Refractometrie vs densitometrie.

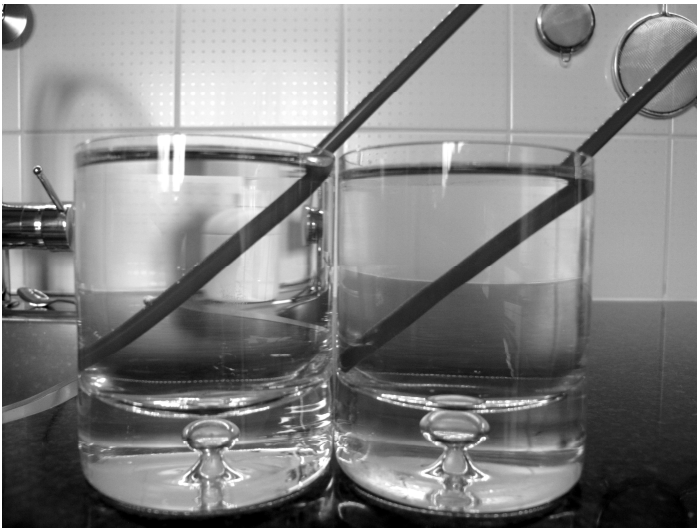
Dit artikeltje is bedoeld als aflevering één in een serie van twee, waarbij we deze keer de natuurkundige principes van de refractometer en de hydrometer onder de loep zullen nemen en in een volgende aflevering hier een praktisch vervolg op zullen geven.

Tijdens het brouwproces zijn er twee zaken, die we gaandeweg graag willen weten, en dus willen meten.
1e De hoeveelheid suiker die tijdens het maischproces ontstaat
2e De hoeveelheid alcohol die tijdens de vergisting ontstaat
Voor deze metingen staan ons twee eenvoudige en goedkope meetinstrumenten ter beschikking: de refractometer en de hydrometer (ook wel areometer genoemd). Beide instrumenten zijn in principe voor beide soorten meting te gebruiken, maar ze maken gebruik van totaal verschillende natuurkundige principes. Daarover hier meer.

De refractometer.

Om de werking van dit uiterst eenvoudige apparaatje te begrijpen moeten we een aantal op zich wel wat ingewikkelde natuurkundige principes de revue laten passeren.

Het kernprincipe van de refractometer is het feit dat waterige vloeistoffen met daarin verschillende concentraties opgeloste stoffen (suiker, alcohol) verschillende brekingsindices hebben.
Om dit te snappen beginnen we bij het verschijnsel breking van licht.
Wanneer lichtstralen onder een bepaalde hoek van medium A naar medium B binnenkomen treedt er een verandering van de richting van de lichtstralen op. De oorzaak hiervan is gelegen in de verschillende snelheden die licht in verschillende media heeft. Vergelijk het met een karretje wat schuin van de weg (A) afraakt in een zachte berm (B). Deze berm werkt remmend: het wiel wat het eerst naast de weg raakt wordt het eerst afgeremd terwijl het wiel, wat nog op de weg rijdt, nog even de oorspronkelijke snelheid aanhoudt. Je snapt dat hierdoor de rijrichting wordt beïnvloed. Op de zelfde wijze wordt licht wanneer het van een minder dicht medium onder een hoek een dichter medium binnentreedt zichtbaar en meetbaar gebroken.
Dit principe wordt op een slimme manier door onze refractometer gebruikt. Vergelijk de rietjes in de twee whiskyglazen op de volgende foto in een huiskamerexperimentje.



Op de linker afbeelding zie je een rietje een schijnbare knik vertonen door de breking van de lichtstralen in een glas water. Op de rechter

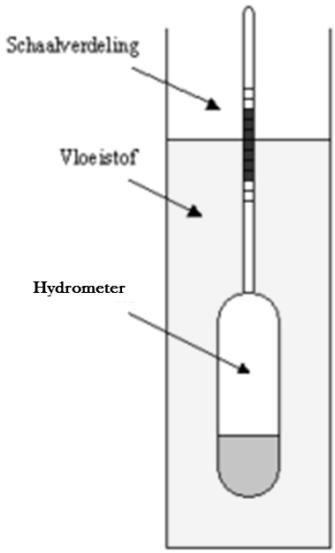
afbeelding precies het zelfde, maar je ziet dat het water wat nu 20% suiker in opgeloste vorm bevat een andere knik/brekingshoek laat zien. De refractometer meet op een slimme manier de brekingshoek en bevat een schaalverdeling waardoor je rechtstreeks het aantal graden Brix (is gelijk aan het aantal grammen opgeloste suiker per 100ml water) af kunt lezen. Tijdens de vorming van suikers in het maischproces is met dit apparaatje één druppel vloeistof van 20ºC voldoende om het suikergehalte af te lezen. In een tabel is dan het SG direct terug te vinden. Tijdens de vergisting voldoen deze tabellen niet meer, omdat de afname van suikergehalte gelijk op gaat met een toenemend alcohol gehalte. Dit werkt elkaar tegen.

(N.B: Voor diegenen die geïnteresseerd zijn in een wat meer gedetailleerde natuurkundige verklaring van de hier beschreven optische fenomenen is er achteraan dit artikeltje een addendum bijgevoegd met een poging tot verduidelijking van deze verschijnselen).

Nee, dan de:

Hydrometer.

Dit apparaat kennen we allemaal. Dankzij de wet van Archimedes weten we, dat de opwaartse kracht die een lichaam ondervindt, wat ondergedompeld wordt in een vloeistof, gelijk is aan de massa van de verplaatste vloeistof. De hydrometer is een soort dobber die drijft in de vloeistof met op de steel een schaalverdeling, die een maat is voor het ondergedompelde volume (= het volume van de verplaatste vloeistof). Om het ding te laten drijven moet de massa van de verplaatste vloeistof gelijk zijn aan de massa van de hydrometer.



De hydrometer heeft een vaststaande massa, dus, wanneer het SG van de vloeistof hoger wordt, zal de hydrometer met zijn massa minder volume kunnen verplaatsen en komt dus hoger te liggen. Hoe lager het SG van de te meten oplossing, hoe dieper de hydrometer weg zal zinken.
Bij het vervolgen van het vergistingsproces is een plezierige samenloop van omstandigheden nu, dat het SG daalt met het verminderen van de suikerconcentratie in de oplossing, en omdat alcohol een lagere soortelijke massa heeft dan water versterkt dit de uitkomst, zodat het soortelijk gewicht gaande de vergisting nog eens extra daalt.
Anders dan bij de refractometer versterken de twee processen: verlaging suikergehalte en verhoging alcoholgehalte, elkaar.
Vooralsnog lijkt een refractometer dus minder geschikt om de uitkomst van de vergisting te volgen. Daarentegen is hij zeer geschikt om het maischproces te volgen.
Met een paar leden van onze club zijn we nu data aan het verzamelen, om te bekijken of er toch niet een lijn in valt te ontdekken, waardoor refractiemeting wel inzetbaar kan zijn voor metingen tijdens de vergisting.
De uitkomst hiervan is nog onzeker en de meningen verschillen, maar we zullen hiervan zeker in een latere editie van dit blad verslag doen.
Wordt vervolgd

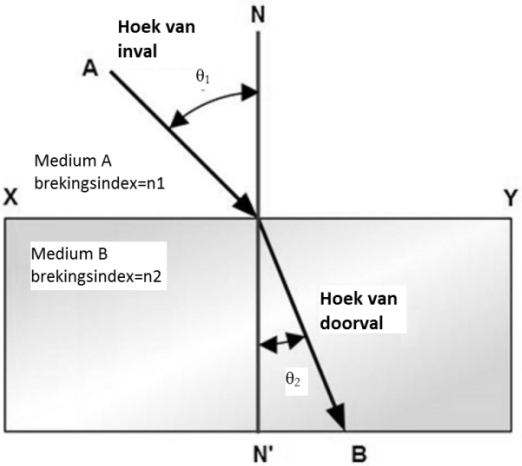
Jan Sikkens

Addendum.

De snelheid van licht in vacuüm is plm 300.000 km/s; in lucht ligt dit een fractie lager (minus 88) maar in glas is het plm 200.000 km/s. De brekingsindex (de mate waarin licht wordt gebroken) wordt in de natuurkunde weergegeven met het symbool n. Voor ieder transparant materiaal volgt deze grootheid n uit de formule $n=c/v$. Oftewel $n.v=c$.
Hierin staat c voor de maximale snelheid van het licht, een magische constante in de natuur, ongeveer 300.000 km/h dus. Dit is overigens ook de c uit $E=m.c^2$.

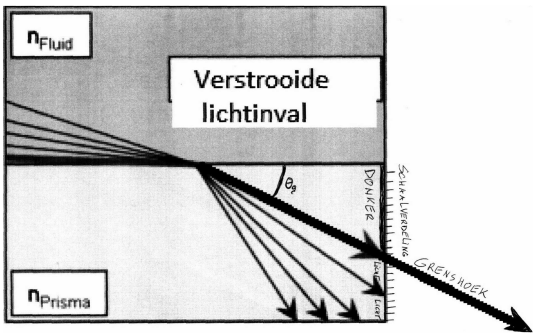
De variabele v staat voor de feitelijke snelheid van het licht in dit medium.
Zo is de brekingsindex van glas uit dit voorbeeld 300.000km/h gedeeld door 200.000km/h =1,5.

De relatie tussen de hoek van inval van een lichtstraal en de hoek van doorval wordt wiskundig weergegeven met wet van Snellius: $n_1 . sin\theta_1 = n_2 . sin\theta_2$, waarbij θ_1 en θ_2 de hoek van inval en de hoek van doorval zijn; n_1 en n_2 zijn de brekingsindices van medium A en medium B.



(Spreek θ uit als: thèta. Grieks dus. *sin* staat voor de sinus van de bedoelde hoek)

Een belangrijk begrip wat de kern is van de bruikbaarheid van de refractometer als instrument is de grenshoek. Licht wat loodrecht op een grensvlak tussen medium A en medium B invalt (θ_1=0º) zal ongebroken doorgaan.



Wanneer we de hoek θ_1 groter maken, zal de hoek van doorval ook toenemen. Bij een θ_1 van 90º bereikt de hoek van doorval θ_2 zijn grenswaarde θ_g. Groter zal hij niet kunnen worden.

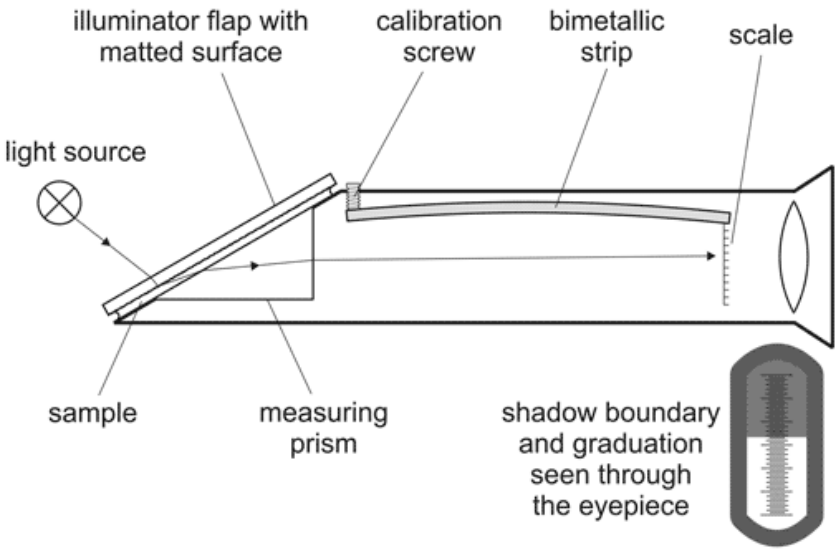
Het gebied tussen θ_2=0º en θ_2= θ_g zal verlicht zijn wanneer het binnentredende licht van alle richtingen komt.
Het gebied tussen θ_2= θ_g en θ_2= 90º zal donker blijven. De grootte van de grenshoek wordt bepaald door de brekingsindex van vloeistofmonster en de brekingsindex van het glas van het prisma in de refractometer.
Deze laatste is natuurlijk constant, zodat de scheidslijn tussen licht en donker die we aflezen een directe maat is voor de brekingsindex van de testvloeistof.
Hoe groter de brekingsindex van het glas ten opzichte van de testvloeistof, hoe groter de grenshoek ("critical angle").

n_1	θ_C
1.3	50.3°
1.4	45.6°
1.5	41.8°
1.6	38.7°
1.7	36.0°
1.8	33.7°
1.9	31.8°
2.0	30.0°

Critical angles for n_2 = 1.0

Oftewel, hoe lager de brekingsindex van de te meten suikeroplossing, hoe groter de grenshoek. In de afleesschaal in de refractometer zit de nulwaarde dan ook onderin. In de tabel hiernaast een paar voorbeelden van grenshoeken bij brekingsindices van medium B t.o.v. medium A oplopend van 1,3 tot 2,0. Ter illustratie: de brekingsindex *n* van water is 1,3330; van het in prisma's gebruikte flintglas 1,60-1,62; van pure alcohol 1,3614.
In de refractometer is alleen de overgang van het vloeistofmonster naar het prismaglas van belang.

Op de overgang van de lucht naar de vloeistof is een kunststof plaatje geplaatst wat gematteerd is, zodat vanaf dit plaatje het licht in alle richtingen verstrooid wordt tot een diffuse achtergrondverlichting. De loop van de lichtstralen door het instrument wordt op de tekening hieronder schematisch weergegeven.



Nu is het zo, dat de brekingsindex van een waterige suikeroplossing vrij lineair correleert met de concentratie van de opgeloste suikers. Het maakt ook niet eens zoveel uit, welke suikersoorten in de oplossing zitten (monosacchariden, disacchariden), ze hebben allemaal per gewichts% evenveel invloed op de brekingsindex van de oplossing. Uitgaand van dit gegeven is er een aantal schaalverdelingen voor de refractometer ontwikkeld, waarvan Brix de bekendste is. Het aantal graden Brix geeft het aantal grammen opgeloste suiker per 100 ml.
Overigens: dit alles bij 20ºC; de exacte meting is afhankelijk van de temperatuur, de golflengte van het doorvallende licht en zo nog het e.e.a. Dit laten we hier buiten beschouwing.
Tijdens het maischproces stijgt de concentratie van de suikers in de oplossing, de brekingsindex neemt toe, het verschil in brekingsindex met het glas neemt af, en de hoek θ neemt dus toe. Dat deze verschillen in de brekingshoek aanzienlijk zijn, hebt u in de voorgaande tabel kunnen zien.
In de praktijk betekent het bovenstaande, dat één druppel vloeistof van 20ºC binnen een paar seconden een betrouwbare maat oplevert voor de

suikerconcentratie. Het aantal graden Brix correleert ook zeer strak met het SG van een suikeroplossing. Er zijn, zoals reeds in het voorgaande gemeld werd, tabellen om het SG uit het aantal graden Brix af te leiden.

Lastiger wordt het wanneer we met de refractometer willen bepalen waar we staan tijdens de vergisting. In de loop van de vergisting daalt de suikerspiegel en daalt dus de brekingsindex. Echter, de hoeveelheid alcohol in de oplossing stijgt, en daarmee stijgt weer de brekingsindex. Dit zijn dus twee processen die elkaar bij deze meting tegenwerken. (Immers: de brekingsindex van alcohol is zelfs hoger dan die van water! Zie de tekst hiervoor)

Misschien dat het toch gaat lukken om een bruikbaar verband tussen graden Brix en SG tijdens de voortgang van de vergisting te vinden. We zullen zien.

www.foksuk.nl