willamette	4.5-6.0	60-65	1.022-0.865	3.0-4.0

Nu is het tijd om een aantal aannames te poneren:

- Voor bekende waarden van afname aan alfazuur na zes maanden voor losse hopbloemen bewaard bij 20 °C is een $F_{verlies}$ te berekenen door formule (4) in te vullen. Voorbeeld: 30% verlies na zes maanden geeft $F_{verlies} = 2^{* \ln(100/70)} = 0.7133498$. $F_{verlies}$ is gelijk aan $2 \ln 2$ (tweemaal de natuurlijke logaritme uit 2 = 1.38629..) als wordt gesteld dat de afname aan alfazuur ca. 50% is na zes maanden voor losse hopbloemen bewaard bij 20 °C.
- F_{hoed} is 1 voor hopbloemen en 0.5 voor pellets
- F_{verpak} is 0.5 voor vacuum- en gasverpakking en anders 1
- F_{zw} is 0.5 voor zuurstofwerende verpakking en anders 1
- F_{temp} is gelijk aan $2^{(T-20)/15}$ met T in graden Celsius [6].

Deze factoren zijn gebaseerd op de methode Garetz [6] en zijn slechts licht gewijzigd i.v.m. vermeende overcorrectie.

Nu de afname aan alfazuur in de tijd tijdens opslag is omschreven, volgt nu de beschrijving van de vorming van geoxideerd betazuur in de tijd. De percentages betazuur staan meestal



Hopopslag

niet vermeld op de hopverpakking voor de thuisbrouwer. Enige waarden voor betazuurpercentages staan vermeld in Tabel 1.

De vorming van geoxideerd betazuur kan beschreven worden met (5)

$$(5) \quad \beta_{ox}\%(t) = \beta\%(0) * (1 - e^{-k_2 t})$$

waarin:

- e het natuurlijk getal is (e=2.718281828..)
- t de tijd in jaren voorsteld
- $\beta\%(0)$ het betazuurpercentage op tijdstip t=0 is
- $\beta_{ox}\%(t)$ het geoxideerd betazuurpercentage op tijdstip t is
- k₂ de vormingsconstante; hoe groter k₂, des te sneller wordt betazuur geoxideerd in de tijd. k₂ zal net zo bepaald moeten worden als k₁.

Aangezien er mijns wetens geen data bekend zijn om formule (5) te verifiëren, zullen er een aantal aannames gedaan moeten worden waar verder in de tekst op ingegaan zal worden.

De bitterheid

De waargenomen bitterheid (B) is de som van de concentratie aan iso-alfazuren en geoxideerde betazuren, in bijv. mg/l. Het zal duidelijk zijn dat er als het ware 'appels en peren' bij elkaar worden opgeteld. Om op één éénheid over te stappen zal de *iso-alfazuur equivalent* ingevoerd moeten worden, immers geoxideerd betazuur is 4 maal minder bitter dan iso-alfazuur [9]. Formule (6) wordt dan verkregen en luidt als volgt:

$$(6) \quad B = [\text{iso-alfazuur}] + 0.25[\text{geoxideerd betazuur}] \quad \text{equivalenten iso-alfazuur mg/l}$$

Formule (6) kan herschreven worden tot formule (7) door de concentraties iso-alfazuur en geoxideerd betazuur uit te schrijven:

$$(7) \quad B = ((\alpha\%(t) * HR_{\text{alfa}} + 0.25 * \beta_{ox}\%(t) * HR_{\text{beta}}) * \text{gram hop}) / (10 * \text{Volume}))$$

met:

- HR_{alfa} als hoprendement van alfazuur volgens Tinseth
- HR_{beta} als hoprendement van geoxideerde betazuren

Door formules (2) en (5) te substitueren in formule (7) wordt formule (8) verkregen:

$$(8) \quad B = ((\alpha\%(0) * e^{-k_1 t} * HR_{\text{alfa}} + 0.25 * \beta\%(0) * (1 - e^{-k_2 t}) * HR_{\text{beta}}) * \text{gram hop}) / (10 * \text{Volume}))$$

Aangezien HR_{beta} volgens Tinseth en andere modellen niet bekend zijn (ref [5] vermeldt dat geoxideerde betazuren 'goed' oplossen, maar geeft geen rendementen) net als k₂, wordt aangenomen dat HR_{alfa}=HR_{beta} en k₁=k₂: afname van alfazuren en vorming van geoxideerde betazuren gaan gelijk op. Formule (8) wordt dan:

$$(9) \quad B = ((\alpha\%(0) * e^{-k t} + 0.25 * \beta\%(0) * (1 - e^{-k t})) * HR_{\text{alfa}} * \text{gram hop}) / (10 * \text{Volume}))$$

Praktijk

Hoe gaan we met deze wetenschap om in de praktijk? Het makkelijkste is om een spreadsheet te schrijven waarin deze berekeningen uitgevoerd kunnen worden om de hopopslagfactor te kunnen berekenen. Deze dient dan met de oorspronkelijke alfazuurpercentage vermenigvuldigd te worden om het actuele alfazuur percentage te verkrijgen. Verder dienen er meer basisgegevens beschikbaar te zijn (liefst op de verpakking!), zoals Tabel 1, om tot de goede hopopslagfactor te komen.

Indien niet de precieze waarden voorhanden zijn kan met de gegevens uit Tabel 1 gerekend worden m.b.v. formule (10) om tot de goede hopopslagfactor te komen.

Voor degenen die al dat rekenwerk achterwege willen laten, kan er met de hopopslagfactoren van standaard hop gewerkt worden, zie Tabel 2. Met standaard hop wordt hop verstaan



Hopopslag

waarvan de betazuren de helft zijn van de alfazuren en waarvan $F_{\text{verlies}} = 2 \cdot \ln 2 = 1.38629$. De hopopslagfactor voor hop luidt:

$$(10) \quad F_{\text{opslag}} = (\alpha \% (0) \cdot e^{-k \cdot t} + 0.25 \cdot \beta \% (0) \cdot (1 - e^{-k \cdot t})) / \alpha \% (0)$$

en voor standaard hop

$$(11) \quad F_{\text{opslag, st}} = 0.875 e^{-k \cdot t} + 0.125$$

In Tabel 2 staan de $F_{\text{opslag, st}}$ vermeld onder verschillende bewaarcondities als functie van de tijd.

Tabel 2: Hopopslagfactoren voor 'standaard hop'

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

Om het gebruik te verduidelijken volgen hieronder enige voorbeelden.

Voorbeeld 1, 30 l wort met een OG=1060, 60 minuten koken en 35 EBU gewenst: Hoppellets, 12.4% alfazuur, ?% betazuur, een jaar bewaard vacuum verpakt in een zuurstofwerende verpakking bij -20°C. Voor hopopslagfactor zie Tabel 2. De hopopslagfactor = 0.976 en geeft 12.1% als alfazuur equivalenten. HR=21.1%, 37 gr pellets.

Voorbeeld 2, 30 l wort met een OG=1060, 60 minuten koken en 35 EBU gewenst: Hopbloemen, 12.4% alfazuur, ?% betazuur, een jaar bewaard los verpakt bij +20°C Voor hopopslagfactor zie Tabel 2. De hopopslagfactor = 0.344 en geeft 4.3% als alfazuur equivalenten. HR=21.1%, 116 gr bloemen.

Voorbeeld 3, 30 l wort met een OG=1060, 60 minuten koken en 35 EBU gewenst: Hoppellets, 12.4% alfazuur, 8.6% betazuur, 75% alfazuur over na 6 maanden bij 20 °C, een jaar bewaard vacuum verpakt in een zuurstofwerende verpakking bij -20°C, geeft 12.3% als alfazuur equivalenten en hopopslagfactor = 0.991. Immers, $F_{\text{verlies}} = 2 \ln(100/75) = 0.575$. $F_{\text{temp}} = 2^{(-40/15)} = 0.157$. Hiermee wordt $k = 0.575 \cdot 0.157 \cdot 0.5 \cdot 0.5 \cdot 0.5 = 0.01131$. $\exp(-k \cdot t) = 0.9887$. Deze gegevens in formule (10) stoppen, geeft een hopopslagfactor van 0.991. HR=21.1%, 36 gr pellets.

Voorbeeld 4, 30 l wort met een OG=1060, 60 minuten koken en 35 EBU gewenst: Hopbloemen, 12.4% alfazuur, 6.8% betazuur, 75% alfazuur na 6 maanden bij 20 °C, een jaar bewaard los verpakt bij +20°C, geeft 7.9% als alfazuur equivalenten en een hopopslagfactor = 0.639. Immers, $F_{\text{verlies}} = 2 \ln(100/75) = 0.575$. $F_{\text{temp}} = 2^{(0/15)} = 1$. Hiermee wordt $k = 0.575 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0.575$. $\exp(-k \cdot t) = 0.5627$. Deze gegevens in formule (10) stoppen, geeft een hopopslagfactor van 0.639. HR=21.1%, 63 gr bloemen.

Ervaringen

Het zal duidelijk zijn dat er vele aannames zijn gemaakt en vele preciese gegevens ontbreken. Het aantal brouwsels berekend met hopopslagfactoren volgens de hierboven



Hopopslag

beschreven methode zijn nog gering in aantal (vier om precies te zijn) maar de eerste indruk is dat de doelstelling qua bitterheid beter benaderd wordt. De correctiefactoren voor de hopopslag resulteerde in een 5-12% hogere (bitter)hoggift. Ook hoppellets van twee jaar oud (in de vriezer bewaard) gaven een goed resultaat.

Aanbevelingen

- koop verse hop (bloemen/pellets), vacuum verpakt in zuurstofwerende verpakking en sla het op in de vriezer. Vooral het op lage temperatuur bewaren van hop is goed voor de kwaliteit
- gebruik verse hoppellets voor de bitter hoggift
- wees voorzichtig met het teveel corrigeren van het bitterend vermogen van de hop. Gebruik liever een gematigde correctiefactor zoals hier beschreven
- vermelding van het alfazuur percentage plusminus de standaardafwijking op de verpakking.
- vermelding van het betazuur percentage op de verpakking

Discussie

Dit artikel is op een smalle basis gefundeerd en kan zeker op een aantal punten bediscussieerd worden. Laat dit gebeuren om tot de juiste inzichten te komen! In ieder geval ben ik ervan overtuigd dat deze rekenmethode mijn bieren (de laatste vier althans!) dichter bij de bitterheidsdoelstelling heeft doen komen. Uiteraard is pas na meerdere brouwsels vast te stellen of deze correctie werkelijk is toe te passen. Het sensorisch vaststellen van de *totale bitterheid* is zeker een zwak punt om te toetsen of de doelstelling behaald is, maar is dit op het ogenblik niet het beste voor de thuisbrouwer? Een bitterheidsreferentiekader is voor de brouwer wel vereist, maar hard trainen doet wonderen!

Referenties

- [1] G. Tinseth, The Hop Page, <http://realbeer.com/hops/>, juni 1997
- [2] M. Hall, IBU? Finding the solution to balanced beer bitterness is all in the numbers, Zymurgy, Vol. 20 No.4, blz. 55-67, Hop special 1997
- [3] W. Hardwick, ed., Handbook of Breweing, Marcel Dekker Inc., 1995
- [4] M. Ramsey, Factors Influencing Hop Utilization or Where Does It All Go?, Zymurgy, Vol. 13, No. 4, pp 46-52, 1990
- [5] J. Bertens, Hoprendement (1), PROOST Nr. 16, blz. 15, 1996
- [6] M. Garetz, Using Hops, The Complete Guide to Hops for the Craft Brewer, HopTech, 1994
- [7] P. Wester, eigen ervaring feb. 1998
- [8] Hop Variety Specifications, by HOPUNION, USA Inc., <http://hopunion.com>, dec. 1998
- [9] J. Lambrechts, Bieren zelf brouwen, blz. 63-64, 1989

Revisie:

- Rev 1.0 [3 december 1998], eerste publicatie door Peter Wester
- Rev 1.1 [27 februari 2009], KWBG layout toegepast