

Bierberekeningen

Gebruik van de hydrometer en refractometer voor diverse bepalingen aan wort en bier

Hans Halberstadt Januari 2018

De informatie in dit Artikel is voor een deel nieuw ontwikkelde kennis en dus niet afkomstig uit bestaande artikelen. Dit artikel of delen daarvan mogen eenmalig gedownload worden ten behoeve van eigen gebruik, maar niet verspreid worden of hergebruikt zonder schriftelijke toestemming van de auteur. De formules, voor zover nieuw, mogen in software opgenomen worden mits in die software ook duidelijk herkenbare bronvermelding opgenomen wordt en alleen na schriftelijke toestemming van de auteur.

De laatste versie van bijbehorende software is gratis te verkrijgen bij Hans Halberstadt.
Email: Hans.halberstadt@hotmail.com

Copyright© Hans Halberstadt, Januari 2018

Inhoudsopgave

Bierberekeningen	1
Lijst met figuren	5
1. Inleiding	7
2. SG in detail.....	8
2.1. Werkelijk en schijnbaar SG.....	8
2.2. SG berekeningen met behulp van krimpfactoren	11
3. De omzetting van mout in (mout)suikers en alcohol	17
3.1. Inleiding	17
3.2. Van mout tot bier.....	17
3.3. Berekening van de diverse omzettingen.....	17
3.3.1. maischen, spoelen, koken en koelen	18
3.3.2. Hoofdgisting.....	20
3.3.3. Bottelen/Nagisting op de fles	22
3.4. Het beginSG en eindSG en Brix, Plato waarde nader bezien	24
3.5. Alcohol percentage.....	28
4. de Refractometer	29
4.1. Inleiding	29
4.2. Definitie Brix.....	29
4.3. Via Brekingsindex naar Brix waarde	30
4.4. Schijnbare Brix.....	32
Intermezzo Brekingsindex in oplossing	33
4.5. Conclusie	35
5. Relatie tussen refractometer en hydrometer	36
5.1. Inleiding	36
5.2. Verband tussen Brix en concentratie opgeloste stoffen.	36
5.3. Testen van het rekenmodel aan de werkelijkheid	39
5.4. Plato waarde	42
5.5. Verschil tussen Plato en Brix	45
5.6. Het begrip Brix correctie factor	46
5.7. Hand formule voor het verband tussen Brix en SG	48
5.8. Meten van het beginSG met een refractometer	49
5.9. Inleiding alcoholberekeningen	51
6. Alcoholbepalingen	52
6.1. Inleiding	52
6.2. BeginSG-eindSG.....	52
6.3. BeginBrix-EindBrix	56
6.4. EindSG, EindBrix (+ BeginSG, BeginBrix)	58
6.5. EindSG, EindSG met alcohol verdampt.....	60
6.6. EindBrix, EindBrix met alcohol verdampt.....	64
6.7. EindSG, EindBrix , EindSG, EindBrix met alcohol verdampt	66
6.8. Destileren en opvangen van alle alcohol.....	66
6.9. Conclusie	67
7. Reken programma	69
7.1. Demo van rekenmodel rondom het brouwproces	69
7.1.1. Brouwen	69
7.1.1.1. Beslag	70
7.1.1.2. Moutspec-extraheerbare deel suiker.....	71
7.1.1.3. Wort na spoelen.....	73
7.1.1.4. Wort na koken	73

7.1.2.	Gisten	73
7.1.2.1.	Bierverlies rendement 1	74
7.1.2.2.	Vergistingsrendement.....	74
7.1.2.3.	Alcohol omzet/Alcoholvorming.....	75
7.1.2.4.	Restsuiker	75
7.1.2.5.	Krimp en verdamping.....	75
7.1.2.6.	Eiwit	75
7.1.2.7.	Overige stoffen.....	75
7.1.2.8.	Eind hoofdgisting	75
7.1.3.	Bottelen	76
7.1.3.1.	Bierverlies door overhevelen	77
7.1.3.2.	Toevoegen van bottelsuiker	77
7.1.3.3.	Koolzuur in het bier.....	77
7.1.3.4.	Berekende uitkomsten	77
7.1.4.	Uitkoken alcohol	77
7.1.4.1.	samenstelling Biermonster voor uitkoken.....	79
7.1.4.2.	samenstelling Biermonster na uitkoken	79
7.1.4.3.	samenstelling destillaat	79
7.1.5.	Berekende uitkomsten	79
7.1.5.1.	Uitkomst formulier.....	80
7.1.5.2.	recept/brouwconstanten.....	80
7.1.6.	losse berekeningen 1	82
7.1.7.	Brouw water infusie	83
7.1.8.	Brouwwater decoctie.....	84
7.1.9.	Eiwit bepaling	84
7.1.10.	Alcohol bepalingen	86
7.1.10.1.	EindSG-EindBrix-BeginSG-BeginBrix	87
7.1.10.1.1.	BeginSG-EindSG	87
7.1.10.1.2.	BeginBrix-EindBrix	88
7.1.10.1.3.	EindSG-EindBrix	88
7.1.10.1.4.	EindSG,Brix-BeginSG,Brix	88
7.1.10.1.5.	BeginSG-BeginBrix	92
7.1.10.2.	Alcohol verdampen en aanvullen.....	93
7.1.10.2.1.	EindSG, EindSG uitkoken.....	94
7.1.10.2.2.	EindBrix,EindBrix uitkoken.....	95
7.1.10.2.3.	EindBrix,SG- EindBrix,SG uitkoken	95
7.1.10.3.	Destileren	96
7.1.10.4.	Hydrometer refractometer calibratie	100
7.1.10.5.	Gecalibreerde metingen.....	102
7.1.11.	Losse berekeningen 2.....	104
7.2.	rekenprocedures achter de schermen.....	104
7.2.1.	krimpfactoren	104
7.2.1.1.	alcohol krimpfactor	104
7.2.1.2.	suiker krimpfactor	105
7.2.1.3.	eiwit krimpfactor	105
7.2.1.4.	glycerol krimpfactor	106
7.2.2.	SG bijdragen.....	106
7.2.2.1.	Kalcohol	106
7.2.2.2.	K suiker	107
7.2.2.3.	Keiwit.....	107

7.2.2.4.	Kglycerol	107
7.2.3.	Formules voor dichtheid (SG, Plato).....	107
7.2.3.1.	formule voor de Plato waarde	109
7.2.4.	deelbijdrage aan de brekingsindex	109
7.2.4.1.	deelbijdrage alcohol	109
7.2.5.	Formule voor brekingsindex (Brix, Ri).....	110
8.	Referenties.....	110
9.	Appendix	112
9.1.	afleiding SG formule	112
9.2.	afleiding Brix correctiefactor	113
9.3.	Reken procedure extraheerbare suiker-moutspec	113
9.4.	Determination of the arguments of two functions to get the desired function values	
	114	

Lijst met figuren

Figuur 1 Werkelijk SG van water bij verschillende temperatuur.....	9
Figuur 2 Deel van een alcoholtabel met gebruikmaking van schijnbaar SG definitie	11
Figuur 3 schematisch voorbeeld om het (werkelijk) SG uit te rekenen	12
Figuur 4 krimpfactor voor een alcohol/water mengsel	13
Figuur 5 krimpfactor voor een sucrose/water mengsel	13
Figuur 6 schema maischproces, Spoelen, koken.....	19
Figuur 7 schema hoofdgisting	21
Figuur 8 schema bottelen/nagisting.....	23
Figuur 9 verband tussen Brekingsindex en gewichts% sucrose (g/100g).....	30
Figuur 10 verband tussen brekingsindex en sucrose concentratie. (g/100ml)	31
Figuur 11 verband tussen brekingsindex en gewichts% ethanol. (g/100g).....	32
Figuur 12 verband tussen brekingsindex en ethanol concentratie. (g/100ml).....	33
Figuur 13 Schematische weergave van een oplossing van een stof (bv suiker) in water	34
Figuur 14 Brix aflezing in relatie tot opgeloste stoffen	37
Figuur 15 gemeten en berekend Schijnbaar SG van een aantal water oplossingen van sucrose en sucrose+eiwit (gelatine).....	40
Figuur 16 gemeten en berekende Brix waarde van een aantal water oplossingen van sucrose en sucrose+eiwit (gelatine).....	40
Figuur 17 gemeten en berekend Schijnbaar SG van een aantal water oplossingen van gerstemoutstroop en sucrose oplossing berekend	41
Figuur 18 gemeten en berekende Brix waarde van een aantal water oplossingen van gerstemoutstroop en sucrose oplossing berekend	41
Figuur 19 verband tussen SG en Plato graden	45
Figuur 20 Brix correctiefactor voor alcohol oplossing	47
Figuur 21 Brix correctiefactor voor wort met eiwitpercentage.....	48
Figuur 22 simpele formule versus meer exacte formule	49
Figuur 23 afschatting van het alcoholpercentage met behulp van beginSG-EindSG	54
Figuur 24 standaard waarden voor brouwconstanten.....	55
Figuur 25 standaard recept	55
Figuur 26 waarde van k1 bij verschillende brouw omstandigheden.....	56
Figuur 27 afschatting van het alcoholpercentage met behulp van begin Brix-Eind Brix	57
Figuur 28 Waarde van k2 bij verschillende brouwomstandigheden.....	57
Figuur 29 verband tussen Brix-Plato van het bier en alcohol percentage	59
Figuur 30 Waarde van k5 bij verschillende brouwomstandigheden.....	60
Figuur 31 verband tussen alcohol vol% en eindSG-EindSG zonder alcohol.....	61
Figuur 32 k3 voor verschillende brouw omstandigheden	62
Figuur 33 delta SG meting van bier en uitgekookt en aangevuld bier	63
Figuur 34 voorbeeld van een volume (grote knikker).....	64
Figuur 35 experimentele opstelling voor delta SG meting met 2 grote knikkers	64
Figuur 36 stelgewichtje (metalen draadje).....	64
Figuur 37 Verband tussen alcohol vol% en eindBrix-EindBrix zonder alcohol.....	65
Figuur 38 k4 voor verschillende brouw omstandigheden	65
Figuur 39 destillatiekolf en koeler	66
Figuur 40 andere kant van de koeler met koelwateraansluiting op de waterleiding	67
Figuur 41 tab Brouwen.....	70
Figuur 42 moutspec formulier.....	71
Figuur 43 voorbeeld van een moutspec.....	72
Figuur 44 tab Gisten.....	74

Figuur 45 tab "bottelen"	76
Figuur 46 tab 'uitkoken alcohol'	78
Figuur 47 uitkomst formulier	80
Figuur 48 recept formulier	81
Figuur 49 brouwconstanten formulier	82
Figuur 50 losse berekeningen 1	83
Figuur 51 Brouw water infusie	84
Figuur 52 tab 'Eiwit bepaling'	86
Figuur 53 Alcoholberekeningen via metingen aan wort en/of bier	87
Figuur 54 melding BeginSG-EindSG berekening	88
Figuur 55 aanpassing standaard recept en brouwconstanten	88
Figuur 56 0g/Liter eiwit	89
Figuur 57 5g/Liter eiwit	89
Figuur 58 10g/Liter eiwit	90
Figuur 59 eiwit factor gisting en vergistbare deel van de moutsuikers als te bepalen parameters	91
Figuur 60 alcoholomzet en vergistbare deel van de moutsuikers als te bepalen parameters ...	92
Figuur 61 eiwit,suikerbepaling via beginSG, beginBrix	93
Figuur 62 bijbehorende waarden voor 'moutgewicht per 10L bier' en 'eiwitfactorwort'	93
Figuur 63 toekennen aan brouwconstanten, recept	93
Figuur 64 alcohol verdampen en aanvullen	94
Figuur 65	95
Figuur 66 destillatie formulier	96
Figuur 67 berekend moutgewicht behorend bij gemeten uitkomsten aan destillaat	97
Figuur 68 toekennen mout aan recept	97
Figuur 69 toekennen van het berekende recept, brouwconstanten aan het schematisch overzicht	98
Figuur 70 brouwconstanten toekennen aan schematisch overzicht	99
Figuur 71 recept toekennen aan schematisch overzicht	99
Figuur 72 schematisch overzicht uitkoken en destileren	100
Figuur 73 hydrometer refractometer calibratie	101
Figuur 74 voorbeeld hydrometer refractometer calibratie	102
Figuur 75 tab 'gecalibreerde metingen'	103
Figuur 76 voorbeeld gecaliibreerde metingen	104
Figuur 77	116

1. Inleiding

Op de Triple-W gildeavond van Maart 2007 heeft Hans Halberstadt het eerste deel gepresenteerd van een lezing met als onderwerp: ‘Rekenen aan bier’

Naar aanleiding van deze lezing zijn een aantal artikelen verschenen in het gildekrantje van Triple-W en er is een demo computerprogramma geschreven dat de behandelde onderwerpen ondersteunt.

Deze artikelen zijn nu gebundeld en verder uitgediept met als resultaat het werk wat nu voor u ligt. De schrijver hoopt hiermee een bijdrage te kunnen leveren aan de begripsvorming over de manier waarop een aantal belangrijke parameters van het brouwsel bepaalt kunnen worden.

In het hobbybrouw wereldje zijn veel berekeningen beschikbaar, maar vaak geven verschillende berekeningen met hetzelfde doel toch verschillende uitkomsten. Tevens is de herkomst van berekeningen vaak onduidelijk, alsmede de onderbouwing hoe de berekeningen tot stand gekomen zijn. Hierdoor worden de resultaten vaak in de verkeerde context gebruikt is het vaak moeilijk om te achterhalen in hoeverre de gedachtes achter de berekeningen kloppen. Dit alles leidt tot fouten, verkeerde interpretaties en onnauwkeurigheden.

Met dit werk heeft Hans Halberstadt zich ten doel gesteld om een duidelijk onderbouwd verhaal te geven, waardoor vooral de principes welke achter de berekeningen zitten voor de lezer duidelijk en logisch moeten worden. Helaas is het niet altijd mogelijk om de nodige wiskunde te voorkomen om op een logische manier tot bepaalde resultaten te komen, maar de opzet is zodanig, dat de niet wiskundigen onder ons deze afleidingen gewoon kunnen laten voor wat ze zijn, om de resultaten toch te kunnen gebruiken in de brouwpraktijk. Omdat de werkelijke berekeningen in sommige gevallen vrij uitgebreid zijn heeft Hans deze ondergebracht in een computer demonstratie programma genaamd “Bierrekenen” wat al het rekenwerk uit handen neemt. Hiermee kan het resultaat bekeken worden. Tevens kunnen deze berekeningen gebruikt worden voor alcoholbepalingen en andere interessante doeleinden. De berekeningen zijn na schriftelijke toestemming van de auteur beschikbaar om in brouwsoftware opgenomen te worden.

2. SG in detail

Het Soortelijk gewicht (SG) is een zeer belangrijk hulpmiddel voor brouwers.

Het soortelijk gewicht van de wort geeft informatie over de te verwachten sterkte van het bier, maar ook geeft het een indicatie hoe het brouwproces verlopen is.

Het soortelijk gewicht van het bier na of tijdens de hoofdgisting geeft informatie over de vergisting en de omzetting van suikers in alcohol. Het soortelijk gewicht kan gemeten worden op diverse manieren, maar voor amateurbrouwers is de hydrometer een voor de hand liggend apparaatje om redelijk nauwkeurig het SG te meten.

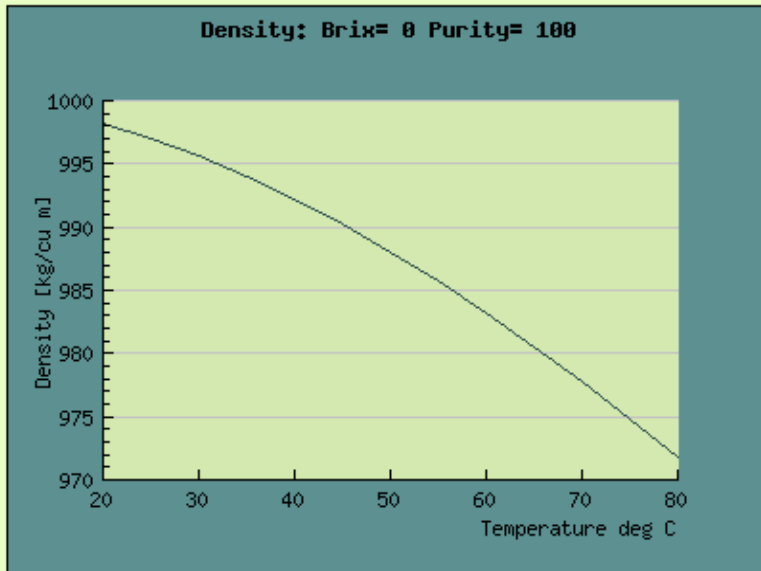
2.1. Werkelijk en schijnbaar SG

Als we wat gedetailleerder gaan kijken naar het begrip SG dan zien we dat er 2 definities van zijn die beiden hun eigen toepassingen hebben.

- Werkelijk SG
 - de verhouding tussen massa van een volume te meten stof (in lucht) en het volume. Dit is de natuurkundige definitie van het SG, maar heeft als nadeel dat het SG van zuiver water niet helemaal gelijk is aan 1.
- Schijnbaar SG
 - de verhouding tussen massa van een volume te meten stof (in lucht) en het gewicht (in lucht) van hetzelfde volume gasvrij en gedestilleerd water bij de gegeven referentietemperatuur. Door deze definitie is het schijnbaar SG van water altijd gelijk aan 1. Het begrip ‘schijnbaar SG’ wordt verderop verder toegelicht

In Figuur 1 is het verband te zien tussen het werkelijk SG van water en de temperatuur.

RESULTS	
Temperature [°C]	4
Brix [%]	0
Purity [%]	100
Density kg/m ³	1000



Figuur 1 Werkelijk SG van water bij verschillende temperatuur

Dit grafiekje is gemaakt via de aangegeven internet site van de suikerindustrie [4]. Het grafiekje laat zien dat het werkelijk SG van zuiver water afneemt bij hogere temperatuur. Het blijkt dat het SG een maximum heeft bij 4 grC .Het werkelijk SG van water gelijk is aan 1.000 bij een temperatuur van 4grC (volgens de definitie).

Bij een temperatuur van 20grC, waar de brouwer normaal gesproken zijn metingen doet, is het SG van zuiver water lager, nl 998.2 g/l. Omdat brouwers vaak geïnteresseerd zijn in het SG ten opzichte van zuiver water is het begrip “schijnbaar SG ” in omloop. Daarbij is het SG van water zodanig verrekend dat deze gelijk aan 1. Dit wordt bereikt door het werkelijk SG van een oplossing te delen door het SG van zuiver water bij dezelfde temperatuur. Dat betekent dat het SG van wort of bier dan geschaald is ten opzichte van 1

Het schijnbaar SG voor wort of Bier bij een temperatuur T is daarom gelijk aan:

$SG_{\text{schijnbaar}} = \text{werkelijk SG bij een temperatuur T} / \text{het werkelijk SG van water bij een temperatuur T.}$

Voorbeeld :

Bier: volume=1000ml, T=20grC

massa=1010g

Werkelijk sg=1010g/l

Schijnbaar SG

massa/massa zelfde volume water

=1010g/998.2g=1011.8

Voor SG metingen in de brouwerij wordt vrijwel altijd het schijnbaar SG gebruikt, omdat het SG vooral iets zegt over de hoeveelheid opgeloste stoffen in water. (beginSG zegt b.v. voornamelijk iets over de hoeveelheid opgeloste suiker). Als er niets opgelost is, dan is het daarom logisch om in dat geval het SG gelijk aan 1 te stellen, onafhankelijk bij wat voor temperatuur het SG bepaald is.

De Amerikaanse benaming voor schijnbaar SG is 'apparent specific gravity'. Er is ook nog een schrijfwijze voor het SG met 2 getallen. Het eerste getal geeft de temperatuur waarbij het SG gemeten is. Het 2^e getal geeft de temperatuur van zuiver water waarvan het SG gebruikt wordt om te delen.

Zo wordt met SG 20/20 het volgende bedoeld:

Gewicht van de oplossing bij 20grC/gewicht van zelfde volume water bij 20grC

SG20/4 is een uitdrukking die ook wel gebruikt wordt voor het werkelijk SG, immers, het werkelijk SG bij 4grC is per definitie gelijk is aan 1.

Het voordeel van de Schijnbaar SG definitie is dus dat het SG van water altijd gelijk is aan 1. Tevens is het voordeel dat het schijnbaar SG makkelijk te meten is omdat je slechts de verhouding van 2 gewichten hoeft te bepalen. (oplossing en zuiver water)

Hydrometers zijn vrijwel altijd geijkt in schijnbaar SG (SG20/20 of SG 17.5/17.5). Hoewel het begrip 'schijnbaar SG' vrijwel temperatuur onafhankelijk is, is de hydrometer wel temperatuur afhankelijk, omdat deze gebruik maakt van opwaartse kracht van een glazen vorm, wat dus in feite een combinatie is van werkelijk SG en uitzetting van glas. Daarom moet je met een hydrometer altijd meten bij de temperatuur waar deze geijkt is, anders moet je een temperatuurscorrectie aangrenzen. Bij de ene meter moet je daarom liefst meten bij 20grC en bij de andere bij 17.5grC. Maar de uitkomst is vrijwel identiek. In Figuur 2 is een voorbeeld gegeven van een deel van een alcoholtabel uitgaande van het schijnbaar SG, zie kolom 1 (SG 20/20).

TABLE 16

*Alcohol Table 20°/20° C.**Relation between Specific Gravity and Alcohol Content by Volume and by Weight*

Specific gravity 20°/20° C.	Percent- age volume	Percent- age weight	Grams per 100 ml.	Specific gravity 20°/20° C.	Percent- age volume	Percent- age weight	Grams per 100 ml.
1.00000	0.00	0.00	0.00	0.99866	0.90	0.71	0.71
0.99997	0.02	0.02	0.02	0.99863	0.92	0.73	0.73
0.99994	0.04	0.03	0.03	0.99860	0.94	0.74	0.74
0.99991	0.06	0.05	0.05	0.99857	0.96	0.76	0.76
0.99988	0.08	0.06	0.06	0.99854	0.98	0.77	0.77
0.99985	0.10	0.08	0.08	0.99851	1.00	0.79	0.79
0.99982	0.12	0.10	0.10	0.99848	1.02	0.81	0.81
0.99979	0.14	0.11	0.11	0.99845	1.04	0.82	0.82
0.99976	0.16	0.13	0.13	0.99842	1.06	0.84	0.84
0.99973	0.18	0.14	0.14	0.99839	1.08	0.85	0.85
0.99970	0.20	0.16	0.16	0.99836	1.10	0.87	0.87
0.99967	0.22	0.18	0.18	0.99833	1.12	0.89	0.89
0.99964	0.24	0.19	0.19	0.99830	1.14	0.90	0.90
0.99961	0.26	0.21	0.21	0.99827	1.16	0.92	0.92
0.99958	0.28	0.22	0.22	0.99824	1.18	0.93	0.93
0.99955	0.30	0.24	0.24	0.99821	1.20	0.95	0.95
0.99952	0.32	0.26	0.26	0.99818	1.22	0.97	0.97
0.99949	0.34	0.27	0.27	0.99815	1.24	0.98	0.98
0.99945	0.36	0.29	0.29	0.99813	1.26	1.00	1.00
0.99942	0.38	0.30	0.30	0.99810	1.28	1.01	1.01

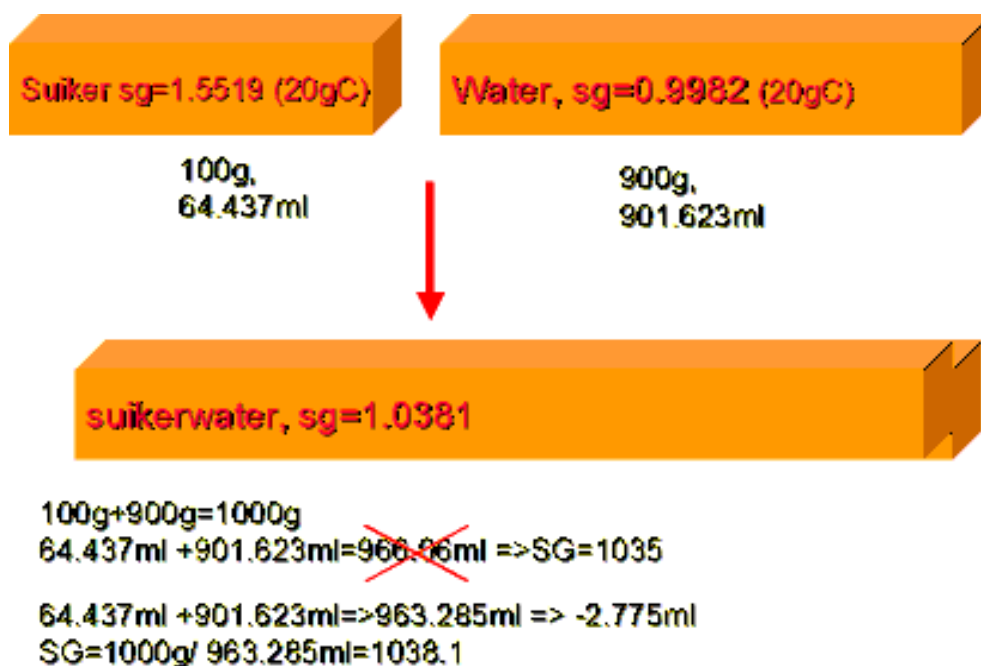
Figuur 2 Deel van een alcoholtabel met gebruikmaking van schijnbaar SG definitie

2.2. SG berekeningen met behulp van krimpfactoren

Via de Goldiner/Kleemann tabellen zoals bv gepubliceerd in “de Praktijkbrouwer” van Gilbert Baetsle [8] is het verband tussen SG en sucrose concentratie gegeven.

De vraag is nu hoe deze tabellen te combineren tot het SG van wort of bier?

Om deze vraag te beantwoorden kunnen we kijken naar het volgende voorbeeld in Figuur 3



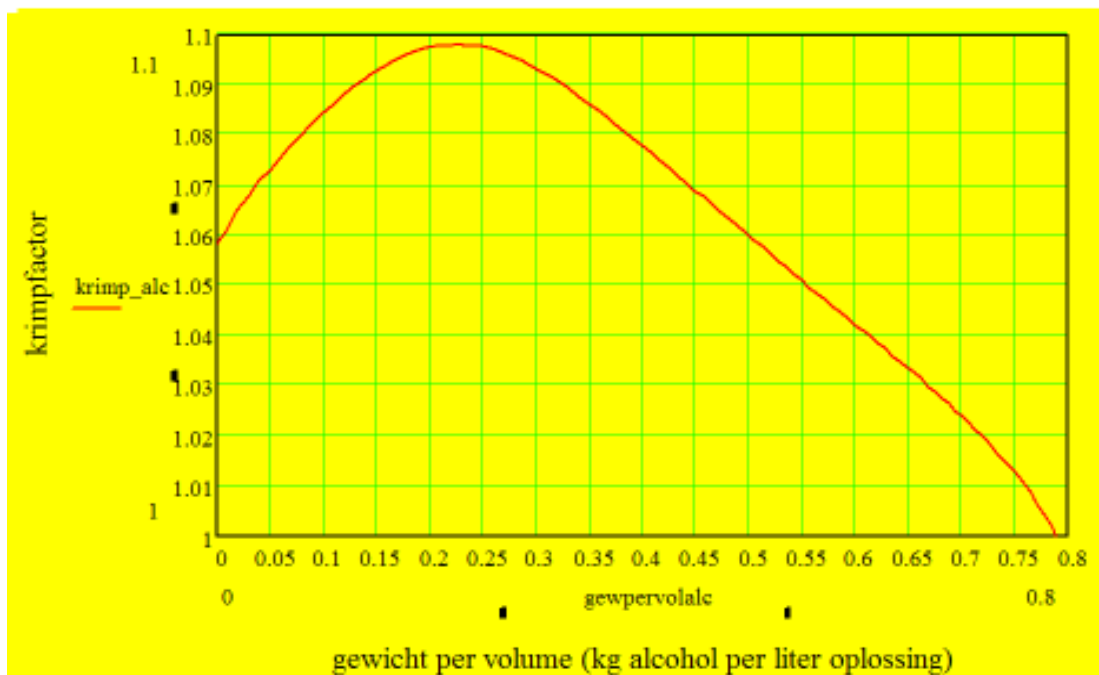
Figuur 3 schematisch voorbeeld om het (werkelijk) SG uit te rekenen

In Figuur 3 wordt toegelicht dat het SG van een suiker/water mengsel te berekenen is door de gewichten van suiker en water op te tellen en te delen door het suikervolume+ watervolume. Hierbij moet echter bedacht worden dat het volume van de pure suiker en het pure water na menging niet exact hetzelfde blijft, maar een heel klein beetje minder wordt. Dat komt omdat de suikermoleculen en water moleculen elkaar aantrekken waardoor de suiker en water moleculen als het ware een beetje in elkaar gaan zitten. Als we nu deze volume 'krimp' volledig toekennen aan de suiker, maw we gaan ervan uit dat alleen het suikervolume krimpt (in Figuur 3 van 64.437 ml naar $64.437 - 2.775 = 61.662$ ml)=4.5%, dan kunnen we het (werkelijk) SG uitrekenen ($SG = 1000g / [64.437 / 1.045 + 901.623] = 1038.11$). Dit krimp-effect is voor een alcohol/water mengsel nog sterker, waarbij de alcohol krimp-factor ca 7.5% bedraagt. Om het werkelijke suikervolume in oplossing te berekenen moet je dus het suikergewicht delen door het (werkelijke) soortelijk gewicht van pure suiker (1.5519) en dan nog een keer delen door de krimp-factor (ca 1.045)

Suikervolume in oplossing = suikergewicht / (SGsuiker x suikerkrimpfactor)

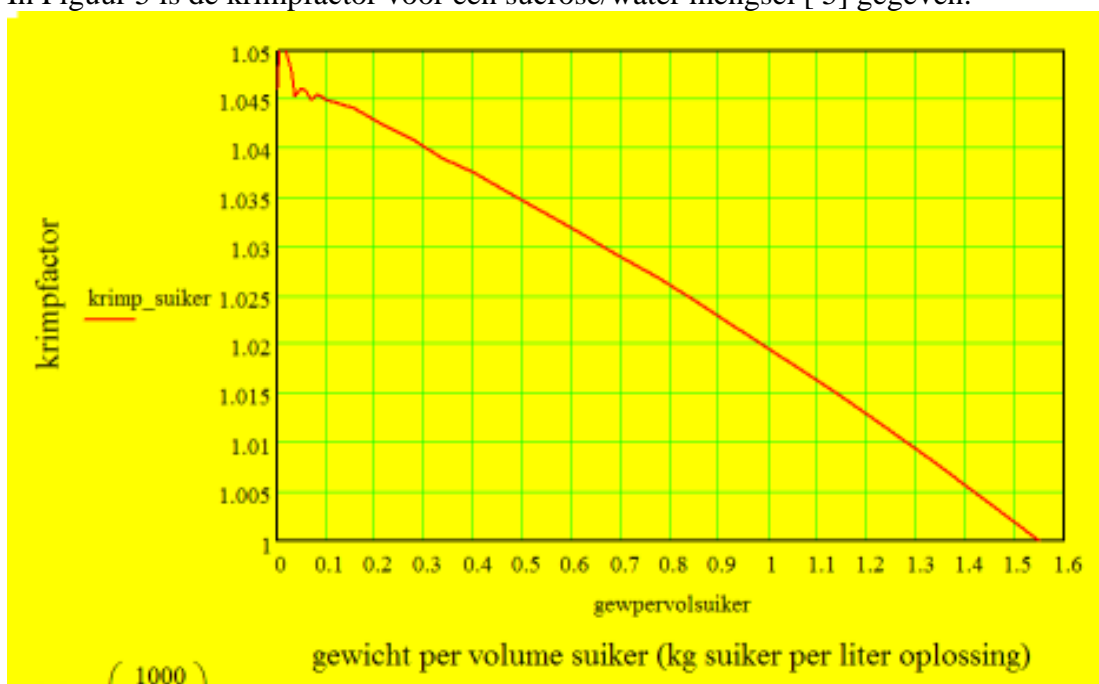
De krimp-factor is af te leiden uit de SG tabellen/software [1], [4], zoals die in de literatuur te vinden zijn, waarbij Gewichts% en Soortelijk gewicht tegen elkaar uitgezet zijn, en waarbij ook het Soortelijk gewicht van de pure stof (100%) nodig is. Een voorbeeld van deze berekening, zoals bijgevoegd bij dit boekwerk, is opgenomen in een Excel bestand voor alcohol [3], en sucrose [5]. Op deze manier kan voor elke oplosbare stof de krimp-factor afgeleid worden [2].

In Figuur 4 is de krimp-factor voor een alcohol/water mengsel gegeven, zoals berekend met behulp van het Excel bestand [3]. Hierbij wordt gebruik gemaakt van het werkelijk SG van 100% alcohol bij 20grC (0.78936) [1] in combinatie met het gewicht% en het bijbehorende SG van het alcohol water mengsel.



Figuur 4 krimpfactor voor een alcohol/water mengsel

In Figuur 5 is de krimpfactor voor een sucrose/water mengsel [5] gegeven.



Figuur 5 krimpfactor voor een sucrose/water mengsel

Hierbij wordt gebruik gemaakt van het werkelijk SG van 100% sucrose bij 20grC (1.5519) [4] in combinatie met het gewicht% en het bijbehorende SG van het suiker water mengsel.

Met deze gegevens kunnen we nu het schijnbaar SG uitrekenen van een willekeurig mengsel van suiker in water met behulp van Vergelijking 1 (zie appendix 9.1 voor een afleiding van de SG formule van Vergelijking 1)

Vergelijking 1

$$\text{SchijnbaarSG_T1} = 1 + \frac{\text{suikergewicht} \left[\frac{1}{\text{sgwater_T1}} - \frac{\text{sgwater_T1}}{\left(\frac{\text{sgsuiker_T1}}{\text{sgwater_T1}} \right) \cdot \text{krimpfactor}} \right]}{\text{volume}}$$

Hierbij is:

SchijnbaarSg_T1= Schijnbaar SG bij temperatuur T1

Sgwater_T1=werkelijk SG water bij T1 (sg=0.9982 bij 20gC)

Sgsuiker_T1=werkelijk SG suiker bij T1 (sg= 1.5519 bij 20gC)

Sgsuiker_T1/ Sgwater_T1=schijnbaar SG van suiker_T1_T1 (1.5547)

Volume= totaal volume van de oplossing

Voor een willekeurig mengsel van stoffen in water kunnen we het SG uitrekenen met Vergelijking 2. Dit is een meer algemene versie van Vergelijking 1, waarbij het SG beschreven wordt als de som van bijdragen van alle opgeloste stoffen.

Vergelijking 2

$$\text{apparent_sg_T1_T1} = 1 + \frac{\sum_{n=0}^{n_{\max}} \left[\text{gewicht_T1}_n \left(\frac{1}{\text{sgwater_T1}} - \frac{\text{sgwater_T1}}{\frac{\text{sgstof_T1}_n}{\text{sgwater_T1}} \cdot \text{krimpfactor}_n} \right) \right]}{\text{totaalvolume}}$$

Vergelijking 2 is in feite dus een optelling (sommatieteken) van de teller van formule 1, maar dan voor elke stof (met stofnummer n) een aparte term, met zijn eigen krimpfactor.

Als we Vergelijking 2 gebruiken, dan moeten we daarbij echter een aanname doen met betrekking tot de krimpfactoren:

- Hoofdbestanddeel van de oplossing is water.
- Elke molecuul opgeloste stof “ziet” voornamelijk water om zich heen en niet de andere opgeloste stoffen.

Met deze aanname blijft Krimpfactor voor een stof in oplossing hetzelfde als bij een mengsel van alleen deze stof in water. Uit praktische metingen blijkt dat we deze aanname inderdaad met behoud van voldoende nauwkeurigheid mogen doen voor wort en bier.

Als we nu alleen naar het stukje rechtsboven in Vergelijking 2 kijken,

$$\left[\frac{1}{\text{sgwater_T1}} - \frac{\text{sgwater_T1}}{\frac{\text{sgstof_T1}_n}{\text{sgwater_T1}} \cdot \text{krimpfactor}_n} \right]$$

totaalvolume

dan zien we dat dit stukje in feite een constant getal voorstelt (aanname dat de krimpfactor voor het gemak even constant is) met een unieke waarde voor elke opgeloste stof. Als we voor het gemak deze constante even “K” noemen, dan kunnen we K nu invullen voor een aantal belangrijke stoffen die in ons brouwsel voorkomen en komen dan op de volgende waarden:

$K1 := \frac{1}{0.9982} - \frac{0.9982}{\frac{1.5519}{0.9982} \cdot 1.043}$	<p>suiker</p> <p>$K1 = 0.386$</p>
$K2 := \frac{1}{0.9982} - \frac{0.9982}{\frac{0.78936}{0.9982} \cdot 1.075}$	<p>ethanol</p> <p>$K2 = -0.172$</p>
$K3 := \frac{1}{0.9982} - \frac{0.9982}{\frac{1.26}{0.9982} \cdot 1.04}$	<p>eiwit</p> <p>$K3 = 0.241$</p>
$K4 := \frac{1}{0.9982} - \frac{0.9982}{\frac{1.27}{0.9982} \cdot 1.04}$	<p>glycerol</p> <p>$K4 = 0.247$</p>

Voor eiwit en glycerol is een aanname gedaan voor de krimpfactor (1.04). Met deze getallen ingevuld volgt nu een erg simpele formule die geschikt is om een globaal inzicht te krijgen hoe het SG beïnvloed wordt door de opgeloste stoffen. Hiermee kunnen we snel het SG afschatten voor een willekeurig mengsel van suiker, alcohol, water en glycerol:

Vergelijking 3

$$SG_{\text{schijnbaar}} = 1 + K1s \cdot \frac{\text{suikergewicht}}{\text{totaalvolume}} + K1a \cdot \frac{\text{alcoholgewicht}}{\text{totaalvolume}} + K1e \cdot \frac{\text{eiwitgewicht}}{\text{totaalvolume}} + K1g \cdot \frac{\text{glycerolgewicht}}{\text{totaalvolume}}$$

met $K1s=0.384$, $K1a=-0.177$, $K1e=0.241$ en $K1g=0.247$

Voor de meest nauwkeurige berekeningen zoals in de brouwsoftware toegepast [10] is ook de concentratieafhankelijke krimpfactor in de k berekening betrokken.

Glycerol is een nevenproduct van de gisting en komt voor ca 0.1% voor in bier. Voor het gemak is alleen glycerol als nevenproduct meegenomen in de berekening. In werkelijkheid zijn er natuurlijk zeer veel nevenproducten, maar omdat de concentratie erg laag is, is dit voor het SG vrijwel niet van belang.

Voorbeeld:

10 liter bier met

500g restsuiker	bijdrage=500/10000 x 0.386=0.019
400g ethanol	bijdrage=400/10000 x -0.1724=-0.0069
50g eiwit	bijdrage=50/10000 x 0.241=0.0012
10g glycerol	bijdrage=10/10000 x 0.241=0.00024

geeft $SG=1000+19-6.9+1.2+0.24=1013.5$

Met deze berekening kan het SG van de oplossing berekend worden (bij 20grC) als we weten hoeveel van elke opgeloste stof in oplossing aanwezig is.

Vraag is nu : wat zit er in wort / bier wat van belang is voor het SG, alcoholpercentage etc?

Daarvoor moeten we weten wat voor omzettingen er tijdens het brouwproces en gisting plaats vinden in het brouwsel, zodat we weten hoeveel van elke stof in het brouwsel zit.

In hoofdstuk 3 zal hier uitgebreid aandacht aan worden besteedt.

Gelukkig hoeven, we zoals al gezegd, niet al deze berekeningen zelf te doen. Als aanvulling op dit boekwerk is een demoprogramma geschreven, 'Bierrekenen.exe'. [10] Dit programma kan een bier doorrekenen, waarbij alle in dit boekwerk besproken berekeningen opgenomen zijn en de invoer en uitkomsten volgens de hierin uitgelegde schematische overzichten gepresenteerd worden. Dit programma wordt uitgebreid besproken in hoofdstuk 7

'Bierrekenen.exe' is te downloaden via de Triple-W site: www.triple-w.org.

Verder is ook het programma 'Bierpro' [15] te downloaden via de Triple-W site. Bierpro biedt een totaal oplossing net zoals programma's als Promash, Brouwhulp en sinds kort ook Brouwvisie. Bierpro, waarvan inmiddels al weer meer dan 15 jaar geleden de basis is gelegd, is voor zover bekend het eerste programma dat gebruik maakt van de uitgebreide berekeningen met krimpfacoren, zoals in dit boekwerk besproken. In de toekomst zal Bierpro,

(en mogelijk ook andere software) aangevuld worden met de laatste inzichten zoals in dit boekwerk gepresenteerd en aan de hand van de reken demo beschikbaar.

3. De omzetting van mout in (mout)suikers en alcohol

3.1. Inleiding

Dit hoofdstuk behandelt de omzetting van mout in (mout)suikers en vervolgens in alcohol. De daaruit voortvloeiende uitkomsten voor SG en Plato via hydrometer en Brix waarde via de refractometer worden ook behandeld. Verder wordt ingegaan op alcoholpercentage (gew % en vol %) Het doel van dit hoofdstuk is voornamelijk om aan de hand van een model van het brouwproces te begrijpen hoe de concentratie van diverse opgeloste stoffen in wort en bier met elkaar samenhangen. Vervolgens is het dan mogelijk om met de gepresenteerde berekeningen te begrijpen hoe de gemeten parameters zoals SG, Brix, Plato waarde hiermee samenhangen.

3.2. Van mout tot bier

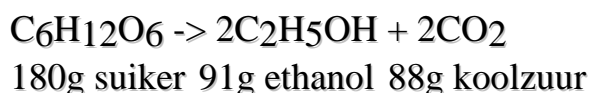
Mout is samen met eventueel toegevoegde suiker de leverancier van suikers in het brouwsel. Naast suikers levert de mout ook aminozuren en eiwitten die in de wort komen. Een groot deel van de eiwitten klontert tijdens het koken samen (eiwit uitvlokking) en verdwijnt zo uit het brouwsel.

Voor de berekening van de vorming van alcohol en restsuiker is het van belang om te weten welk deel van de gevormde suikers vergistbaar is. Daarvoor is het nodig om te weten dat tijdens het maischen de zetmeel uit de mout door alpha-amylase en Beta amylase afgebroken wordt tot suikerketens van verschillende lengte. De langere suikerketens (dextrines) kunnen niet door de gist verwerkt worden, de korte ketens wel. De verhouding tussen onvergistbare en vergistbare suikers is daarom mede afhankelijk van het maischproces. Kort maischen bij 62grC levert relatief meer dextrines op. Ook kan de ene gistsoort meer soorten suiker vergisten dan de andere. Gemiddeld gesproken is 65% van de moutsuikers vergistbaar en 35% niet. Rondom deze gemiddelden zit echter nogal wat variatie.

De vergistbare suikers worden tijdens de gisting vervolgens voor het grootste deel omgezet in alcohol en koolzuur, maar een klein deel van de suikers en eiwitten wordt gebruikt om de groeiende gistkolonie op te bouwen.

3.3. Berekening van de diverse omzettingen

Om te begrijpen hoeveel alcohol er maximaal uit suiker gevormd kan worden kunnen we naar de volgende reactie vergelijking kijken van de omzetting van glucose naar alcohol en koolzuur met daarbij de molaire gewichten:



Hieruit volgt dus dat de omzettingfactor van glucose naar Alcohol=91/180=0.505 in deze ideale reactie.

In wort zijn echter veel meer soorten suikers aanwezig en een deel van de suiker wordt gebruikt om gist te maken in plaats van alcohol. Zolang er zuurstof in de wort zit, bv aan het begin van de gisting tijdens het beluchten, wordt een andere reactievergelijking gevolgd, waarbij geen alcohol gevormd wordt, maar voornamelijk koolzuur en water. Verder wordt bij de bepaling van de hoeveelheid suiker in wort vaak een tabel gebruikt [8] waarbij SG en

opgeloste sucrose tegen elkaar uitgezet zijn. In wort zit naast suiker echter ook nog eiwit, waardoor er dus iets minder suiker in de wort zit dan de SG meting doet geloven. Balling heeft dit alles ooit praktisch onderzocht en is tot de volgende conclusie gekomen, zoals beschreven in het volgende stukje tekst uit de beschikbare literatuur:

ANALYSIS OF BEER

427

It should be noted that this residual extract is not strictly comparable with the initial non-fermented extract of wort, since 100 g. of reconstituted beer do not correspond exactly to 100 g. of wort, owing to non-retention of gaseous carbon dioxide and yeast growth at the expense of wort solids.

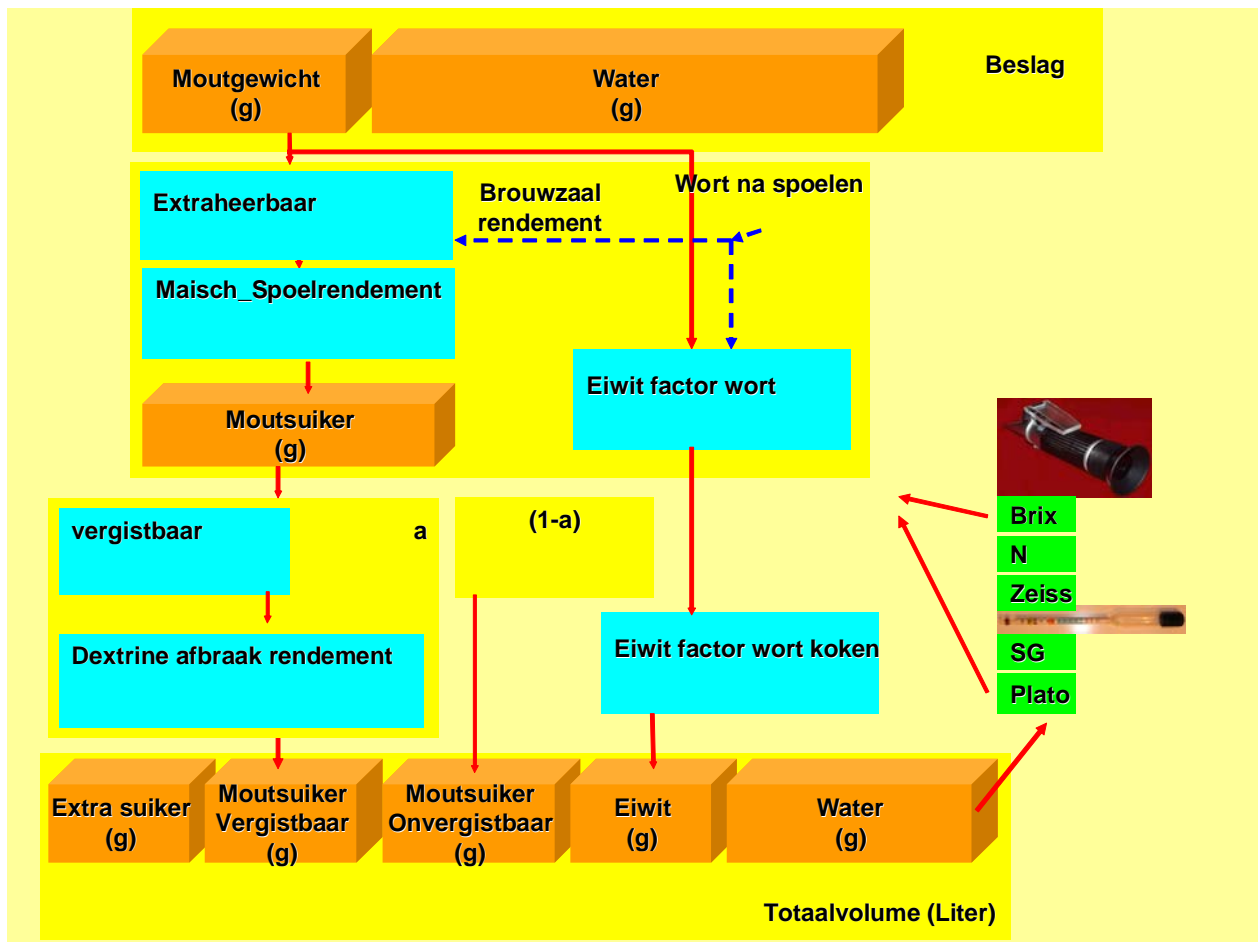
Balling, after making due allowance for these factors, found experimentally that 2.0665 g. of extract gave on an average 1 g. of alcohol, 0.9565 g. of carbon dioxide and 0.11 g. of yeast. Since carbon dioxide and yeast are removed from the beer, each gram of alcohol found is equivalent to 2.0665 g. of extract.

Hieruit blijkt dus dat uit 2.0665 gram extract (= mengsel van moutsuikers, eiwit) 1 gram alcohol ontstaat en 0.11 gram gist. Als we dit omrekenen naar 1 gram extract dan volgt hieruit dat de omzetfactor van extract naar alcohol in de praktijk gemiddeld 0.4839 bedraagt ipv 0.505 vanwege o.a. het verbruik voor de gistopbouw. De omzetfactor van extract naar gist bedraagt dus $0.11/2.0665=0.053$.

In 3.3.1, 3.3.2 en 3.3.3 wordt het rekenmodel van het brouwproces besproken, wat de basis vormt van dit boekwerk, en de basis van de reken demo [10]. Dit rekenmodel is ontwikkeld om inzicht te geven in het brouwproces.

3.3.1. maischen, spoelen, koken en koelen

Het model van het deel van het proces dat tijdens maischen, spoelen, koken plaats vindt is in Figuur 6 weergegeven.



Figuur 6 schema maischproces, Spoelen, koken

De omzetting van mout naar moutsuiker wordt aangeduid met de parameter ‘extraheerbaar’. Deze parameter geeft aan hoeveel kg moutsuiker er ontstaat uit 1 kg mout en is voor elke moutsoort verschillend. Voor pilsmost en Munich (12) most bedraagt deze ca 0.75 a 0.78. Voor tarwemout ca 0.78 a 0.80 en voor de donkere mostsoorten loopt dit terug tot ca 0.62. Deze gegevens zijn bij de mouterij op te vragen en zijn voor de meeste mostsoorten in het ingrediëntenbestand van Bierpro [15] al ingevoerd. (het ingrediëntenbestand van Bierpro kan overigens naar eigen inzicht aangepast worden)

De hoeveelheid suiker die daadwerkelijk uit de mout in de wort terecht komt (aan het begin van het koken) wordt ook nog bepaald door het rendement van het maischproces (hoe goed heeft de afbraak van zetmeel tot suiker plaatsgevonden) en het spoelen (hoe goed is alle suiker uit het beslag gespoeld). Samen wordt dit in het model aangegeven door het Maisch en spoelrendement. Het is mogelijk om het maisch rendement en het spoelrendement los van elkaar te bepalen via een SG meting of refractometer meting aan het beslag en aan de opgevangen wort na het spoelen. (Dit is op dit moment nog niet in de reken demo ingebouwd. Wel kan met behulp van de rekendemo (of Bierpro) het eindresultaat van extraheerbare deel en maisch en spoel rendement, het zgn. brouwzaalrendement bepaald worden.) Het maisch en spoel rendement varieert tussen ca 0.8 (20% blijft achter in het filterbed en of is niet goed omgezet) en 1. (alles uitgespoeld en optimaal gemaischt). Het extraheerbare deel van de mout, samen met het maisch en spoelrendement levert dan een brouwzaalrendement op van ca $0.85 \times 0.75 = 0.64 = 64\%$.

De gevormde moutsuiker aan het eind van het koken is voor ca 65% vergistbaar. Ook hier zijn er verschillen per mostsoort mogelijk. (Zie Bierpro ingrediëntenbestand). De invloeden van het maischproces kunnen met het zogenaamde “dextrine afbraak rendement” meegenomen

worden in de berekeningen. (Dit kan uit ervaring vooraf ingevuld worden, maar ook achteraf via beginSG en eindSG teruggerekend worden). Het produkt van vergistbaar en dextrineafbraakrendement (a) geeft het werkelijk vergistbare deel van de moutsuiker weer. Voor de onvergistbare moutsuiker blijft dan een factor (1-a) over. Soms wordt ook nog extra suiker toegevoegd bij het koken, bijvoorbeeld voor sommige Tripels. Deze suiker wordt direct meegenomen in de berekening en opgeteld bij de vergistbare moutsuiker, er vanuit gaande dat extra suiker tijdens het koken wordt toegevoegd. (of bij de onvergistbare suiker, voor zover er onvergistbare suiker in deze extra suiker aanwezig is).

Wat als laatste nog ontbreekt in het brouwsel is een schatting van het gewicht van de eiwitten en aminozuren. Uit de mout lost na maischen een klein deel (ca 5% van het moutgewicht) op in de vorm van eiwitten en aminozuren. Dit is in het model opgenomen via de parameter 'eiwit factor wort'. (zie 7.1.1.2). Tijdens het koken slaat een deel van de opgeloste eiwitten neer. Dit wordt in het model beschreven met de parameter 'eiwit factor wortkoken'. Het produkt van moutgewicht, eiwitfactor wort en eiwitfactor wortkoken geeft het totaal gewicht aan opgelost eiwit en aminozuren in de wort vlak voor het begin van de gisting.

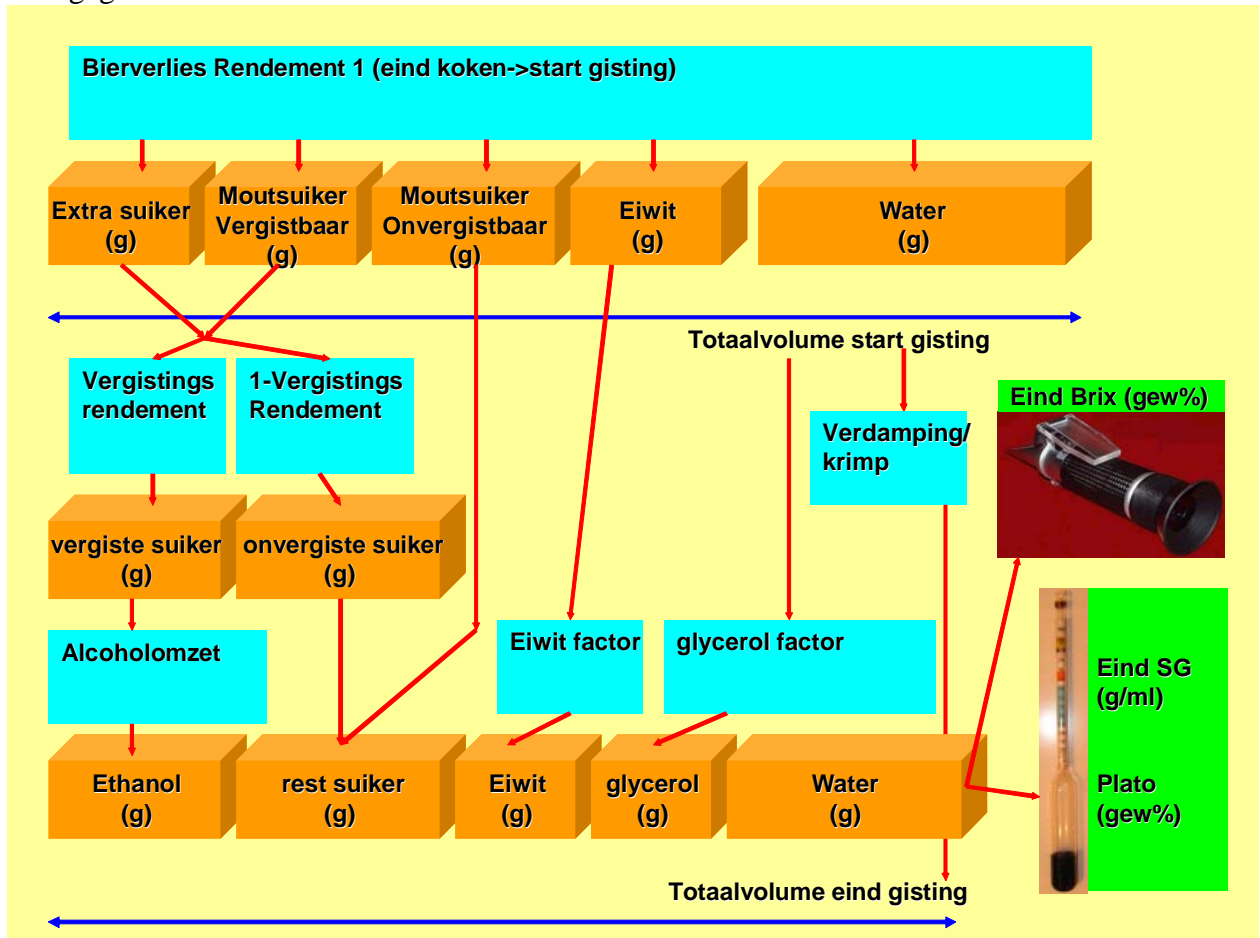
Dit opgeloste eiwit geeft ook een kleine verhoging van het SG van de wort tot gevolg. In de reken demo[10] zijn ook een aantal berekeningen opgenomen om dit eiwitpercentage op verschillende plekken in het brouwproces te bepalen via SG metingen en refractometer metingen.

Van het nu ontstane mengsel (wort na het koken en koelen) van hoofdzakelijk suiker,eiwit en water kan nu het SG (Zie hoofdstuk 2) en refractometer waarde (N, Brix, Zeiss waarde) berekend worden (Dit komt nog in de hoofdstukken 4 en 5 aan de orde). (Er zit natuurlijk nog veel meer in wort, zoals bv bitterstoffen, zouten, zuren etc, maar dat is zo weinig, dat het voor het SG en de Brix waarde niet van belang is. Voor het gemak kan dit onder het kopje "glycerol" worden samengenomen)

3.3.2. Hoofdgisting

Tijdens de hoofdgisting wordt de vergistbare suiker omgezet in alcohol en koolzuur. Het model van het deel van het proces dat tijdens de hoofdgisting plaatsvindt is in Figuur 7

weergegeven.



Figuur 7 schema hoofdgisting

Als eerste wordt de gekookte wort afgeheveld van de hop en gekoeld. Hierbij worden de eiwitten die tijdens het koken samengeklonterd zijn samen met de hoprestanten gescheiden van de wort. Daarna wordt gekoeld waarbij nog meer eiwitten samenklonteren (koude trub). Tijdens dit proces van koelen en filteren over de hop blijft een deel van de wort achter in de neergeslagen eiwitten en hopresten. Het deel van de wort dat vanuit de kookketel in het gistingsvat terecht komt wordt aangegeven met de parameter 'Bierverlies rendement 1' (In Bierpro [15] wordt een automatische afschatting gemaakt van dit bierverlies op basis van opgenomen vocht in de hop en samengeklonterde eiwitten)

Tijdens de gisting slaat er nog meer eiwit neer, oa door de verandere zuurgraad en wordt er eiwit,aminozuren gebruikt door de gist. De verhouding tussen opgelost eiwit,amizozuren aan het eind van de gisting en begin van de gisting wordt beschreven met de parameter 'eiwitfactor'

Met betrekking tot de suikers wordt de vergistbare moutsuiker samengenomen met de extra toegevoegde suiker. Vervolgens wordt deze voor de vergisting beschikbare suiker vermenigvuldigd met het vergistingsrendement. Het vergistingsrendement geeft op elk moment van het gistings proces aan, welk percentage van de vergistbare suiker op een bepaald moment daadwerkelijk vergist is. (vergiste suiker) de factor (1-vergistingsrendement) geeft aan welk percentage van de vergistbare suiker op een bepaald moment nog niet vergist is. (onvergiste suiker) Door de onvergiste suiker op te tellen bij de onvergistbare suiker wordt de totale restsuiker berekend op elk willekeurig moment tijdens de

gisting. De parameter ‘Vergistingsrendement’ is dus de meest directe manier om te beschrijven hoe de gisting gevorderd is. Algemeen gangbare parameters om de vergisting te beschrijven, zoals restextract, schijnbaar extract, schijnbare en werkelijke vergistingsgraad, zijn hier direct aan gerelateerd, maar geven minder inzicht in de status van de vergisting van de potentieel vergistbare suiker. Het is met brouwsoftware nu echter mogelijk om het vergistingsrendement direkt uit te rekenen uit deze algemeen gangbare parameters.

Het alcoholgewicht wordt berekend door de vergiste suiker te vermenigvuldigen met de alcoholomzet.

Tijdens de hoofdgisting wordt ook nog een aantal neven producten gevormd, zoals glycerol, maar ook hogere alcoholen. Dit is onder het kopje “glycerol” samengevat en wordt in het model beschreven via de parameter ‘glycerolfactor’ waarbij het produkt van volume aan het begin van de gisting en ‘glycerolfactor’ de hoeveelheid nevenproducten oplevert.

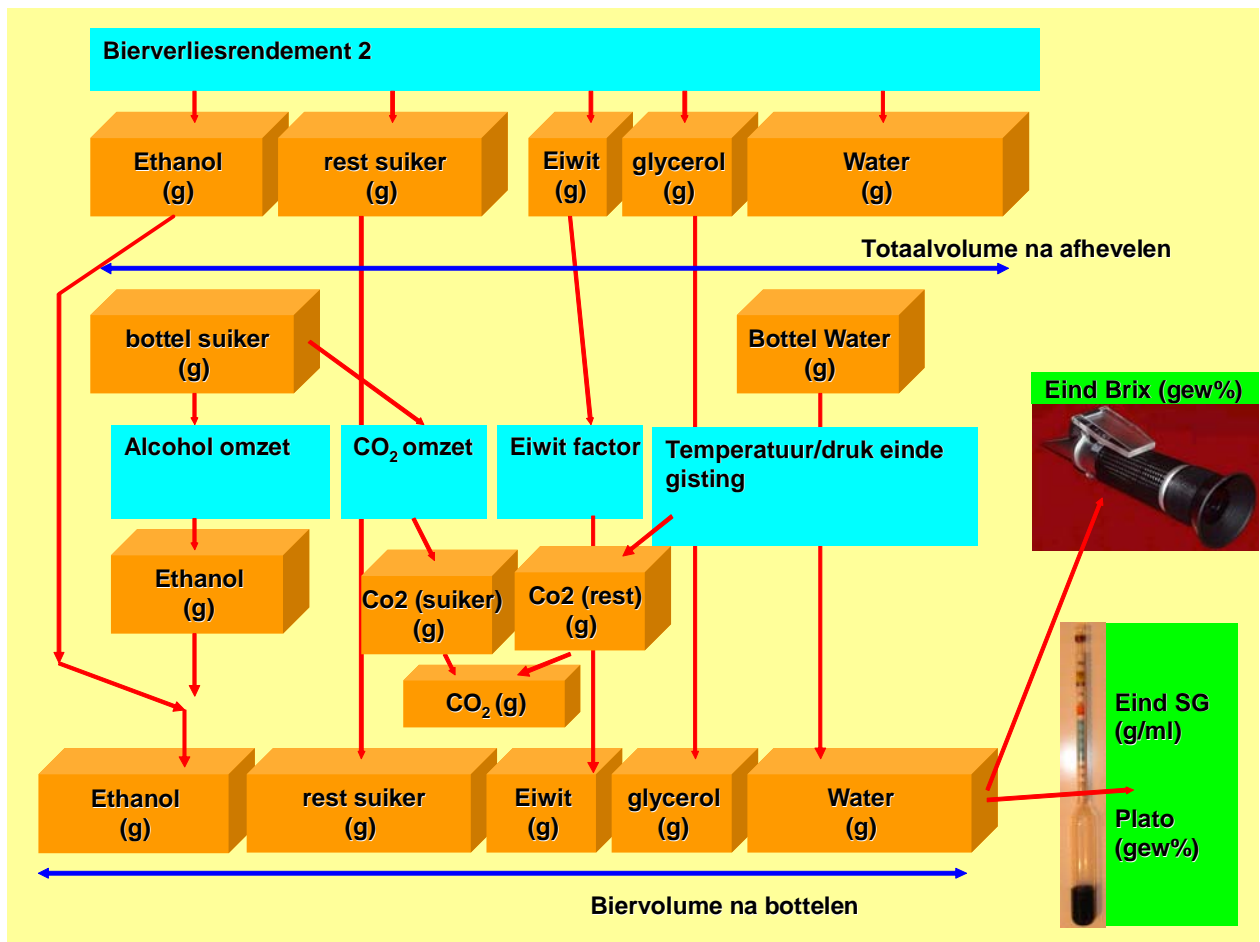
Het totaal volume van het brouwsel aan het eind van de gisting is nu bepaalt door het oorspronkelijke volume aan het eind van het koken te vermenigvuldigen met het bierverliesrendement¹ en daar vervolgens nog een klein beetje van af te trekken voor ‘krimpen en verdamping’ (ca 0.1% van het volume, dus vrijwel verwaarloosbaar)

Van het nu ontstane bier bestaande uit hoofdzakelijk suiker, alcohol, eiwit en water kan het SG (Zie hoofdstuk 2) en refractometer waarde (N, Brix, Zeiss waarde) berekend worden (Dit komt nog in de hoofdstukken 4 en 5 aan de orde), maar ook de Brix waarde (refractometer) en Plato waarde (Hydrometer). Op het begrip Brix, plato wordt nog uitgebreid ingegaan (paragraaf 3.4, hoofdstuk 4 en hoofdstuk 5)

. (Er zit natuurlijk nog veel meer in bier, zoals bv bitterstoffen, zouten, zuren etc, maar dat is zo weinig, dat het voor het SG en de Brix waarde niet van belang is. Dit kan eventueel ‘samen geveegd’ worden onder het kopje ‘glycerol’)

3.3.3. Bottelen/Nagisting op de fles

Het model van dit deel van het proces is in Figuur 8 gegeven.



Figuur 8 schema bottelen/nagisting

Door het afhevelen van het bier na de gisting, met als doel om de gist en neergeslagen eiwit te scheiden van het bier, blijft ook een deel van het bier zelf achter. Het verlies van de daarin opgeloste alcohol, restsuiker, eiwit etc wordt beschreven door de parameter 'biervoliesrendement2'. Dit geeft aan wat de verhouding is tussen gebotteld bier en bier in het gistingsvat aan het einde van de gisting.

Hierdoor neemt ook het totaalvolume na afhevelen iets af.

Tijdens de nagisting wordt, nadat eerst het bier afgeheveld is van de gist en neergeslagen eiwitten, extra vergistbare suiker toegevoegd en evt water waarin deze suiker opgelost is. Het volume hiervan wordt opgeteld bij het volume (na biervoliesrendement 2, dus na het afhevelen van de gist) Deze suiker wordt na het bottelen in de flesjes omgezet in alcohol en koolzuur. De koolzuur blijft nu achter in het bier omdat het geheel in een afgesloten ruimte verder gist. Daardoor neemt de druk in het flesje sterk toe. Deze koolzuur die tijdens de nagisting ontstaat wordt opgeteld bij de koolzuur die al tijdens de hoofdgisting ontstaan is, althans alleen dat deel van die koolzuur die in het bier achtergebleven is. Het koolzuurpercentage (gewichts%) dat tijdens de hoofdgisting in oplossing kan blijven bij omgevings luchtdruk is bij kamertemperatuur ca 0.17 gew% en wordt bij andere temperatuur en druk welke optreedt tijdens de hoofdgisting door de rekendemo uitgerekend en samen genomen met het koolzuur wat ontstaat door de bottelsuiker. Een andere manier om de hoeveelheid opgeloste koolzuur te beschrijven is om het totaalvolume opgeloste koolzuur in gasvormige toestand te nemen. Men spreekt dan over "volumes".

De ontstane alcohol wordt opgeteld bij de al aanwezige alcohol. Ook wordt er weer iets eiwit verbruikt voor de opbouw van gist en slaat er eiwit neer tijdens de nagisting op de fles. (eiwitfactor)

Voor de meting van het SG en Brix waarde wordt eerst de koolzuur verwijderd. Daarom wordt het opgeloste koolzuur dan ook niet meegenomen in de SG , Brix berekening. Normaal wordt het bier gebotteld met ca 8g suiker per liter. Hieruit ontstaat ca 4 gram CO₂ en dat levert ca 0.4 gew% CO₂ op. Samen met de 0.17% CO₂ die al opgelost in het uitgegiste bier zit, kom je dan op 0.57% totaal (2.9 VOL). Er is een formule om de druk in het flesje uit te rekenen bij een gegeven temperatuur en gew% opgeloste koolzuur. Hiermee is het dus mogelijk om achteraf het koolzuur percentage in je flesje te bepalen door de druk te meten via een manometer die via een scherp pennetje door de dop van het flesje geprikt kan worden. In Bierpro [15] zit deze formule ook ingebouwd.

3.4. Het beginSG en eindSG en Brix, Plato waarde nader bezien

In hoofdstuk 2 is een formule gepresenteerd waarmee we het SG kunnen berekenen van een mengsel van suiker, alcohol eiwit en glycerol. (glycerol representeert de verzameling overige stoffen in het bier) Nu we weten hoe de mout en eventueel toegevoegde extra suiker de samenstelling van de wort en het bier zal bepalen, kunnen we met de SG formules uit hoofdstuk 2 het SG van wort en bier uitrekenen. Hiertoe worden alle verbanden zoals in Figuur 6, Figuur 7 en Figuur 8 zijn aangegeven gebruikt om de hoeveelheid suiker, alcohol, eiwit en overige stoffen te bepalen. Vervolgens wordt dit ingevuld in de formules voor het SG, Brix en Plato ingevuld. (Brix en Plato formules worden verderop nog geïntroduceerd en toegelicht)

Voor het SG is de volgende handformule beschikbaar welke is ontstaan uit de algemene SG formule (Vergelijking 2, zie hoofdstuk 2) door een constante waarde aan te nemen voor de krimpfactor.

Vergelijking 4

$$SG = 1000 + K1s \cdot \frac{\text{suikergew}}{\text{volumel}} + K1a \cdot \frac{\text{alcoholgew}}{\text{volumel}} + K1e \cdot \frac{\text{eiwitgew}}{\text{volumel}} + K1g \cdot \frac{\text{glycerolgew}}{\text{volumel}}$$

In deze vergelijking is:

K1s=0.384, K1a=-0.177, K1e=0.241, K1g=0.247, gewichten in gram, volumel in Liter

Hierbij is voor de alcoholkrimpfactor [3],[1], [2] 1.075 ingevuld en voor de suikerkrimpfactor [5] 1.045 Dit is het gemiddelde voor bieren met alcohol vol% tussen 4% en 10%.

Voor nauwkeuriger berekeningen kan de krimpfactor voor alcohol als functie van de alcohol concentratie en de krimpfactor voor suiker als functie van de suiker concentratie gebruikt worden. (zit in 'bierrekenen.exe', [10]) Hiermee worden de 4 waarden voor 'K' in Vergelijking 4 concentratieafhankelijk en zal de constante K1a= -0.177 voor alcohol iets variëren met de alcoholconcentratie (zelfde geldt voor K1s= 0.384 voor suiker), echter bovenstaande formule is in de meeste gevallen al nauwkeurig genoeg. Voor de volledigheid wordt hierbij de betreffende formule voor K gegeven, waarbij K voor elke opgeloste stof bepaalt kan worden: (zo is ook K1s, K1a, K1g en K1e berekend)

Vergelijking 5

$$K = \left[\frac{1}{sg_{water}} - \frac{1}{(sg_{stof}) \cdot krimpfactor_n} \right]$$

In Vergelijking 5 moeten dan de volgende waarden ingevuld worden: $sg_{water} = 0.9982$, $sg_{stof} = 0.78936$ voor ethanol, 1.5519 voor sucrose, 1.27 voor eiwit en 1.26 voor glycerol. Voor de krimpfactor voor suiker (sucrose) en ethanol kunnen de getallen zoals in 2.2 gegeven zijn aangehouden worden. (Zie Figuur 4 en Figuur 5) Voor eiwit en glycerol is bij gebrek aan gegevens dezelfde krimpfactor aangehouden als voor sucrose. Daar de concentratie van deze stoffen laag is, is de fout verwaarloosbaar voor het eindresultaat.

Het begrip Plato wordt gebruikt om de suikerconcentratie weer te geven op basis van gemeten SG en wordt veel gebruikt in de bierbrouw wereld. Op basis van deze afspraak is er dus een vast verband tussen Plato en SG.

De afleiding van de formule voor de Plato waarde (=gewichts% sucrose zoals bepaald met een hydrometer) komt in paragraaf 5.4 aan de orde, maar hier is alvast het resultaat gegeven voor de Plato waarde die hoort bij een bepaald SG.

Vergelijking 6

$$Plato = 260886 \cdot \frac{\left(\frac{SG_s}{1000} - 1 \right)}{SG_s}$$

Een mensel van stoffen geeft ook een SG. Zo kan ook de Plato waarde van het mengsel berekend worden op basis van de concentratie aan opgeloste stoffen:

Vergelijking 7

$$Plato = \frac{100B}{0.9982 \cdot (1 + K1s \cdot B)}$$

Met

Vergelijking 8

$$B = \frac{\text{suikergewicht}}{\text{totaalvolume}} + \frac{K1a \cdot \text{alcoholgewicht}}{K1s \cdot \text{totaalvolume}} + \frac{K1e \cdot \text{eiwitgewicht}}{K1s \cdot \text{totaalvolume}} + \frac{K1g \cdot \text{glycerolgewicht}}{K1s \cdot \text{totaalvolume}}$$

Hierin is

$K1s=0.384$, $K1a=-0.177$, $K1e=0.241$, $K1g=0.247$, gewichten in gram, volume in milliter..

Voor $K1s$, $K1a$, $K1e$ en $K1g$ zijn gemiddelde krimpfactoren gebruikt. Ook hier kan voor de krimpfactor (zie Vergelijking 5) dezelfde concentratie afhankelijke waarde aangehouden worden als bij het SG gebruikt is om de zaak nog nauwkeuriger te maken. (is in de reken

demo toegepast, zie hoofdstuk 7) We kunnen in dit geval echter niet spreken van ‘gewicht percentage sucrose’ omdat de Plato waarde (SG) veroorzaakt wordt door het mengsel.

Tabel 1 is gebaseerd op de formule van Vergelijking 6 geeft de Plato waarde die hoort bij een bepaald SG

Tabel 1

SG =	Plato(SG)
1000	0
1005	1.3
1010	2.58
1015	3.86
1020	5.12
1025	6.36
1030	7.6
1035	8.82
1040	10.03
1045	11.23
1050	12.42
1055	13.6
1060	14.77
1065	15.92
1070	17.07
1075	18.2
1080	19.32
1085	20.44
1090	21.54
1095	22.63
1100	23.72
1105	24.79
1110	25.85
1115	26.91
1120	27.95
1125	28.99
1130	30.01
1135	31.03
1140	32.04
1145	33.04
1150	34.03

De Plato schaal komt normaal gesproken nooit op waarden kleiner dan 0, omdat minder dan 0% suiker immers niet kan. De waarde ‘B’ in Vergelijking 8 kan dan alleen maar positief zijn als de oplossing alleen maar suiker bevat.

Maar kijkende naar het effect van alcohol in een niet suikeroplossing kan wel een SG ontstaan onder de 1000 omdat de constante K1a een negatief getal is. (alcohol heeft een SG lager dan 1000)

Je kunt dus in principe zonder problemen Vergelijking 7 blijven gebruiken en zodoende op negatieve Plato waarden komen.

Het begrip Brix wordt ook gebruikt om de suikerconcentratie weer te geven maar dan op basis van gemeten brekingsindex. Brix komt uit de suikerindustrie en wordt ook gebruikt bij wijn

en fruit om suikers te meten. Hierbij wordt meestal een refractometer gebruikt, vandaar dat in dit verhaal brix gekoppeld wordt aan de refractometer.

De Formule voor de Brix waarde komt in 5.2 aan de orde, maar hier is alvast het resultaat gegeven voor een eerste orde benadering voor de alcoholterm.

Vergelijking 9

$$\text{Brix} = \frac{100A}{0.9982 \cdot (1 + K_{1s} \cdot A)}$$

Waarbij

Vergelijking 10

$$A = \left(\frac{\text{suikergewicht}}{\text{totaalvolume}} + \frac{\text{alcoholgewicht}}{\text{totaalvolume}} \cdot \frac{K_a}{K_s} + \frac{\text{eiwitgewicht}}{\text{totaalvolume}} \cdot \frac{K_e}{K_s} + \frac{\text{glycerolgewicht}}{\text{totaalvolume}} \cdot \frac{K_g}{K_s} \right)$$

met

$K_s=0.1415$, $K_a=0.0569$, $K_e=0.174$, $K_g=0.109$, gewichten in gram, volume in milliliter.

Het verband tussen Brekingsindex N en alcoholgewicht per volume levert een beetje kromme lijn op. (=niet lineair verband) Daarom is een nog nauwkeuriger berekening te verkrijgen met een 2^e orde benadering voor de alcoholbijdrage als volgt:

Vergelijking 11

$$A = \left[\frac{\text{suikergewicht}}{\text{totaalvolume}} + \frac{\text{alcoholgewicht}}{\text{totaalvolume}} \cdot \frac{K_{1a}}{K_s} + \left(\frac{\text{alcoholgewicht}}{\text{totaalvolume}} \right)^2 \cdot \frac{K_{2a}}{K_s} + \frac{\text{eiwitgewicht}}{\text{totaalvolume}} \cdot \frac{K_e}{K_s} + \frac{\text{glycerolgewicht}}{\text{totaalvolume}} \cdot \frac{K_g}{K_s} \right]$$

met

$K_s=0.1415$, $K_{a1}=0.058$, $K_{a2}=0.078$, $K_e=0.174$, $K_g=0.109$, gewichten in gram, volume in milliliter.

De formule voor Brix en Plato hebben dus precies dezelfde opbouw, alleen de constanten zijn anders en voor alcohol in combinatie met Brix kan voor hogere nauwkeurigheid nog de kwadratische term meegenomen worden. Verder zijn in de Brix formule alle constanten positief, waardoor de Brix waarde nooit negatief kan worden.

Dit gedrag geeft nog een interessant effect. Je kunt door de juiste combinatie van alcohol en suiker in een mengsel een SG waarde maken van exact 1000. Daardoor is de Plato waarde gelijk aan 0, maar de Brix waarde is groter dan 0.

Met deze 3 formules, tezamen met de berekeningen volgens Figuur 6, Figuur 7 en Figuur 8, welke de concentratie aan opgeloste stoffen opleveren, kan nu de SG, Plato en Brix waarde berekend worden voor Wort, Bier voor bottelen en bier na bottelen.

Bovenstaande is ook opgenomen in het reken demo programma 'bierrekenen.exe' [10]. Dit programma wordt verder toegelicht in hoofdstuk 7. In 'bierrekenen.exe' versie 3.0 is bovenstaande theorie ingebouwd, inclusief een zo nauwkeurig mogelijke krimpfactor die afhankelijk is van de concentratie van opgeloste stoffen en bovenstaande 2^e orde benadering voor de Brix berekening. Hiermee kan ook het SG, Plato en Brix berekend worden van een willekeurig mengsel van suiker, Alcohol, eiwit en glycerol. De Plato waarde is gelimiteerd tot

alleen positieve waarden om problemen met het berekenen van de brix correctiefactor (= Brix/Plato) te voorkomen als Plato in de buurt van 0 zou komen.

3.5. Alcohol percentage

Het alcohol percentage wordt vrijwel altijd uitgedrukt in volume%

Voor de volledigheid wordt hier ook nog het alcoholgewicht% berekend. Dit is het alcoholgewicht gedeeld door het totaalgewicht. Totaalgewicht=totaalvolume x SG. Daarom is het alcoholgew% te berekenen als:

Vergelijking 12

$$\text{Alcgew\%} = \frac{\text{alcoholgewicht}}{\text{totaalvolume} \cdot \text{SG}} \cdot 100$$

Hierin is totaalvolume het totaalvolume in liter en SG het werkelijk SG van het bier in g/l

Het alcohol volume percentage is gedefinieerd als het alcoholvolume /totaalvolume:
Hierbij is het alcoholvolume het volume dat de alcohol inneemt als deze in zuivere toestand geïsoleerd zou zijn. Het alcoholvolume is gelijk aan het alcoholgewicht gedeeld door het werkelijk SG van pure alcohol.

Het alcoholvol% is daarom te schrijven als

Vergelijking 13

$$\text{Alcvol\%} = \frac{\text{alcoholgewicht} \cdot 100}{\text{SGalcohol} \cdot \text{totaalvolume}}$$

Hierin is SGalcohol het werkelijk soortelijk gewicht van ethanol=789g/l, [1] totaalvolume is het totaalvolume in liter. (alcohol gewicht in kg)

Uit Vergelijking 12 en Vergelijking 13 kunnen we ook nog het verband tussen gew% en vol% alcohol halen:

Vergelijking 14

$$\text{Alcvol\%} = \text{Alcgew\%} \cdot \frac{\text{SG}}{\text{SGalcohol}}$$

Hieruit blijkt dat er een factor van ca 1.28 tussen volume% en gewichts% zit voor een pils, maar dat deze factor voor een zwaar bier wat hoger is door het hogere SG.

4. de Refractometer

4.1. Inleiding

Dit hoofdstuk behandelt de achtergrond van de refractometer berekeningen. Naast de hydrometer (dichtheid) is de refractometer (brekingsindex van licht) een instrument om een idee over het brouwsel te weten te komen. Het voordeel van de refractometer is dat je maar een druppeltje vloeistof nodig hebt en dus snel maar ook nauwkeurig kunt meten. Omdat alcohol en suiker een verschillende uitwerking hebben op de dichtheid en brekingsindex levert de combinatie van hydrometer en refractometer extra mogelijkheden op om de hoeveelheid suiker en alcohol te bepalen. Het resultaat is ook verwerkt in het demoprogramma 'bierrekenen' [10], zie hoofdstuk 7. Daarin zit de meest uitgebreide versie van de formules. (krimpfactor, concentratieafhankelijk, 2^e orde benadering voor verband tussen Brekingsindex en alcoholconcentratie)

4.2. Definitie Brix

Een refractometer meet de brekingsindex N van de te meten vloeistof (zie ook intermezzo). Opgeloste stoffen zoals suiker, alcohol en eiwit verhogen de Brekingsindex t.o.v. die van water.

Refractometers die voor het meten van bier en wort gebruikt worden zijn vaak gecalibreerd in Brix eenheden. Brix is gedefinieerd als het gewicht% sucrose (g/100g), en wordt gemeten met een refractometer, zie Vergelijking 15. Er zijn ook wel hydrometers, geijkt in Brix eenheden. Omdat zowel Brix als Plato gedefinieerd zijn als gewicht % sucrose in een sucrose oplossing maakt het niet uit zolang maar afgesproken is of de gebruikte schaal gekoppeld is aan dichtheid (hydrometer) of brekingsindex (refractometer.)

In dit boekwerk wordt specifiek gebruik gemaakt van de Brix schaal gekoppeld aan een refractometer en Plato schaal gekoppeld aan een hydrometer en de verschillen daartussen.

De definitie van Brix is gegeven in Vergelijking 15

Vergelijking 15

$$\text{Brix} = \frac{\text{suikergewicht}}{\text{totaalgewicht}} \cdot 100$$

Bij de Brix definitie wordt ervan uitgegaan dat de oplossing alleen sucrose en water bevat. Wort bevat weliswaar voornamelijk suikers, welke zich voor de berekening van Plato en Brix vrijwel hetzelfde gedragen, maar wort bevat ook nog een beetje eiwit. Eiwit levert een bijdragen aan zowel SG als brekingsindex van een oplossing. Echter die bijdrage is anders dan bij sucrose. Daardoor ontstaat er verschil in aflezing tussen een suikerpercentage wat bepaald is met een hydrometer (Plato schaal) en een refractometer (Brix schaal).

Zolang er nog geen gisting heeft plaatsgevonden is de Brix refractometer goed geschikt om het suikerpercentage van je wort te kunnen bepalen en een idee te geven van het beginSG of Plato waarde.

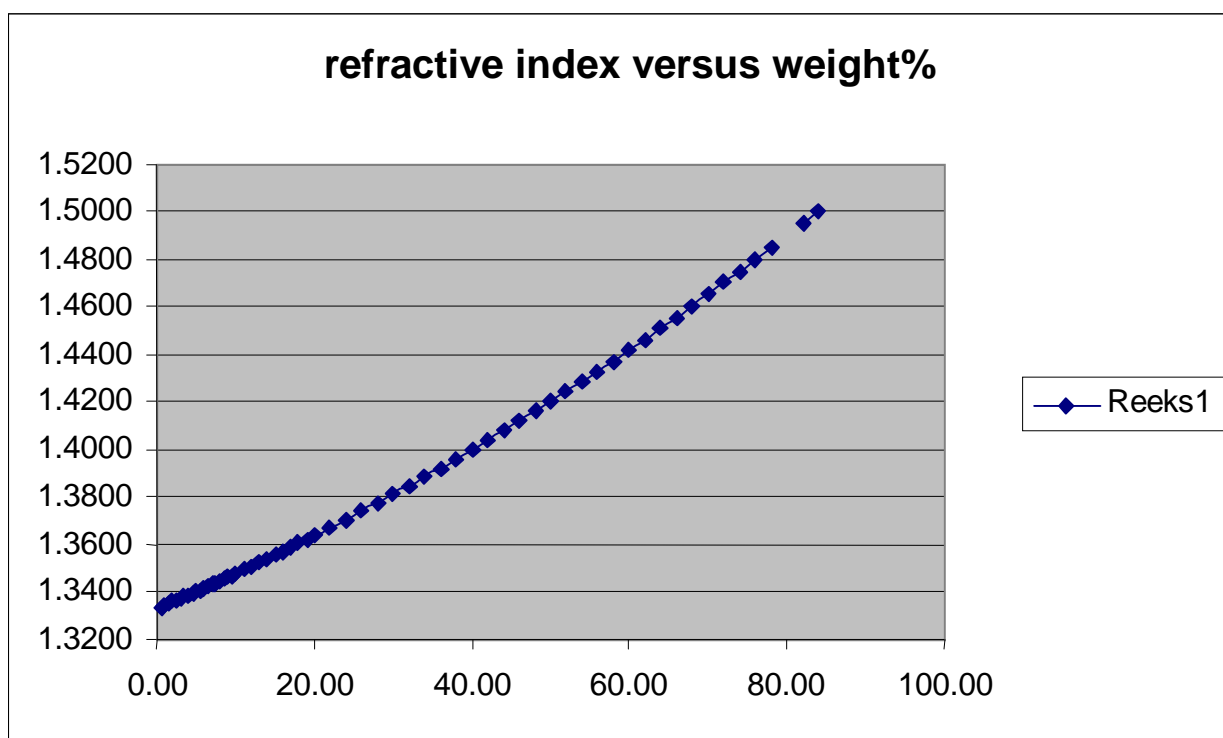
Een van de voordelen van de refractometer is dat je snel kunt meten en met slechts een druppeltje. Zoals in paragraaf 5.6 zal blijken moet er voor het meten van het suikerpercentage van je wort met een refractometer wel een kleine correctie plaatsvinden vanwege oa aanwezig eiwit. Dit wordt de z.g.n. 'Brix correctiefactor' genoemd, zie ook 5.5 en 5.6.

4.3. Via Brekingsindex naar Brix waarde

Uit bovenstaande wordt duidelijk dat de Brix waarde (=gewichts% suiker) van een suikeroplossing bepaald wordt aan de hand van de door de refractometer aangegeven brekingsindex welke een maat is voor het gewichts% suiker van een suikeroplossing. Hierna zal wat meer theoretisch op de Brix waarde ingaan worden.

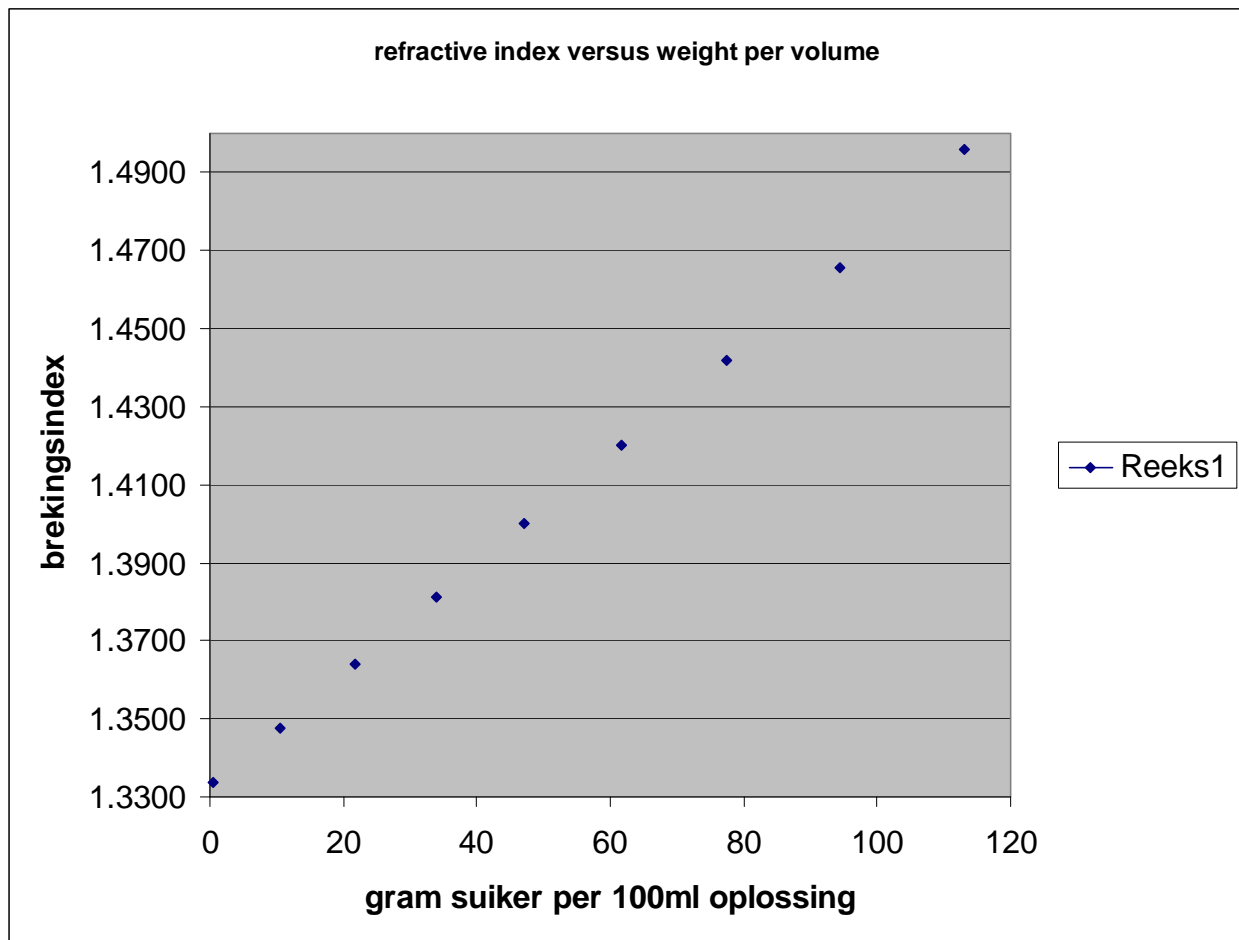
In de literatuur is voor veel stoffen het verband tussen brekingsindex en concentratie beschikbaar.

Voor een mengsel van sucrose in water is bijvoorbeeld het grafiekje van Figuur 9 beschikbaar [6]:



Figuur 9 verband tussen Brekingsindex en gewichts% sucrose (g/100g)

Dit grafiekje zou nu direct gebruikt kunnen worden om een refractometer die de brekingsindex weergeeft, te ijken in graden Brix. (bv $N=1.36$ geeft ca 20Brix). Uit Figuur 9 blijkt duidelijk dat het verband tussen Brekingsindex en Brix een kromme lijn oplevert (meer wiskundig: niet lineair verband). In dit artikel willen we nagaan wat de invloed is van oa eiwit en alcohol op de afgelezen refractometer waarde. Daarom is het beter om een lineair verband te hebben. Dat kan door nog een kleine aanpassing maken. We kunnen het grafiekje van Figuur 9 omrekenen waarbij op de horizontale as geen g/100g staat maar g/100ml. (delen door het Soortelijk gewicht) We krijgen dan het grafiekje van Figuur 10



Figuur 10 verband tussen brekingsindex en sucrose concentratie. (g/100ml)

Uit Figuur 10 blijkt dat het verband tussen brekingsindex en sucrose concentratie in g/100ml vrijwel een rechte lijn oplevert. Voor dit mengsel van sucrose in water kunnen we dit verband ook met een formule aangeven als volgt:

Vergelijking 16

$$N = 1.333 + \frac{\text{suikergewicht}}{\text{totaalvolume}} \times 0.1415$$

Als we nu Vergelijking 16 aanvullen met Vergelijking 17 (=Vergelijking 15):

Vergelijking 17

$$\text{Brix} = \frac{\text{suikergewicht}}{\text{totaalvolume} \cdot \text{SG}} \cdot 100$$

met

$$\text{totaalgewicht} = \text{totaalvolume} \cdot \text{SG}$$

en

SG is het werkelijk SG van de oplossing, dan krijgen we als resultaat de brekingsindex gekoppeld aan de Brix waarde als volgt:

Vergelijking 18

$$N = 1.333 + \text{Brix} \times \text{SG} \times 0.1415$$

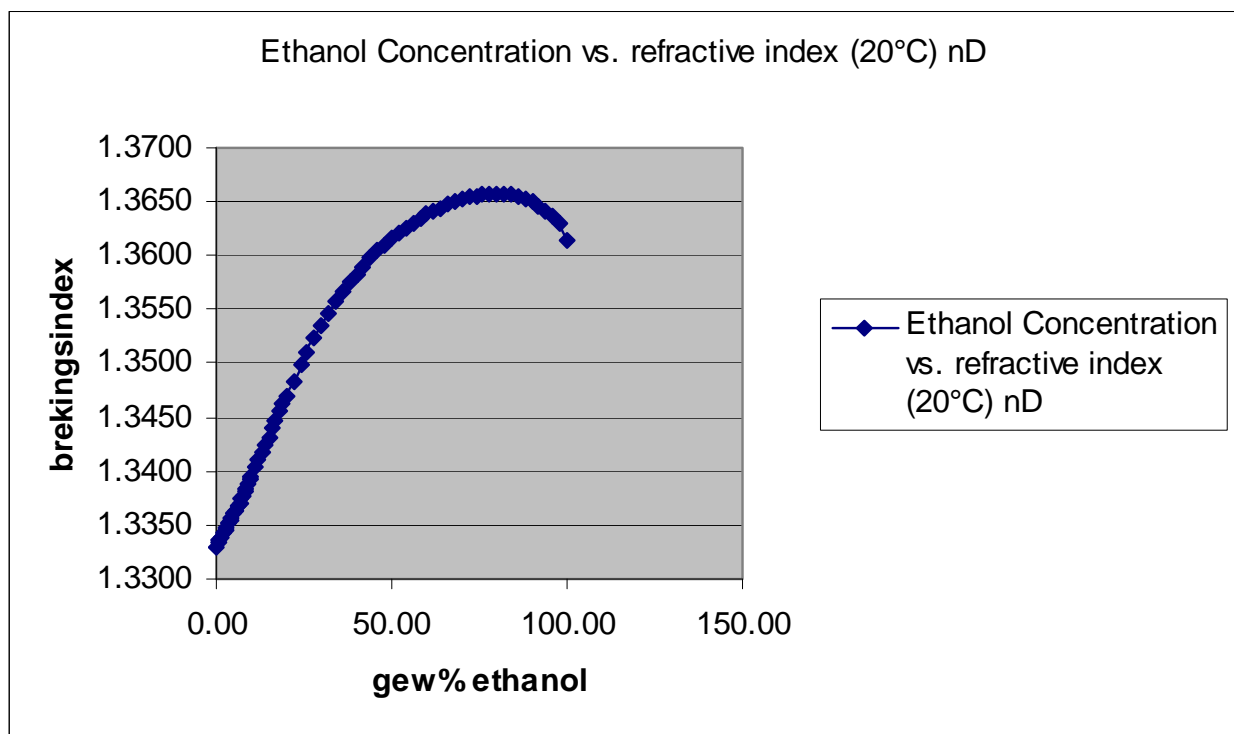
Vergelijking 18 is nu het gewenste verband tussen Brix en Brekingsindex zoals gebruikt bij het afleesvenster van de Brix refractometer. Daarbij moet nog opgemerkt worden dat het SG ook nog direct samenhangt met de brix waarde volgens Vergelijking 6 omdat Brix en Plato voor een sucrose oplossing immers hetzelfde zijn. Hoewel het SG procentueel niet zo heel veel verandert bij toenemende suikerconcentratie verklaart het wel de kromme curve van Figuur 9 In hoofdstuk 5 wordt Vergelijking 18 nog verder uitgewerkt en het verband tussen SG en Brix gebruikt om de Brix waarde te kunnen berekenen van een mengsel.

4.4. Schijnbare Brix

Bier of wort bestaat niet alleen uit water en suiker, maar ook uit andere stoffen zoals eiwit en alcohol. Als we wort of bier meten met een Brix refractometer dan geeft deze een Brix waarde aan. De vraag is echter wat deze Brix waarde betekent en wat we eraan hebben.

Om dit te kunnen begrijpen is het van belang om te begrijpen hoe de overige opgeloste stoffen bijdragen aan de brekingsindex van de oplossing.

We kunnen nu een soortgelijke grafiek [6] als Figuur 9 maken, maar dan voor een ethanol-water mengsel (alcohol), zie Figuur 11.



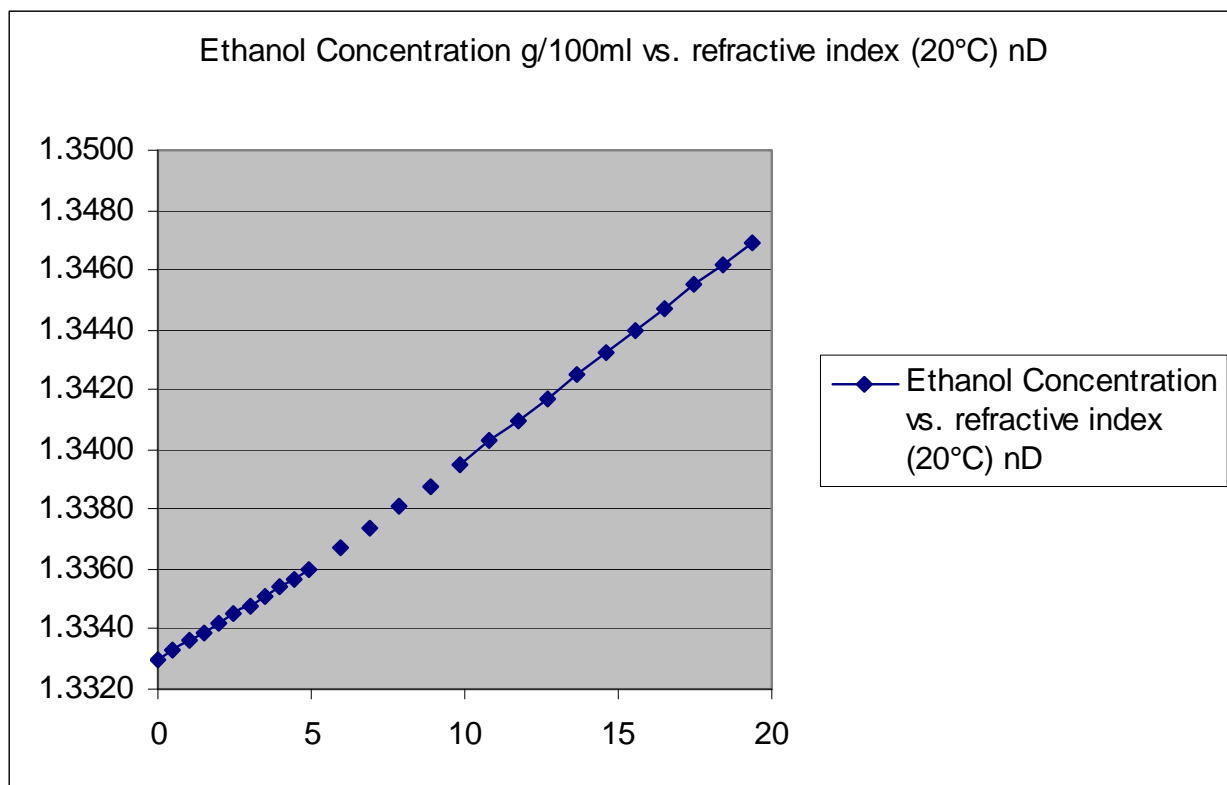
Figuur 11 verband tussen brekingsindex en gewichts% ethanol. (g/100g)

Voor lage alcoholpercentages tot ca 15 gew% ziet dit verband er ongeveer uit als bij suiker, dwz, bij g/100ml op de horizontale as en brekingsindex vertikaal is het verband redelijk lineair.

Voor hoge alcoholpercentages is het verband sterk niet lineair (geen rechte lijn) en is het zelfs in een bepaald gebied zo dat dezelfde brekingsindex afneemt bij toenemende alcohoconcentratie. In dat geval geeft de refractometer dus dezelfde aflezing voor 2 verschillen concentraties.

Voor berekeningen aan bier is echter het gebied tot 15 gew% voldoende

Ook deze grafiek kunnen we weer omzetten naar g/100ml op de horizontale as. We krijgen dan een bijna rechte lijn voor het gebied tussen 0 en 20g/100ml, zie Figuur 12



Figuur 12 verband tussen brekingsindex en ethanol concentratie. (g/100ml)

Er blijft echter een kleine afwijking van de ideale rechte lijn over.
Dit verband kan benaderd worden met de volgende vergelijking:

Vergelijking 19

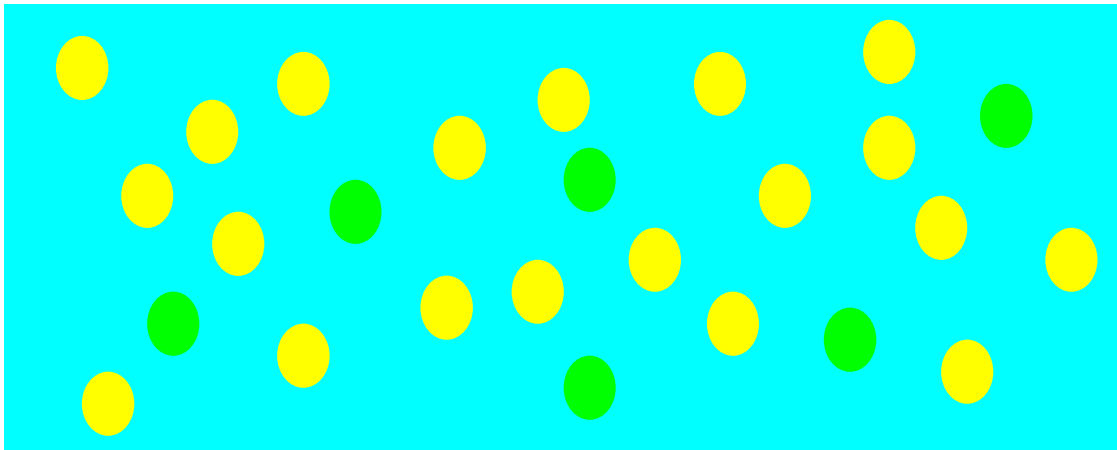
$$N = 1.333 + 0.058 * (\text{Alcoholgewicht/volume}) + 0.078(\text{Alcoholgewicht/volume})^2$$

Hieruit is te zien dat het niet helemaal een rechte lijn is (term met kwadraat)

Intermezzo Brekingsindex in oplossing

De reden waarom het verband tussen de brekingsindex N en de opgeloste stof in grammen per milliliter een vrijwel rechte lijn oplevert is mogelijk als volgt te verklaren:

De brekingsindex heeft te maken met de lichtsnelheid in een stof. Het licht kaatst als het ware een aantal keren heen en weer in de stof voordat het aan de andere kant weer tevoorschijn komt. Daardoor legt het een grotere afstand af dan in vacuum en lijkt het alsof de lichtsnelheid kleiner is geworden. De brekingsindex geeft nu de verhouding aan tussen de lichtsnelheid in vacuum en in de stof. Voor vacuum is de brekingsindex $= 1$ en voor water bij 20°C is de brekingsindex 1.333. Licht plant zich dus in water ca 30% minder snel voort dan in vacuum. Het volgende plaatje geeft schematisch aan hoe een oplossing er op molecuulniveau uitziet



Figuur 13 Schematische weergave van een oplossing van een stof (bv suiker) in water

De lichte deeltjes stellen de watermoleculen voor (met brekingsindex N_{water}). De donkere deeltjes stellen de opgeloste stof voor (bv suiker met brekingsindex N_{suiker}). Het mengsel heeft dan een brekingsindex die min of meer het gewogen gemiddelde is van de twee. Als de concentratie in grammen per liter twee keer zo groot wordt dan is het aantal deeltjes opgeloste stof ook 2 x zo groot. Het lijkt daarom logisch aan te nemen dat de brekingsindex lineair toeneemt met de concentratie opgeloste stof in gram/liter. Voor suiker gaat dit verhaal blijkbaar goed op. Voor alcohol niet helemaal. Dit komt mogelijk omdat bij alcohol er een onderlinge wisselwerking is tussen water en alcohol moleculen, waardoor de brekingsindex anders wordt, vooral bij hoge concentraties alcohol. Onder de aanname dat de brekings index simpel weg bepaald wordt door de som van de deelbijdragen van elke stof kan men eraan rekenen. Deze aanname is acceptabel voor wort en bier (en wijn).

Uitgaande van Figuur 10, Figuur 12 en een dergelijke grafiek voor eiwit [7] en glycerol [6] (eerst omrekenen naar g/100ml ipv g/100g) kan de volgende formule voor de Brekingsindex afgeleid worden voor een mengsel van suiker, alcohol,eiwit,glycerol en water bij 20grC:

Vergelijking 20

$$N = 1.333 + \frac{\text{suikergewicht}}{\text{volume}} \times 0.1415 + \frac{\text{Alcoholgewicht}}{\text{volume}} \times 0.0569 + \frac{\text{eiwitgewicht}}{\text{volume}} \times 0.174 + \frac{\text{glycerolgewicht}}{\text{volume}} \times 0.109$$

Hierbij is ‘volume’ het totaalvolume van de oplossing, en is Figuur 12 benaderd door een rechte lijn. We gaan er hierbij vanuit dat we de bijdrage van elke opgeloste stof aan de brekingsindex gewoon mogen optellen om het totaal te krijgen.

Het verband tussen Brekingsindex N en alcoholgewicht per volume levert volgens Figuur 12 echter niet helemaal een rechte lijn op. (=niet lineair verband) Daarom is een nog nauwkeuriger berekening [11] te verkrijgen met een 2^e orde benadering voor de alcoholbijdrage als volgt:

Vergelijking 21

$$\begin{aligned} N = & 1.333 + \text{suikergewicht/totaalvolume} \times K_s \\ & + (\text{Alcoholgewicht/totaalvolume}) \times K_{a1} \\ & + (\text{Alcoholgewicht/totaalvolume})^2 \times K_{a2} \\ & + \text{eiwitgewicht/totaalvolume} \times K_e \\ & + \text{glycerolgewicht/totaalvolume} \times K_g \end{aligned}$$

met

$K_s=0.1415$, $K_{a1}=0.058$, $K_{a2}=0.078$, $K_e=0.174$, $K_g=0.109$, gewichten in gram, volume in Liter, SG in g/liter

4.5. Conclusie

We hebben in dit hoofdstuk gezien wat de definitie is van Brix is en dat deze, met een refractometer gemeten, gebruikt kan worden om samen met een SG meting meer te weten te komen over alcohol en eiwit concentraties. We hebben gezien hoe de brekingsindex samenhangt met de concentratie van opgeloste stoffen in wort en bier.

5. Relatie tussen refractometer en hydrometer

5.1. Inleiding

Dit hoofdstuk behandelt het vervolg van de achtergrond van de refractometer berekeningen, waarmee in hoofdstuk 4 een start is gemaakt. Naast de hydrometer is de refractometer een instrument om eea over het brouwsel te weten te komen. Verder komen de verschillen tussen Plato en Brix aan de orde en de relatie tussen Plato en SG. Ook wordt de Brix correctiefactor toegelicht. (oa gebruikt in Promash [13])

We weten na de uitleg in hoofdstuk 4 hoe de brekingsindex samenhangt met de concentratie van stoffen in wort en bier. Wat we echter graag willen weten is wat voor Brix waarde de refractometer in dit geval aangeeft. Als we dat weten dan zijn we ook in omgekeerde richting in staat om iets zeggen over de samenstelling van het brouwsel als we de Brix waarde met de refractometer gemeten hebben. Dit is waar het in feite om gaat, en nog een stap verder: uit de combinatie van Brix en SG (Plato) proberen alcohol % en bijvoorbeeld eiwitpercentage terug rekenen.

5.2. Verband tussen Brix en concentratie opgeloste stoffen.

Vergelijking 22 (Zie ook hoofdstuk 4) geeft het verband tussen brekingsindex en Brix waarde van een sucrose water mengsel. Vergelijking 23 geeft het verband aan tussen brekingsindex en concentratie van alle (voor zover van belang voor de refractometer aflezing) stoffen in het brouwsel.

Vergelijking 22

$$N=1.333+ \text{Brix} \times \text{SG} \times K_s$$

Vergelijking 23

$$\begin{aligned} N= & 1.333+ \text{suikergewicht/totaalvolume} \times K_s \\ & +(\text{Alcoholgewicht/totaalvolume}) \times K_{a1} \\ & +(\text{Alcoholgewicht/totaalvolume})^2 \times K_{a2} \\ & +\text{eiwitgewicht/totaalvolume} \times K_e \\ & +\text{glycerolgewicht/totaalvolume} \times K_g \end{aligned}$$

met

$K_s=0.1415$, $K_{a1}=0.058$, $K_{a2}=0.078$, $K_e=0.174$, $K_g=0.109$, gewichten in gram, volume in Liter, SG is het werkelijk SG van de oplossing in g/liter

Als je wort of bier meet met een refractometer, dan is er natuurlijk ook sprake van een brekingsindex, echter de afgelezen Brix waarde (=suikergewicht%) is in dit geval een 'schijnbare' Brix waarde. Het begrip 'schijnbaar' duidt erop dat het lijkt alsof er een suikerpercentage aanwezig is zoals de refractometer aangeeft (die gecalibreerd is volgens Vergelijking 22), echter het werkelijke suikerpercentage is anders, omdat andere opgeloste stoffen zoals alcohol en eiwit de meting beïnvloeden, zoals blijkt uit Vergelijking 23.

In onderstaand schema is aangegeven hoe we, uitgaande van Vergelijking 22 , Vergelijking 1 en Vergelijking 23 de schijnbare Brix waarde van het brouwsel uit kunnen rekenen, als we de concentratie van de daarin opgeloste stoffen weten.

Vergelijking 27

$$SG_w = (1 + K1s \cdot Brix \cdot 0.01 \cdot SG_w) \cdot 0.9982$$

Uit Vergelijking 27 kunnen we dan weer te variabele SG_w oplossen als volgt:

$$\frac{SG_w}{0.9982} = (1 + K1s \cdot Brix \cdot 0.01 \cdot SG_w)$$

Geeft

$$SG_w \cdot \left(\frac{1}{0.9982} - K1s \cdot Brix \cdot 0.01 \right) = 1$$

Geeft

Vergelijking 28

$$SG_w = \frac{1}{\frac{1}{0.9982} - K1s \cdot Brix \cdot 0.01}$$

Vergelijking 28 is het verband tussen Brix en SG van een sucrose oplossing.

De volgende stap is nu om volgens het idee van Figuur 14 de Brekingsindex van een sucrose oplossing gelijk te tellen aan die van het mengsel omdat immers de Brekingsindex van beide gelijk is volgens het begrip ‘schijnbare Brix’ omdat de refractometer immers hetzelfde aangeeft, dus dezelfde N.

Vergelijking 29

$$\frac{\text{suikergewicht}}{\text{totaalvolume}} \cdot K_s + \frac{\text{alcoholgewicht}}{\text{totaalvolume}} \cdot K1a + \left(\frac{\text{alcoholgewicht}}{\text{totaalvolume}} \right)^2 \cdot K2a + \frac{\text{eiwitgewicht}}{\text{totaalvolume}} \cdot K_e + \frac{\text{glycerolgewicht}}{\text{totaalvolume}} \cdot K_g = Brix \cdot 0.01 \cdot SG_w(Brix) \cdot K_s$$

Invullen van Vergelijking 28 en links en rechts delen door Ks levert:

Vergelijking 30

$$\frac{\text{suikergewicht}}{\text{totaalvolume}} + \frac{\text{alcoholgewicht}}{\text{totaalvolume}} \cdot \frac{K1a}{K_s} + \left(\frac{\text{alcoholgewicht}}{\text{totaalvolume}} \right)^2 \cdot \frac{K2a}{K_s} + \frac{\text{eiwitgewicht}}{\text{totaalvolume}} \cdot \frac{K_e}{K_s} + \frac{\text{glycerolgewicht}}{\text{totaalvolume}} \cdot \frac{K_g}{K_s} = Brix \cdot 0.01 \cdot \frac{1}{\frac{1}{0.9982} - K1s \cdot Brix \cdot 0.01}$$

We hernoemen nu de term mbt suiker, alcohol, eiwit en glycerol tot ‘A’ als volgt:

Vergelijking 31

$$A = \left[\frac{\text{suikergewicht}}{\text{totaalvolume}} + \frac{\text{alcoholgewicht}}{\text{totaalvolume}} \cdot \frac{K1a}{K_s} + \left(\frac{\text{alcoholgewicht}}{\text{totaalvolume}} \right)^2 \cdot \frac{K2a}{K_s} + \frac{\text{eiwitgewicht}}{\text{totaalvolume}} \cdot \frac{K_e}{K_s} + \frac{\text{glycerolgewicht}}{\text{totaalvolume}} \cdot \frac{K_g}{K_s} \right]$$

met

Ks=0.1415, Ka1=0.058, Ka2=0.078, Ke=0.174, Kg=0.109, K1s=0.384, K1a=-0.177,

K1e=0.241 en K1g=0.247

gewichten in gram, volume in milliliter.

Vervolgens kunnen we dan Vergelijking 30 simpeler op schrijven als:

Vergelijking 32

$$\text{Brix} \cdot 0.01 = \left(\frac{1}{0.9982} - K_{1s} \cdot \text{Brix} \cdot 0.01 \right) \cdot A$$

Nu kunnen we uit Vergelijking 32 Brix oplossen. We krijgen dan:

Via tussenstap

$$\text{Brix} \cdot (0.01 + K_{1s} \cdot 0.01 \cdot A) = \frac{A}{0.9982}$$

De uiteindelijke vergelijking voor de schijnbare Brix van de oplossing:

Vergelijking 33

$$\text{Brix} = \frac{100A}{0.9982 \cdot (1 + K_{1s} \cdot A)}$$

Door voor A alle niet suikertermen weg te laten krijgen we weer de sucrose oplossing terug

Vergelijking 34

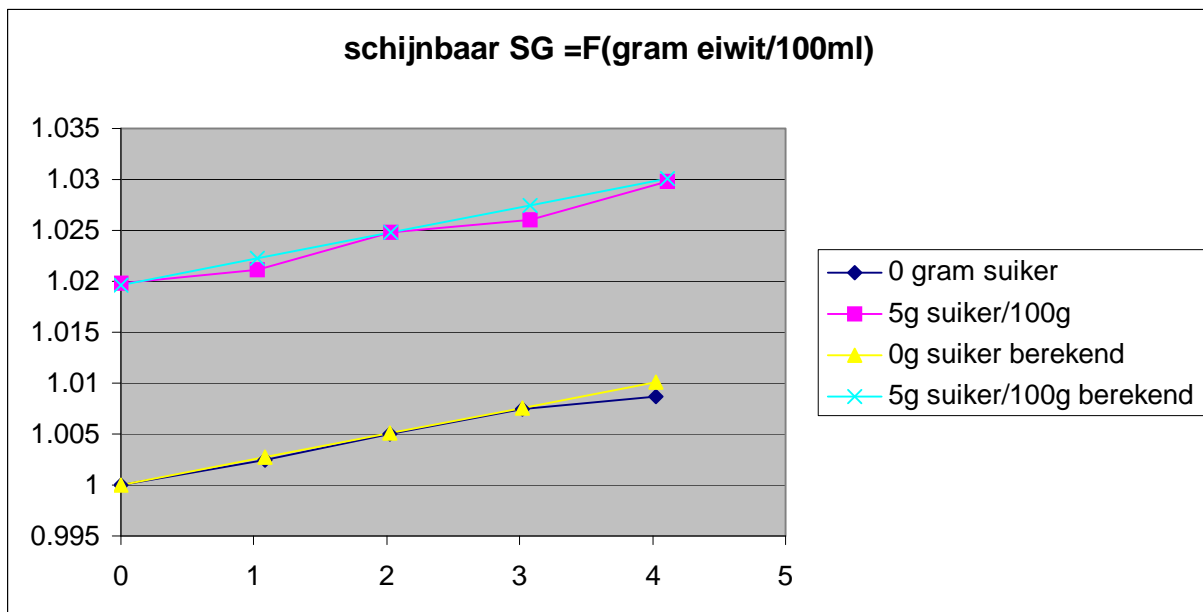
$$A = \frac{\text{suikergewicht}}{\text{totaalvolume}}$$

Omdat de noemer $0.9982 \cdot (1 + K_{1s} \cdot A)$ het werkelijk SG is van sucroseoplossing is Vergelijking 33 dan $100 \times \text{suikergewicht} / \text{totaalgewicht}$, dus weer de definitie van Brix.

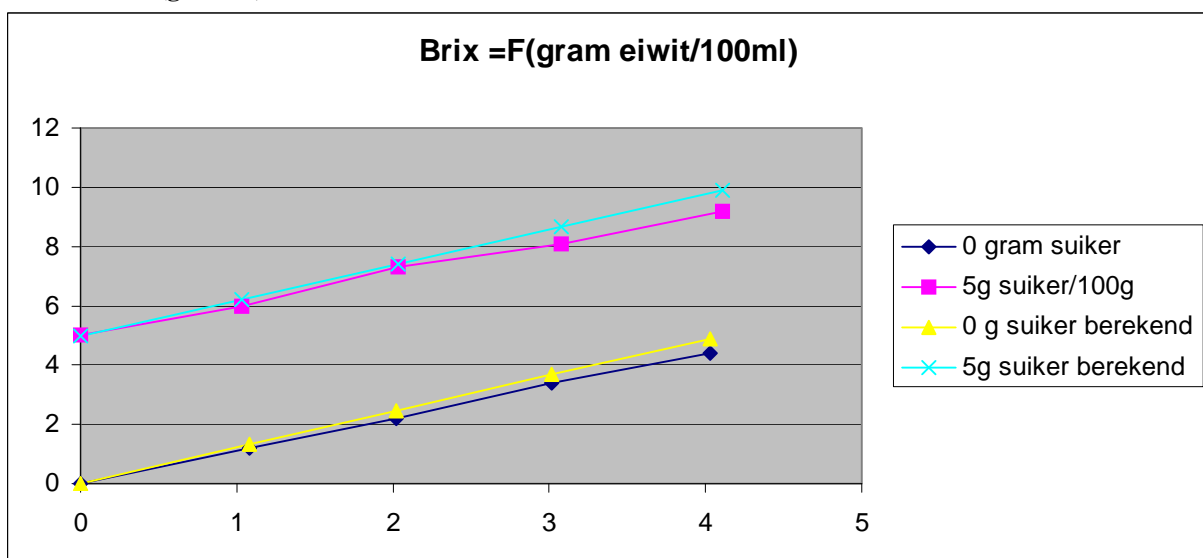
Berekening van de Brix aflezing van je refractometer voor dit soort combinaties van opgeloste stoffen leent zich niet echt goed voor handberekeningen, maar gelukkig zitten deze formules (inclusief concentratieafhankelijkheid van de constanten) ook ingebouwd in het programma 'bierrekenen.exe' [10] of zijn simpel in bv Excel te zetten. Het doel is om dit soort formules in een rekentool te stoppen waarmee dan in dit geval nauwkeurig de refractometeraflezing gekoppeld kan worden aan concentraties van suikers en alcohol (en eiwit) in het bier, of omgekeerd: het afschatten van de samenstelling van de oplossing uitgaande van de gemeten Brix waarde.

5.3. Testen van het rekenmodel aan de werkelijkheid

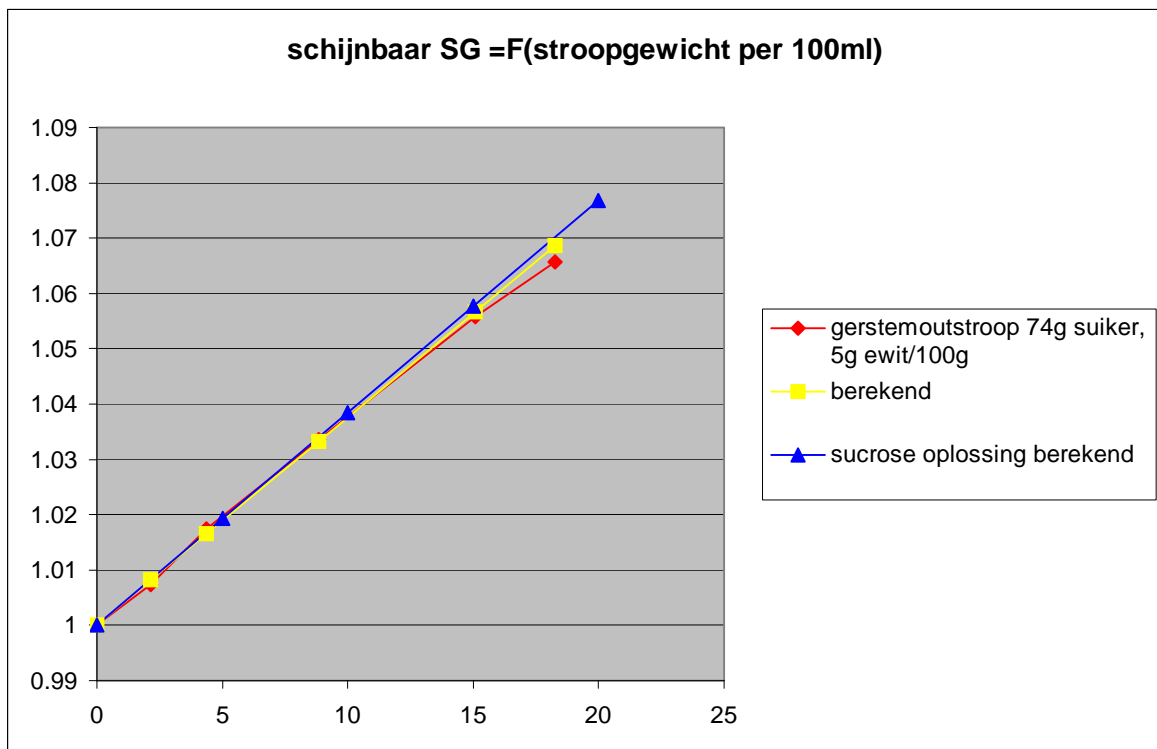
Onderstaande grafieken zijn metingen en berekeningen van SG en refractometer bepalingen van oplossingen van sucrose en eiwit in water en gerstemoutstroop in water. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de metingen een beperkte nauwkeurigheid hebben. schatting +/- 1SG punt en +/- 0.2 Brix punt. De gemeten resultaten zijn vervolgens nagerekend met het demoprogramma 'bierrekenen.exe' [10]



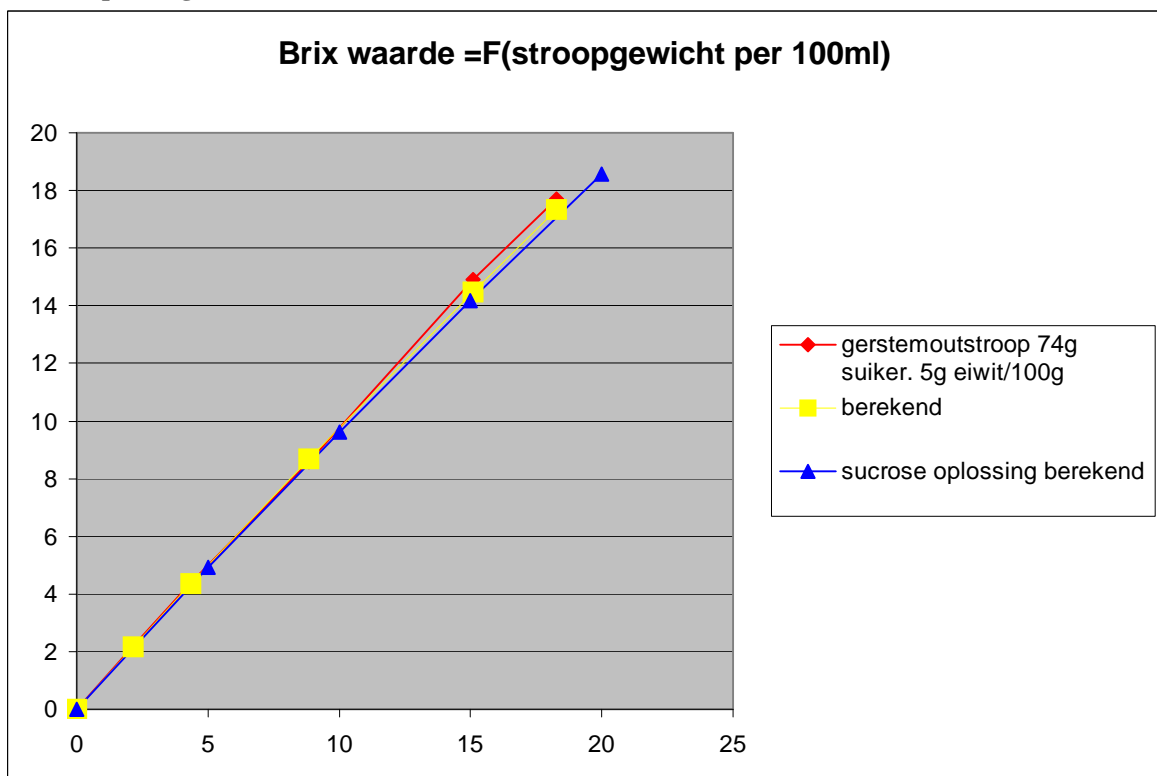
Figuur 15 gemeten en berekend Schijnbaar SG van een aantal water oplossingen van sucrose en sucrose+eiwit (gelatine)



Figuur 16 gemeten en berekende Brix waarde van een aantal water oplossingen van sucrose en sucrose+eiwit (gelatine)



Figuur 17 gemeten en berekend Schijnbaar SG van een aantal water oplossingen van gerstemoutstroop en sucrose oplossing berekend



Figuur 18 gemeten en berekende Brix waarde van een aantal water oplossingen van gerstemoutstroop en sucrose oplossing berekend

Uit bovenstaande grafiekjes is geconcludeerd dat de berekening van het SG en de Brix waarde van een sucrose oplossing goed in het rekenmodel zit. Voor wat betreft eiwit lijken de SG berekeningen goed te kloppen, maar de refractometer berekeningen voor eiwit niet helemaal. Bij de brix metingen lijkt voor eiwit (gelatine, Figuur 16) de berekende invloed op de Brix

waarde ca 11% te hoog. Mogelijk heeft gelatine niet helemaal dezelfde eigenschappen als 'biereiwit'. Voor de gerstemoutstroop zijn de metingen en berekeningen goed met elkaar in overeenstemming, hoewel er slechts een heel klein verschil is vanwege eiwit invloed tussen sucrose oplossing en gerstemoutstroop. Verschil= 2 SG punten bij zelfde Brix of 0.5 Brix bij zelfde SG. Het zal daarom in de praktijk erg moeilijk zijn om uit het verschil tussen SG en Brix waarde van je wort een nauwkeurige uitspraak te doen over het eiwit percentage. In paragraaf 7.1.10.4 wordt in de rekendemo een mogelijkheid gegeven om hydrometer en refractometer aan elkaar te ijken via een sucrose oplossing, waarna het bepalen van eiwit of alcohol nauwkeuriger kan geschieden.

5.4. Plato waarde

Naast meting met de refractometer kan het suikerpercentage van je wort ook gemeten worden met een hydrometer. In dat geval wordt gesproken van graden Plato omdat in de brouwwereld Plato graden gebruikt worden om suikerpercentage te bepalen op basis van dichtheid.

De Plato waarde is in dit geval dus 1 op 1 gekoppeld met dichtheid (SG) van een oplossing en omdat Plato gedefinieerd is als gewichtspercentage sucrose in een sucroseoplossing spreekt met van schijnbare Plato voor een oplossing met een bepaald SG op basis van niet (alleen) sucrose.

Op dezelfde manier als met de refractometer (Figuur 14) kun je het schijnbare suikerpercentage op deze manier bepalen via het SG. Alleen is nu niet de brekingsindex hetzelfde als van de 'referentie suikeroplossing' maar het SG. De formule voor de Plato waarde van een sucrose oplossing met SG waarde zoals de Plato hydrometer aangeeft is de volgende:

Vergelijking 35

$$\text{Plato} = \frac{100B}{0.9982 \cdot (1 + K1s \cdot B)}$$

Met

Vergelijking 36

$$B = \frac{\text{suikergewicht}}{\text{totaalvolume}} + \frac{K1a}{K1s} \cdot \frac{\text{alcoholgewicht}}{\text{totaalvolume}} + \frac{K1e}{K1s} \cdot \frac{\text{eiwitgewicht}}{\text{totaalvolume}} + \frac{K1g}{K1s} \cdot \frac{\text{glycerolgewicht}}{\text{totaalvolume}}$$

met

$K1s=0.384$, $K1a=-0.177$, $K1e=0.241$, $K1g=0.247$, gewichten in gram, volume1 in milliliter.

Deze Plato formule kan als volgt worden afgeleid:

De basisdefinitie van Plato is dezelfde als Brix, nl gewichtspercentage sucrose in een sucrose oplossing, volgens Vergelijking 37

Vergelijking 37

$$\text{Plato} = 100 \cdot \frac{\text{suikergewicht}}{\text{totaalgewicht}}$$

Vervolgens kunnen we het werkelijk SG opschrijven als

Vergelijking 38

$$SG_w = \left(1 + K1s \cdot \frac{\text{suikergewicht}}{\text{totaalvolume}} \right) \cdot 0.9982$$

Zie ook Vergelijking 3 met omtrekning van schijnbaar SG naar werkelijk SG via factor 0.9982.

Ook hier kan voor nog hogere nauwkeurigheid voor de krimpfactor dezelfde concentratie afhankelijke waarde aangehouden worden als bij het SG gebruikt is, waardoor bovengenoemde constante K1s concentratie afhankelijk wordt. Vervolgens kunnen we via

Vergelijking 39

$$\text{Plato} = 100 \cdot \frac{\text{suikergewicht}}{\text{totaalvolume} \cdot SG_w}$$

En invullen van Vergelijking 38 het verband tussen Plato en SG afleiden via de volgende stappen:

$$SG_w = 0.9982 + K1s \cdot \frac{\text{suikergewicht}}{\text{totaalvolume}} \cdot 0.9982$$

$$SG_w - 0.9982 = K1s \cdot \frac{\text{suikergewicht}}{\text{totaalvolume}} \cdot 0.9982$$

$$\frac{\text{suikergewicht}}{\text{totaalvolume}} = \frac{SG_w - 0.9982}{K1s \cdot 0.9982}$$

$$\text{Plato} = \frac{100}{SG_w} \cdot \frac{SG_w - 0.9982}{K1s \cdot 0.9982}$$

$$\text{Plato} = \frac{100}{SG_s \cdot 0.9982} \cdot \frac{SG_s \cdot 0.9982 - 0.9982}{K1s \cdot 0.9982}$$

$$\text{Plato} = \frac{100}{SG_s \cdot 0.9982} \cdot \frac{SG_s \cdot 0.9982 - 0.9982}{K1s \cdot 0.9982}$$

Levert

Vergelijking 40

$$\text{Plato} = \frac{100}{SG_s} \cdot \frac{SG_s - 1}{K1s \cdot 0.9982}$$

Dit verder versimpelt met met K1s=0.384 en SGwater=998.2 levert dit het verband tussen SG tov Sgwater=1000 :

Vergelijking 41

$$\text{Plato} = 260.886 \cdot \frac{SG_s - 1000}{SG_s}$$

Bv bij SG=1040 hoort 10.03 Plato

Vervolgens kunnen we het verband tussen SG en concentratie voor meerdere stoffen opschrijven als

Vergelijking 42

$$SG_s = 1 + K1s \cdot \frac{\text{suikergewicht}}{\text{totaalvolume}} + K1a \cdot \frac{\text{alcoholgewicht}}{\text{totaalvolume}} + K1e \cdot \frac{\text{eiwitgewicht}}{\text{totaalvolume}} + K1g \cdot \frac{\text{glycerolgewicht}}{\text{totaalvolume}}$$

Als we dan de volgende afkorting gebruiken:

Vergelijking 43

$$B = K1s \cdot \frac{\text{suikergewicht}}{\text{totaalvolume}} + K1a \cdot \frac{\text{alcoholgewicht}}{\text{totaalvolume}} + K1e \cdot \frac{\text{eiwitgewicht}}{\text{totaalvolume}} + K1g \cdot \frac{\text{glycerolgewicht}}{\text{totaalvolume}}$$

Dan geeft dit:

Vergelijking 44

$$SG_s = 1 + B$$

Volgens Vergelijking 40 geeft dit:

$$\text{Plato} = \frac{100}{1 + B} \cdot \frac{1 + B - 1}{K1s \cdot 0.9982}$$

Oftewel:

Vergelijking 45

$$\text{Plato} = \frac{100}{1 + B} \cdot \frac{B}{K1s \cdot 0.9982}$$

Vergelijking 48 kunnen we nu in dezelfde vorm schrijven als de Brix vergelijking (Vergelijking 33) door B nog te delen door K1s. we krijgen dan een nieuwe B en andere formule voor Plato volgens:

Vergelijking 46

$$B = \frac{\text{suikergewicht}}{\text{totaalvolume}} + \frac{K1a}{K1s} \cdot \frac{\text{alcoholgewicht}}{\text{totaalvolume}} + \frac{K1e}{K1s} \cdot \frac{\text{eiwitgewicht}}{\text{totaalvolume}} + \frac{K1g}{K1s} \cdot \frac{\text{glycerolgewicht}}{\text{totaalvolume}}$$

Vergelijking 47

$$\text{Plato} = \frac{100B}{0.9982 \cdot (1 + K1s \cdot B)}$$

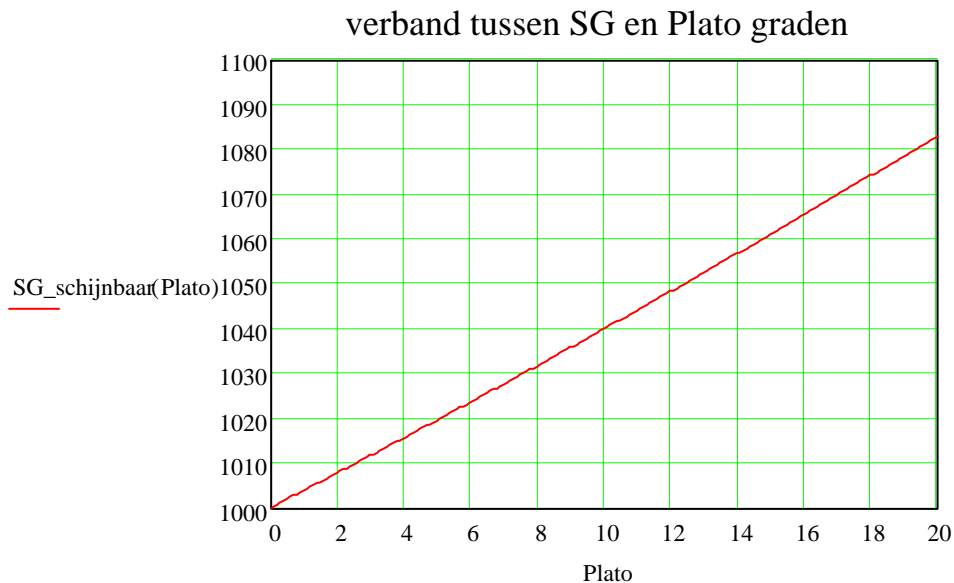
Samenvattend kunnen we dus de berekende SG waarde (van het brouwsel met daarin suiker, alcohol, eiwit, glycerol) koppelen aan de zelfde SG waarde, maar dan van een pure sucrose oplossing. (Dit zijn de tabellen uit de literatuur bv Goldiner-Klemann [8], [4]. Het percentage suiker van deze sucrose oplossing is de Plato waarde zoals de hydrometer aangeeft.

Je kunt Vergelijking 41 ook omgekeerd opschrijven:

Vergelijking 48

$$SG = \frac{1000}{\left(1 - \frac{\text{Plato}}{260.886}\right)}$$

Beide vergelijkingen Vergelijking 41 en Vergelijking 48 geven hetzelfde verband aan tussen SG en Plato. Dit verband ziet er grafisch als volgt uit:



Figuur 19 verband tussen SG en Plato graden

(In 'bierrekenen.exe' [10] is K_1 's concentratieafhankelijk en is de Plato SG relatie nog iets nauwkeuriger)

Het verband tussen SG en schijnbare Plato graden geldt dus voor elke oplossing dus zowel voor wort als voor Bier en dus ook na de gisting met alcohol erbij. Dat is ook logisch omdat Plato en SG schaal via het percentage sucrose en het bijbehorende SG 1 op 1 aan elkaar gekoppeld zijn.

Bv SG=1060 levert 14.76 Plato. Een simpele benadering welke veelgebruikt wordt is om het SG-1000 te delen door 4 om Plato graden te krijgen. Zodra er alcohol of eiwit in het spel is is het werkelijke suikerpercentage natuurlijk niet meer gelijk aan de afgelezen Plato waarde en wordt dan gesproken van "Schijnbare Plato graden".

5.5. Verschil tussen Plato en Brix

Plato en Brix zijn volgens bovenstaande allebei gewicht procenten suiker, maar Plato wordt gemeten met een hydrometer, terwijl Brix gemeten wordt met een refractometer. Zolang de oplossing alleen uit sucrose en water bestaat is de Plato en Brix waarde van die oplossing daarom hetzelfde. Er ontstaan echter verschillen zodra er andere stoffen dan sucrose en water in de oplossing zitten. In dat geval wordt gesproken van schijnbare Plato en Brix graden. De term 'Schijnbaar' geeft aan dat de echte hoeveelheid suiker anders is dan de aflezing aangeeft vanwege de aanwezigheid van andere stoffen. De echte hoeveelheid aanwezige suiker kun je dan alleen nog maar berekenen met de uitgebreidere formules uit dit boekwerk.

Hieronder staan nogmaals de formules voor Plato en Brix samengevat:

Vergelijking 49

$$\text{Plato} = \frac{100B}{0.9982 \cdot (1 + K1s \cdot B)}$$

$$B = \frac{\text{suikergewicht}}{\text{totaalvolume}} + \frac{K1a}{K1s} \cdot \frac{\text{alcoholgewicht}}{\text{totaalvolume}} + \frac{K1e}{K1s} \cdot \frac{\text{eiwitgewicht}}{\text{totaalvolume}} + \frac{K1g}{K1s} \cdot \frac{\text{glycerolgewicht}}{\text{totaalvolume}}$$

$$\text{Brix} = \frac{100A}{0.9982 \cdot (1 + K1s \cdot A)}$$

$$A = \left[\frac{\text{suikergewicht}}{\text{totaalvolume}} + \frac{\text{alcoholgewicht}}{\text{totaalvolume}} \cdot \frac{K1a}{Ks} + \left(\frac{\text{alcoholgewicht}}{\text{totaalvolume}} \right)^2 \cdot \frac{K2a}{Ks} + \frac{\text{eiwitgewicht}}{\text{totaalvolume}} \cdot \frac{K1e}{Ks} + \frac{\text{glycerolgewicht}}{\text{totaalvolume}} \cdot \frac{K1g}{Ks} \right]$$

Wat kunnen we uit deze getallen nu concluderen?

Ten eerste kunnen we zien dat Plato=Brix als de oplossing alleen suiker bevat omdat A en B dan gelijk zijn. (zie 5.6)

Zodra er andere stoffen bij komen dan gaan Plato en brix van elkaar verschillen vanwege de andere waarden van de constanten in termen A en B. voor wort gaat het vnl om ca 0.5% opgelost eiwit.

5.6. Het begrip Brix correctie factor

Uit bovenstaande blijkt dat de brix waarde van je wort zoals de refractometer dit aangeeft (voor de gisting) hoger is dan het werkelijke suikerpercentage. Dit komt omdat er een extra bijdrage aan de afgelezen Brix waarde plaats vindt door het aanwezige eiwit. Voor de Plato waarde geldt een soortgelijk verhaal, maar de verhoging tgv eiwit is iets anders. Daarom is de term “Brix correctie factor” een veelgebruikt begrip (oa Promash brouwsoftware) om dit verschil tussen schijnbare Plato en schijnbare Brix zoals dat gemeten wordt bij wort uit te drukken in een getal. Deze verschillen ontstaan door eiwit, maar mogelijk ook omdat er verschillende soorten suikers aanwezig zijn, dus niet alleen sucrose. Tijdens de gisting verhoogt alcohol de brix correctiefactor sterk

Voor de gerstemoutstroop blijkt dus dat de berekende Brix correctiefactor op basis van het etiket redelijk overeenkomt met de hydrometer en refractometer metingen.

Op basis van Vergelijking 49 kunnen we de Brixcorrectiefactor=Brix/Plato berekenen als volgt:

Vergelijking 50

$$\frac{\text{Brix}}{\text{plato}} = \frac{A}{B} \cdot \frac{1 + K1s \cdot B}{1 + K1s \cdot A}$$

Nu kunnen we A en B invullen voor de verschillende situaties

Bv voor sucrose oplossing is A=B dus Brix/plato moet 1 zijn voor een sucrose oplossing ook vanwege de definitie.

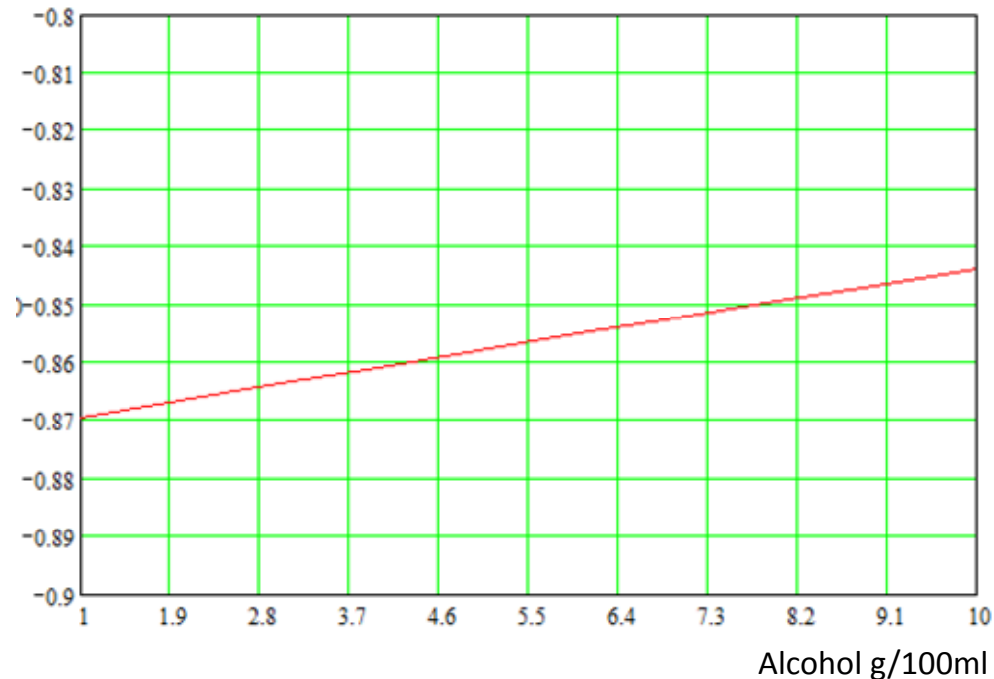
Voor een oplossing van alcohol krijgen we:

Vergelijking 51

$$\frac{\text{Brix}}{\text{plato}} = \frac{\frac{\text{alcoholgewicht}}{\text{totaalvolume}} \cdot \frac{K_a}{K_s}}{\frac{K_{1a}}{K_{1s}} \cdot \frac{\text{alcoholgewicht}}{\text{totaalvolume}}} \cdot \frac{1 + K_{1s} \cdot \left(\frac{K_{1a}}{K_{1s}} \cdot \frac{\text{alcoholgewicht}}{\text{totaalvolume}} \right)}{1 + K_{1s} \cdot \left(\frac{\text{alcoholgewicht}}{\text{totaalvolume}} \cdot \frac{K_a}{K_s} \right)} \Leftrightarrow \frac{\text{Brix}}{\text{plato}} = \frac{\frac{K_a}{K_s}}{\frac{K_{1a}}{K_{1s}}} \cdot \frac{1 + \left(K_{1a} \cdot \frac{\text{alcoholgewicht}}{\text{totaalvolume}} \right)}{1 + K_{1s} \cdot \left(\frac{\text{alcoholgewicht}}{\text{totaalvolume}} \cdot \frac{K_a}{K_s} \right)}$$

In een grafiekje ziet dit er als volgt uit:

Brix/Plato

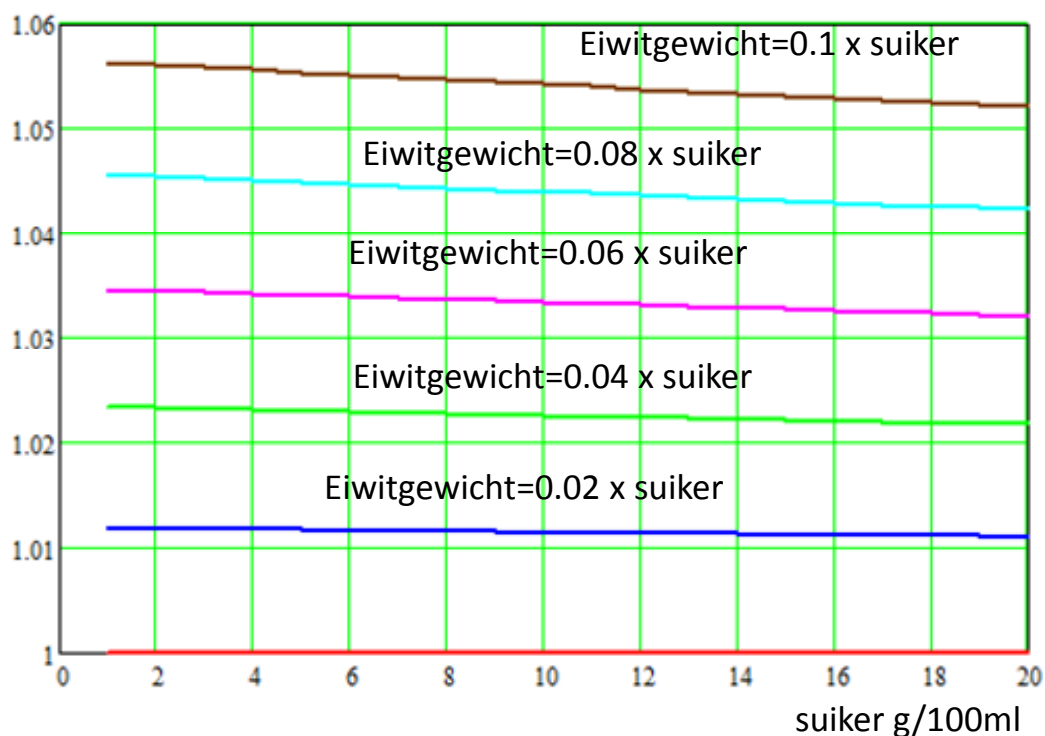


Figuur 20 Brix correctiefactor voor alcohol oplossing

Omdat het SG onder de 1000 zit is de Plato waarde altijd negatief en dus ook de brix correctiefactor.

Voor oplossing van eiwit is op dezelfde manier uit te rekenen via de daarvoor geldende A en B

Brix/Plato



Figuur 21 Brix correctiefactor voor wort met eiwitpercentage

Dit levert in de praktijk een Brixcorrectiefactor op voor wort van ca 1.03.

Een bijzonder geval treedt op voor een mengsel van alcohol en suiker. Dit kunnen we zodanig mengen (suikergewicht=0.641 x alcoholgewicht) dat het SG gelijk is aan 1000. Daarbij wordt de Brix correctiefactor oneindig groot.

5.7. Hand formule voor het verband tussen Brix en SG

Er is een simpele handformule in omloop welke het verband tussen Brix en SG geeft:

Vergelijking 52 gangbare handformule voor het verband tussen Brix en SG

$$\text{Brix} = \frac{(\text{SG} - 1000)}{4}$$

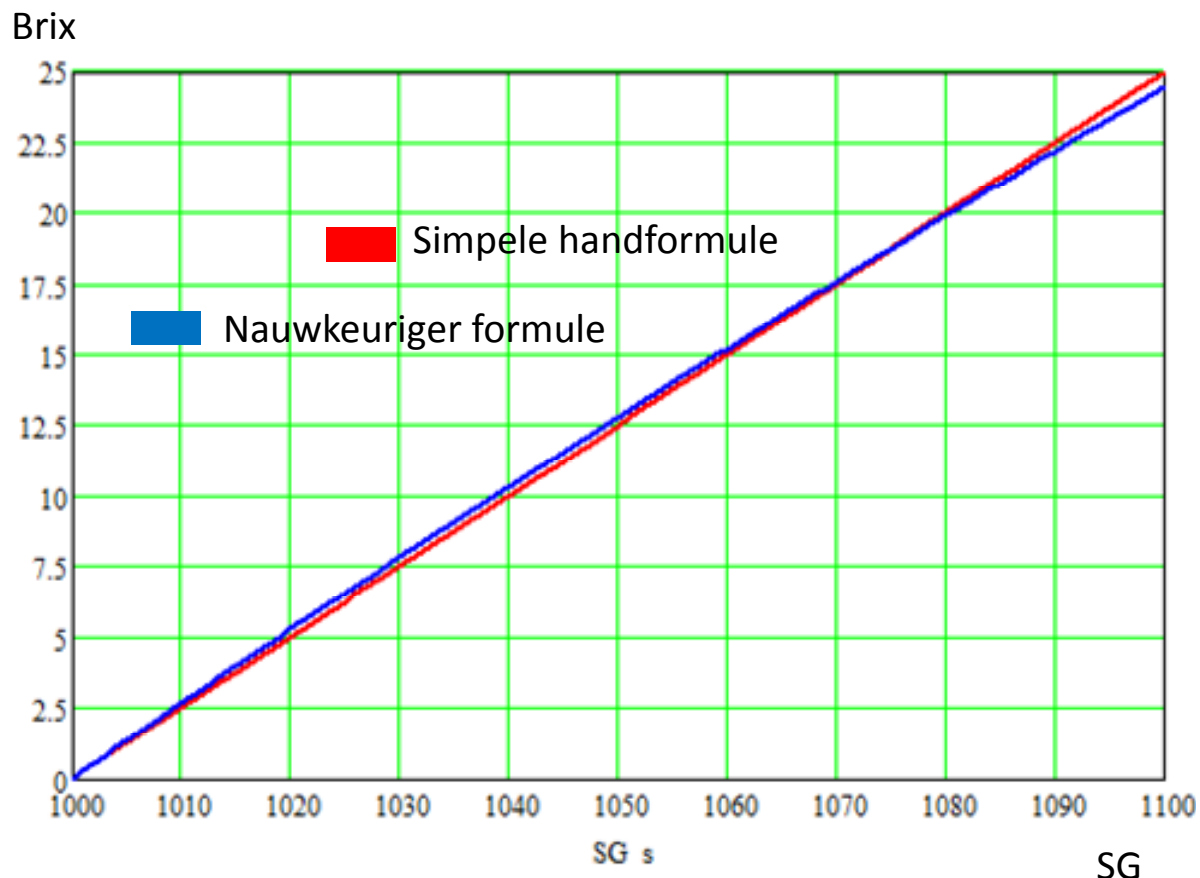
bv beginSG=1080 levert 20 Brix

Het moge duidelijk zijn dat deze formule alleen geldt voor wort, zolang er geen gisting heeft plaatsgevonden en dat de 4 een gemiddelde is wat per brouwerij en per brouwsel kan variëren vanwege de variatie in eiwit percentage. Vergelijking 48 geeft het algemene verband tussen SG en Plato. Het verband tussen Plato en Brix wordt gegeven door de Brix correctiefactor in Vergelijking 50. Vergelijking 41 geeft het verband tussen Plato en SG. Combinatie van beide vergelijkingen levert dan een wat nauwkeuriger handformule voor het verband tussen Brix en SG voor wort, rekening houdend met de Brix correctiefactor van wort:

Vergelijking 53 nauwkeurige handformule voor het verband tussen Brix en SG

$$\text{Brix} = \text{Brixcorr} \cdot 260.886 \cdot \frac{\text{SG}_s - 1000}{\text{SG}_s}$$

Beide resultaten van Vergelijking 52 en Vergelijking 53 staat in onderstaand grafiekje



Figuur 22 simpele formule versus meer exacte formule

5.8. Meten van het beginSG met een refractometer

Het aantal Plato graden geeft het suiker percentage aan van de wort. (gram suiker per 100gram wort) en is gebaseerd op de “Goldiner Klemann” tabellen voor sucrose oplossingen. SG, Plato wordt gemeten met en hydrometer (of andere methode die het SG meet). In wort zit echter naast suikers ook nog enkele tienden procent eiwit, waardoor de afgelezen SG, Plato waarde een fractie hoger is dan volgens de werkelijke hoeveelheid suiker verwacht mag worden, echter dit is in de brouwerwereld algemeen aanvaard. Hetzelfde geldt voor de Brix waarde zoals de refractometer aangeeft. De hoeveelheid eiwit geeft de plato waarde net een iets kleinere verhoging tov de Brix waarde. Dit kan zoals eerder toegelicht met de Brix correctiefactor beschreven worden.

Met de Brix correctiefactor is het dus mogelijk om met de refractometer een SG bepaling te doen van de wort voor de gisting omdat je het verschil wat tussen refractometer en hydrometer ontstaat nu gecorrigeerd hebt. Vergelijking 53 geeft aan dat de Brix correctiefactor dit verband mede bepaalt en Figuur 21 geeft aan hoe de Brix correctiefactor afhangt van de verhouding eiwit/suiker in de wort. Voor de hoeveelheid eiwit in de wort is het

ok tot hier

nog van belang om te weten dat

tijdens het koken en koelen een deel van het eiwit neerstaat en dat daardoor de Brixcorrectiefactor na het koken en koelen dus iets lager zal zijn dan vlak na het spoelen. Het is mogelijk om de Brix correctiefactor te bepalen door de combinatie van een SG meting en refractometer bepaling als volgt:

- De SG meting levert samen met de Plato waarde op. (of direct met een hydrometer gecalibreerd in graden Plato)
- De refractometer bepaling (Brix) levert direct de Brix waarde op.
- Delen levert de Brix correctiefactor op (Brix/Plato)

Goedkope hydrometers leveren vaak een onnauwkeurigheid van +/- 2 SG punten. 2 SG punten bij een SG van 1050 levert al een fout op in de Plato waarde van 4%. Het heeft dan weinig zin om hiermee een Brix correctiefactor van 1.02-1.08 te bepalen als de hydrometer al een afwijking van +/- 1.04 oplevert. Wat je dan eventueel kunt doen is eerst de Brix correctiefactor bepalen van een suikeroplossing met een SG van bv 1050 (deze zou 1.00 moeten zijn) en dan de gemeten waarde voor de Brix correctiefactor van de suikeroplossing aftrekken van de gemeten Brix correctiefactor van de wort om zo de onnauwkeurigheid van de hydrometer te compenseren.

Voorbeeld van calibratie van de de hydrometer, refractometer combinatie:

We maken een suikeroplossing (sucrose) met een SG van ca 1050 door 124g suiker op te lossen tot 1000gram.

Afgelezen Brix waarde op de refractometer=12.35

Afgelezen SG met de hydrometer=1049

SG1049 levert via **Error! Reference source not found.** een Plato waarde op van

$\text{Plato} = (1049 - 1000) / 1049 * 260.892 = 12.19 \text{ Plato}$

Dit levert een Brix correctiefactor op van $12.35 / 12.19 = 1.013$. De Brixcorrectiefactor van sucroseoplossing is per definitie gelijk aan 1.00. Voor het meten van de Brix correctiefactor van wort met deze combinatie van hydrometer en refractometer moeten we dus 0.013 aftrekken van de bepaalde Brixcorrectiefactor.

Voorbeeld voor de bepaling van de Brix correctiefactor van de wort:

Afgelezen Brix waarde op de refractometer=17.35

Afgelezen SG met de hydrometer=1068

SG1068 levert via **Error! Reference source not found.** een Plato waarde op van

$$\text{Plato} = \frac{(\text{SG}_{\text{schijnbaar}} - 1000)}{\text{SG}_{\text{schijnbaar}}} \cdot 260.892$$

$\text{Plato} = (1068 - 1000) / 1068 * 260.892 = 16.61 \text{ Plato}$

Dit levert een Brix correctiefactor op van $17.35 / 16.61 = 1.044$ samen met de calibratie van de combinatie levert dit een Brixcorrectiefactor op van $1.044 - 0.013 = 1.031$

Voorbeeld van een SG meting van de wort via de refractometer:

Afgelezen Brix waarde op de refractometer=17.35. Aanname:Brixcorrectiefactor=1.031. Dit geeft:

Plato= afgelezen Brix waarde/1.031= 16.83. Het SG kun je dan als volgt berekenen:

$$SG=1000/(1-Plato/260.892) =1069$$

Hiermee kun je dus de hydrometer achterwege laten en het beginSG direkt uit de gemeten Brix waarde afleiden.

Het moge duidelijk zijn dat de Brix correctie factor= verhouding tussen Brix en Plato sterk zou gaan verhogen als er een vergisting heeft plaatsgevonden, omdat alcohol een verhogende invloed heeft op de Brix waarde en een verlagende invloed op de Plato waarde. Daarom is een waarschuwing wel op zijn plaats: gebruik de refractometer met als doel om het SG te bepalen alleen voor wort en niet voor Bier. Bij bier klopt er niets meer van. (Hoewel we met de kennis uit dit boekwerk in staat zijn om het wel te berekenen, maar daarover meer in het stukje over alcoholberekeningen)

5.9. Inleiding alcoholberekeningen

In 5.8 is besproken dat Alcohol een verhogend effect heeft op de Brix waarde (refractometer) en een verlagend effect op SG en Plato waarde (hydrometer) We kunnen hier gebruik van maken en daarmee te proberen het alcoholpercentage te bepalen. Het moge duidelijk zijn dat de hoeveelheid eiwit welke aanwezig is in het bier verstorend werkt op deze bepaling van alcohol, omdat eiwit net zoals alcohol de Brix waarde verhoogt, maar ook de SG, Plato waarde verhoogt. Je moet dus een aanname doen voor de hoeveelheid eiwit om een nauwkeurige bepaling van het alcoholpercentage te kunnen doen. De overige stoffen in bier hebben een dusdanig kleine concentratie, dat deze de Brix, SG, Plato waarde niet zullen beïnvloeden.

In hoofdstuk 7 zal, als aansluiting op voorgaande, ingegaan worden op methoden om via metingen aan wort en/of bier zaken als alcoholpercentage, beginSG (via metingen aan bier) etc te kunnen achterhalen. Een van die methoden die ook in het programma 'Promash' wordt gebruikt maakt gebruik van de genoemde combinatie van een hydrometer meting (eindSG) en een refractometer meting (Brix). Omdat het eiwit percentage in thuis gebrouwen bieren veelal hoger is dan in commerciële brouwerijen en ook behoorlijk varieert, zal duidelijk zijn dat variatie in eiwitpercentage een behoorlijke onnauwkeurigheid oplevert op de berekende alcohol. Metingen aan mijn zelfgebrouwen bieren via de Promash methode waren twijfelachtig, terwijl ik beschik over de mogelijkheid om het SG binnen enkele tienden SG punten te meten mbv een laboratorium weegschaal en hand held refractometer (+/- 0.1 Brix). Een mogelijkheid om dit probleem op te lossen is om extra informatie te krijgen over de hoeveelheid eiwit door ook metingen van de wort mee te nemen of aanvullende metingen van uitgekookt en aangevuld bier. Het doel wat ik hierbij had is om het principe wat in Promash gebruikt is verder uit te ontwikkelen. In hoofdstuk 7 wordt een toelichting en overzicht gegeven van deze methodes om het alcoholpercentage te bepalen.

In hoofdstuk 7 wordt een demo computer programma beschreven [10] waar alle methodes in verwerkt zijn. Hiermee kunnen de methodes toegepast worden om alcohol percentage, maar ook eiwit, rendementen etc te kunnen bepalen via metingen aan wort en bier.

6. Alcoholbepalingen

6.1. Inleiding

Als we willen weten hoeveel alcohol er in het gebrouwen bier zit, dan kan dat met metingen via professionele apparatuur zeer nauwkeurig geschieden. (bv via infrarood metingen) Amateur brouwers beschikken meestal niet over dit soort apparatuur. Er zijn wel een aantal mogelijkheden binnen het bereik van de amateur brouwer. Deze methoden worden hieronder systematisch toegelicht en maken gebruik van metingen aan het bier en de wort met behulp van hydrometer en of refractometer. Hierbij kan handig gebruik gemaakt worden van brouwsoftware, mits deze software goede modellen bevat van het brouwproces en de gebruikte meetapparatuur. Met de kennis uit hoofdstuk 1 t/m 5 is dit mogelijk. Het is ook mogelijk om hiermee simpele handformules en grafiekjes te maken. Het blijkt verder dat er kleine variaties ontstaan op deze “gemiddelden” door veranderingen in omstandigheden. Hierbij van invloed kunnen oa zijn:

- De hoeveelheid extra toegevoegde suiker tijdens het brouwen
- De verhouding opgelost eiwit/ suikers in de wort
- Het deel van de eiwitten welke neerslaan tijdens koken en gisten
- De vorming van alcohol uit suiker (normaal te verwachten hoeveelheid alcohol is $0.484 \times$ het gewicht aan vergistbare suiker, maar dit kan variëren tgv onder andere beluchten)
- Vergistingsrendement (welk deel van de vergistbare suikers wordt daadwerkelijk vergist)
- Uitkoken van de alcohol tbv de bepaling van het werkelijk extract van het bier waarbij extra eiwit neerstaat

Dit alles levert een onnauwkeuriger voorspelling op dan ideaal verwacht en komt in de volgende paragrafen aan bod.

6.2. BeginSG-eindSG

Wort bestaat naast water voornamelijk uit vergistbare en onvergistbare suikers en een beetje eiwit (ca 0.5 a 1%). Samen levert dit het begin SG op. Tijdens de gisting wordt de vergistbare suiker (ca 65% van de aanwezige suiker is vergistbaar) omgezet in alcohol (1 g suiker wordt onder praktische omstandigheden omgezet in ca 0.484g alcohol). Na de gisting is dus aanwezig:

- Onvergistbare suiker, ca 35% van de oorspronkelijke suiker
- Alcohol, ca $0.65 \times 0.484 = 31.4\%$ van het oorspronkelijke gewicht aan suiker
- Eiwit (ca 0.5-1%)
- Koolzuur (CO_2) Dit moet verwijderd worden voor het meten en doet dus niet mee
- Overige stoffen in lage concentratie, niet van belang voor de berekeningen

Samen levert dit mengsel het eindSG op zoals met de nu beschikbare formules kan worden berekend.

Je kunt nu ook omgekeerd te werk gaan, namelijk uitgaande van het gemeten beginSG en eindSG terugrekenen hoeveel suiker er was en hoeveel er tot alcohol vergist is.

In paragraaf 3.4 is een formule voor het soortelijk gewicht gegeven op basis van deelbijdragen van opgeloste stoffen.

Vergelijking 54

$$SG_{\text{schijnbaar}} = 1000 + K1s \cdot \frac{\text{suikergewicht}}{\text{totaalvolume}} + K1a \cdot \frac{\text{alcoholgewicht}}{\text{totaalvolume}} + K1e \cdot \frac{\text{eiwitgewicht}}{\text{totaalvolume}} + K1g \cdot \frac{\text{glycerolgewicht}}{\text{totaalvolume}}$$

Als je nu het beginSG-eindSG uitrekent met behulp van 2 keer deze formule dan ontstaat de volgende vergelijking, gebaseerd op het verschil van 2 SG vergelijkingen:

Vergelijking 55

$$\text{BeginSG}_{\text{min_eindSG}} = K1s \cdot \frac{\text{suikerwort} - \text{suikerbier}}{\text{totaalvolume}} + K1a \cdot \frac{-\text{alcoholbier}}{\text{totaalvolume}} + K1e \cdot \frac{\text{eiwitwort} - \text{eiwitbier}}{\text{totaalvolume}} + K1g \cdot \frac{\text{glycerolwort} - \text{glycerolbier}}{\text{totaalvolume}}$$

Hierbij is “suikerwort” het suikergewicht in de wort, “suikerbier” het suikergewicht in het bier, “alcoholbier” het alcoholgewicht in het bier, “eiwitwort” het eiwitgewicht in de wort, “eiwitbier” het eiwitgewicht in het bier, “glycerolwort” het gewicht van de overige stoffen in de wort en “glycerolbier” het gewicht van de overige stoffen in het bier.

We weten dat tijdens de gisting ca 35% van de suiker uit de wort onvergistbaar is en achter blijft als restsuiker in het bier en dat ca 48.4% van de vergistbare suiker uit de wort omgezet wordt in alcohol. Dat betekent dus dat $0.484 \times 65\% = 31.5\%$ van de suiker in de wort omgezet wordt in alcohol. Als je dat invult in Vergelijking 55 dan komt daar uit:

Vergelijking 56

$$\text{BeginSG}_{\text{min_eindSG}} = K1s \cdot \frac{0.65\text{suikerwort}}{\text{totaalvolume}} + K1a \cdot \frac{-(0.315\text{suikerwort})}{\text{totaalvolume}} + K1e \cdot \frac{\text{eiwitwort} - \text{eiwitbier}}{\text{totaalvolume}} + K1g \cdot \frac{\text{glycerolwort} - \text{glycerolbier}}{\text{totaalvolume}}$$

Vervolgens kun je suikerwort weer omrekenen naar alcohol (1/0.315) volgens:

Vergelijking 57

$$\text{suikerwort} = 3.175\text{alcoholbier}$$

En dit invullen in Vergelijking 56. Je krijgt dan de volgende vergelijking:

Vergelijking 58

$$\text{BeginSG}_{\text{min_eindSG}} = K1s \cdot \frac{2.064\text{alcoholbier}}{\text{totaalvolume}} + K1a \cdot \frac{-\text{alcoholbier}}{\text{totaalvolume}} + K1e \cdot \frac{\text{eiwitwort} - \text{eiwitbier}}{\text{totaalvolume}} + K1g \cdot \frac{\text{glycerolwort} - \text{glycerolbier}}{\text{totaalvolume}}$$

Hieruit blijkt het verband tussen beginSG-EindSG en alcohol. Als je dat netjes uitrekent met de brouwsoftware dan komt daar een simpele handformule uit:

Vergelijking 59

$$\text{alcoholvol\%} = \frac{(\text{BeginSG} - \text{EindSG})}{k1}$$

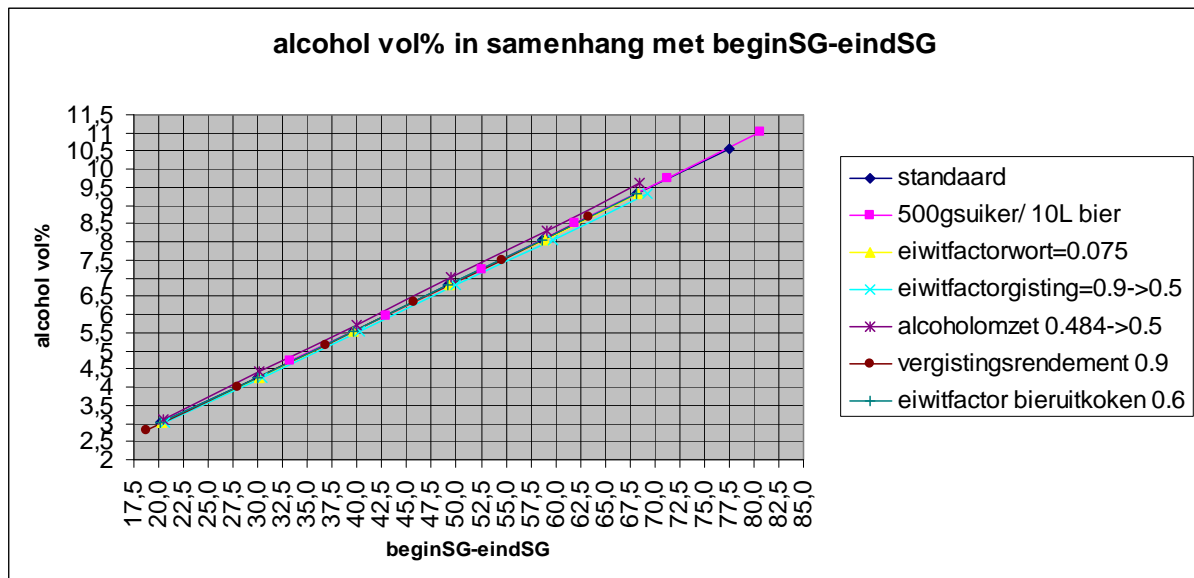
Met k1 tussen 6.7 en 7.3 afhankelijk van de zwaarte van het bier.

Uit Vergelijking 58 blijkt echter ook dat het verschil in eiwit tussen wort en bier en het verschil in overige stoffen (onder de noemer ‘glycerol’ samengevat) het berekende verband een beetje kunnen verstoren. Ook variaties op de aangenomen factoren ‘0.35’, ‘0.65’ en ‘0.484’ zullen invloed hebben op de waarde van k1

Met de theorie zoals in voorgaande hoofdstukken besproken is, is het dus mogelijk om de waarde van de constante k_1 te bepalen voor verschillende brouw omstandigheden.

In hoofdstuk 7 wordt verder ingegaan op de bijbehorende software [10] waar de meest nauwkeurige en volledige formules in zitten, maar op dit moment zijn we alleen geïnteresseerd in het resultaat.

Met behulp van deze software is het volgende grafiekje berekend [12]:



Figuur 23 afschatting van het alcoholpercentage met behulp van beginSG-EindSG

In dit grafiekje staat horizontaal het verschil tussen beginSG en eindSG (na hergisting op de fles) uitgezet. Vertikaal staat het bijbehorende alcohol percentage. De diverse lijnen horen bij verschillende brouwomstandigheden.

Voor de lijn “standaard” (standaard brouwomstandigheden=normaal te verwachten) zijn de volgende getallen aangehouden (zie 7.1.5.2 voor details en hoofdstuk 3 voor het achterliggende model):

Brouwconstanten	
0.75	extraheerbaar
0.9	maisch en spoelrendement
0.65	% vergiste moutsuiker
0.97	dextrine afbraak rendement
0.05	Eiwit factor wort
0.7	Eiwit factor wortkoken
0.97	vergistingsrendement
0.9	Eiwit factor gisting
1	glycerolfactor
1	eiwitfactor_bottel
0.98	Bierverlies rendement1
0.484	alcoholomzet hoofdgisting
0.4629	co2 omzet factor
0.95	Bierverlies rendement2
0.999	Krimp en verdamping
0.484	alcoholomzet bottelen
0.8	eiwitfactor bieruitkoken
0.002	rest alcohol na uitkoken g/g
0.004	vervlogen alcohol tijdens destileren g/g

Figuur 24 standaard waarden voor brouwconstanten

recept	
1500	mout gewicht (g/10l) [1]
0	extra suiker toegevoegd tijdens koken of gisting (g/10lL) [1]
75	bottelsuiker toegevoegd (g/10l) [1]
0	bottelwater toegevoegd (g/10l) [1]
20	temperatuur einde gisting tbv CO2 oplossen (grC)
0	Druk aan einde gisting voor bottelen (kg/cm2 overdruk)

[1] per 10L wort na koken

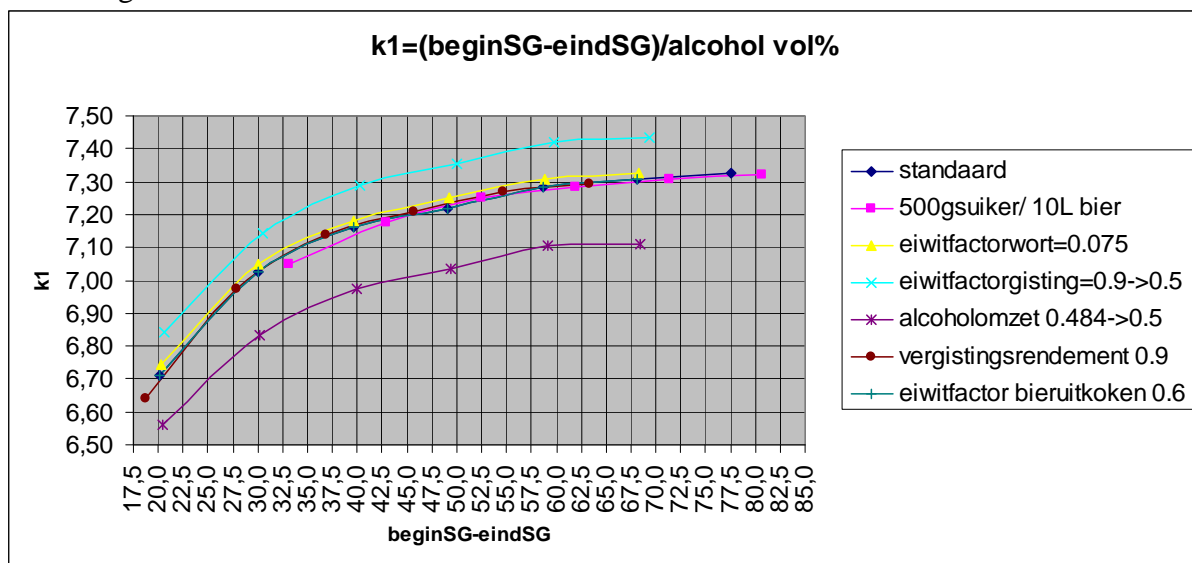
Figuur 25 standaard recept

De andere lijnen behoren bij de brouwsels waarbij alles standaard is behalve 1 parameter. (elke lijn hoort bij een andere parameter)

De parameters welke gevarieerd zijn, zijn de volgende:

- Extra suiker toegevoegd bij het koken, 500g per 10L bier
- Eiwitfactorwort= 0.075 (opgelost eiwit in beslag=7.5% van het moutgewicht)
- Eiwitfactorgisting=0.5 (50% van het eiwit neergeslagen tijdens het gisten)
- Alcoholomzet=0.5
- Vergistingsrendement=0.9
- Eiwitfactor bieruitkoken=0.6
- Restalcohol na uitkoken=0.002 (gram achtergebleven alcohol per ml bier)

In Figuur 26 is de waarde van k1 weergegeven voor bovenstaande brouw- en vergistings omstandigheden



Figuur 26 waarde van k1 bij verschillende brouw omstandigheden

Uit Figuur 26 blijkt dat het verband tussen beginSG-EindSG en alcoholvol% vooral afhankelijk is van de parameter “eiwitfactorgisting” en “alcoholomzet”. Vooral de variatie van het percentage eiwit welke neerslaat tijdens de gisting (eiwitfactorgisting) en variatie van de alcoholomzetfactor heeft invloed op het alcoholpercentage. De onnauwkeurigheid kan hierdoor oplopen tot zo’n 0.3 vol% alcohol. Dit is in het grafiekje van Figuur 23 goed te zien. De fout van de hydrometer (+/- 2SG punten) levert ca +/-0.2vol% fout op het alcoholpercentage. (kan direkt uit de helling van de lijnen in Figuur 23 afgeleid worden) Tevens moet je het bier natuurlijk goed ontgassen via schudden of vacuum trekken met een injectiespuit om geen fouten door koolzuurbelletjes of opgelost koolzuur te krijgen. Al met al kun je dus met deze methode een nauwkeurigheid krijgen van ca +/-0.5 vol% alcohol.

6.3. BeginBrix-EindBrix

Een vergelijkbare procedure als in 6.2 kan gevolgd worden met de refractometer en de theorie uit hoofdstuk 4 en 5, zie **Error! Reference source not found.** uit paragraaf 5.2.

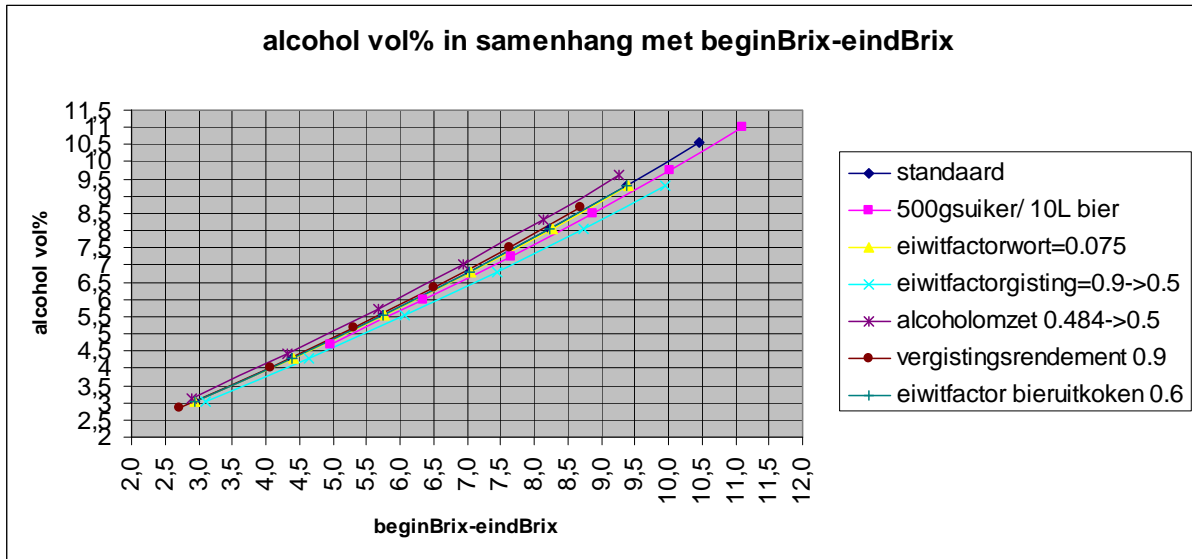
Deze procedure leidt tot de volgende vergelijking:

Vergelijking 60

$$\text{alcoholvol\%} = \frac{\text{BeginBrix} - \text{EindBrix}}{k2}$$

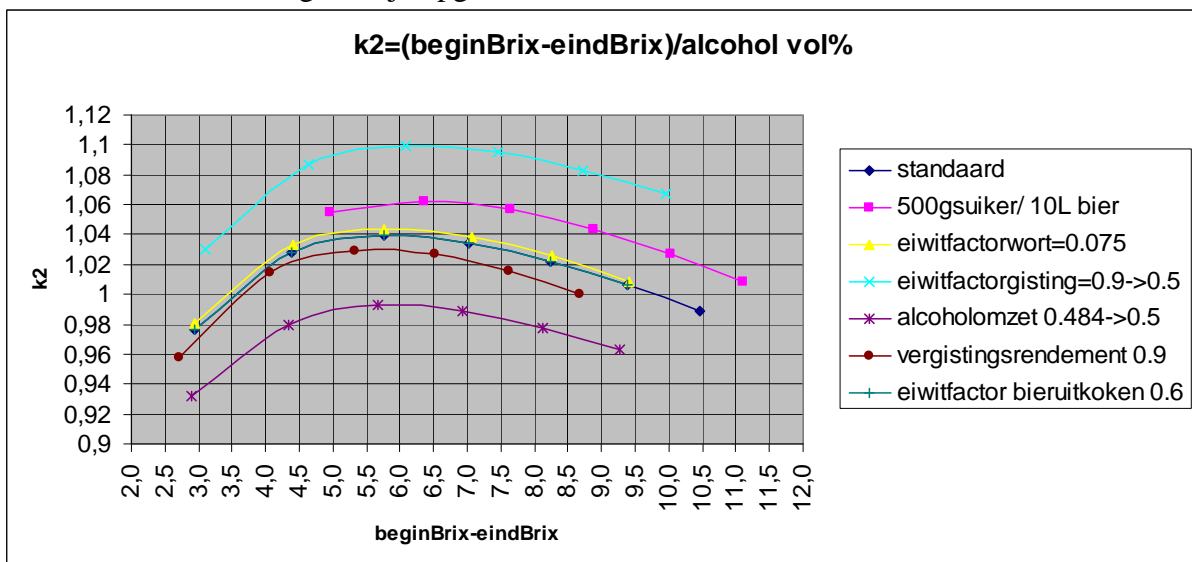
Met k2 tussen ca 0.99 en 1.04, afhankelijk van de zwaarte van het bier.

Ook hiervan is met de software uit hoofdstuk 7 en de zelfde variatie op de brouw omstandigheden als in 6.2 het volgende grafiekje gemaakt:



Figuur 27 afschatting van het alcoholpercentage met behulp van begin Brix-Eind Brix

Ook hier kan k2 in een grafiekje opgenomen worden:



Figuur 28 Waarde van k2 bij verschillende brouwomstandigheden

Uit dit grafiekje blijkt dat ook hier het verband tussen beginBrix-EindBrix en alcoholvol% vooral afhankelijk is van de parameter “eiwitfactorgisting” en “alcoholomzet”. De brouwomstandigheden bij de refractometer hebben nog een grotere invloed dan bij de SG meting. De verklaring hiervoor is de grotere gevoeligheid van de refractometer voor eiwit en kleinere gevoeligheid voor alcohol, alsmede het zelfde teken voor suiker en alcohol, waardoor minder goed onderscheid gemaakt kan worden tussen suiker en alcohol. De fout kan hier oplopen tot zo’n +/-0.5 vol% alcohol.

De fout door de nauwkeurigheid van de refractometer zelf (0.1 Brix) is verwaarloosbaar. Het heeft dus qua nauwkeurigheid geen voordelen om een refractometer te gebruiken i.p.v. een hydrometer, hoewel het gemak van het snelle meten met een refractometer een voordeel kan zijn.

6.4. EindSG, EindBrix (+ BeginSG, BeginBrix)

Het is niet altijd mogelijk om het beginSG te weten te komen, bijvoorbeeld omdat het niet gemeten is omdat iemand anders het bier heeft gebrouwen en de gegevens niet beschikbaar zijn. Je kunt dan alleen meten aan het bier. In voorgaande hoofdstukken zijn formules gepresenteerd waaruit blijkt wat de invloed is van alcohol op de gemeten SG of Plato waarde en daarnaast de Brix waarde. Hiermee kunnen we dus ook de Brixcorrectiefactor berekenen als er alcohol ontstaan is. Het blijkt nu dat deze brix correctiefactor sterk gaat verhogen bij aanwezigheid van alcohol. Dat komt omdat alcohol de hydrometer aflezing (SG, Plato) waarde verlaagt en de refractometer aflezing (Brix) verhoogt. Als we nu de 2 formules voor Brix (**Error! Reference source not found.**) en Plato (Vergelijking 35) op elkaar delen dan krijgen we een uitdrukking voor de brixcorrectiefactor, waarin alle belangrijke opgeloste stoffen verwerkt zijn:

Vergelijking 61

$$\text{Brixcorrectiefactor} = \frac{\text{suikergewicht} + \frac{K_{a1}}{K_s} \cdot \text{alcoholgewicht} + \frac{K_{a2}}{K_s} \cdot \text{alcoholgewicht}^2 + \frac{K_e}{K_s} \cdot \text{eiwitgewicht} + \frac{K_g}{K_s} \cdot \text{glycerolgewicht}}{\text{suikergewicht} + \frac{K_{1a}}{K_{1s}} \cdot \text{alcoholgewicht} + \frac{K_{1e}}{K_{1s}} \cdot \text{eiwitgewicht} + \frac{K_{1g}}{K_{1s}} \cdot \text{glycerolgewicht}}$$

Van dit verschil in gedrag van alcohol kunnen we nu handig gebruik maken om de hoeveelheid alcohol in het bier te bepalen. Het is immers mogelijk om met de theorie van hoofdstuk 3 de hoeveelheid restsuiker, eiwit en alcohol in het bier te berekenen (met aannames voor diverse omzettingen) en de daaruit voortvloeiende waarden voor SG, Plato en Brix waarden. Omgekeerd is het dus ook mogelijk om met behulp van de gemeten SG, Plato en/of Brix waarden de hoeveelheid restsuiker, eiwit en alcohol in het bier terug te berekenen. Het Amerikaanse brouwprogramma Promash gebruikt deze gecombineerde hydrometer meting en refractometer meting ook, maar daar wordt niet toegelicht hoe de berekeningen in elkaar zitten en hoe de verstoringe invloed van eiwit verwerkt is. In de brouwsoftware “Bierrekenen” [10] is deze gecombineerde meting ook opgenomen.

Als voorbeeld wordt een pils genomen:

1500 gram pilsbier en 9.35 liter bier na bottelen (80g bottel suiker)

beginSG= 1040.3

begin Brix= 10.4

eindSG na bottelen= 1010.3

eindbrix na bottelen= 6.0

restsuiker= 3.92g/100ml bier

alcohol= 3.4g/100ml

eiwit= 0.47g/100ml bier

overig= 0.1g/100ml bier

totaalvolume na bottelen= 9313 ml

Brix correction factor bier = 2.54

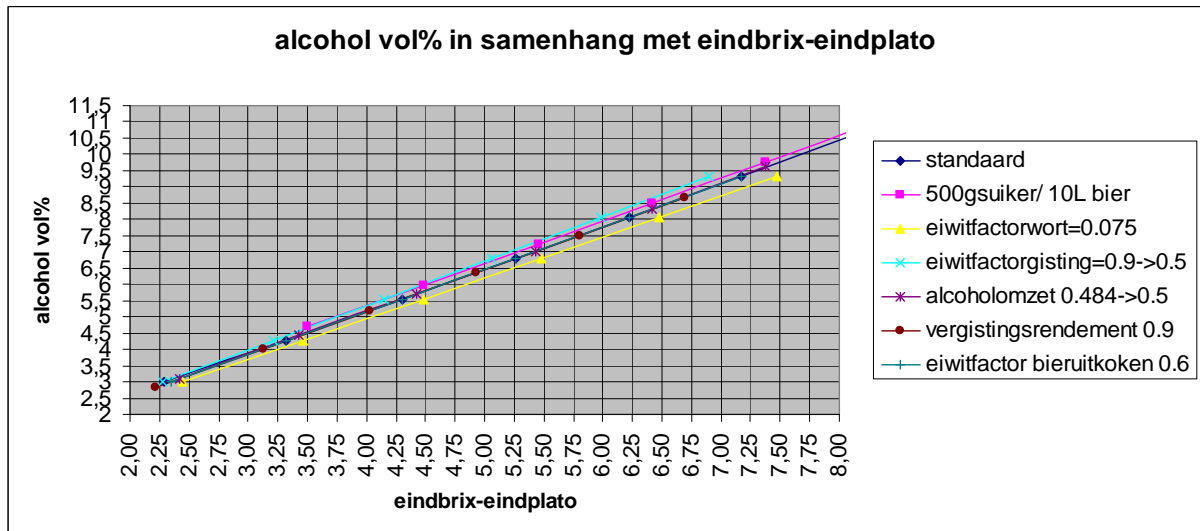
Alcoholvol%= 4.31 vol%

Als we de formules voor Brix en Plato (**Error! Reference source not found.**) en (Vergelijking 35) van elkaar aftrekken dan krijgen we de volgende vergelijking voor het verschil tussen Brix en Plato waarde.

Vergelijking 62

$$\text{brixminplato} = \frac{\left[\text{alcoholgewicht} \cdot \left(\frac{K_{a1}}{K_s} - \frac{K_{1a}}{K_{1s}} \right) + \frac{K_{a2}}{K_s} \cdot \text{alcoholgewicht}^2 + \text{eiwitgewicht} \cdot \left(\frac{K_e}{K_s} - \frac{K_{1e}}{K_{1s}} \right) + \text{glycerolgewicht} \cdot \left(\frac{K_g}{K_s} - \frac{K_{1g}}{K_{1s}} \right) \right] \cdot 100}{\text{totaalvolume} \cdot \text{SG}}$$

Hieruit blijkt dat het verschil tussen Brix en Plato sterk afhankelijk is van het alcoholpercentage, maar ook afhankelijk van het eiwitpercentage en overige stoffen in het bier (zoals glycerol). Met behulp van de brouwsoftware waarin de meest nauwkeurige formules zitten voor Brix en Plato ontstaat het volgende grafiekje.



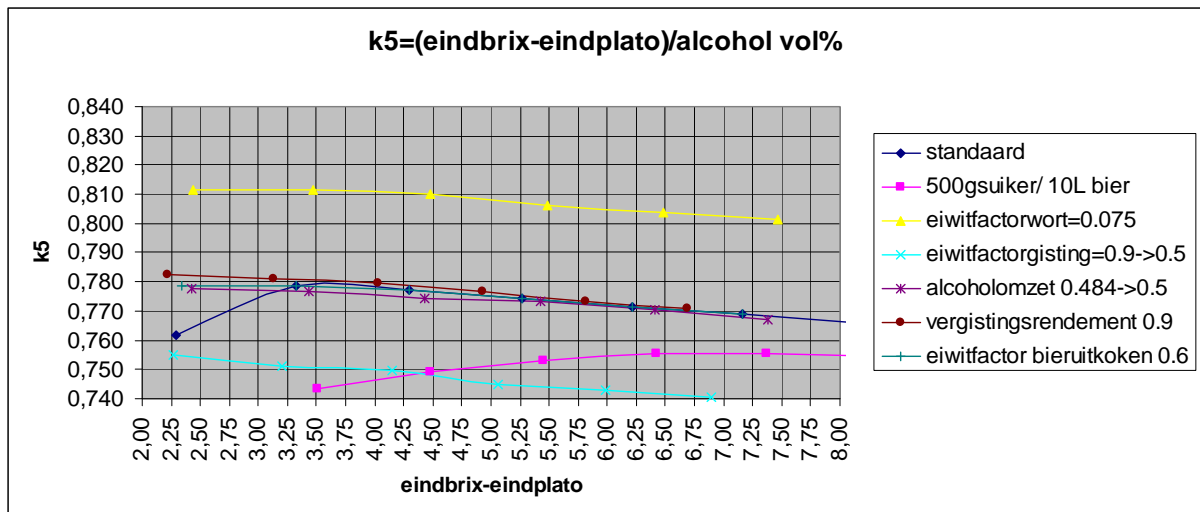
Figuur 29 verband tussen Brix-Plato van het bier en alcohol percentage

Ook hier kunnen we het verband tussen Brix-Plato en alcohol percentage weer uitdrukken in een constante k5 volgens de volgende vergelijking:

Vergelijking 63

$$\text{alcoholvol\%} = \frac{\text{EindBrix} - \text{EindPlato}}{k5}$$

Hiervan is met behulp van de brouwsoftware het volgende grafiekje gemaakt:



Figuur 30 Waarde van k_5 bij verschillende brouwomstandigheden

Hieruit blijkt inderdaad dat de voornaamste verstoringen optreden door variaties in het eiwitpercentage (eiwitfactorwort en eiwitfactorgisting). Ook het toevoegen van extra suiker bij het brouwen levert een verstoring op van het verband. Hierdoor kan al snel een afwijking van 0.5 vol% alcohol ontstaan.

De nauwkeurigheid kan verhoogd worden door een betere schatting te krijgen van het eiwitpercentage in het bier en informatie toe te voegen over de hoeveelheid extra toegevoegde suiker bij het brouwen. Schatting van het eiwitpercentage in het bier kan gekregen worden door de methode te combineren met een meting van het BeginSG en beginBrix. Daaruit volgt het eiwit percentage van je wort en een schatting van het eiwitpercentage van het bier. (via een aanname voor de parameter “eiwitfactorgisting”, hoewel de ‘eiwitfactorgisting’ ook nog varieert). Als je dan toch beginSG en beginBrix moet weten, dan kun je ook de methode van 6.2 of 6.3 gebruiken, met ongeveer dezelfde nauwkeurigheid. Verder is voor deze methode een zeer nauwkeurige meting nodig van SG en Brix, zoals te zien is in Figuur 29, waaruit blijkt dat een verschil van 0.1 punt Brix-Plato een verschil van 0.1 vol% alcohol oplevert. 0.1 Plato graden komt overeen met ca 0.4 SG punten, zie Figuur 19. Vooral de onnauwkeurigheid van de SG meting (+/-2 SG punten-> +/- 0.5 Plato) levert een fout van ca 0.5 vol% alcohol op. Voor meer info over deze methode zoals in “Bierrekenen” toegepast, zie paragraaf 7.1.10.1

Samengevat komt het er dus op neer dat deze methode een onnauwkeurigheid geeft van ca 0.5 vol% alcohol max. t.g.v variaties in de brouwomstandigheden, en dat daar nog eens 0.5 vol% afwijking bijkomt tgv onnauwkeurigheid van de hydrometer en refractometer. Deze methode is dus alleen aan te bevelen indien geen beginSG of beginBrix gemeten is van de wort en alleen metingen aan het bier gedaan kunnen worden.

6.5. EindSG, EindSG met alcohol verdampt

Deze methode maakt gebruik van het verschil in SG tussen bier met de aanwezige alcohol en van het zelfde bier, maar dan met alle alcohol vervangen voor water. Dit bereik je door het bier in te koken tot ca 1/3 van het oorspronkelijke volume en dan na afkoelen en aan te vullen tot weer dat zelfde oorspronkelijke volume (of gewicht). Je meet eerst het SG van het bier (na ontgassen !) Daarna meet je het SG van het bier na uitkoken en aanvullen tot hetzelfde volume.

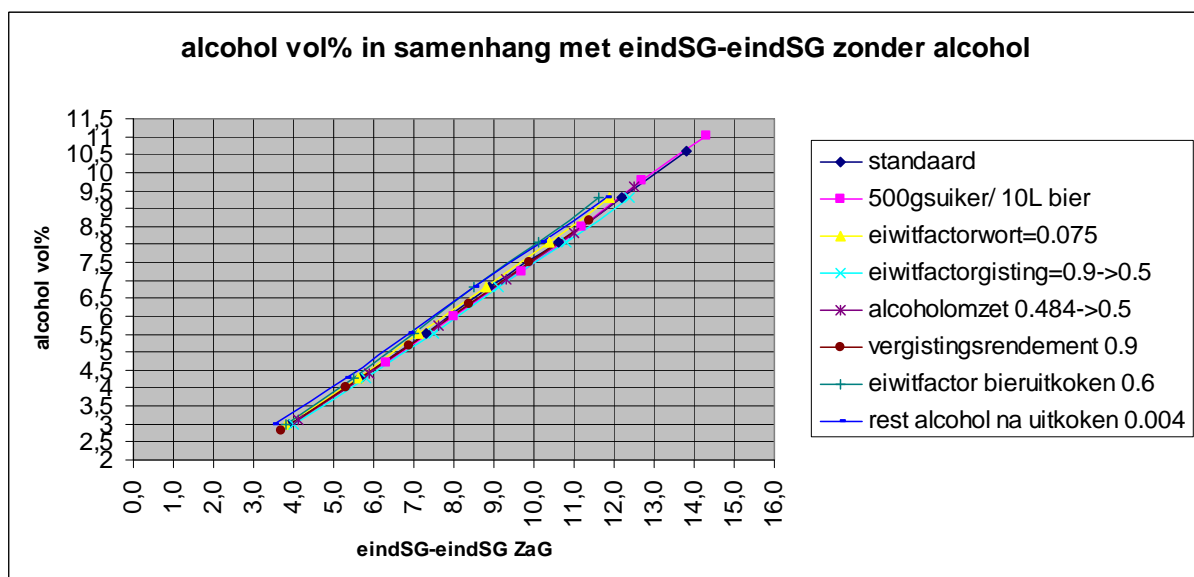
Invullen van de SG formule uit paragraaf 3.4 op basis van deelbijdragen van de opgeloste stoffen en voor bier en uitgekookt en aangevuld bier en vervolgens het verschil van beiden nemen levert:

Vergelijking 64

$$\text{EindSG_min_EindSG_ZaV} = K1a \cdot \frac{\text{alcoholbier} - \text{alcoholrest}}{\text{totaalvolume}} + K1e \cdot \frac{\text{eiwitbier} - \text{eiwitnauitkoken}}{\text{totaalvolume}}$$

We zien dat er hier een duidelijk verband is tussen alcohol en verschil in SG tussen bier en uitgekookt plus aangevuld bier. Alleen het feit dat niet alle alcohol uitgekookt kan worden (alcoholrest) en het neerslaan van eiwit tijdens het uitkoken (eiwitbier-eiwit na uitkoken) levert een verstoring op.

Een variant hierop is aanvullen tot het oorspronkelijke gewicht. Het resultaat kan uitgerekend worden door nu eerst het gewicht om te rekenen naar volume via het gemeten SG of berekende SG. (via brouwsoftware) Dat is in sommige gevallen handiger, bv als je beschikt over een nauwkeurige weegschaal. Mbv de software [10] uit hoofdstuk 7 is het volgende grafiekje berekend: (aanvullen tot zelfde gewicht)



Figuur 31 verband tussen alcohol vol% en eindSG-EindSG zonder alcohol

In de software gebaseerd op het gebruikte model is rekening gehouden met neerslag van eiwit tijdens het uitkoken en achtergebleven alcohol in het uitgekookte bier. (zie Figuur 24, input 1 en 2 van de laatste 3 inputs).

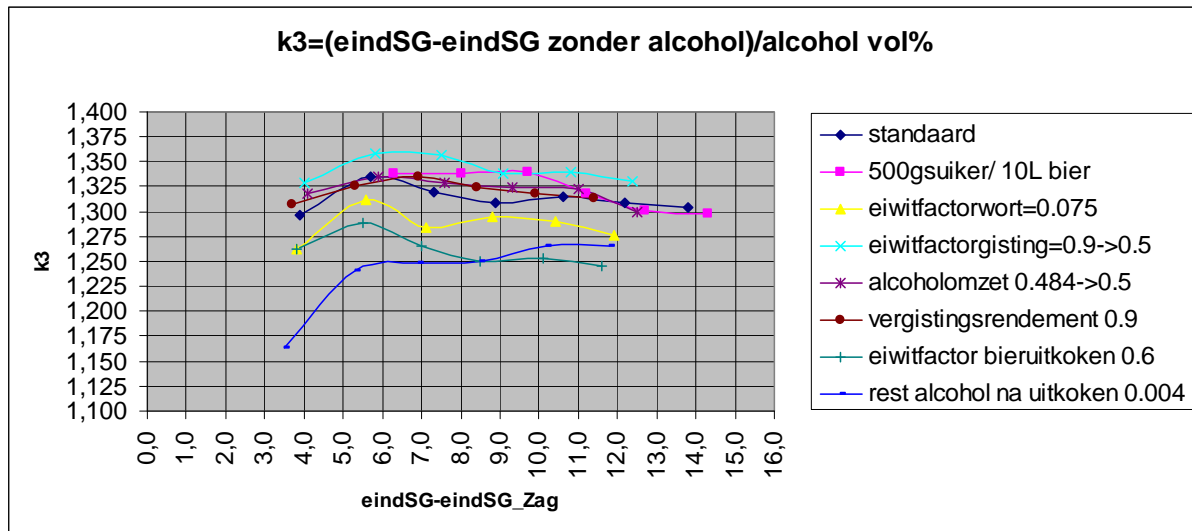
Ook hier is het weer mogelijk om het verband tussen alcohol vol% en eindSG-EindSG zonder alcohol aan te geven via een constante k3 volgens:

Vergelijking 65

$$\text{alcoholvol\%} = \frac{\text{EindSG} - \text{EindSG_Zag}}{k3}$$

Hierbij is EindSG_Zag het soortelijk gewicht van het uitgekookte en tot het oorspronkelijke gewicht aangevulde bier. De waarde van k3 is via de brouwsoftware uitgerekend voor diverse omstandigheden, zie Figuur 32. (Een dergelijke grafiek kan ook gemaakt worden voor

EindSG=EindSG_ZaV, waarbij het uitgekookte bier is aangevuld tot het oorspronkelijke volume)

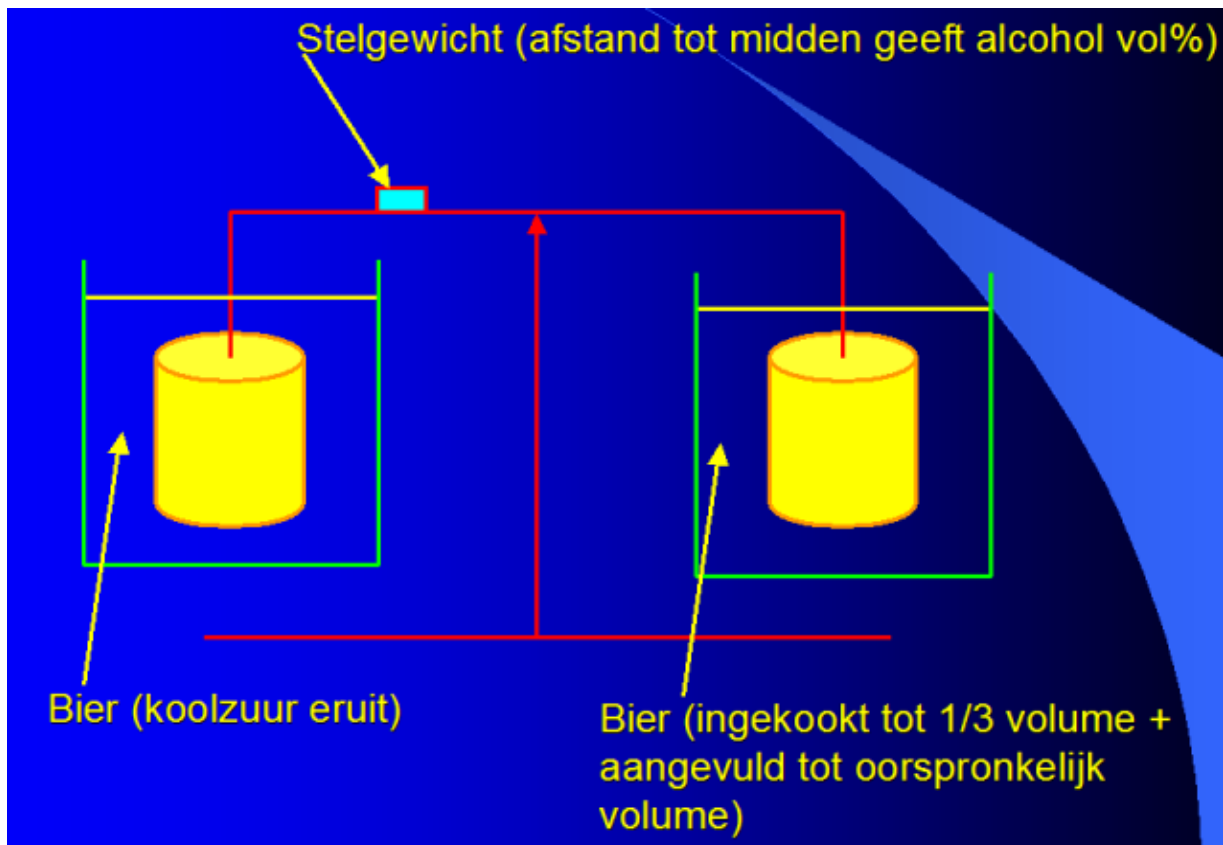


Figuur 32 k3 voor verschillende brouw omstandigheden

k_3 ligt bij een standaard bier tussen ca 1.3 en 1.33 afhankelijk van de zwaarte van het bier. Een van de problemen waardoor je systematisch een te laag alcoholpercentage meet als je geen rekening houdt met verschil in eiwit tussen bier en uitgekookt bier ontstaat zoals gezegd door het feit dat tijdens het koken niet alleen alcohol verdwijnt, maar ook eiwit neerslaat. Dit eiwit meet je wel bij het eindSG mee, maar niet bij het SG na koken en aanvullen. Ook krijg je nooit alle alcohol uitgekookt. Met de software uit hoofdstuk 7 kun je dit gedeeltelijk oplossen door een aanname te doen hoeveel eiwit er neerslaat (eiwitfactor bieruitkoken) en de hoeveelheid alcohol die achter blijft (restalcohol na uitkoken), maar dat neergeslagen eiwit kan in de praktijk variëren dus de correctie is nooit ideaal. De onnauwkeurigheid tgv brouwomstandigheden bedraagt hier dus ca +/- 0.3 vol% alcohol max.

Bij deze methode is de nauwkeurigheid van je hydrometer echter cruciaal. Een afwijking van +/- 2 SG punten levert een afwijking op van 2 vol% alcohol. Om deze methode succesvol toe te kunnen passen moet je dus het verschil in SG tussen 2 oplossingen kunnen meten, binnen +/- een halve punt, om een nauwkeurigheid van +/- 0.5 vol% alcohol te krijgen, anders kun je beter de methode van 6.4 gebruiken. Daarom zijn de standaard hydrometers met resolutie van 2 SG punten te onnauwkeurig.

Voor een verschil SG meting kun je ook een balans gebruiken, zie Figuur 33, waarbij 2 gelijke volumes ondergedompeld worden, als eerste in water om de balans te ijken, en vervolgens in Bier en uitgekookt en aangevuld bier, om het verschil in SG te meten.



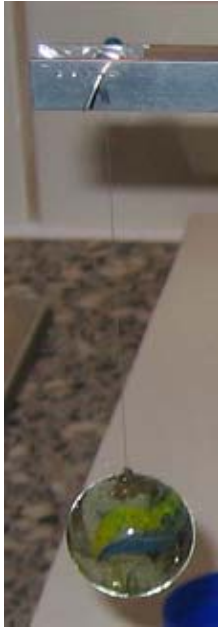
Figuur 33 delta SG meting van bier en uitgekookt en aangevuld bier

In Figuur 34, Figuur 35 is een voorbeeld gegeven van een experimentele opstelling waarbij 2 knikkers gebruikt zijn als onder te dompelen volume. Het scharnierpunt (rode pijltje in Figuur 35) wordt gevormd door een speld welke door 4 gaatjes van 1mm in 2 aluminium u-profieltjes loopt. Als de balans goed is geijkt dan moet de afstand tussen de speld en beide aangrijpingspunten van de draadjes aan de knikkers zich verhouden tot het volume van beide knikkers, terwijl ook het koppel aan beide kanten gelijk moet zijn. Alleen in dat geval zal de balans met de knikkers in lucht en ondergedompeld in water exact in balans zijn. Om dit iken mogelijk te maken moeten er dus 3 instelmogelijkheden zijn:

- een klein verschuifbaar ijkgewichtje (instellen gelijk koppel links-rechts in lucht)
- Een gleufje, zodat het aangrijpingspunt verschoven kan worden (schroefje in Fig 31)
- Een klein verschuifbaar stelgewichtje Figuur 36.

Na iken kan de weegschaal gebruikt worden. De procedure is dan als volgt:

- Beide knikkers onderdompelen in water (zelfde temperatuur!)
- stelgewichtje verschuiven zodat balans in evenwicht is
- Beide knikkers afdrogen en onderdompelen in ontgast bier en uitgekookt/aangevuld bier (zelfde temperatuur!)
- stelgewichtje verschuiven zodat balans in evenwicht is
- Verschuiving van het meetgewichtje is een maat voor het alcoholpercentage.



Figuur 34 voorbeeld van een volume (grote knikker)



Figuur 35 experimentele opstelling voor delta SG meting met 2 grote knikkers

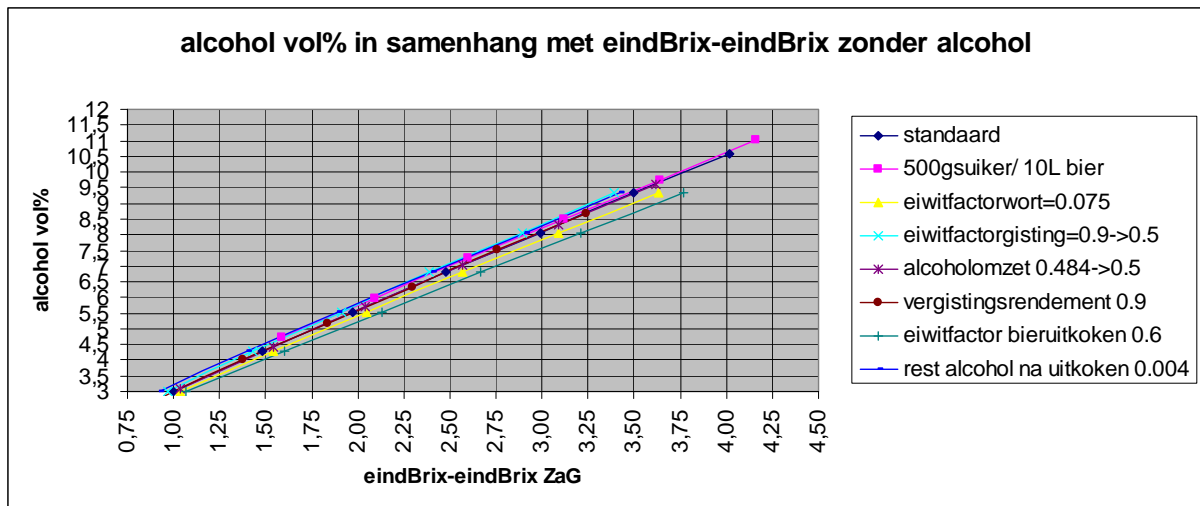


Figuur 36 stelgewichtje (metalen draadje)

Met deze opstelling is het mogelijk om binnen enkele tienden SG punt nauwkeurig een delta SG meting te doen.

6.6. EindBrix, EindBrix met alcohol verdampt

Deze methode werkt soortgelijk als de SG meting volgens 6.5, maar gebeurt met een refractometer. De software levert het volgende plaatje op. Horizontaal staat eindBrix-Eindbrix na uitkoken an aanvullen. Vertikaal staat het alcoholvol%



Figuur 37 Verband tussen alcohol vol% en eindBrix-EindBrix zonder alcohol

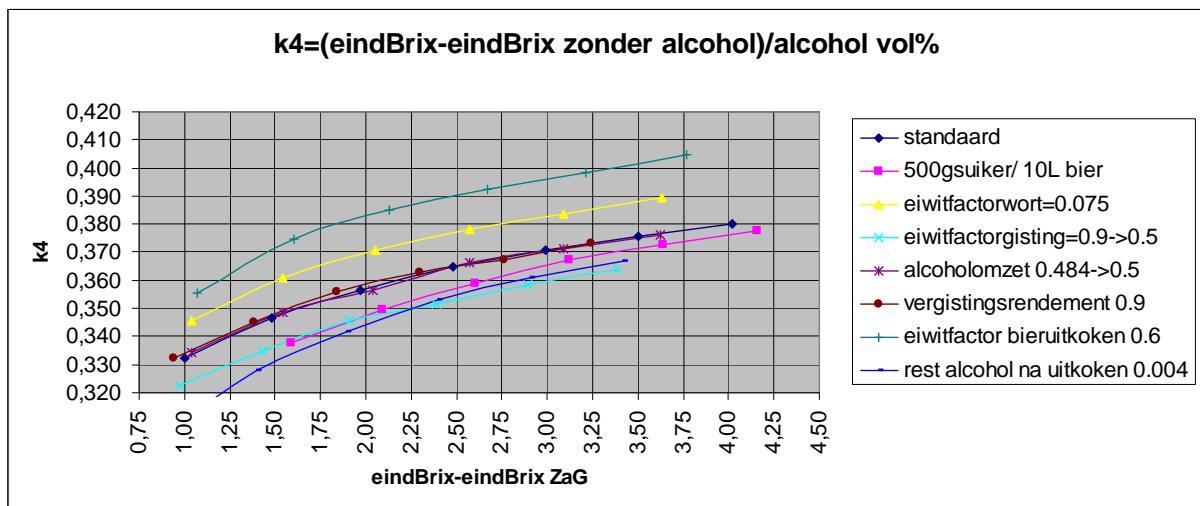
Ook hier is het weer mogelijk om het verband tussen alcohol vol% en eindBrix-EindBrix zonder alcohol aan te geven via een constante k4 volgens:

Vergelijking 66

$$\text{alcoholvol\%} = \frac{\text{EindBrix} - \text{EindBrix_Zag}}{k4}$$

Hierbij is EindBrix_Zag de Brix waarde zoals de refractometer aangeeft van het uitgekookte en tot het oorspronkelijke gewicht aangevulde bier.

De waarde van k4 is via de brouwsoftware uitgerekend voor diverse omstandigheden, zie Figuur 38.



Figuur 38 k4 voor verschillende brouw omstandigheden

K4 ligt bij een standaard bier tussen ca 0.330 en 0.380, afhankelijk van de zwaarte van het bier. Ook hier treedt het probleem op van neergeslagen eiwit en achterblijvende alcohol. Net zoals bij de methode volgens eindSG-eindSG zonder alcohol is hiervoor gecorrigeerd, door een aanname te doen voor het percentage neergeslagen eiwit en achtergebleven alcohol, maar door de onzekerheden in de aannames kan de afwijking toch zo'n +/-0.4 vol% alcohol

bedragen. De onnauwkeurigheid door de refractometer (± 0.15 Brix punt) kan een afwijking opleveren van zo'n 0.3% alcohol. Dat is voor de meeste toepassingen ruim voldoende. Indien men over een refractometer beschikt, dan is deze deltaBrix methode dus simpeler en nauwkeuriger dan de delta SG meting, maar indien men de beschikking heeft over een goede deltaSG meting (zoals de balans uit 6.5) of goede SG meter, zoals Anton Paar apparaat, dan is de deltaSG methode iets nauwkeuriger.

6.7. EindSG, EindBrix , EindSG, EindBrix met alcohol verdampt

Uit Figuur 32 en Figuur 38 blijkt dat de invloed van eiwitvariatie voor beide methodes tegengesteld is. Hieruit zou je kunnen concluderen dat je misschien een combinatie van beiden moet doen om de invloed van eiwit te kunnen bepalen. Na uitwerking hiervan blijkt dat dit inderdaad kan. Je kunt zelfs door deze 4 metingen te combineren zowel restsuiker, eiwit en neergeslagen eiwit% uitrekenen als ook het alcoholpercentage. Het blijkt dat je dan alleen nog onnauwkeurigheid overhoudt tgv de achtergebleven alcohol. In een aantal praktische voorbeelden bleek dat deze onnauwkeurigheid ca 0.3 vol% bedraagt. Daar kun je dan vervolgens voor corrigeren. Daarnaast blijft de onnauwkeurigheid van je hydrometer net zoals bij paragraaf 6.5 en 6.6 bepalend voor de resultaten, waardoor een onnauwkeurigheid overblijft van ca 0.3 vol% alcohol. In de brouwsoftware [10] zoals in hoofdstuk 7 besproken, is deze methode opgenomen.

6.8. Destileren en opvangen van alle alcohol

Dit is een directe methode en daardoor nauwkeurig. Je kunt door het volume en SG (of Brix waarde via de refractometer) van het opgevangen destillaat te meten het alcohol% terugrekenen. Dit zit ook in de rekendemo [10], zie tab "alcoholberekeningen/destileren". Ook hier moet je rekening houden met achtergebleven alcohol in de destillatiekolf en alcohol welke ontsnapt , zie Figuur 24, laatste 2 inputs, en paragraaf 7.1.4 voor een toelichting. Je moet dan wel over destillatieapparatuur beschikken, hoewel die redelijk makkelijk zelf te bouwen is. Een koperen buis van ca 8mm als binnenbuis (olieleiding) en 12mm als buitenbuis de nodige koppelingen en aansluitingen voor koelwater, wat siliconenslang, rubberen stop en een destillatiekolf+ verwarming (kan ook b.v. een klein fluitketeltje zijn) De gebruikte opstelling heeft een koeler van 1.5 meter, maar deze kan bij rustig koken zeker korter.



Figuur 39 destillatiekolf en koeler



Figuur 40 andere kant van de koeler met koelwateraansluiting op de waterleiding

6.9. Conclusie

Met de gepresenteerde theorie is het mogelijk om een aantal parameters van je bier en wort te bepalen, zoals alcohol% suiker%, vergistingsgraad, vergistbare suiker etc.

Voor het bepalen van alcoholpercentages zijn diverse methodes voorgesteld in dit boekwerk, naast de voor amateurbrouwers al bestaande methodes (beginSG-eindSG, eindSG,eindBrix)

De beginSg-EindSG methode blijkt nog steeds zeer goed te werken en kan gedaan worden met simpele apparatuur. BeginBrix-EindBrix via de refractometer is een variant hierop. Deze methode heeft qua nauwkeurigheid meer last van variaties in brouwomstandigheden, maar werkt wel simpeler. De methode BeginSG, BeginBrix,eindSG,EindBrix is een variant op de EindSG,EindBrix methode, is minder gevoelig voor eiwitvariaties door bepaling van het eiwit in de wort via beginSG,beginBrix, echter qua nauwkeurigheid niet veel beter dan de beginSG-EindSG methode.

Indien het beginSg (beginBrix) niet bekend is, zijn er de volgende mogelijkheden:

- EindSG,eindBrix: (ook gebruikt in Promash [13]), verijst nauwkeurige SG meting en is gevoelig voor eiwitvariaties.
- EindSG,EindSG na uitkoken en aanvullen, nauwkeurige methode, maar vereist nauwkeurige (delta)SG meting, lichte bevoeligheid voor eiwitneerslag tijdens uitkoken.
- EindBrix,EindBrix na uitkoken en aanvullen, nauwkeurige methode via refractometer, lichte gevoeligheid voor eiwitneerslag tijdens uitkoken.
- EindSG,EindSG na uitkoken en aanvullen, EindBrix,EindBrix na uitkoken en aanvullen. Nauwkeurige methode, eiwitneerslag tijdens uitkoken automatisch berekend, vereist nauwkeurige (delta)SG meting

- Destileren. Nauwkeurige methode, stelt geen hoge eisen aan SG meter of refractometer, lichte gevoeligheid voor achtergebleven alcohol en vervlogen alcohol tijdens het destileren.

in hoofdstuk 7 wordt de ondersteunende software besproken met betrekking tot bovenstaande methodes.

7. Reken programma

Op basis van de theorie van de voorgaande hoofdstukken is een demo programma geschreven, waarmee de resultaten op een gemakkelijke manier berekend kunnen worden. Het is de bedoeling dat de reken tools uit dit demo programma in de toekomst in brouwsoftware opgenomen gaan worden, met nog meer mogelijkheden en de meest nauwkeurige berekeningen.

Het programma is onderverdeeld in een aantal tabs. Onder elke tab zit een deel van de rekentools. De tabs zijn als volgt opgebouwd:

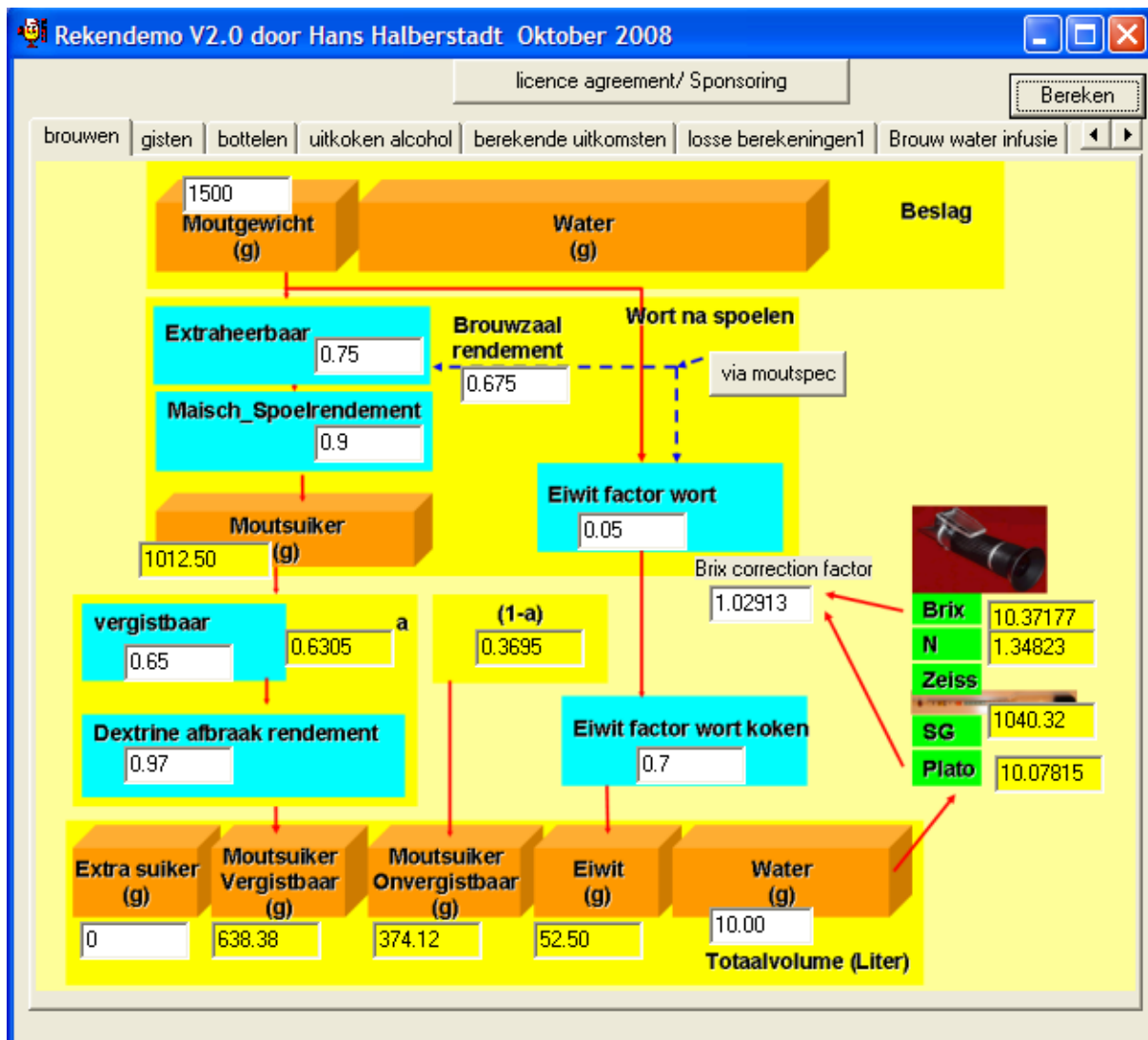
- Demo van rekenmodel rondom het brouwproces
 - Brouwen
 - Gisten
 - Bottelen
 - Uitkoken alcohol
 - Berekenende uitkomsten
- Losse berekeningen 1
- Brouwwater infusie
- Brouwwater decoctie
- Eiwit bepaling
- Alcohol eiwit berekeningen
- Losse berekeningen 2

In paragraaf 7.1 zal elke tab toegelicht worden. In paragraaf 7.2 wordt de code van enkele belangrijke rekenprocedures toegelicht.

7.1. Demo van rekenmodel rondom het brouwproces

7.1.1. Brouwen

In deze tab wordt het model van het brouwen toegelicht aan de hand van onderstaand schema.



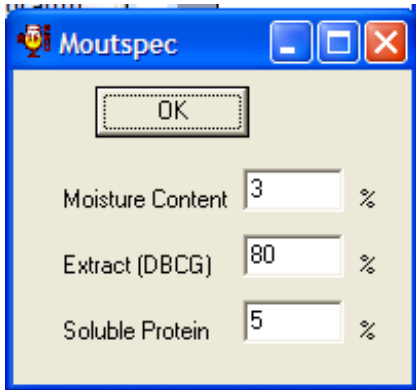
Figuur 41 tab Brouwen

7.1.1.1.Beslag

Het maischen is schematisch uitgebeeld in het vakje 'Beslag'. Het moutgewicht kan hier ingevuld worden. Het verloop van het maischen en spoelen is verwerkt in het hokje 'wort na spoelen.' Hier kan de extraheerbare hoeveelheid suiker ingevuld worden als deel van het moutgewicht. Voor pilsbier is dit ca 75%. Verder kan met maisch en spoelrendement ingevuld worden. Het maisch en spoelrendement geeft aan welk deel van de potentieel oplosbare suikers in het beslag daadwerkelijk in de kook ketel terechtkomt. Dat betekent dat hiermee ten eerste een correctie gemaakt kan worden op het extraheerbare deel zoals standaard voor de mout opgegeven is. Bv 75% extraheerbare suiker volgens de moutspecificatie, maar in het betreffende brouwsel is maar 72% extraheerbaar. Het maischrendement is dan $72/75=0.96$. Ten tweede valt hieronder het spoelrendement. Bv 93% van de opgeloste suiker in het beslag wordt daadwerkelijk uitgespoeld en opgevangen in de kookketel. Het spoelrendement is dan 93%. Samen levert dit de opgeloste hoeveelheid moutsuiker in de wort op, in het voorbeeld is dat $96\% \times 93\% = 89\%$ (maisch en spoelrendement). Het is ook mogelijk om het maischrendement apart te meten via een hydrometer of refractometer meting aan het beslag, dus voor het spoelen. Dit is echter nog niet geïmplementeerd in de rekendemo (Versie 1.6.30)

7.1.1.2.Moutspec-extraheerbare deel suiker

Het is ook mogelijk om de extraheerbare hoeveelheid suiker direct uit de moutspecificatie van de brouwer te berekenen. Hiervoor is het onderstaande formulier in de rekendemo opgenomen

The image shows a screenshot of a software window titled "Moutspec". The window has a blue title bar with standard Windows window controls (minimize, maximize, close). Inside the window, there is a light beige background. At the top left, there is a small icon of a beer glass and the text "Moutspec". Below this, there is a button labeled "OK". Further down, there are three input fields, each with a label to its left and a percentage sign to its right. The first field is labeled "Moisture Content" and contains the value "3". The second field is labeled "Extract (DBCG)" and contains the value "80". The third field is labeled "Soluble Protein" and contains the value "5".

Figuur 42 moutspec formulier

Een voorbeeld van een complete moutspec [14] is gegeven in Figuur 43. Om het extraheerbare deel van de suiker te kunnen bepalen zijn de volgende getallen uit de moutspec van belang.

- Extract (DBFG) “dry basis, fine grind” d.w.z. op basis van droog extract en fijne maling.
- Extract (DBCG) “dry basis, coarse grind” d.w.z. op basis van droog extract en grove maling
- Moisture Content (MC) gewicht% water in de mout.
- Soluble Protein (SP) gewicht% oplosbaar eiwit op basis van droog extract.

Typical North American Malt Analysis -- Two-Row Brewers Malt	
Variable	Typical Value
Color	1.4-2 °L (3-4 ° EBC)
Moisture Content (MC)	2-4.3%
Extract (DBFG)	80-81%
Extract (DBCG)	79-80%
Difference (FG/CG)	1.1-1.8%
Diastatic Power (DP)	110-160 °Lintner (385-520 °WK)
Total Protein	11-12%
Soluble Protein (SP)	5-5.4%
Soluble Nitrogen Ratio (SNR)	43%
Glassy/Half Glassy/Mealy	0%/2%/98%
*These figures were taken from the charts compiled for the <i>Brewers' Market Guide</i> "World of Malts" feature. European equivalents are shown in parentheses.	

Figuur 43 voorbeeld van een moutspec

Het DBCG getal geeft aan wat het extract% is van een z.g.n congress wort. Dat is een wort die onder laboratorium omstandigheden is gemaakt en waarbij volledig uitgespoeld wordt. Het extract% wordt hierbij bepaald door het gemeten SG te vergelijken met de z.g.n “Goldiner Klemann” tabel. De Goldiner Klemann tabel geeft het gewichts % sucrose aan van een sucrose water mengsel wat hoort bij het gegeven SG. Wort bestaat naast water echter niet alleen uit sucrose (of andere suikers), maar ook voor een deel ook uit opgelost eiwit. Dit wordt aangegeven door de Soluble Protein (SP) waarde. Daardoor is in de wort een bepaalde verhouding suiker t.o.v. eiwit aanwezig, terwijl de Goldiner Klemann tabel uitgaat van sucrose water mengsels.

De SP en DBCG, DBFG waarden zijn gebaseerd op het droog moutgewicht, dus exclusief opgenomen water in de mout. Het werkelijke extraheerbare eiwit en suiker deel op basis van het moutgewicht zijn dus lager.

De Extraheerbare hoeveelheid suiker kan nu als volgt berekend worden:

$\text{DBCG}/100 \times (1-\text{MC}/100)$ levert het extract op ervan uitgaande alsof het alleen om sucrose gaat. (m.a.w. het SG van het extract wordt gemeten en via de Goldiner Klemann tabel wordt het aantal grammen sucrose per 100g bepaald) In het voorbeeld van Figuur 43 is dat $0.79 \times (1-0.02) = 0.7742$ van het moutgewicht.

In werkelijkheid bestaat het extract echter ook voor een deel uit eiwit, zoals het getal Soluble Protein (SP) aangeeft. De hoeveelheid oplosbaar eiwit in de wort uitgedrukt als deel van het moutgewicht is dan: $\text{Eiwit} = \text{SP}/100 \times (1-\text{MC}/100)$. In het voorbeeld met 2% vocht en 5% oplosbaar eiwit is het oplosbaar eiwitgewicht per g mout dan gelijk aan $5/100 \times (1-2/100) = 0.045$ g oftewel 4.5 g eiwit per 100g mout. Dit getal staat in het vakje ‘eiwitfactor

wort' Om de echte hoeveelheid extraheerbare suiker te berekenen moet nu per 100g mout naast de berekende hoeveelheid oplosbare eiwit ook nog een hoeveelheid suiker aangenomen worden, zodanig dat de berekende SG of Plato waarde van het extract exact overeen komt met de hoeveelheid suiker en eiwit. Via het formulier van Figuur 42 wordt deze berekening automatisch uitgevoerd. Dit formulier is namelijk in staat om het SG van een oplossing van suiker, eiwit en water te berekenen. Als uitkomst worden de echte extraheerbare hoeveelheid suiker en eiwit uitgedrukt als deel van het moutgewicht berekend en toegekend aan het brouwformulier. De bijbehorende rekenprocedure is beschreven in 9.3

7.1.1.3. Wort na spoelen

Dit vakje van de tab 'brouwen' beschrijft het uitspoelen van het beslag. Hierbij komt het extraheerbare deel van de mout wat als suiker in het beslag terecht is gekomen nu via de factor 'Maisch-Spoelrendement' als moutsuiker in de wort terecht. Deze factor 'Maisch-Spoelrendement' ligt normaal tussen 85% en 93% . Een ander onderdeel van de wort is de hoeveelheid opgelost eiwit. In het beslag en voor het koken is dit getal gegeven in het hokje 'eiwitfactor wort'. Het gaat hier om het gewicht aan opgelost eiwit in relatie tot het moutgewicht. Zoals gezegd in 7.1.1.2 kan dit getal ook automatisch via de moutspecificatie berekend worden.

7.1.1.4. Wort na koken

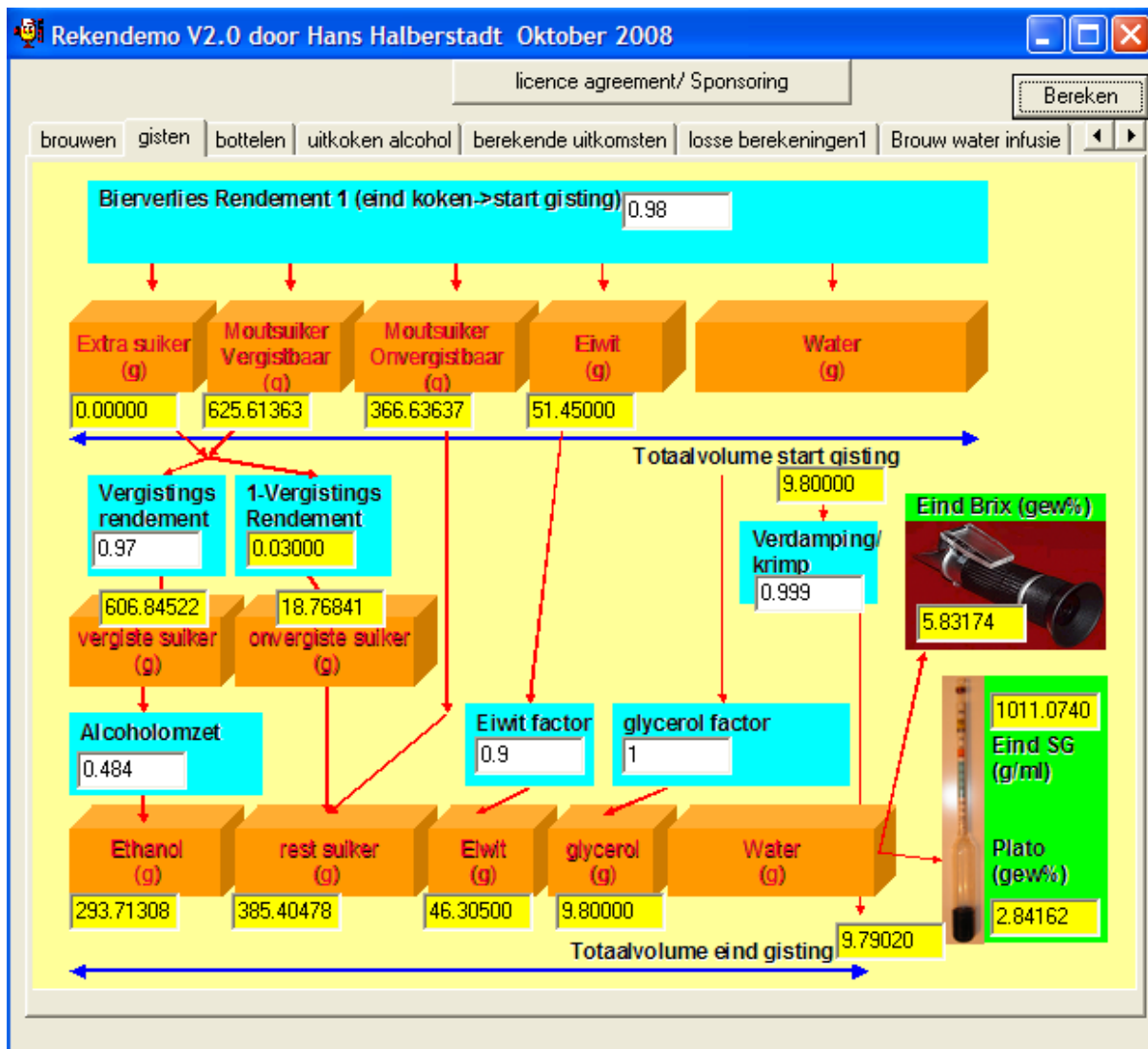
Tijdens het koken slaat een deel van de eiwitten uit de wort neer. Dit wordt beschreven door het hokje 'eiwit factor wortkoken' Als voorbereiding op het gistingstrajekt wordt de suiker opgedeeld in vergistbare suiker en onvergistbare suiker. Het vakje 'Vergistbaar' geeft aan welk deel van de moutsuiker volgens de gegevens van de mout normaal vergistbaar is. Hierop zit nog een correctiefactor voor de individuele brouwmethode van de brouwer, genaamd 'dextrine afbraak rendement' Dit getal kan groter of kleiner dan 1 zijn, afhankelijk van oa het maischtrajekt, dikte van het beslag etc. Het product van 'vergistbaar' en 'dextrine afbraak rendement' is het getal 'a' dit getal 'a' geeft het echte vergistbare deel van de moutsuiker aan voor het gegeven brouwsel. De factor (1-a) geeft het echte onvergistbare deel van de moutsuiker aan voor het gegeven brouwsel.

Uit deze gegevens wordt de definitieve hoeveelheid vergistbare suiker, onvergistbare suiker en eiwit berekend. Daarnaast kan nog extra suiker toegevoegd worden 'extra suiker' Het geheel is gebaseerd op een totaalvolume in Liter zoals gegeven in het vakje 'Totaalvolume' Van het nu ontstane mengsel berekent het programma de volgende gegevens:

- Brix waarde (gemeten met refractometer)
- N (brekingsindex, gemeten met refractometer)
- Zeiss waarde (gemeten met refractometer)
- SG waarde (gemeten met hydrometer of vergelijkbare dichtheids meting)
- Plato waarde (gemeten met hydrometer of vergelijkbare dichtheids meting)
- Brix correctiefactor. Dit is de verhouding Brix/Plato en is afhankelijk van de hoeveelheid eiwit tov de hoeveelheid suiker. Als er alleen suiker aanwezig is dan is deze factor gelijk aan 1.

7.1.2. Gisten

In deze tab wordt het model van het gisten toegelicht aan de hand van onderstaand schema



Figuur 44 tab Gisten

7.1.2.1. Bierverlies rendement 1

Na het koken wordt de wort gefilterd voordat deze in het gistingsvat komt. In het filter blijven de neergeslagen eiwitten, hoprestanten en een deel van de wort achter. De achtergebleven wort kan gezien worden als verlies omdat het een bijdrage in de vorm van suikers zou kunnen leveren aan het bier. Dit verlies wordt beschreven met de term 'Bierverlies rendement 1'. De eindresultaten onderaan de tab 'brouwen' worden met de term 'Bierverlies rendement 1' vermenigvuldigd om de samenstelling van de wort vlak voor de gisting te krijgen. (extra suiker, moutsuiker vergistbaar, moutsuiker onvergistbaar, eiwit en totaalvolume eind gisting)

7.1.2.2. Vergistingsrendement

Het vergistingsrendement geeft aan hoeveel % van de totaal beschikbare vergistbare suiker (extra suiker, moutsuiker vergistbaar) al is vergist, en hoeveel er nog kan vergisten door het vergistingsrendement verder te verhogen. Dit wordt aangegeven door de hokjes 'vergiste suiker' en 'onvergiste suiker'.

Het is ook mogelijk om de gisting te volgen door voor het vergistingsrendement een factor in te vullen tussen 0 (start gisting) en 1 (eind gisting in het ideale geval).

7.1.2.3. Alcohol omzet/Alcoholvorming

De vergiste suiker is omgezet in ethanol en koolzuur. De factor 0.484 die hier standaard voor wordt gebruikt is ooit door Balling bepaald en is iets lager dan de theoretische factor 0.505 op basis van de ideale reactievergelijking voor de omzetting van glucose in alcohol en koolzuur. De werkelijke factor is lager vanwege vorming van oa gistcellen waarvoor ook suiker wordt gebruikt en omdat aan het begin van de gisting suiker wordt omgezet in aanwezigheid van zuurstof, waardoor dan geen alcohol wordt gevormd. Mogelijk speelt ook het feit dat de hoeveelheid suiker afgeschat wordt via de Goldiner-Klemann tabel [8], welke gebaseerd is op een sucrose oplossing terwijl er in wort ook nog eiwit aanwezig is, waardoor de werkelijke hoeveelheid suiker iets lager is dan het SG doet vermoeden.

7.1.2.4. Restsuiker

De hoeveelheid restsuiker in de uitgegiste wort is de som van de onvergistbare suiker in de mout (moutsuiker onvergistbaar) en de onvergiste suiker. De onvergiste suiker is wel vergistbaar, maar nog niet vergist omdat de gisting zich nog ergens in het gistingsproces bevindt. (zie vergistingrendement)

7.1.2.5. Krimp en verdamping

Tijdens de gisting verdampt er water. Daardoor neemt het volume iets af. Afhankelijk van de gistingstemperatuur bedraagt dit enkele ml tot ca 20ml per 10L. De verdamping bij 20grC gistingstemperatuur bedraagt ongeveer 3% van het gewicht van de vergistbare suiker. dus bv 1500g mout voor 10L bier levert ca 730g vergistbare suiker $\times 0.03 = 21$ ml (=0.21% van het totaalvolume !!) waterverdamping. De omzetting van suiker in alcohol en koolzuur levert vrijwel geen verandering van het volume op. Hoewel krimp dus eigenlijk verwaarloosbaar is zit in de rekendemo een hokje 'krimp en verdamping' waar dit ingevuld kan worden. (als deel van het totaalvolume)

7.1.2.6.Eiwit

Tijdens de gisting slaat eiwit neer door oa verlaging van de pH. Dit is via het getal 'eiwitfactor gisting' bepaald.

7.1.2.7. Overige stoffen

Het hokje 'glycerol factor' geeft aan hoeveel overige stoffen, zoals glycerol, zuren, etc. er in het uitgegiste bier zitten uitgedrukt als percentage van het totaalvolume.

7.1.2.8. Eind hoofdgisting

Onderaan de tab 'gisten' staat de samenstelling van van het brouwsel zoals berekend op het huidige moment in het gisttrajekt. (Het huidige moment wordt aangegeven door het vergistingsrendemen 0=start gisting 100% is eind gisting)

Het brouwsel bestaat (voor zover van belang voor de dichtheids en refractometer metingen) uit de volgende stoffen:

- Ethanol
- Restsuiker
- Eiwit
- Overige stoffen (samengevat onder het kopje glycerol)
- Water

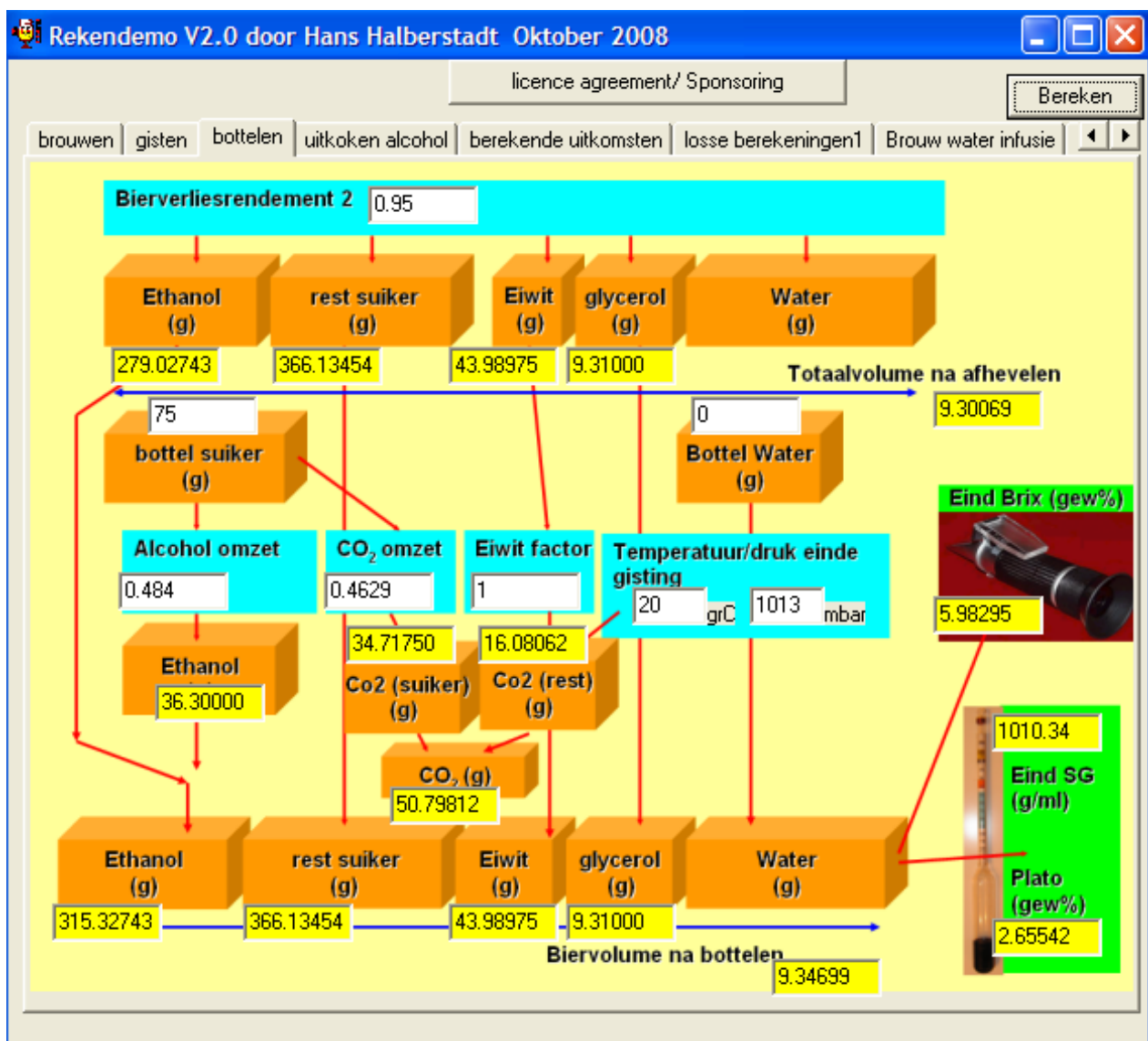
Het totaalvolume aan het eind van de gisting wordt berekend uit het opgegeven volume aan het eind van het koken (verrekend naar 20grC) en het bierverlies rendement1.

Uit de berekende samenstelling van het vergiste brouwsel berekent de demo direct de volgende uitkomsten:

- Brix waarde (via refractometer meting)
- SG waarde (=SG20 20)
- Plato waarde (via dichtheidsmeting)

7.1.3. Bottelen

De tab 'bottelen' berekent, uitgaande van het uitgegiste brouwsel aan het eind van de hoofdgisting, het resultaat van het toevoegen van bottelsuiker en extra water. Ook wordt het verlies meegenomen dat optreedt door het achterblijven van restanten bier en gist in het gistingsvat. De tab "bottelen" is weergegeven in Figuur 45



Figuur 45 tab "bottelen"

7.1.3.1. Bierverlies door overhevelen

Het vakje 'Bierverliesrendement 2' geeft aan welk deel van het uitgegiste bier daadwerkelijk in de flesjes of fust terechtkomt. Dit getal is afhankelijk van de brouwinstallatie en kan uit ervaring door de brouwer ingevuld worden. Het Bierverliesrendement samen met de resultaten uit de tab 'gisten' levert de aanwezige stoffen in het bottelvat voor toevoegen van bottelsuiker.

7.1.3.2. Toevoegen van bottelsuiker

De hoeveelheid bottelsuiker bepaalt hoeveel koolzuur er tijdens de nagisting ontstaat en kan ingevuld worden in het hokje 'Bottelsuiker'. Vaak wordt de suiker opgelost in water toegevoegd. Daarom kan in het hokje 'Bottelwater' de toegevoegde hoeveelheid water bij het bottelen ingevuld worden. Vervolgens berekent de demo hieruit de volgende uitkomsten

- De hoeveelheid ethanol welke uit de bottelsuiker gevormd wordt (via het hokje alcoholomzet)
- De hoeveelheid koolzuur welke uit de bottelsuiker gevormd wordt (via het hokje Co₂omzet)

7.1.3.3. Koolzuur in het bier

Tijdens de hoofdgisting ontsnapt er koolzuur uit het gistende bier. De hoeveelheid koolzuur welke in het gistende bier opgelost kan zijn is bepaald door de temperatuur en de druk tijdens de gisting. Deze temperatuur en druk kunnen ingevuld worden in de hokjes 'temperatuur/druk einde gisting'. Hieruit berekent de demo vervolgens de hoeveelheid opgeloste Co₂ aan het eind van de hoofdgisting na overhevelen naar het bottelvat of flesjes (Co₂rest). Samen met de berekende hoeveelheid Co₂ welke ontstaat uit de bottelsuiker levert dit de opgeloste hoeveelheid Co₂ in het gebottelde bier na de nagisting op de fles. (hokje 'Co₂')

7.1.3.4. Berekende uitkomsten

Onderaan de tab 'bottelen' wordt de samenstelling van het bier berekend en het totaalvolume van het gebottelde bier. Dit is exclusief opgelost Co₂, omdat bij metingen aan bier altijd eerst de Co₂ verwijderd wordt.

Uit de berekende samenstelling van het gebottelde bier berekent de demo direct de volgende uitkomsten:

- Brix waarde (via refractometer meting)
- SG waarde (=SG20 20)
- Plato waarde (via dichtheidsmeting)

7.1.4. Uitkoken alcohol

In de tab 'Uitkoken alcohol' worden de berekeningen uitgevoerd welke horen bij een alcoholbepaling via het uitkoken van het bier.

Rekendemo V2.0 door Hans Halberstadt Oktober 2008

licence agreement/ Sponsoring

Bereken

brouwen gisten bottelen uitkoken alcohol berekende uitkomsten losse berekeningen1 Brouw water infusie

3.339 Ethanol (g) 3.877 rest suiker (g) 0.466 Eiwit (g) 0.099 glycerol (g) Water (g)

Volume of gewicht biermonster na ontgassing 100 99.82

Alcohol vervlogen (g/ml bier) 0.002 rest alcohol na uitkoken (g/ml bier) 0.002 Eiwit factor uitkoken 0.95

0.198 Ethanol (g) 3.877 rest suiker (g) 0.443 Eiwit (g) 0.099 glycerol (g) Water (g)

Volume of gewicht biermonster na uitkoken en aanvullen tot zelfde gewicht of volume 100 99.82

2.943 Ethanol in destilaat (g) Water (g)

Volume of gewicht opgevangen destillaat 100

Brix 5.983 SG 1.0103

Brix 4.586 SG 1.0162

Brix 1.264 SG 0.99458

Figuur 46 tab 'uitkoken alcohol'

Hierbij wordt als start een monster bier met de samenstelling uit de tab 'bottelen' genomen. Vervolgens wordt dit monster ingekookt tot ca de helft van het oorspronkelijke volume en vervolgens weer aangevuld tot het oorspronkelijke volume of gewicht. De daaruit volgende SG en Brix waarde van het ingekookte en aangevulde bier wordt berekend. Indien men over een destilleeropstelling beschikt kunnen ook de volgende berekeningen aan het opgevangen destillaat gebruikt worden:

Van het opgevangen destillaat wordt na aanvulling tot het gewenste volume of gewicht de daaruit volgende SG en Brix waarde berekend.

Deze beide berekeningsmethoden zijn vooral nuttig omdat deze in de tab 'alcoholberekeningen' in omgekeerde richting worden toegepast. Hierbij worden uit de gemeten SG en Brix waarden een aantal eigenschappen van het bier terug gerekend, zoals alcohol percentage, eiwitpercentages en afschatting van de gebruikte hoeveelheid mout in het recept, zie 7.1.10.3.

7.1.4.1. samenstelling Biermonster voor uitkoken

Van een biermonster uit tab 'bottelen' met gegeven volume of gewicht worden de hoeveelheid alcohol, restsuiker, eiwit en overig (glycerol) bepaald door schaling met het volume van het bier. Ook wordt het bijbehorende SG en Brix waarde berekend.

Via de knopjes 'volume/ gewicht' kan de gewenste keuze geselecteerd worden. Deze keuze is afhankelijk van de apparatuur. Indien een nauwkeurige weegschaal beschikbaar is kunt u het beste 'gewicht' selecteren. Als u nauwkeurig volumes kunt bepalen dan kunt u beter 'volume' selecteren.

7.1.4.2. samenstelling Biermonster na uitkoken

Tijdens het uitkoken verdampt vrijwel alle alcohol. Er blijft een klein deel achter, afhankelijk van hoeveel er ingekookt wordt. De hoeveelheid alcohol (gram) welke achterblijft wordt berekend via het hokje 'restalcohol na uitkoken' en bedraagt ca $0.001 \times$ van het volume van het monster bij inkoken tot de helft van het oorspronkelijke volume. Hoewel de hoeveelheid klein is verstoort deze achtergebleven alcohol de SG en Brix meting en moet dus liefst meegenomen worden in de berekening.

Tijdens het uitkoken slaat er eiwit neer. Dit wordt aangegeven door het hokje 'eiwitfactor uitkoken' en geeft aan welk deel van de opgeloste eiwitten nog in het uitgekookte bier aanwezig blijft. (de rest vlokt uit)

Met deze gegevens betekent de demo de samenstelling van het uitgekookte en aangevulde bier. Via het opgegeven volume of gewicht kan vervolgens het SG en Brix waarde van het uitgekookte en aangevulde bier berekend worden.

7.1.4.3. samenstelling destillaat

Als via een destillatie opstelling alle damp tijdens het uitkoken opgevangen en gecondenseerd wordt dan kan hiermee waardevolle informatie verzameld worden. In principe verdampt er alleen water en alcohol uit het monster tijdens koken. Een klein deel van de alcohol komt niet in het opgevangen destillaat terecht omdat het via de open verbinding tussen destillatiekolf en opvangkolf voor het condensaat ontsnapt. Dit deel bedraagt ca $0.002 \times$ het volume van het monster. De exacte hoeveelheid verdampt water is in principe niet belangrijk omdat die achteraf exact op het gewenste volume of gewicht gebracht wordt. Dit volume of gewicht kan via de knopjes 'Volume/ Gewicht' opgegeven worden. Op basis van deze gegevens berekent de demo vervolgens de Brix en SG waarde van het destillaat. Hierbij kan nog opgemerkt worden dat de Brix waarde in dit geval niets meer te maken heeft met suikerpercentages, maar alleen maar iets zegt over de brekingsindex van de alcoholoplossing welke hoort bij een suikeroplossing met dezelfde brekingsindex. Desalniettemin geeft de gemeten brix waarde zeer zinvolle informatie over het alcohol% van het destillaat.

7.1.5. Berekenende uitkomsten

In de tab 'berekenende uitkomsten' kan via het knopje 'uitkomstformulier' een formulier zichtbaar worden gemaakt waarop alle berekeningen uit de voorgaande tabs zichtbaar verschijnen. Tevens kunnen via het knopje 'recept/brouwconst-> inputs' 2 formulieren zichtbaar gemaakt worden, waarmee een recept en de brouwconstanten direkt ingevoerd kunnen worden en de resultaten bekeken kunnen worden in het uitkomstenformulier. De gegevens worden ook doorgegeven aan de tabs 'brouwen', 'gisten', 'bottelen' en 'uitkoken alcohol'.

7.1.5.1. Uitkomst formulier

Het uitkomstformulier ziet er als volgt uit.

uitkomsten			
basis aanvullend rendementen utkoken/aanvullen			
beginSG	beginPlato		
1.0403	10.0781		
EindSG (na bottelen)	Eind Plato		
1.0103	2.6554		
beginBrix	beginRi	beginZe	
10.37	1.3482	55.15	
EindBrix (na bottelen)	EindRi (na bottelen)	EindZe (na bottelen)	
5.98	1.3416	37.32	
Alc vol%	Alc gew%		
4.27	3.35		
Co2 gew%	Co2 (Volumes)		
0.55	2.61		

Figuur 47 uitkomst formulier

Het uitkomstenformulier is opgedeeld in ineen aantal tabs:

- Basis
- Aanvullend
- Rendementen
- Utkoken/aanvullen

De belangrijkste uitkomsten staan in 'basis'. In 'aanvullend' staan gegevens over de wort en biersamenstelling. In 'rendementen' staan de belangrijkste rendementen aangegeven zoals brouwzaalrendement en vergistingsgraad.

7.1.5.2. recept/brouwconstanten

Het receptformulier ziet er als volgt uit

The screenshot shows a Windows-style window titled 'receptForm'. Inside, there is a 'recept' section with a list of input fields and labels:

Value	Label
1700	mout gewicht (g/10l) [1]
25	extra suiker toegevoegd tijdens koken of gisting (g/10l) [1]
70	bottelsuiker toegevoegd (g/10l) [1]
100	bottelwater toegevoegd (g/10l) [1]
20	temperatuur einde gisting tbv CO2 oplossen (grC)
0	Druk aan einde gisting voor bottelen (kg/cm2 overdruk)

Below the table, it says '[1] per 10L wort na koken'. At the top right of the form area is a button labeled 'verwerk data'.

Figuur 48 recept formulier

Naast de voor de hand liggende zaken, zoals moutgewicht suiker bij het koken toegevoegd, bottelsuiker en bottlewater is ook de temperatuur en druk tijdens van de gisting van belang voor de gevormde hoeveelheid koolzuur. Met het knopje 'verwerk data' wordt het resultaat doorgegeven aan de betreffende tabs en ook wordt het uitkomstformulier opnieuw berekend.

Brouwconstanten	
0.75	extraheerbaar
0.9	maisich en spoelrendement
0.65	% vergiste moutsuiker
0.97	dextrine afbraak rendement
0.05	Eiwit factor wort
0.7	Eiwit factor wortkoken
0.97	vergistingsrendement
0.9	Eiwit factor gisting
1	glycerolfactor
1	eiwitfactor_bottel
0.98	Bierverlies rendement1
0.484	alcoholomzet hoofdgisting
0.4629	co2 omzet factor
0.95	Bierverlies rendement2
0.999	Krimp en verdamping
0.484	alcoholomzet bottelen
0.85	eiwitfactor bieruitkoken
0.0025	rest alcohol na uitkoken g/g
0.0045	vervlogen alcohol tijdens destileren g/g

verwerk data

Figuur 49 brouwconstanten formulier

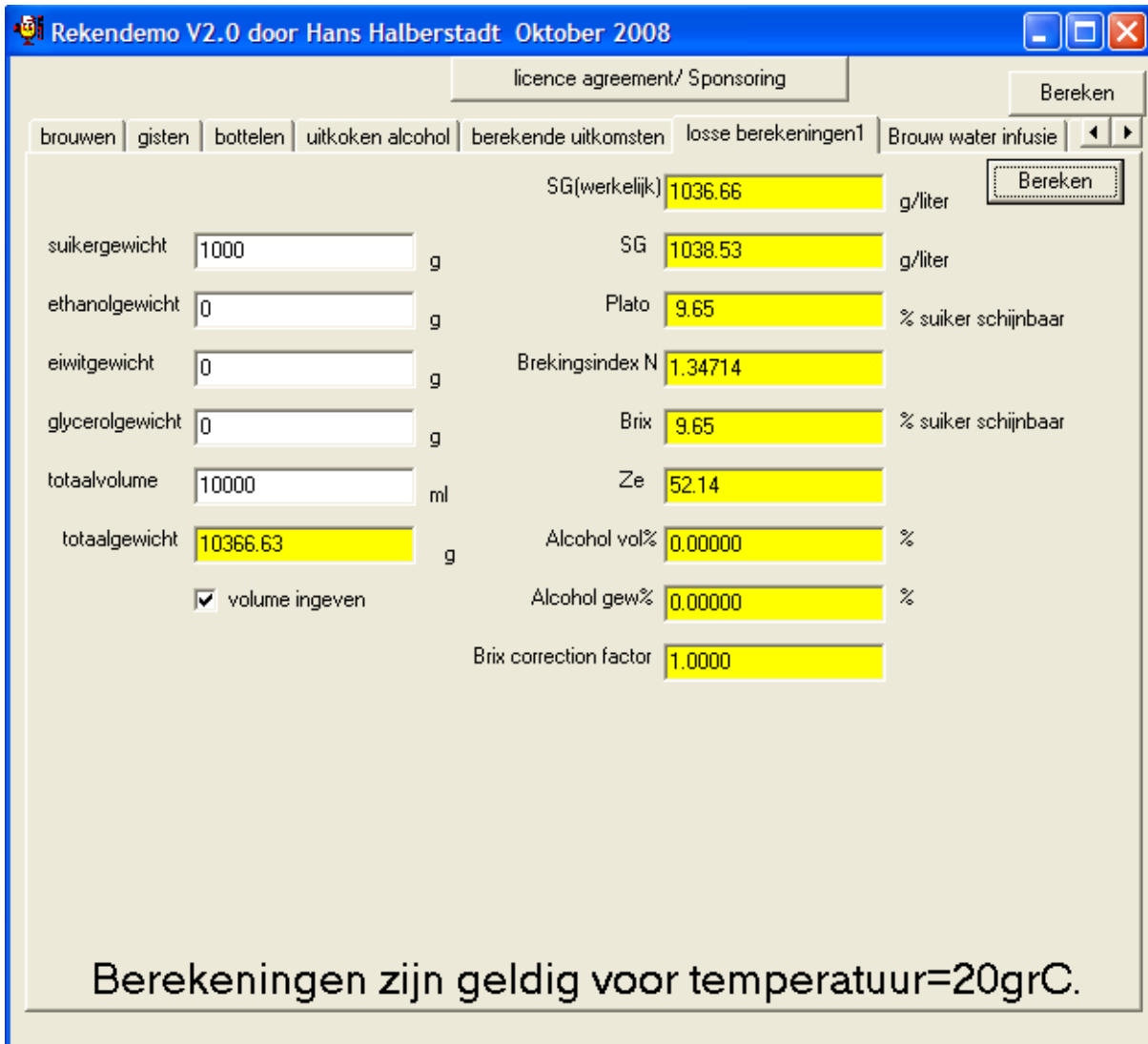
In dit formulier kunnen de constanten, zoals ook ter sprake zijn geweest in de tabs 'brouwen', 'gisten', 'bottelen' en 'uitkoken alcohol' in 1 keer ingevoerd worden, of gewijzigd tov de standaard waarden. Met het knopje 'verwerk data' wordt het resultaat doorgegeven aan de betreffende tabs en ook wordt het uitkomstformulier opnieuw berekend.

7.1.6. losse berekeningen 1

Deze tab biedt de mogelijkheid om van een mengsel van eiwit, suiker, alcohol en glycerol, zoals dat normaal in wort en bier voorkomt dichtheids en refractometer uitkomsten te laten berekenen. Hierbij kan het totaalvolume of gewicht opgegeven worden. (Een van de twee, de andere wordt dan berekend) Door alleen suiker in te vullen levert dit de zgn Goldiner Klemann tabel op. Door alleen alcohol in te vullen wordt een alcohol tabel verkregen. Het bijzondere van deze berekening is dat ook een combinatie van meerdere stoffen berekend kan worden met een nauwkeurigheid welke beter is dan de meeste meetapparatuur voor amateurbrouwers. Enkele belangrijke uitkomsten van dit formulier zijn:

- **Werkelijk SG**, Dit is het SG in gram per Liter oplossing. (Het werkelijk SG van zuiver water bij 20grC is 998.2g/L)
- **Schijnbaar SG** Dit is het SG ten opzichte van zuiver water, oftewel SG 20/20. Het schijnbaar SG van zuiver water is daarom per definitie gelijk aan 1.000

- Plato .Dit is het gewichtspercentage suiker zoals gemeten met een dichtheidsmeting, bv hydrometer of Anton Paar apparaat
- Brekingsindex, zoals gemeten met een refractometer bij 20grC
- Brix. Dit is het gewichtspercentage suiker zoals gemeten met een refractometer
- Ze. Dit is een ouderwetse refractometer schaal, de zgn Zeiss refractometer
- Alcohol vol% en alcoholgew% volgens de definitie.
- Brix correction factor. Dit is de berekende Brix/Plato waarde. Bij een zuivere suiker oplossing is de Brix correction factor gelijk aan 1.000



Rekendemo V2.0 door Hans Halberstadt Oktober 2008

licence agreement/ Sponsoring

Bereken

brouwen gisten bottelen uitkoken alcohol berekende uitkomsten losse berekeningen1 Brouw water infusie

Bereken

SG(werkelijk) 1036.66 g/liter

suikergewicht 1000 g SG 1038.53 g/liter

ethanolgewicht 0 g Plato 9.65 % suiker schijnbaar

eiwitgewicht 0 g Brekingsindex N 1.34714

glycerolgewicht 0 g Brix 9.65 % suiker schijnbaar

totaalvolume 10000 ml Ze 52.14

totaalgewicht 10366.63 g Alcohol vol% 0.00000 %

☒ volume ingeven Alcohol gew% 0.00000 %

Brix correction factor 1.0000

Berekeningen zijn geldig voor temperatuur=20grC.

Figuur 50 losse berekeningen 1

7.1.7. Brouw water infusie

Met deze tab kan de benodigde temperatuur van het brouwwater berekend worden, zodat het beslag op de juiste inmaisch temperatuur komt.

Rekendemo V2.0 door Hans Halberstadt Oktober 2008

licence agreement/ Sponsoring

Bereken

brouwen gisten bottelen uitkoken alcohol berekende uitkomsten losse berekeningen1 Brouw water infusie

Bereken

Invoer

gewicht beslagkuip	5	kg
Temperatuur volgende maischstep	63	gr C
gewicht van de mout	10	kg
Volume reeds aanwezig water in het beslag	30	liter
Temperatuur van het beslag of mout tot nu toe	52	gr C
Temperatuur van de beslagkuip vlak voordat het brouwwater erbij gaat	52.00	gr C
Volume van het toe te voegen brouwwater	9.94	liter

Berekende uitkomsten

benodigde temperatuur van het toe te voegen brouwwater 100.00 gr C

☒ opwarmen maar volgende stap met kokend water

manier van opwarmen

☐ Mout toevoegen in ketel met brouwwater

☒ Brouwwater toevoegen in ketel met mout of beslag

Materiaal van de pan

☒ RVS /ijzer

☐ Koper

☐ Glas

Figuur 51 Brouw water infusie

Hierbij wordt rekening gehouden met alle belangrijke factoren, zoals gewicht en temperatuur van de maichketel, reeds aanwezig volume water in het beslag (bv handig bij opwarmen van huidige temperatuurstap naar de volgende), mogelijkheid om op te warmen met kokend water, mogelijkheid om mout toe te voegen aan de ketel met brouwwater of brouwwater toe te voegen aan de ketel met mout.

7.1.8. Brouwwater decoctie

Deze tab is bij het schrijven van deze handleiding nog niet ter beschikking, maar zal op een soortgelijke manier werken als de infusie berekeningen.

7.1.9. Eiwit bepaling

In deze tab kan via de gemeten SG en Brix waarde van de wort de hoeveelheid aanwezige suiker en eiwit in de wort bepaald worden. Dit kan bij voorkeur op 2 momenten in het brouwproces gebeuren.

- Direkt na het spoelen
- Direkt na het koken en koelen.

Tijdens het koken slaat eiwit neer. Daarom is het eiwitpercentage direkt na het spoelen hoger in vergelijking met na het koken. Voor de bepaling van het brouwzaalrendement wordt

normaal gesproken het extract bepaald d.m.v. het gemeten SG vlak na het koken. De hoeveelheid opgelost eiwit vlak na het spoelen bedraagt ca 5% van het moutgewicht, (zie ook 7.1.1.2.) Voor een bier met 5% alcohol komt dat neer op ca 0.75% eiwit vlak na het spoelen, terwijl de wort dan ca 12% suiker bevat. Na het koken is het eiwit% gezakt tot ca 0.5% en na de gisting zakt het nog verder.

De hoeveelheid opgelost eiwit voor de gisting wordt in de rekendemo bepaalt door :

- ‘eiwitfactorwort’ (Direkt na het spoelen)
- ‘eiwitfactoruitkoken’ (Direkt na het koken en koelen).

‘eiwitfactorwort’ is in de demo gedefinieerd als volgt:

Moutgewicht x eiwitfactorwort=opgelost eiwit vlak na het spoelen.

‘eiwitfactoruitkoken’ is in de demo gedefinieerd als volgt:

Moutgewicht x eiwitfactorwort x eiwitfactoruitkoken= opgelost eiwit vlak na het koken en afkoelen.

Deze 2 factoren kunnen nu direct via de aangegeven SG en Brix meting bepaald worden.

Dit is de omgekeerde berekening vergeleken met 7.1.1.2 en is van belang om zo nauwkeurig mogelijke de hoeveelheid eiwit te berekenen ten behoeve van de alcohol berekeningen welke in 7.1.10 behandeld worden. Hiertoe kan via de knop ‘brouwconstanten aanpassen’ de bepaalde waarde voor ‘eiwitfactorwort’ en ‘eiwitfactoruitkoken’ aan de standaard lijst met brouwconstanten toegekend worden. In 7.1.10 zal blijken dat de alcohol berekeningen nauwkeuriger worden, naarmate er meer bekend is over eiwitconcentratie.

Rekendemo V2.0 door Hans Halberstadt Oktober 2008

licence agreement/ Sponsoring

Bereken

berekende uitkomsten | losse berekeningen1 | Brouw water infusie | Brouwwater decoctie | Eiwit bepaling | Alcoholbe

Eiwitfactor bepalen

☐ Eiwit factor wort

☒ Eiwitfactor wort uitkoken

Bereken gegevens

brouwconstanten aanpassen

Gemeten waarden direct na het koelen van de gekookte wort

Hydrometer aflezing

1050 SG 12.4 Plato

Refractometer aflezing

12.8 Brix 65.44 Zeiss 1.352 Ri

Berekende uitkomsten

Suiker (g/10L wort)	Eiwit (g/10L wort)	Brix correctie factor	Eiwit factor wort
1251	74	1.0330	0.0398
			Eiwit factor koken
			0.9999

Figuur 52 tab 'Eiwit bepaling'

Naast eiwitfactoren rekent de demo ook de Brix correctiefactor uit en geeft de hoeveelheid opgeloste suiker en eiwit weer.

Via de selectie knopjes 'Eiwitfactorwort' en 'Eiwitfactor uitkoken' kan geselecteerd worden of de metingen betrekking hebben op de wort vlak na het spoelen of vlak na het koken.

Voordat de eiwitfactor uitkoken bepaald kan worden moet eerst de eiwitfactorwort bepaald zijn.

7.1.10. Alcohol bepalingen

Een van de belangrijkste berekeningen van de reken demo zijn de alcoholberekeningen. Er zijn diverse manieren om het alcohol percentage van het bier te bepalen. Hieronder zullen deze berekeningsmethoden een voor een toegelicht worden. De tab 'Alcoholberekeningen' is hieronder weergegeven.

Achter de schermen wordt voor deze berekeningen gebruik gemaakt van een methode om 2 parameters (bv 'moutgewicht per 10 Liter bier' en 'eiwitfactorwort') zodanig in te stellen dat 2 berekende uitkomsten, bijvoorbeeld begin SG en begin Brix overeen komen met de opgegeven waarden zoals gemeten aan de wort. Voor dit proces wordt gebruik gemaakt van een berekening waarvan het principe is beschreven in appendix 9.4

7.1.10.1. EindSG-EindBrix-BeginSG-BeginBrix

Deze groep van berekeningen is gebaseerd op dichtheids metingen (SG) en refractometer metingen (Brix) aan de wort en/of bier. Het volgende formulier is voor deze berekeningen beschikbaar.

Rekendemo V2.0 door Hans Halberstadt Oktober 2008

licence agreement/ Sponsoring

Bereken

losse berekeningen1 | Brouw water infusie | Brouwwater decoctie | Eiwit bepaling | Alcoholberekeningen | losse berek

EindSG-EindBrix-BeginSG-BeginBrix | Alcohol verdampen /aanvullen | Destileren | hydrometer-refractometer calibratie

Bereken gegevens

Meetmethode

- ☒ BeginSG-EindSG
- ☐ BeginBrix-Eindbrix
- ☐ EindSG ,EindBrix
- ☐ EindSG ,EindBrix, BeginSG ,BeginBrix
- ☐ BeginSG-BeginBrix

submethode eindSG-EindBrix-BeginSG-BeginGx

- ☒ via eiwitfactorgisting
- ☐ via alcohol omzetsfactor

Gemeten waarden

Hydrometer aflezing

1050	BeginSG	12.4	Plato	wort
1010	EindSG na bottelen	2.6	Plato	na bottelen

Refractometer aflezing

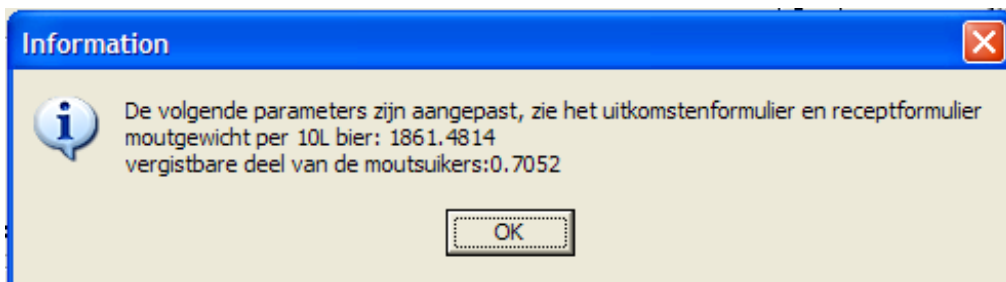
12.8	BeginBrix	65.44	Zeiss	1.352	Ri	wort
6.9	EindBrix na bottelen	40.97	Zeiss	1.343	Ri	na bottelen

brouwconstanten aanpassen | Recept aanpassen

Figuur 53 Alcoholberekeningen via metingen aan wort en/of bier

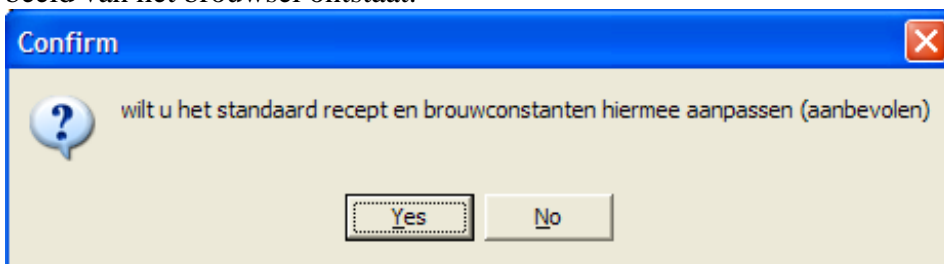
7.1.10.1.1. BeginSG-EindSG

Deze berekening waarbij het beginSG (of gemeten Plato waarde) van de wort vlak voor de gisting en het eindSG (of gemeten Plato waarde) van het uitgegiste bier gebruikt worden om het alcoholpercentage te berekenen is een veel gebruikte methode. Via deze tab kan het eindSG (of gemeten Plato waarde) van het uitgegiste bier inclusief toegevoegde bottelsuiker gebruikt worden, indien van toepassing. Het programma berekent vervolgens het vergistbare deel van de moutsuikers en maakt een schatting voor de gebruikte hoeveelheid mout per 10 liter bier.



Figuur 54 melding BeginSG-EindSG berekening

Hierbij gebruikt het programma de gegevens zoals aanwezig in het opgegeven recept en de opgegeven brouwconstanten. Vervolgens kan gekozen worden om de nu berekende aanpassingen door te geven aan het recept en brouwconstanten lijst, zodat een nauwkeuriger beeld van het brouwsel ontstaat.



Figuur 55 aanpassing standaard recept en brouwconstanten

Vervolgens wordt het uitkomsten formulier getoond, waarop naast het berekende alcohol percentage nog diverse andere resultaten te zien zijn.

Het is ook mogelijk om zelf het recept en brouwconstanten lijst aan te passen met gegevens voor zover bekend. Dit kan met de knopjes 'Brouw constanten aanpassen' en 'Recept aanpassen'. Als door de gebruiker geen gegevens zijn ingevoerd worden de standaard instellingen gebruikt als beste benadering.

7.1.10.1.2. BeginBrix-EindBrix

Deze berekening gaat op dezelfde manier als bij 7.1.10.1.1, maar nu wordt de refractometer gebruikt in plaats van de hydrometer. Het programma berekent vervolgens ook in dit geval het vergistbare deel van de moutsuikers en maakt een schatting voor de gebruikte hoeveelheid mout per 10 liter bier. Ook hier is ook mogelijk om zelf het recept en brouwconstanten lijst aan te passen met gegevens voor zover bekend.

7.1.10.1.3. EindSG-EindBrix

Deze berekening wordt uitgevoerd met behulp van een refractometer meting (Brix) en hydrometer meting (SG) aan het bier. Daardoor is deze meting geschikt om uit te voeren aan een bier waarvan geen gegevens van het brouwen beschikbaar zijn. Het programma berekent vervolgens ook in dit geval het vergistbare deel van de moutsuikers en maakt een schatting voor de gebruikte hoeveelheid mout per 10 liter bier. Ook hier is ook mogelijk om zelf het recept en brouwconstanten lijst aan te passen met gegevens voor zover bekend.

7.1.10.1.4. EindSG,Brix-BeginSG,Brix

Deze berekening maakt naast de refractometer meting (Brix) en hydrometer meting (SG) aan het bier ook nog gebruik van de refractometer meting (Brix) en hydrometer meting (SG) aan de wort vlak voor de gisting. Het doel hiervan wordt hieronder toegelicht.

Bier bestaat voor het belangrijkste deel uit suiker, alcohol en eiwit. Die combinatie van suiker, eiwit en alcohol geeft een unieke uitkomst voor zowel gemeten Brix en SG waarde. Echter andersom geeft een gemeten Brix en SG waarde nog verschillende mogelijke uitkomsten voor suiker en alcohol. Dit komt omdat je met 2 metingen (Brix en SG) slechts 2 van de 3 variabelen (suiker, eiwit en alcohol) kunt berekenen. Voor de derde (en evt. vierde) zul je dus een aanname moeten doen.

Een voorbeeld hiervan is gegeven in Figuur 56-Figuur 58. Hier is met behulp van de tab 'losse berekeningen 1' een overzicht gemaakt van een aantal mogelijke samenstellingen van een bier met eindSG=1012.9 (hydrometer) en Brix waarde=7.3 (refractometer). In Figuur 56 zit geen eiwit in het bier, in Figuur 57 zit 5g/Liter eiwit en in Figuur 58 zit 10g/Liter eiwit per liter. Voor overige stoffen (samengevat onder de noemer 'glycerol') is 10g/Liter aangehouden in alle gevallen. (beïnvloed het SG met ca 0.2 SG punten)

SG(werkelijk) 1011.10 g/liter		<input type="button" value="Bereken"/>	
suikergewicht 534 g	SG 1012.92 g/liter		
ethanolgewicht 439 g	Plato 3.31 % suiker schijnbaar		
eiwitgewicht 0 g	Brekingindex N 1.34343		
glycerolgewicht 10 g	Brix 7.27 % suiker schijnbaar		
totaalvolume 10000 ml	Ze 42.47		
totaalgewicht 10110.96 g	Alcohol vol% 5.56147 %		
<input checked="" type="checkbox"/> volume ingeven	Alcohol gew% 4.34182 %		
Brix correction factor 2.1969			

Figuur 56 0g/Liter eiwit

berekende uitkomsten	losse berekeningen1	Brouw water infusie	Brouwwater decoctie	Eiwit bepaling	Alcoholbe <input type="button" value="Bereken"/>
SG(werkelijk) 1011.10 g/liter					
suikergewicht 488 g	SG 1012.92 g/liter				
ethanolgewicht 408 g	Plato 3.31 % suiker schijnbaar				
eiwitgewicht 50 g	Brekingindex N 1.34344				
glycerolgewicht 10 g	Brix 7.28 % suiker schijnbaar				
totaalvolume 10000 ml	Ze 42.50				
totaalgewicht 10110.95 g	Alcohol vol% 5.16874 %				
<input checked="" type="checkbox"/> volume ingeven	Alcohol gew% 4.03523 %				
Brix correction factor 2.1999					

Figuur 57 5g/Liter eiwit

		SG(werkelijk)	1011.09	g/liter	Bereken
suikergewicht	441	g	SG	1012.92	
ethanolgewicht	375	g	Plato	3.31	% suiker schijnbaar
eiwitgewicht	100	g	Brekinsindex N	1.34343	
glycerolgewicht	10	g	Brix	7.27	% suiker schijnbaar
totaalvolume	10000	ml	Ze	42.46	
totaalgewicht	10110.94	g	Alcohol vol%	4.75068	%
<input checked="" type="checkbox"/> volume ingeven			Alcohol gew%	3.70885	%
			Brix correction factor	2.1975	

Figuur 58 10g/Liter eiwit

Uit de berekende uitkomsten blijkt duidelijk dat de aangenomen hoeveelheid eiwit van invloed is op de hoeveelheid ethanol en restsuiker in het bier behorend bij de gemeten SG en Brix waarde. Bij een aanname van 0g/liter eiwit zit de grootste hoeveelheid restsuiker en alcohol in het bier (534g suiker en 439g alcohol per 10 Liter bier=5.56vol% alcohol). Bij een aanname van 10g/Liter eiwit zit de kleinste hoeveelheid restsuiker en alcohol in het bier (441g suiker en 375g alcohol per 10 Liter bier=4.75vol% alcohol). Het effect is dat bij een beetje extra eiwit het SG en de Brix waarde toeneemt. Om hetzelfde SG te houden moet daarom de hoeveelheid suiker af nemen of de hoeveelheid alcohol moet toenemen. Om dezelfde Brix waarde te houden moet suiker of alcohol afnemen. Bij gelijkblijvende SG en Brix waarde is het effect dat zowel alcohol als suiker af moeten nemen in een bepaalde verhouding als de hoeveelheid eiwit toeneemt. Conclusie hieruit is dat het de combinatie van SG en Brix meting van het bier een goede methode is om het alcoholpercentage te bepalen, mits de hoeveelheid eiwit in het bier bekend is. De hoeveelheid eiwit in het bier kan nogal wat variëren. Daarom blijft er nogal wat onnauwkeurigheid over in het bepaalde alcoholpercentage als alleen de combinatie van SG en Brix meting van het bier gebruikt wordt.

De extra Brix en SG meting van de wort levert als resultaat de hoeveelheid suiker en eiwit in de wort. (Omdat er geen alcohol in de wort zit kan in dit geval met 2 metingen zowel suiker als eiwit bepaald worden) Als de hoeveelheid eiwit in de wort vlak voor het begin van de gisting bepaald is dan is dan is de relatie met de hoeveelheid eiwit in het bier dat er tijdens de gisting nog wat eiwit neerslaat. De aanname is echter dat de hoeveelheid eiwit in het bier met deze extra metingen van de wort nauwkeuriger te bepalen is.

De totale berekening m.b.v. de SG en Brix waarde van wort en bier verloopt in 2 delen, waarbij het tweede deel (meting aan bier) nog op 2 verschillende manieren kan gebeuren.

Het eerste deel van de berekening is voor beide manieren hetzelfde:

Met behulp van de refractometer meting (Brix) en hydrometer meting (SG) van de wort vlak voor de gisting wordt de hoeveelheid eiwit en suiker in de wort vlak voor de gisting vastgesteld. Dit gebeurt door alle parameters van het brouwconstanten formulier en recept formulier als zodanig aan te houden behalve de parameters

- 'moutgewicht per 10 Liter bier' en
- 'eiwitfactorwort'

‘moutgewicht per 10 Liter bier’ en ‘eiwitfactorwort’ worden dan beide gevarieerd om het begin SG en de begin Brix waarde op de opgegeven waarde te krijgen. Dit proces wordt herhaald totdat SG en Brix beiden kloppen met de opgegeven waarden.

Vervolgens wordt in het tweede deel van de berekening de refractometer meting (Brix) en hydrometer meting (SG) van het bier gebruikt samen met de schatting van het eiwitpercentage van het bier (via de opgegeven eiwit constanten) om de hoeveelheid alcohol en suiker in het bier uit te rekenen.

Dit kan op verschillende manieren, waarvan er hier 2 zijn gebruikt.

Manier 1 werkt als volgt:

Alle parameters van het brouwconstanten formulier en recept formulier worden als zodanig aangehouden samen met de zojuist bepaalde nieuwe waarden voor de factoren ‘moutgewicht per 10 Liter bier’ en ‘eiwitfactorwort’

De parameters

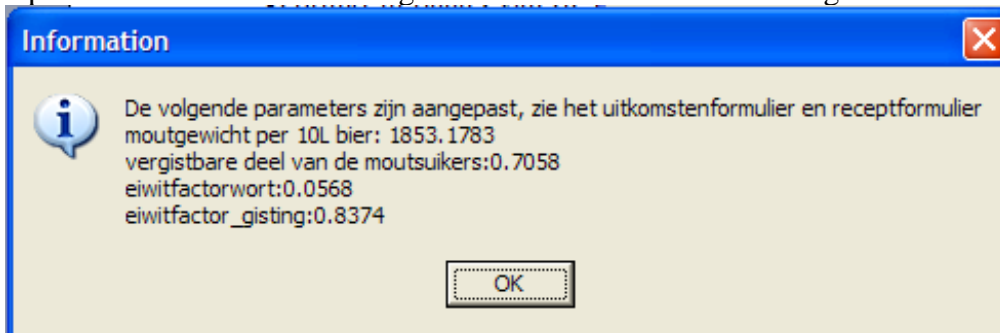
- ‘Vergistbare deel van de moutsuiker’ en
- ‘eiwitfactorgisting’

Worden nu gevarieerd om einSG en EindBrix te laten kloppen met de opgegeven waarden.

Via ‘Vergistbare deel van de moutsuiker’ is het namelijk mogelijk om de hoeveelheid restsuiker en de hoeveelheid gevormde alcohol te berekenen uit de al eerder berekende hoeveelheid suiker aan het begin van de gisting. Aanname hierbij is een waarde voor de alcoholomzetfactor. Deze geeft aan hoeveel gram alcohol er ontstaat uit 1 gram suiker en bedraagt ca 0.484 voor een normaal verlopende gisting en 0.505 voor de ideale omzet van suiker naar alcohol volgens de reactie vergelijking.

Via ‘eiwitfactorgisting’ is het mogelijk de hoeveelheid eiwit in het bier te berekenen uitgaande van de al eerder berekende hoeveelheid eiwit in de wort. De eiwit in het bier geeft een extra verschil tussen SG en Brix waarde. Daardoor is het mogelijk om bij een gemeten SG en Brix waarde van het bier met de aanvullende gegevens zoals hiervoor bepaald een bijbehorende waarde voor ‘Vergistbare deel van de moutsuiker’ en ‘eiwitfactorgisting’ uit te rekenen.

Op deze manier worden de volgende resultaten berekend met Figuur 59 als voorbeeld:



Figuur 59 eiwit factor gisting en vergistbare deel van de moutsuikers als te bepalen parameters

Manier 2 werkt als volgt:

Alle parameters van het brouwconstanten formulier en recept formulier worden als zodanig aangehouden samen met de zojuist bepaalde nieuwe waarden voor de factoren ‘moutgewicht per 10 Liter bier’ en ‘eiwitfactorwort’

In plaats van de ‘alcoholomzetfactor’ zoals bij methode 1 wordt nu de ‘eiwitfactorgisting’ als bekende verondersteld. Hiermee ligt de aanname van de hoeveelheid eiwit in het bier dus direct vast na de metingen van de wort. De parameters

- ‘Vergistbare deel van de moutsuiker’ en
- ‘alcoholomzet’

leveren nu samen met de al eerder aangenomen en berekende parameters de hoeveelheid restsuiker op (via 'Vergistbare deel van de moutsuiker') en de hoeveelheid gevormde alcohol (via 'Vergistbare deel van de moutsuiker' en 'alcoholomzet') Via de juiste waarde voor beiden kan nu zowel restsuiker als alcohol berekend worden zodat samen met de al eerder berekende hoeveelheid eiwit in het bier overeenkomstig met het gemeten eind SG en Eind Brix waarde.

Op deze manier worden de volgende resultaten berekend met Figuur 60 als voorbeeld:



Figuur 60 alcoholomzet en vergistbare deel van de moutsuikers als te bepalen parameters

Beide berekeningsmethoden geven naast bovenstaande informatie ook het uitgebreide uitkomstformulier zoals al in 7.1.5.1 besproken en de mogelijkheid om de berekende parameters toe te kennen aan het brouwconstanten formulier en recept formulier. Het verschil tussen beide methodes is dat bij de eerste methode ervan uitgegaan wordt dat de alcohol omzetfactor is zoals normaal gesproken verwacht, zodat de hoeveelheid eiwit in het bier bepaald kan worden.

Bij de tweede methode wordt ervan uitgegaan dat eiwit neerslag is zoals verwacht, zodat de alcoholomzet bepaald kan worden.

Onder normale brouwomstandigheden zal de alcoholomzet rond de 0.484 liggen, zoals Balling ooit heeft vastgesteld. Het is dan aan te bevelen om de methode met de eiwitfactorgisting als variabele te gebruiken, omdat verwacht mag worden dat het eiwitpercentage wel zal variëren en de alcoholomzetfactor niet zal variëren. Bij extreem lange beluchting is het mogelijk dat de alcoholomzet kleiner is dan 0.484 omdat tijdens aerobe vergisting suiker onder opname van zuurstof omgezet wordt in water en koolzuur. Daardoor ontstaat er minder alcohol dan normaal.

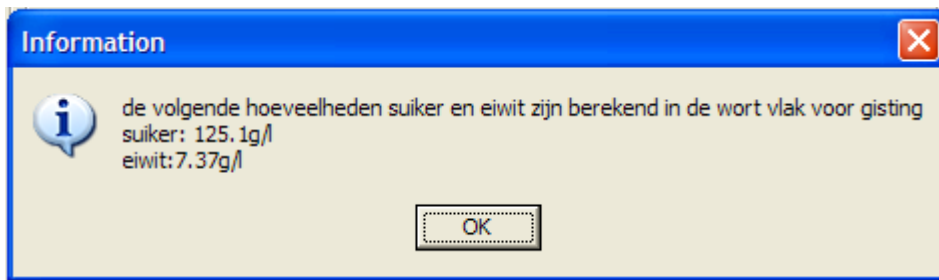
Nadeel is dat je nooit precies kunt weten welke van de 2 methoden het beste resultaat geeft. Als je met beide methoden het alcohol% laat berekenen dan heb je wel een goede indruk van de onnauwkeurigheid. Meestal is het verschil in berekend alcoholpercentage kleiner dan enkele tienden procent.

7.1.10.1.5. BeginSG-BeginBrix

Deze berekening is identiek aan het eerste deel van de berekening van 7.1.10.1.4

Met behulp van de refractometer meting (Brix) en hydrometer meting (SG) van de wort vlak voor de gisting wordt de hoeveelheid eiwit en suiker in de wort vlak voor de gisting vastgesteld.

Een voorbeeld van de uitkomst van deze berekening is gegeven in

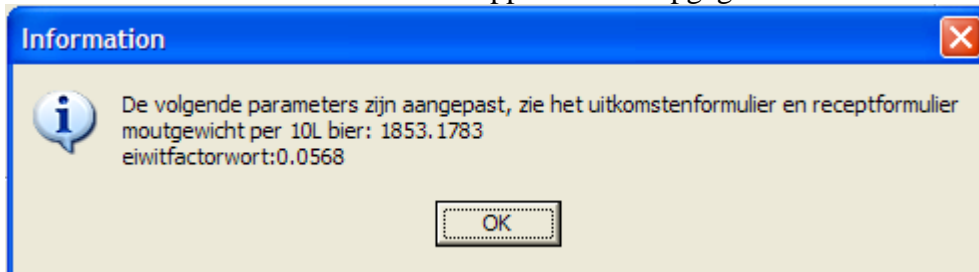


Figuur 61 eiwit,suikerbepaling via beginSG, beginBrix

Dit gebeurt door alle parameters van het brouwconstanten formulier en recept formulier als zodanig aan te houden behalve de parameters

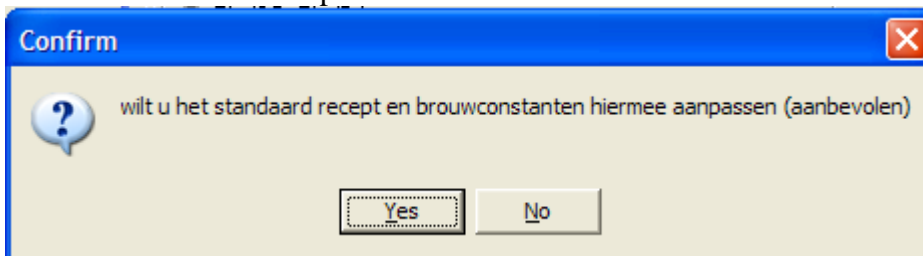
- 'moutgewicht per 10 Liter bier' en
- 'eiwitfactorwort'

'moutgewicht per 10 Liter bier' en 'eiwitfactorwort' worden dan beide gevarieerd om het begin SG en de begin Brix waarde op de opgegeven waarde te krijgen. Dit proces wordt herhaald totdat SG en Brix beiden kloppen met de opgegeven waarden.



Figuur 62 bijbehorende waarden voor 'moutgewicht per 10L bier' en 'eiwitfactorwort'

Ook hier kan het berekende resultaat weer toegekend worden aan de lijst met brouwconstanten of recept.



Figuur 63 toekennen aan brouwconstanten, recept

7.1.10.2. Alcohol verdampen en aanvullen

Deze groep van berekeningen is gebaseerd op dichtheids metingen (SG) en refractometer metingen (Brix) van bier en van bier wat eerst door koken ingedampt is tot ca de helft van het volume en vervolgens weer aangevuld tot het oorspronkelijke volume of gewicht. Het volgende formulier is voor deze berekeningen beschikbaar.

Rekendemo V2.0 door Hans Halberstadt Oktober 2008

licence agreement/ Sponsoring

Bereken

losse berekeningen1 Brouw water infusie Brouwwater decoctie Eiwit bepaling Alcoholberekeningen losse berek

EindSG-EindBrix-BeginSG-BeginBrix Alcohol verdampen /aanvullen Destileren hydrometer-refractometer calibratie

Meetmethode

- ☒ EindSG-EindSG na uitkoken en aanvullen tot zelfde volume
- ☐ EindSG-EindSG na uitkoken en aanvullen tot zelfde gewicht
- ☐ EindBrix-EindBrix na uitkoken en aanvullen tot zelfde volume
- ☐ EindBrix-EindBrix na uitkoken en aanvullen tot zelfde gewicht
- ☐ EindBrix-EindSG-[EindBrix-EindSG] na uitkoken en aanvullen tot zelfde volume
- ☐ EindBrix-EindSG-[EindBrix-EindSG] na uitkoken en aanvullen tot zelfde gewicht

Bereken gegevens

Gemeten waarden

Hydrometer aflezing

1010	EindSG	2.57	Plato	wort
1020	EindSG na koken/aanvullen	5.09	Plato	na bottelen

Refractometer aflezing

10	EindBrix	53.61	Zeiss	1.34768	Ri	wort
7	EindBrix na koken/aanvullen	41.37	Zeiss	1.34315	Ri	na bottelen

brouwconstanten aanpassen Recept aanpassen

Figuur 64 alcohol verdampen en aanvullen

Het voordeel van deze groep metingen tov metingen van alleen het bier is dat door het uitkoken en aanvullen de alcohol verwijderd wordt en vervangen door water. De hoeveelheid suiker blijft voor en na uitkoken hetzelfde. Met een aanname voor de hoeveelheid eiwit voor het uitkoken en een aanname voor de hoeveelheid eiwit welke tijdens het uitkoken van het bier nog neerslaat (zo goed mogelijke afschatting hiervan is al aanwezig in de lijst met brouwconstanten), kun je op deze manier de hoeveelheid alcohol en de hoeveelheid restsuiker in je bier terugrekenen. Door voor en na het uitkoken/aanvullen zowel SG als Brix te meten kun je suiker, alcohol, eiwit in het bier en eiwit na het uitkoken en aanvullen van het bier berekenen. Dit heeft alleen zin als je voldoende nauwkeurig zowel SG (+/-1 SG punt) als Brix (+/- 0.2 Brix punt) kunt meten, anders is de berekende eiwitconcentratie niet nauwkeuriger dan de afgeschatte eiwitconcentratie.

7.1.10.2.1. EindSG, EindSG uitkoken

De hoeveelheid mout en het vergistbare deel van de moutsuiker wordt gevarieerd. De overige parameters van het recept en brouwconstanten blijven zoals opgegeven in het receptformulier en brouwconstanten formulier. Voor elke variatie wordt het hele brouwproces doorgerekend overeenkomstig met het schema van de tabs 'brouwen' t/m 'Uitkoken alcohol' Er is slechts 1 combinatie van hoeveelheid mout en het vergistbare deel van de moutsuiker waarbij zowel

berekend EindSG als EindSG na uitkoken en aanvullen gelijk zijn aan de opgegeven waarden zoals gemeten aan het werkelijke bier. Die combinatie levert de beste afschatting op van de hoeveelheid alcohol en de hoeveelheid restsuiker in het bier. De hoeveelheid eiwit in het bier en uitgekookte/aangevulde bier wordt berekend uit het opgegeven recept en brouw constantenlijst en wordt dus niet gevarieerd.

7.1.10.2.2. EindBrix,EindBrix uitkoken

De hoeveelheid mout en het vergistbare deel van de moutsuiker wordt gevarieerd. De overige parameters van het recept en brouwconstanten blijven zoals opgegeven in het receptformulier en brouwconstanten formulier. Voor elke variatie wordt het hele brouwproces doorgerekend overeenkomstig met het schema van de tabs 'brouwen' t/m 'Uitkoken alcohol' Er is slechts 1 combinatie van hoeveelheid mout en het vergistbare deel van de moutsuiker waarbij zowel berekend EindBrix als EindBrix na uitkoken en aanvullen gelijk zijn aan de opgegeven waarden zoals gemeten aan het werkelijke bier. Die combinatie levert de beste afschatting op van de hoeveelheid alcohol en de hoeveelheid restsuiker in het bier. De hoeveelheid eiwit in het bier en uitgekookte/aangevulde bier wordt berekend uit het opgegeven recept en brouw constantenlijst en wordt dus niet gevarieerd.

7.1.10.2.3. EindBrix,SG- EindBrix,SG uitkoken

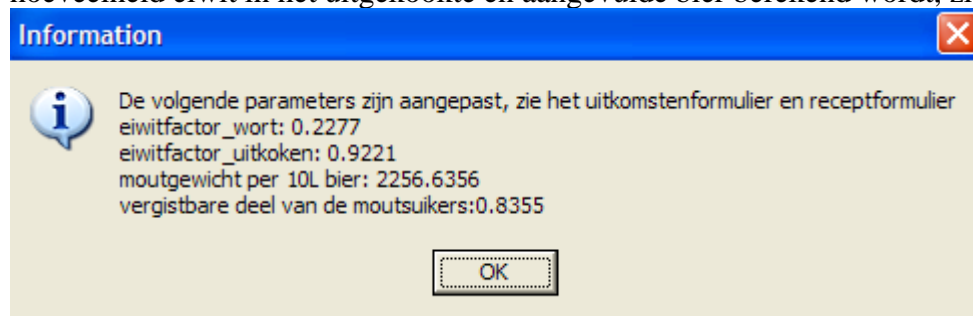
De methodes van 7.1.10.2.1 en 7.1.10.2.2 berekenen elk de combinatie van hoeveelheid mout en het vergistbare deel van de moutsuiker waarbij een van de volgende combinaties:

- SG methode: EindSG, EindSG na uitkoken en aanvullen (7.1.10.2.1) of
- Brix Methode: EindBrix, EindBrix na uitkoken en aanvullen (7.1.10.2.2)

gelijk zijn aan de opgegeven waarden zoals gemeten aan het werkelijke bier.

De combinatie van hoeveelheid mout en het vergistbare deel van de moutsuiker levert meestal voor beide methoden verschillende resultaten op.

De combinatie waarbij van alle 4 gemeten waarden (EindSG, EindSG na uitkoken en aanvullen, EindBrix, EindBrix na uitkoken en aanvullen) horen bij dezelfde hoeveelheid mout en vergistbare deel van de moutsuiker is alleen mogelijk bij 1 waarde van de hoeveelheid eiwit in het bier en de hoeveelheid eiwit in het uitgekookte en aangevulde bier. De methode berekent daarom de eiwitfactorwort alsmede de eiwitfactor_uitkoken, zodat samen met het recept en de overige brouwconstanten de hoeveelheid eiwit in het bier en de hoeveelheid eiwit in het uitgekookte en aangevulde bier berekend wordt, zie Figuur 65



Figuur 65

Indien de combinatie van gemeten SG en Brix, voor en na koken/aanvullen niet nauwkeurig genoeg gemeten is dan bestaat de mogelijkheid dat er een te grote of een te kleine (zelfs negatieve eiwitfactor berekend wordt)

7.1.10.3. Destileren

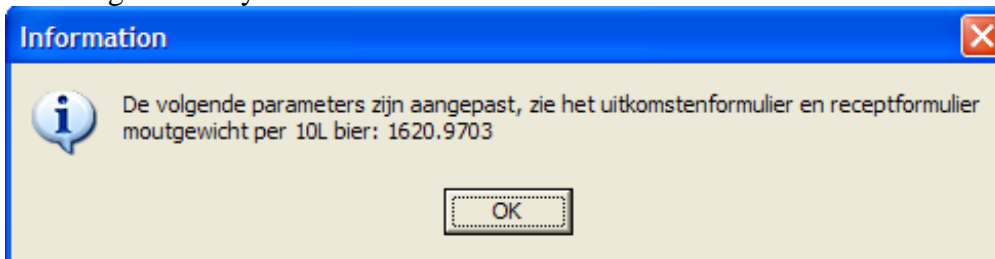
Deze methode berekent en analyseert de uitkomsten zoals verkregen met een destilleer opstelling. Hierbij wordt een monster van het bier genomen en in een destillatiekolf gedaan. Vervolgens wordt het monster gedestilleerd waarbij via de koeler het destillaat opgevangen wordt. Hierbij wordt ca de helft van het volume van het monster over gedestilleerd. Tijdens de destillatie verdampt er alcohol en water uit het monster. Tevens slaat er wat eiwit neer door het koken. De verdampte alcohol wordt vrijwel volledig opgevangen in het destillaat, tesamen met het verdampte water. Vervolgens wordt de inhoud van de destillatiekolf aangevuld tot een gewenst volume of gewicht, indien gewenst. Het is ook mogelijk om niet aan te vullen, maar het alcoholpercentage van het destillaat mag niet te hoog worden (kleiner dan ca 40%), omdat anders de refractometer meting niet meer eenduidig is. (voor alcoholpercentages boven ca 60%)
Voor deze methode is het volgende formulier beschikbaar.

Figuur 66 destillatie formulier

In het vakje 'gegevens bier na ontgassing' wordt het volume of gewicht van het bier monster opgegeven (vakje 'meetmethode') na zo goed mogelijk verwijderen van de koolzuur. Dit kan door enkele malen schudden van het monster.

Vervolgens wordt in het vakje 'gegevens opgevangen destillaat' het volume of gewicht van het (aangevulde) destillaat opgegeven (vakje 'meetmethode') Vervolgens wordt van het (aangevulde) destillaat via een hydrometer (SG of Plato waarde) of refractometer (Brix, Zeiss

of Ri waarde) een meting gedaan. Via het knopje 'bereken gegevens' rekt het programma de complete brouwprocedure door met het opgegeven recept en brouwconstanten. De hoeveelheid mout van het recept wordt net zolang aangepast totdat de berekende hoeveelheid alcohol in het destillaat overeen komt met de gemeten hoeveelheid alcohol overeenkomstig met het gemeten hydrometer of refractometer waarde.



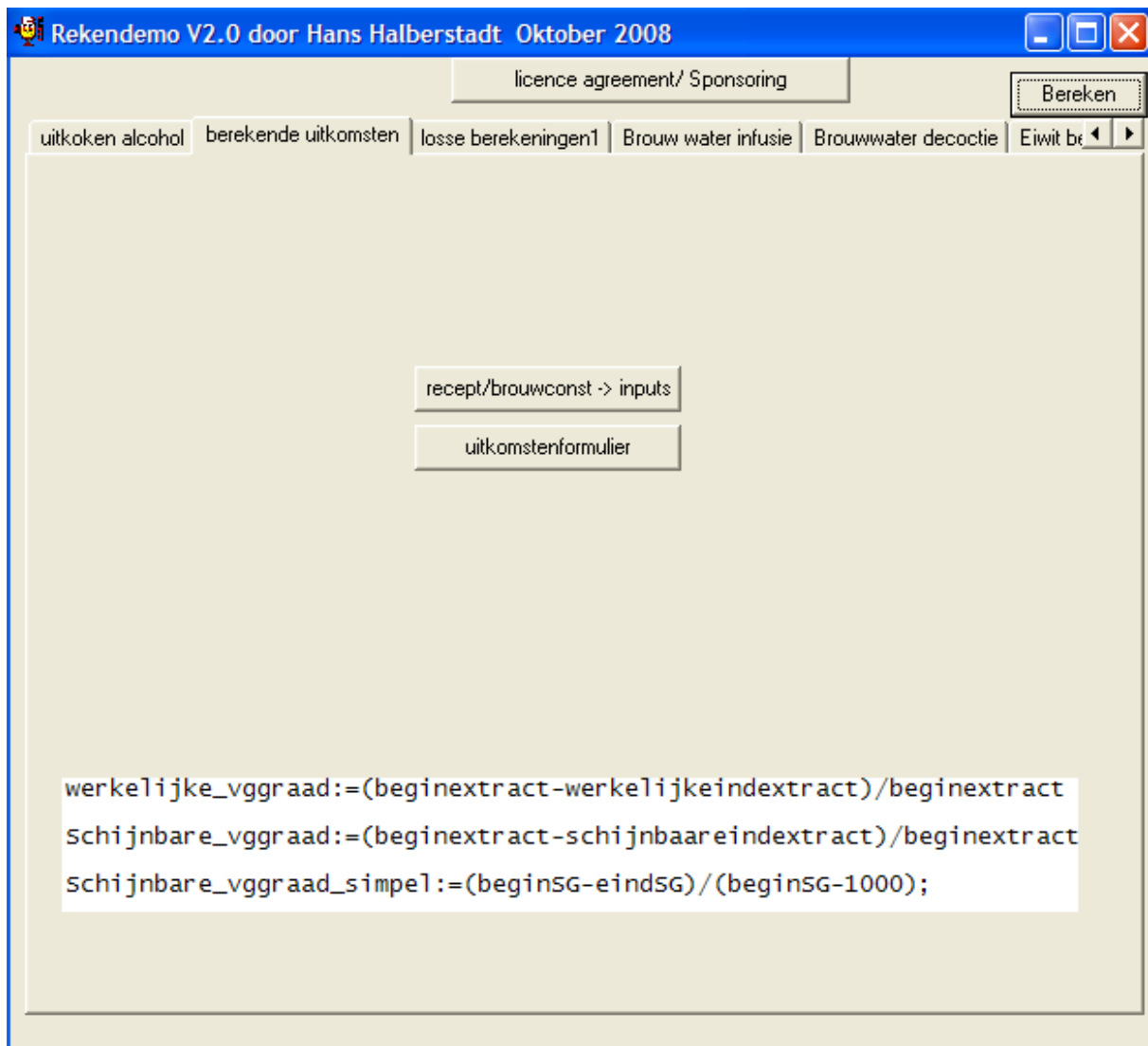
Figuur 67 berekend moutgewicht behorend bij gemeten uitkomsten aan destillaat

Via het uitkomsten formulier is het complete overzicht van de berekende uitkomsten beschikbaar, waaronder berekend alcohol percentage van het bier. Ook hier is het mogelijk om de berekende uitkomsten (in dit geval het moutgewicht) toe te kennen aan het recept via het volgende formulier.



Figuur 68 toekennen mout aan recept

Vervolgens kan via de tab 'berekende uitkomsten' van het hoofdformulier het berekende recept en brouwconstanten aan het schematisch overzicht (tabs 'brouwen', 'gisten', 'bottelen' en 'uitkoken alcohol') toegevoegd worden (voor beide formulieren op 'verwerk data klikken')



Figuur 69 toekennen van het berekende recept, brouwconstanten aan het schematisch overzicht

waarna de berekeningen via het schematisch overzicht precies gevolgd kunnen worden met het formulier van Figuur 72.

brouwconstanten

Brouwconstanten

0.7500	extraheerbaar
0.9000	maisich en spoelrendement
0.6500	% vergiste moutsuiker
0.9700	dextrine afbraak rendement
0.0500	Eiwit factor wort
0.7000	Eiwit factor wortkoken
0.9700	vergistingsrendement
0.9000	Eiwit factor gisting
1.0000	glycerolfactor
1.0000	eiwitfactor_bottel
0.9800	Bierverlies rendement1
0.4840	alcoholomzet hoofdgisting
0.4629	co2 omzet factor
0.9500	Bierverlies rendement2
0.9990	Krimp en verdamping
0.4840	alcoholomzet bottelen
0.8000	eiwitfactor bieruitkoken
0.0020	rest alcohol na uitkoken g/g
0.004	vervlogen alcohol tijdens destileren g/g

verwerk data

Figuur 70 brouwconstanten toekennen aan schematisch overzicht

receptForm

verwerk data

recept

2944.3742	mout gewicht (g/10l) [1]
0.0000	extra suiker toegevoegd tijdens koken of gisting (g/10lL) [1]
75.0000	bottelsuiker toegevoegd (g/10l) [1]
0.0000	bottelwater toegevoegd (g/10l) [1]
20	temperatuur einde gisting tbv CO2 oplossen (grC)
0	Druk aan einde gisting voor bottelen (kg/cm2 overdruk)

[1] per 10L wort na koken

Figuur 71 recept toekennen aan schematisch overzicht

Rekendemo V2.0 door Hans Halberstadt Oktober 2008

licence agreement/ Sponsoring

Bereken

uitkoken alcohol | berekende uitkomsten | losse berekeningen1 | Brouw water infusie | Brouwwater decoctie | Eiwit be

3.339 Ethanol (g) 3.877 rest suiker (g) 0.466 Eiwit (g) 0.099 glycerol (g) Water (g)

Volume of gewicht biermonster na ontgassing

100 99.82

☐ Volume [ml] ☒ Gewicht [g]

Brix 5.983 SG 1.0103

Alcohol vervlogen (g/ml bier) 0.002 rest alcohol na uitkoken (g/ml bier) 0.002 Eiwit factor uitkoken 0.95

0.198 Ethanol (g) 3.877 rest suiker (g) 0.443 Eiwit (g) 0.099 glycerol (g) Water (g)

Volume of gewicht biermonster na uitkoken en aanvullen tot zelfde gewicht of volume

100 99.82

☐ Volume [ml] ☒ Gewicht [g]

Brix 4.586 SG 1.0162

2.943 Ethanol in destilaat (g) Water (g)

Volume of gewicht opgevangen destilaat

100 100

☐ Volume [ml] ☒ Gewicht [g]

Brix 1.264 SG 0.99458

Figuur 72 schematisch overzicht uitkoken en destileren
Klik op 'bereken' om de wijzigingen door te voeren.

7.1.10.4. Hydrometer refractometer calibratie

De metingen waarbij de combinatie van een hydrometer meting en een refractometer meting gebruikt worden ontstaat het probleem dat hydrometer en refractometer beiden een onnauwkeurigheid hebben. Voor sommige berekeningen, bv alcohol bepaling via eindSG en eindBrix is een zo nauwkeurig mogelijke onderlinge gelijkheid van refractometer en hydrometer noodzakelijk. Dat wil zeggen: een sucrose oplossing waarvan het SG (hydrometer) en Brix waarde (refractometer) gemeten worden moet voor beide uitkomsten een op elkaar afgestemde waarde opleveren, bv 100g sucrose per 1000ml oplossing levert SG= 1038.53 en Brix= 9.65. (zie tab 'losse berekeningen 1') Een oplossing van 67g sucrose met daaraan nog toegevoegd 67g alcohol per 1000ml levert ook een Brix waarde van 9.65, echter de SG waarde is 1014.2. De vergelijking van Brix en SG waarde lever dus belangrijke informatie over de aanwezige stoffen. Stel dat de hydrometer 1.1 SG punt afwijkt (1013.3) en de Brix meter 0.4 Brix punt (9.26), dan geeft het resultaat van de berekeningen een foutieve uitkomst (alcohol 65g, suiker 64g per 1000ml). Het is echter mogelijk om een sucrose oplossing te gebruiken om hydrometer en refractometer op elkaar af te stemmen zodat de

uitkomsten van beide optimaal op elkaar afgestemd zijn. Daarvoor is het volgende formulier beschikbaar.

Rekendemo V2.0 door Hans Halberstadt Oktober 2008

licence agreement/ Sponsoring

Bereken

Brouw water infusie | Brouwwater decoctie | Eiwit bepaling | Alcoholberekeningen | losse berekeningen2

Alcohol verdampen /aanvullen | Destileren | hydrometer-refractometer calibratie | gecalibreerde metingen

meting1: lage concentratie

sucrose oplossing

gewicht sucrose 0 g

opgelost tot 1000 ☒ gram ☐ ml

hydrometer waarde

	berekend	gemeten
SG	1000.00	1000.00
Plato	0.00	0.00

refractometer waarde

	berekend	gemeten
Brix	0.00	0.00
Ri	1.3330	1.3330
Ze	14.42	14.42

meting2: hoge concentratie

sucrose oplossing

gewicht sucrose 200 g

opgelost tot 1000 ☒ gram ☐ ml

hydrometer waarde

	berekend	gemeten
SG	1082.95	1082.95
Plato	20.00	20.00

refractometer waarde

	berekend	gemeten
Brix	20.00	20.00
Ri	1.3636	1.3636
Ze	97.71	97.71

calibratie activeren

calibratie opslaan

inlezen calibratie

Referentie

☒ Suiker oplossing als referentie

☐ Refractometer als referentie

Figuur 73 hydrometer refractometer calibratie

Er kan hiermee een zogenaamde 2 punts calibratie uitgevoerd worden, dat wil zeggen een afwijking van zowel offset als schaalfactor kan gecompenseerd worden. Met het linker window (geel) wordt een lage concentratie sucrose gemaakt (of zuiver water van temperatuur waarbij normaal gesproken de meter gebruikt wordt, bij voorkeur 20 grC.) Met het rechter window (groen) wordt een hoge concentratie sucrose gemaakt. (van temperatuur waarbij normaal gesproken de meter gebruikt wordt, bij voorkeur 20 grC.) Vervolgens worden de gemeten waarden ingevuld. Via het knopje 'calibratie activeren' wordt de calibratie uitgevoerd en aan alle onderdelen van het programma toegekend waar gebruik gemaakt wordt van meetgegevens van hydrometer en/of refractometer.

Vervolgens wordt daarna elke meting automatisch gecorrigeerd en de juiste waarde meegenomen in de berekeningen.

Via 'calibratie opslaan' en 'calibratie inlezen' kan de calibratiedata opgeslagen en weer teruggelezen worden. Met de calibratie mogelijkheid is het bijvoorbeeld ook mogelijk om de hydrometer en refractometer te ijken voor een andere temperatuur. Na calibratie rekent het programma dan alle gemeten waarden terug naar de standaard temperatuur. (20 grC)

Een en ander wordt verduidelijkt aan de hand van het volgende voorbeeld. Eerst wordt zuiver water genomen. Het berekende SG is dan 1000.0 en de berekende Brix waarde is dan 0.00. Nu wordt met de hydrometer het SG gemeten van deze oplossing. Er wordt een SG gemeten van 1001. Vervolgens wordt de Brix waarde gemeten met de refractometer. Er wordt 0.1 Brix gemeten. Beide gemeten waarden worden ingevuld. Daarna wordt een oplossing gemaakt van 200g witte suiker met water aangevuld tot 1000gram. Het berekende SG is dan 1082.95 en de berekende Brix waarde is dan 20.00. Nu wordt met de hydrometer het SG gemeten van deze oplossing. Er wordt een SG gemeten van 1080. Vervolgens wordt de Brix waarde gemeten met de refractometer. Er wordt 19.8 Brix gemeten. Beide gemeten waarden worden ingevuld en het knopje 'calibratie activeren' wordt aangeklikt.

meting1: lage concentratie

sucrose oplossing

gewicht sucrose g

opgelost tot ☒ gram ☐ ml

hydrometer waarde

	berekend	gemeten
SG	<input type="text" value="1000.00"/>	<input type="text" value="1001"/>
Plato	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>

refractometer waarde

	berekend	gemeten
Brix	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.1"/>
Ri	<input type="text" value="1.3330"/>	<input type="text" value="1.3330"/>
Ze	<input type="text" value="14.42"/>	<input type="text" value="14.42"/>

meting2: hoge concentratie

sucrose oplossing

gewicht sucrose g

opgelost tot ☒ gram ☐ ml

hydrometer waarde

	berekend	gemeten
SG	<input type="text" value="1082.95"/>	<input type="text" value="1080"/>
Plato	<input type="text" value="20.00"/>	<input type="text" value="20"/>

refractometer waarde

	berekend	gemeten
Brix	<input type="text" value="20.00"/>	<input type="text" value="19.8"/>
Ri	<input type="text" value="1.3636"/>	<input type="text" value="1.3636"/>
Ze	<input type="text" value="97.71"/>	<input type="text" value="97.71"/>

Figuur 74 voorbeeld hydrometer refractometer calibratie

7.1.10.5. Gecalibreerde metingen

Met de tab 'gecalibreerde metingen' kunt u het resultaat zien van een calibratie volgens de tab 'hydrometer refractometer calibratie' Hiervoor is onderstaand formulier beschikbaar

Rekendemo V2.0 door Hans Halberstadt Oktober 2008

licence agreement/ Sponsoring

Bereken

Brouw water infusie Brouwwater decoctie Eiwit bepaling Alcoholberekeningen losse berekeningen2

Alcohol verdampen /aanvullen Destileren hydrometer-refractometer calibratie gecalibreerde metingen

SG

aflezing	na calibratie
1000	1000

Plato

aflezing	na calibratie
0	0

Brix

aflezing	na calibratie
0	0

Ri

aflezing	na calibratie
1.333	1.333

Ze

aflezing	na calibratie
14.5	14.5

Figuur 75 tab 'gecalibreerde metingen'

In de linker kolom kunnen de gemeten waarden ingevuld worden. In de rechter kolom worden dan de gecorrigeerde waarden berekend.

Met het voorbeeld van Figuur 75 kan nu niet alleen de Brix en SG waarde gecorrigeerd worden voor de gemeten waarden, maar ook voor elke andere waarde. Hieronder is hiervan een voorbeeld gegeven.

SG	
aflezing	na calibratie
1030	1030.5
Plato	
aflezing	na calibratie
0	0.0
Brix	
aflezing	na calibratie
12	12.1
Ri	
aflezing	na calibratie
1.333	1.3330
Ze	
aflezing	na calibratie
14.5	14.5017

Figuur 76 voorbeeld gecalibreerde metingen

7.1.11. Losse berekeningen 2

Via deze tab is het mogelijk om direct via het recept en de ingevoerde brouwconstanten de uitkomsten te berekenen. Dit is vooral handig als je snel het resultaat wilt zien en vertrouwd bent met de schematische overzichten waarin alle verbanden zijn weergegeven. (paragraaf 7.1.1, 7.1.2, 7.1.3 en 7.1.4) De betreffende formulieren kunnen indien gewenst via de tab “berekende uitkomsten” toegekend worden aan de tabs “brouwen”, “gisten”, “bottelen” en “uitkoken alcohol” waarbij alle inputs zichtbaar worden in de schematische overzichten, zie ook paragraaf 7.1.5

7.2. rekenprocedures achter de schermen

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de belangrijkste rekenprocedures zoals in de rekendemo aanwezig. In de volgende paragrafen zullen deze systematisch worden toegelicht.

7.2.1. krimpfactoren

voor het berekenen van het SG zijn krimpfactoren gebruikt voor suiker, alcohol, eiwit en overige stoffen (glycerol), zie ook paragraaf 2.2. De krimpfactor is afhankelijk van de concentratie opgeloste stof (gram/ml) De aanname is dat de krimpfactor voor een stof niet beïnvloed wordt door overige opgeloste stoffen. Uit proeven is gebleken dat deze aanname voor wort en bier geldig is binnen de vereiste nauwkeurigheid van +/- 1 SG punt. De gebruikte formules om de krimpfactoren voor resp. suiker, alcohol, eiwit en glycerol te kunnen berekenen zijn gegeven in de paragrafen 7.2.1.1, 7.2.1.2, 7.2.1.3 en 7.2.1.4:

7.2.1.1. alcohol krimpfactor

Voor alcohol is de krimpfactor berekend op basis van alcoholtabellen [3]. gebaseerd op software uit de alcoholverwerkende industrie [1]. Hiermee is een formule voor de krimpfactor voor alcohol afgeleid voor 3 concentratiegebieden [2],

Omdat de krimpfactor nogal afhankelijk is van de concentratie is er een aparte fit gemaakt voor 3 verschillende gebieden: low (<32g alcohol/100ml), med (32-72g alcohol/100ml) en high (>72g/100ml). De volgende Delphi (Pascal) code is beschikbaar:

```
Function tform1.alckrimpfactor(gewicht,volume:real):real;
var a,b,c,d,e,f,g,h,i,k,low,med,high,out,gewichtpervolume:real;
begin;
a:=0.33;b:=-0.62;c:=-0.28;d:=1.058;e:=1.139;f:=-0.14;g:=-0.035;h:=1.02;
i:=-0.22;k:=-0.8;
gewichtpervolume:=gewicht/volume;
low:=d+a*power(gewichtpervolume,1)+b*power(gewichtpervolume,2)+c*a*power(gewichtpervolume,3);
med:=e+f*power(gewichtpervolume,1)+g*power(gewichtpervolume,2);
high:=h+i*(gewichtpervolume-0.72)+k*power((gewichtpervolume-0.72),2);
if (gewichtpervolume<0.32) then out:=low else
if (gewichtpervolume<0.72) then out:=med else
out:=high;
alckrimpfactor:=out;
end;
```

7.2.1.2. suiker krimpfactor

Voor suiker (sucrose) is de krimpfactor berekend op basis van suikertabellen [5], gebaseerd op software uit de suikerverwerkende industrie [4].

Voor suiker is de krimpfactor veel minder afhankelijk van de concentratie en daarom is berekening op basis van 1 fit [2] voldoende nauwkeurig. De volgende Delphi (Pascal) code is beschikbaar:

```
Function tform1.suikerkrimpfactor(gewicht,volume:real):real;
var c,d,e,f,out,gewichtpervolume:real;
begin;
c:=1.0475;d:=-0.022;e:=-0.006;f:=-0.0003;
gewichtpervolume:=gewicht/volume;
out:=c+d*power(gewichtpervolume,1)+e*power(gewichtpervolume,2)+f*power(gewichtpervolume,3);
suikerkrimpfactor:=out;
end;
```

7.2.1.3. eiwit krimpfactor

Eiwit komt slechts in kleine hoeveelheden voor in wort en bier. Daarom is alleen de berekening nodig voor concentraties tot ca 20g per liter. Hiervoor is bij gebrek aan gegevens dezelfde krimpfactor aangehouden als voor sucrose.

```
Function tform1.eiwitkrimpfactor(gewicht,volume:real):real;
var c,d,e,f,out,gewichtpervolume:real;
begin;
c:=1.0475;d:=-0.022;e:=-0.006;f:=-0.0003;
gewichtpervolume:=gewicht/volume;
out:=c+d*power(gewichtpervolume,1)+e*power(gewichtpervolume,2)+f*power(gewichtpervolume,3);
```

```
eiwitkrimpfactor:=out;
end;
```

7.2.1.4. glycerol krimpfactor

Glycerol komt slechts in zeer kleine hoeveelheden voor in bier, naast een heel scala van stoffen, zoals bitterstoffen, zuren, afvalprodukten van de gisting etc. Dit alles is samengenomen onder de noemer “Glycerol” Daarom is alleen de berekening nodig voor concentraties tot ca 1g per liter. Hiervoor is bij gebrek aan gegevens dezelfde krimpfactor aangehouden als voor sucrose.

```
Function tform1.glycerolkrimpfactor(gewicht,volume:real):real;
var c,d,e,f,out,gewichtpervolume:real;
begin;
c:=1.0475;d:=-0.022;e:=-0.006;f:=-0.0003;
gewichtpervolume:=gewicht/volume;
out:=c+d*power(gewichtpervolume,1)+e*power(gewichtpervolume,2)+f*power(gewichtpervolume,3);
glycerolkrimpfactor:=out;
end;
```

7.2.2. SG bijdragen

In paragraaf 2.2 is de berekening van het SG m.b.v. krimpfactoren toegelicht. Als onderdeel van de SG formules is in 2.2 de factor “K” geïntroduceerd, gelijk aan het rood omlijnde deel in Vergelijking 67:

Vergelijking 67

$$\text{totaalvolume} = \left(\frac{1}{\text{sgwater_T1}} - \frac{\text{sgwater_T1}}{\text{sgstof_T1}_n \cdot \text{krimpfactor}_n} \right)$$

De pascal/Delphi code voor K voor is in de rekendemo opgenomen voor elk van de stoffen alcohol (7.2.2.1), suiker (7.2.2.2), eiwit (7.2.2.3) en glycerol (7.2.2.4)

7.2.2.1. Kalcohol

```
function tform1.Kalcohol(gewicht,volume:real):real;
var sgwater,sgalc_puur,sgsuiker_puur,sgeiwit_puur,sgglycerol_puur:real;
begin;
sgwater:=0.9982;sgalc_puur:=0.78936;sgsuiker_puur:=1.5519;sgeiwit_puur:=1.27;sgglycerol_puur:=1.26;
Kalcohol:=1/sgwater-1/(sgalc_puur*alckrimpfactor(gewicht,volume));
end;
```

Hierbij is sgalc_puur het werkelijk SG van alcohol. De rechterterm van Vergelijking 67 is versimpeld door teller en noemer te delen door sgwater (0.9982)

7.2.2.2. K suiker

```
function tform1.Ksuiker(gewicht,volume:real):real;
var sgwater,sgalc_puur,sgsuiker_puur,sgeiwit_puur,sgglycerol_puur:real;
begin;
sgwater:=0.9982;sgalc_puur:=0.78936;sgsuiker_puur:=1.5519;sgeiwit_puur:=1.27;sgglycerol
_puur:=1.26;
Ksuiker:=1/sgwater-1/(sgsuiker_puur*suikerkrimpfactor(gewicht,volume));
end;
```

Hierbij is sgalc_puur het werkelijk SG van alcohol. De rechterterm van Vergelijking 67 is versimpeld door teller en noemer te delen door sgwater (0.9982)

7.2.2.3. Keiwit

```
function tform1.Keiwit(gewicht,volume:real):real;
var sgwater,sgalc_puur,sgsuiker_puur,sgeiwit_puur,sgglycerol_puur:real;
begin;
sgwater:=0.9982;sgalc_puur:=0.78936;sgsuiker_puur:=1.5519;sgeiwit_puur:=1.27;sgglycerol
_puur:=1.26;
Keiwit:=1/sgwater-1/(sgeiwit_puur*eiwitkrimpfactor(gewicht,volume));
end;
```

Hierbij is sgalc_puur het werkelijk SG van alcohol. De rechterterm van Vergelijking 67 is versimpeld door teller en noemer te delen door sgwater (0.9982)

7.2.2.4. Kglycerol

```
function tform1.Kglycerol(gewicht,volume:real):real;
var sgwater,sgalc_puur,sgsuiker_puur,sgeiwit_puur,sgglycerol_puur:real;
begin;
sgwater:=0.9982;sgalc_puur:=0.78936;sgsuiker_puur:=1.5519;sgeiwit_puur:=1.27;sgglycerol
_puur:=1.26;
Kglycerol:=1/sgwater-1/(sgglycerol_puur*glycerolkrimpfactor(gewicht,volume));
end;
```

7.2.3. Formules voor dichtheid (SG, Plato)

In paragraaf 2.2 is de berekening van het (schijnbaar)SG (SG 20/20) gegeven door de volgende formule, welke in feite de optelling is van alle deelbijdragen van opgeloste stoffen (gram opgeloste stof per liter) vermenigvuldigd met de k waarde van elke stof.

Vergelijking 68

$$\text{apparent_sg_T1_T1} = 1 + \frac{\sum_{n=0}^{n_{\max}} \left[\text{gewicht_T1}_n \cdot \left(\frac{1}{\text{sgwater_T1}} - \frac{\text{sgwater_T1}}{\frac{\text{sgstof_T1}_n}{\text{sgwater_T1}} \cdot \text{krimpfactor}_n} \right) \right]}{\text{totaalvolume}}$$

In de rekendemo is het SG volgens Vergelijking 68 opgenomen als onderdeel van een totaalberekening. Deze totaalberekening berekent in een procedure genaamd “refracto” zowel brekingsindex, Brix, SG en Plato waarde en maakt gebruik van de hiervoor beschreven krimpfactoren en k waarden. Het deel van de berekening voor wat betreft het SG is in rood weergegeven.

```
function
tform1.refracto(totaalvolume,suikergewicht,eiwitgewicht,alcoholgewicht,glycerolgewicht:real
):refractoreal;
function N_alc_bijdrage(alcoholgewicht,totaalvolume:real):real;
var
gew_per_volume,Ka0a,Ka1a,Ka2a,Ka3a,Ka4a,Ka0b,Ka1b,Ka2b,Ka3b,Ka4b,bijdragelaag,bij
dragehoog,border:real;
begin;{N_alc_bijdrage}
Ka0a:=1.33300E+00;
Ka1a:=5.70000E-04;
Ka2a:=1.40000E-05;
Ka3a:=-3.85000E-07;
Ka4a:=2.43000E-09;
Ka0b:=1.35995E+00;
Ka1b:=3.90000E-04;
Ka2b:=-1.22000E-05;
Ka3b:=5.60000E-07;
Ka4b:=-1.25000E-08;
border:=40.78228;
gew_per_volume:=alcoholgewicht/totaalvolume*100;
bijdragelaag:=Ka0a+Ka1a*gew_per_volume+Ka2a*power(gew_per_volume,2)+Ka3a*power
(gew_per_volume,3)+Ka4a*power(gew_per_volume,4);
bijdragehoog:=Ka0b+Ka1b*(gew_per_volume-border)+Ka2b*power((gew_per_volume-
border),2)+Ka3b*power((gew_per_volume-border),3)+Ka4b*power((gew_per_volume-
border),4);
bijdragelaag:=bijdragelaag-Ka0a; {netto bijdrage boven 1.3330}
bijdragehoog:=bijdragehoog-Ka0a;
if gew_per_volume<border then N_alc_bijdrage:=bijdragelaag else
N_alc_bijdrage:=bijdragehoog;
end;{N_alc_bijdrage}

var K1,K2,K3,K4,Ks,Ka1,Ka2,Ke,Kg,volumeml,SG,SGwerkelijk:real;
begin
K1:=Ksuiker(suikergewicht,totaalvolume);{0.386}
K2:=Keiwit(eiwitgewicht,totaalvolume);{0.241};
K3:=Kalcohol(alcoholgewicht,totaalvolume);{-0.172};
K4:=Kglycerol(glycerolgewicht,totaalvolume){0.247};
Ks:=0.1415;Ka1:=0.058;Ka2:=0.078;Ke:=0.174;Kg:=0.109;
{Sg schijnbaar}
SG:=1+suikergewicht/totaalvolume*K1+eiwitgewicht/totaalvolume*K2+alcoholgewicht/tota
alvolume*K3+glycerolgewicht/totaalvolume*K4;
SGwerkelijk:=SG*0.9982;
```

```

refracto.N:=1.33299+suikergewicht/totaalvolume*Ks+eiwitgewicht/totaalvolume*Ke+N_alc_
bijdrage(alcoholgewicht,totaalvolume)+glycerolgewicht/totaalvolume*Ks;
refracto.Brix:=100*(Ke*eiwitgewicht/totaalvolume+Ks*suikergewicht/totaalvolume+N_alc_
bijdrage(alcoholgewicht,totaalvolume)+Kg*glycerolgewicht/totaalvolume)/(Ks*SGwerkelijk)
;
{zieBrix_niet_lin_alc.xmcd en refractofit.xmcd, niet lineaire alcoholterm in Brix en N}
refracto.SG:=SG;
refracto.plato:=100/(totaalvolume*SGwerkelijk)*(K1*suikergewicht+K3*alcoholgewicht+K2
*eiwitgewicht+K4*glycerolgewicht)/K1
end;

```

7.2.3.1. formule voor de Plato waarde

In paragraaf 5.4, Vergelijking 35 wordt de Plato formule besproken. (zie paragraaf **Error! Reference source not found.** voor de afleiding) De Delphi/pascal code voor de Plato berekening is als volgt:

```

refracto.plato:=100/(totaalvolume*SGwerkelijk)*(K1*suikergewicht+K3*alcoholgewicht+K2
*eiwitgewicht+K4*glycerolgewicht)/K1

```

7.2.4. deelbijdrage aan de brekingsindex

Zoals in hoofdstuk 4 is behandeld kan de brekingsindex van wort of bier berekend worden door de optelling te doen van alle deelbijdragen van opgeloste stoffen (gram opgeloste stof per liter) vermenigvuldigd met de k waarde van elke stof. De berekening lijkt sterk op de SG berekening, echter de k waarde heeft hier een totaal andere betekenis en andere waarde als bij de SG berekening. De k waarde is voor alcohol afhankelijk van de concentratie zelf. Voor de andere opgeloste stoffen blijkt het voldoende nauwkeurig om voor k een constante waarde aan te nemen. In paragraaf 4.4 is de volgende formule gegeven voor de brekingsindex:

Vergelijking 69

$$\begin{aligned}
N = & 1.333 + \text{suikergewicht/totaalvolume} \times K_s \\
& + (\text{Alcoholgewicht/totaalvolume}) \times K_{a1} \\
& + (\text{Alcoholgewicht/totaalvolume})^2 \times K_{a2} \\
& + \text{eiwitgewicht/totaalvolume} \times K_e \\
& + \text{glycerolgewicht/totaalvolume} \times K_g
\end{aligned}$$

In de rekendemo is een nog nauwkeuriger benadering opgenomen voor de alcoholbijdrage, welke geldig is voor elke willekeurige concentratie alcohol tussen 0 en 100 % alcohol.

7.2.4.1. deelbijdrage alcohol

De delphi/pascal code voor de alcoholbijdrage is hieronder weergegeven:

```

function N_alc_bijdrage(alcoholgewicht,totaalvolume:real):real;
var
gew_per_volume,Ka0a,Ka1a,Ka2a,Ka3a,Ka4a,Ka0b,Ka1b,Ka2b,Ka3b,Ka4b,bijdragelaag,bij
dragehoog,border:real;
begin;{N_alc_bijdrage}
Ka0a:=1.33300E+00;
Ka1a:=5.70000E-04;
Ka2a:=1.40000E-05;

```

```

Ka3a:=-3.85000E-07;
Ka4a:=2.43000E-09;
Ka0b:=1.35995E+00;
Ka1b:=3.90000E-04;
Ka2b:=-1.22000E-05;
Ka3b:=5.60000E-07;
Ka4b:=-1.25000E-08;
border:=40.78228;
gew_per_volume:=alcoholgewicht/totaalvolume*100;
bijdragelaag:=Ka0a+Ka1a*gew_per_volume+Ka2a*power(gew_per_volume,2)+Ka3a*power
(gew_per_volume,3)+Ka4a*power(gew_per_volume,4);
bijdragehoog:=Ka0b+Ka1b*(gew_per_volume-border)+Ka2b*power((gew_per_volume-
border),2)+Ka3b*power((gew_per_volume-border),3)+Ka4b*power((gew_per_volume-
border),4);
bijdragelaag:=bijdragelaag-Ka0a; {netto bijdrage boven 1.3330}
bijdragehoog:=bijdragehoog-Ka0a;
if gew_per_volume<border then N_alc_bijdrage:=bijdragelaag else
N_alc_bijdrage:=bijdragehoog;
end;{N_alc_bijdrage}

```

7.2.5. Formule voor brekingsindex (Brix, Ri)

De delphi/pascal code voor de brekingsindex (Ri oftewel N) als som van alle deelbijdragen is de volgende:

```

refracto.N:=1.33299+suikergewicht/totaalvolume*Ks+eiwitgewicht/totaalvolume*Ke+N_alc_
bijdrage(alcoholgewicht,totaalvolume)+glycerolgewicht/totaalvolume*Ks;

```

Voor de Brix waarde wordt de volgende vergelijking gebruikt (zie ook 5.2, **Error! Reference source not found.**)

```

refracto.Brix:=100*(Ke*eiwitgewicht/totaalvolume+Ks*suikergewicht/totaalvolume+N_alc_
bijdrage(alcoholgewicht,totaalvolume)+Kg*glycerolgewicht/totaalvolume)/(Ks*SGwerkelijk)
;

```

8. Referenties

[1] <http://www.katmarsoftware.com/alcodens.htm>

Alcodens.exe: rekentool voor het berekenen van alcohol oplossingen

[2] **Mathcad - krimpfactor.pdf**

Fitting formule voor alcoholkrimpfactor, Hans Halberstadt, 2008

[3] **alcoholtabel_plus_addsl.xls**

alcoholkrimpfactor afgeleid uit alcoholtabellen, krimpfactor afgeleid uit $sg=F(\text{gew\% alc})$ en werkelijk SG van pure alcohol, Hans Halberstadt 2008

[4] <http://sugartech.com/density/>

rekentool voor het berekenen van sucrose oplossingen

[5] suikertabel_sugertech_V2.xls

krimpfactor afgeleid uit $sg = F(\text{gew\% suiker} = \text{Brix})$ en werkelijk SG van pure suiker, , Hans Halberstadt, 2008

[6] Refractive index tables, sugar, ethanol, glycerol.

http://us.mt.com/mt/filters/applications_analytical_refractometry/Refractometry_concentration_tables_browse_0x000248e100025ba40005d14e.jsp

[7] Carl L.A.Schmidt , The refractive index of certain solutions of proteins, Berkely university California, 1927 (eiwitten.pdf)

[8] goldiner klemann tabellen, De praktijkbrouwer , Gilbert Baetsle, ISBN 978 90 382 0998 2 , Gent, academia press 2007, blz 76-80

[9] <http://www.ams.usda.gov/AMSv1.0/getfile?dDocName=STELPRD3479391>

sucrose tabel, met brekingsindex, Brix, SG relatie

[10] Hans Halberstadt, "Bierrekenen.exe" programma om diverse berekeningen aan wort/bier uit te voeren

download: <http://www.triple-w.org> onder 'downloads'

[11] Refractofit.pdf

Fit formules voor Brekingsindex van alcohol en sucrose oplossingen , Hans Halberstadt, 2008.

[12] grafieken_HS6_v5.xls

grafieken afgeleid uit "Bierrekenen.exe", Hans Halberstadt, 2008

[13] Promash, brouwsoftware, zie <http://www.promash.com>

[14] <http://brewingtechniques.com/bmg/noonan.html>

uitleg moutspecificatie

[15] Bierpro brouwsoftware, geschreven door Hans Halberstadt, te downloaden via

<http://www.triple-w.org> onder 'downloads'

9. Appendix

9.1. afleiding SG formule

verband tussen sg en samenstelling van de vloeistof

$$esg = \frac{\text{gewicht}}{\text{volume}}$$

$$\text{gewicht} = \text{watergewicht} + \text{suikergewicht} + \text{alcoholgewicht} + \text{eiwitgewicht} + \text{glycerolgewicht}$$

$$\text{volume} = \text{watergewicht} + \frac{\text{suikergewicht}}{\text{sgsuiker}} + \frac{\text{alcoholgewicht}}{\text{sgalcohol} \cdot \text{alcoholkrimpfactor}} + \frac{\text{eiwitgewicht}}{\text{sgeiwit}} + \frac{\text{glycerolgewicht}}{\text{sgglycerol}}$$

$$\text{watergewicht} = \text{volume} - \frac{\text{suikergewicht}}{\text{sgsuiker}} - \frac{\text{alcoholgewicht}}{\text{sgalcohol} \cdot \text{alcoholkrimpfactor}} - \frac{\text{eiwitgewicht}}{\text{sgeiwit}} - \frac{\text{glycerolgewicht}}{\text{sgglycerol}}$$

$$\text{gewicht} = \left(\text{volume} - \frac{\text{suikergewicht}}{\text{sgsuiker}} - \frac{\text{alcoholgewicht}}{\text{sgalcohol} \cdot \text{alcoholkrimpfactor}} - \frac{\text{eiwitgewicht}}{\text{sgeiwit}} - \frac{\text{glycerolgewicht}}{\text{sgglycerol}} \right) + \text{suikergewicht} + \text{alcoholgewicht} + \text{eiwitgewicht} + \text{glycerolgewicht}$$

$$\text{gewicht} = \text{volume} + \text{suikergewicht} \cdot \left(1 - \frac{1}{\text{sgsuiker}} \right) + \text{alcoholgewicht} \cdot \left(1 - \frac{1}{\text{sgalcohol} \cdot \text{alcoholkrimpfactor}} \right) + \text{eiwitgewicht} \cdot \left(1 - \frac{1}{\text{sgeiwit}} \right) + \text{glycerolgewicht} \cdot \left(1 - \frac{1}{\text{sgglycerol}} \right)$$

$$sg = \frac{\text{volume} + \text{suikergewicht} \cdot \left(1 - \frac{1}{\text{sgsuiker}} \right) + \text{alcoholgewicht} \cdot \left(1 - \frac{1}{\text{sgalcohol} \cdot \text{alcoholkrimpfactor}} \right) + \text{eiwitgewicht} \cdot \left(1 - \frac{1}{\text{sgeiwit}} \right) + \text{glycerolgewicht} \cdot \left(1 - \frac{1}{\text{sgglycerol}} \right)}{\text{volume}}$$

$$sg = 1 + \frac{\text{suikergewicht} \cdot \left(1 - \frac{1}{\text{sgsuiker}} \right) + \text{alcoholgewicht} \cdot \left(1 - \frac{1}{\text{sgalcohol} \cdot \text{alcoholkrimpfactor}} \right) + \text{eiwitgewicht} \cdot \left(1 - \frac{1}{\text{sgeiwit}} \right) + \text{glycerolgewicht} \cdot \left(1 - \frac{1}{\text{sgglycerol}} \right)}{\text{volume}}$$

$$\text{in general: } sg = 1 + \frac{\sum_{n=0}^{nmax} \left[\text{gewicht}_n \cdot \left(1 - \frac{1}{\text{sgstof}_n \cdot \text{krimpfactor}_n} \right) \right]}{\text{totaalvolume}}$$

eindsg_brixrefracto.xmcd

9.2. afleiding Brix correctiefactor

$$\text{Plato} = \frac{\text{suikergewicht} + \frac{K_{1a}}{K_{1s}} \cdot \text{alcoholgewicht} + \frac{K_{1e}}{K_{1s}} \cdot \text{eiwitgewicht} + \frac{K_{1g}}{K_{1s}} \cdot \text{glycerolgewicht}}{\text{totaalvolume} \cdot \text{SG}} \cdot 100$$

$$\text{Brix} = \frac{\text{suikergewicht} + \frac{K_{a1}}{K_s} \cdot \text{alcoholgewicht} + \frac{K_{a2}}{K_s} \cdot \text{alcoholgewicht}^2 + \frac{K_e}{K_s} \cdot \text{eiwitgewicht} + \frac{K_g}{K_s} \cdot \text{glycerolgewicht}}{\text{totaalvolume} \cdot \text{SG}} \cdot 100$$

$$\text{Brixcorrectiefactor} = \frac{\text{Brix}}{\text{Plato}}$$

$$\text{Brixcorrectiefactor} = \frac{\text{suikergewicht} + \frac{K_{a1}}{K_s} \cdot \text{alcoholgewicht} + \frac{K_{a2}}{K_s} \cdot \text{alcoholgewicht}^2 + \frac{K_e}{K_s} \cdot \text{eiwitgewicht} + \frac{K_g}{K_s} \cdot \text{glycerolgewicht}}{\text{suikergewicht} + \frac{K_{1a}}{K_{1s}} \cdot \text{alcoholgewicht} + \frac{K_{1e}}{K_{1s}} \cdot \text{eiwitgewicht} + \frac{K_{1g}}{K_{1s}} \cdot \text{glycerolgewicht}}$$

Voor alleen suiker en eiwit

$$\text{Brixcorrectiefactor} = \frac{\text{suikergewicht} + \frac{K_e}{K_s} \cdot \text{eiwitgewicht}}{\text{suikergewicht} + \frac{K_{1e}}{K_{1s}} \cdot \text{eiwitgewicht}}$$

$$\text{Brixcorrectiefactor} = \frac{\text{suikergewicht} + \frac{K_{1e}}{K_{1s}} \cdot \text{eiwitgewicht} + \left(\frac{K_e}{K_s} - \frac{K_{1e}}{K_{1s}} \right) \cdot \text{eiwitgewicht}}{\text{suikergewicht} + \frac{K_{1e}}{K_{1s}} \cdot \text{eiwitgewicht}}$$

$$\text{Brixcorrectiefactor} = 1 + \frac{\left(\frac{K_e}{K_s} - \frac{K_{1e}}{K_{1s}} \right) \cdot \text{eiwitgewicht}}{\text{suikergewicht} + \frac{K_{1e}}{K_{1s}} \cdot \text{eiwitgewicht}}$$

aanname dat eiwitgewicht veel kleiner dan suikergewicht geeft versimpeling

$$\text{Brixcorrectiefactor} = 1 + \frac{\left(\frac{K_e}{K_s} - \frac{K_{1e}}{K_{1s}} \right) \cdot \text{eiwitgewicht}}{\text{suikergewicht}}$$

$$K_e := 0.174 \quad K_{1e} := 0.241$$

$$K_s := 0.1415 \quad K_{1s} := 0.384$$

$$\frac{K_e}{K_s} - \frac{K_{1e}}{K_{1s}} = 0.602$$

9.3. Reken procedure extraheerbare suiker-moutspec

```

moutref:=100; { 100g mout referentie gewicht}
volumeref:=1000; {referentievolume meetwort}
MC:=form1.realstr(MCEdit.text);
DBCG:=form1.realstr(DBCGEdit.text);
SP:=form1.realstr(SPEdit.text);
moutdroog:=moutref*(1-MC/100); {drooggewicht mout}
extractsucrose:=moutdroog*DBCG/100; {extractgewicht alsof het sucrose is}

```

```

refracto_sucrose:=form1.refracto(volumeref,extractsucrose,0,0,0); {plato waarde van dit
sucrose extract}
eiwit:=moutdroog*SP/100; {werkelijk eiwitgewicht in de wort na spoelen}
suiker:=75; {startwaarde voor werkelijke extraheerbare suiker in mout }
for n:=0 to 5 do
begin
  refractomout:=form1.refracto(volumeref,suiker,eiwit,0,0);
  suiker:=suiker*refracto_sucrose.plato/refractomout.plato; {pas suiker aan totdat suiker+eiwit
zelfde plato oplevert als sucroseref}
end;
extraheerbaar:=suiker;
eiwitfactorwort:=eiwit;

```

9.4. Determination of the arguments of two functions to get the desired function values

Hans Halberstadt

Sept 2007

In general two functions can be defined as:

$Z1=F1(x,y)$ and $Z2=G1(x,y)$

If one is interested in the values of x and y corresponding with a certain value for $Z1$ and $Z2$ this can be solved by numeric iteration as follows:

Starting with a guess value for x and y gives a function value for $F(x,y)$ and $G(x,y)$. We want to adapt x and y to go to the desired value F_{new} and G_{new} . Therefore we want to know the sensitivity of F and G for variations in x and y . Therefore we can write down the following equation for this sensitivity, using partial derivatives

$$F_{new} = F(x,y) + \frac{d}{dx}F(x,y) \cdot dx + \frac{d}{dy}F(x,y) \cdot dy$$

$$G_{new} = G(x,y) + \frac{d}{dx}G(x,y) \cdot dx + \frac{d}{dy}G(x,y) \cdot dy$$

equation 1

rewriting this gives

$$F_{new} - F(x,y) = \frac{d}{dx}F(x,y) \cdot dx + \frac{d}{dy}F(x,y) \cdot dy$$

$$G_{new} - G(x,y) = \frac{d}{dx}G(x,y) \cdot dx + \frac{d}{dy}G(x,y) \cdot dy$$

equation 2

We can derive the partial derivatives according to the definition:

$$\begin{aligned}
dF_{dx} &\leftarrow \frac{F(x + \text{delta}, y) - F(x, y)}{\text{delta}} \\
dF_{dy} &\leftarrow \frac{F(x, y + \text{delta}) - F(x, y)}{\text{delta}} \\
dG_{dx} &\leftarrow \frac{G(x + \text{delta}, y) - G(x, y)}{\text{delta}} \\
dG_{dy} &\leftarrow \frac{G(x, y + \text{delta}) - G(x, y)}{\text{delta}}
\end{aligned}$$

equation 3

with the limit of delta going to 0

Now we can solve (1) for dx and dy to match the desired Fnew and Gnew using the basic theory for solving sets of linear equations as follows:

$$\begin{pmatrix} F_{\text{new}} - F(x, y) \\ G_{\text{new}} - G(x, y) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{d}{dx} F(x, y) & \frac{d}{dy} F(x, y) \\ \frac{d}{dx} G(x, y) & \frac{d}{dy} G(x, y) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} dx \\ dy \end{pmatrix}$$

equation 4

giving

$$dx = \frac{\begin{vmatrix} F_{\text{gew}} - F1 & dF_{dy} \\ G_{\text{gew}} - G1 & dG_{dy} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} dF_{dx} & dF_{dy} \\ dG_{dx} & dG_{dy} \end{vmatrix}} \quad dy = \frac{\begin{vmatrix} dF_{dx} & F_{\text{gew}} - F1 \\ dG_{dx} & G_{\text{gew}} - G1 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} dF_{dx} & dF_{dy} \\ dG_{dx} & dG_{dy} \end{vmatrix}}$$

equation 5

with

$$\begin{vmatrix} dF_{dx} & dF_{dy} \\ dG_{dx} & dG_{dy} \end{vmatrix}$$

is the determinant of the system matrix and

$$\begin{vmatrix} F_{\text{gew}} - F1 & dF_{dy} \\ G_{\text{gew}} - G1 & dG_{dy} \end{vmatrix} \quad \begin{vmatrix} dF_{dx} & F_{\text{gew}} - F1 \\ dG_{dx} & G_{\text{gew}} - G1 \end{vmatrix}$$

are the determinants of the same matrix, but the first or second column replaced by the vector

$$\begin{pmatrix} F_{\text{new}} - F(x, y) \\ G_{\text{new}} - G(x, y) \end{pmatrix}$$

a mathcad calculation example of this method is given in Figuur 77

```

bepaling(Fgew, Ggew, xstart, ystart, delta) :=
  x ← xstart
  y ← ystart
  F1 ← F(x, y)
  G1 ← G(x, y)
  for n ∈ 0, 1.. 5
    dF_dx ←  $\frac{F(x + \text{delta}, y) - F(x, y)}{\text{delta}}$ 
    dF_dy ←  $\frac{F(x, y + \text{delta}) - F(x, y)}{\text{delta}}$ 
    dG_dx ←  $\frac{G(x + \text{delta}, y) - G(x, y)}{\text{delta}}$ 
    dG_dy ←  $\frac{G(x, y + \text{delta}) - G(x, y)}{\text{delta}}$ 
    dx ←  $\frac{\left| \begin{pmatrix} F_{\text{gew}} - F1 & dF_{\text{dy}} \\ G_{\text{gew}} - G1 & dG_{\text{dy}} \end{pmatrix} \right|}{\left| \begin{pmatrix} dF_{\text{dx}} & dF_{\text{dy}} \\ dG_{\text{dx}} & dG_{\text{dy}} \end{pmatrix} \right|}$ 
    dy ←  $\frac{\left| \begin{pmatrix} dF_{\text{dx}} & F_{\text{gew}} - F1 \\ dG_{\text{dx}} & G_{\text{gew}} - G1 \end{pmatrix} \right|}{\left| \begin{pmatrix} dF_{\text{dx}} & dF_{\text{dy}} \\ dG_{\text{dx}} & dG_{\text{dy}} \end{pmatrix} \right|}$ 
    newF ← F1 + dF_dx·dx + dF_dy·dy
    newG ← G1 + dG_dx·dx + dG_dy·dy
    x ← x + dx
    y ← y + dy
    F1 ← F(x, y)
    G1 ← G(x, y)
  bepaling0 ← x
  bepaling1 ← y
  bepaling2 ← dx
  bepaling3 ← dy
  bepaling

```

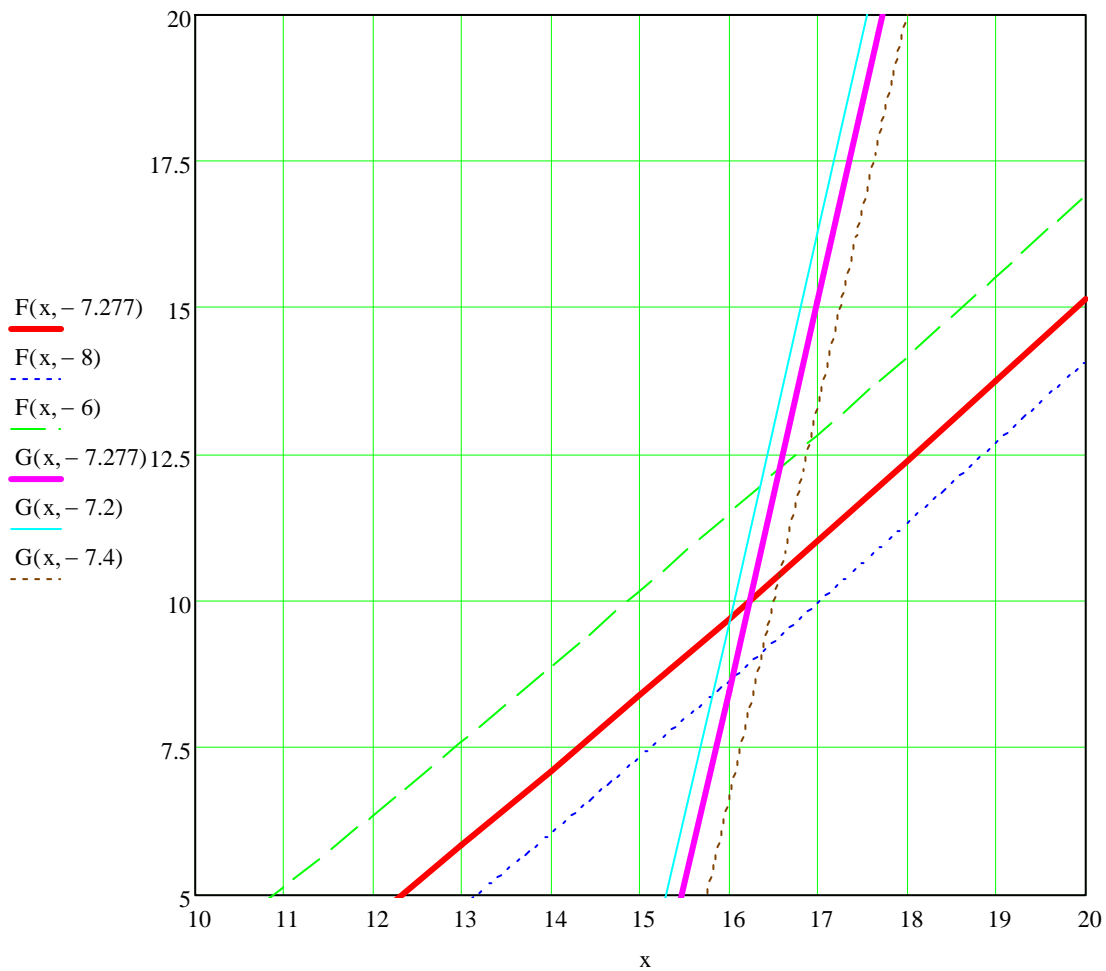
Figuur 77

xstart and ystart are the starting values for the iteration, delta is the deviation for calculating the partial derivatives and Fgew, Ggew are the desired function values. The routine then calculates the x and y values for both functions to match the desired Fgew, Ggew

Example

$$F(x, y) := x + y + 0.01x^2 - 0.03y^2$$

$$G(x, y) := 5x + 10y + 0.05x^2 + 0.03y^3$$



```
uitkomst := bepaling(10,10,0,0,0.00001)
```

$$\text{uitkomst} = \begin{pmatrix} 16.231 \\ -7.277 \\ -3.151 \times 10^{-10} \\ 3.564 \times 10^{-10} \end{pmatrix} \quad \begin{aligned} F(16.231, -7.277) &= 9.99981174 \\ G(16.231, -7.277) &= 9.996721162 \end{aligned}$$

desired value for F and G=10 gives x=16.231 and y=-7.277