Industriële Wetenschappen

Ontwerp van een brouwinstallatie

Mentoren:

D. Vansteenlandt

K. Werbrouck

K. Geeraert

D. Goethals

T. Vandenbulcke

Leerlingen:

Lucas Allemeersch

Camille Deceuninck

Thibault Degomme

Mathias Demuyt

Lars Denys

Emile De Vreese

Xander Devriendt

Raf Dewulf

Bas Goethals

Mylan Verhoye

DOSSIER GEINTEGREERDE PROEF 2017-2018

VRIJ TECHNISCHE INSTITUUT St. Aloysius| Papebrugstraat 8A | 8820 TORHOUT

e-mail: vti@sint-rembert.be | website: http://www.sint-rembert.be/vti

Voorwoord

Als leerlingen van 6e Industriële Wetenschappen kregen wij vorig jaar de opdracht een GIP te realiseren. Al snel vonden we het geschikte onderwerp: een brouwinstallatie.

Gelukkig kregen we heel wat steun bij de realisatie van deze installatie. Daarom willen we graag deze mensen bedanken. Eerst en vooral bedanken we onze leerkrachten. Zonder hen was deze GIP een enorm zware opgave geweest. Door hun visie en kennis kregen we toch vaak een duwtje in de goede richting. Veel lesuren offerden zij aan onze GIP op.

Graag willen wij ook Peter Verlinde bedanken. Hij is de brouwer voor wie we deze installatie maken. Zonder hem geen brouwinstallatie en dus ook niet de GIP waar we dit jaar aan gewerkt hebben.

We kregen ook veel hulp van externen. Denk maar aan de juryleden die ons tips meegaven tijdens de juryvergaderingen. Maar ook de bedrijven die ons enthousiast hun bedrijf voorstelden. Zij hebben hun deuren opgezet voor ons en hebben hun kennis en ervaring met ons gedeeld. Een speciaal woord van dank aan Co&CO, Packo en Gillain en Co voor hun medewerking. Zij bezorgden ons verschillende onderdelen gratis en verwerkten die zelfs voor ons. We danken ook ARDO voor het lassen van het wort- en watercircuit.

Inhoudsopgave

Voorwoord 2
1. Inleiding 6
2. Voorstudie 7
2.1 Brainstormen 7
2.2 Brouwproces 9
2.2.1 Mouten 9
2.2.2 Schroten 9
2.2.3 Maischen 9
2.2.4 Klaren 10
2.2.5 Koken 10
2.2.6 Filteren na het koken 11
2.2.7 Koelen 11
2.2.8 Vergisten 11
2.2.9 Lageren 12
2.2.10 Filtering, pasteurisatie of direct op fles 12
2.2.11 Op fles of op fust (vat) 12
2.3 Bedrijfsbezoeken 13
2.3.1 Bezoek brouwerij Maenhout 13
2.3.2 Verslag brouwerij De Meester 17
2.3.3 Verslag brouwerij De Leite 18
3. Mechanische studie 20
3.1 Kar 20
3.1.1 Ontwerp 20
3.1.2 Leidingen en verbindingen 22
3.1.3 Wielen 24
3.2 Maischketel 25
3.2.1 Ontwerp 25
3.2.2 Bedrijfsbezoek Co&Co 26
3.2.3 Lassen 27
3.3 Kookketel 32

3.4 Pomp 35
3.4.1 Soorten pompen 35
3.4.2 Bedrijfsbezoek Packo 39
3.4.3 Keuze pomp 40
3.5 Warmtewisselaar 41
3.6 Materialenstudie 42
3.6.1 Inox 42
3.6.2 Oppervlakteruwheid 46
4. Elektrische studie 48
4.1 Boiler 48
4.2 Bezoek Detroit 51
4.3 Motor roerder 53
5. Elektronische studie 66
5.1 Blokschema 66
5.2 Arduino 67
5.3 Sensoren 68
5.3.1 Doel 68
5.3.2 Type 69
5.4 Regeling maischproces 73
5.4.1 Wat is het juist? 73
5.4.2 Nieuwe firmware voor de STC-1000 73
5.4.3 Communicatie tussen Arduino en STC-1000? 74
5.5 Ethernet Shield 75
6. Wetenschappelijke studie 80
6.1 Chemie 80
6.1.1 Water 80
6.1.1.1 Soorten water 80
6.1.1.2 Chemische opbouw van water 82
6.1.1.3 Parameters 84
6.1.2 Zuurtegraad 88
6.1.3 Alcoholpercentage 89
6.1.4 Elektrolytisch reinigen 93

6.2 Biologie 94
6.2.1 Gerst 94
6.2.2 Mout 95
6.2.3 Gist 100
6.2.4 Hop 106
6.2.5 Toevoegingen 107
6.3 Biochemie 108
6.3.1 Saccharide 108
6.3.2 Enzymen 112
6.3.3 Maillardreacties 122
6.3.4 Eiwitbreuk 123
6.3.5 Schuim 123
6.4 Hygiëne 124
6.4.1 Algemene principes 124
6.4.2 CIP 125
6.4.3 Reinigingsproducten 125
6.4.4 Desinfecteren 125
7. Veiligheid 126
7.1 Voedselveiligheid 126
7.1.1 Wetgeving 126
7.1.2 GHP 126
7.1.3 HACCP 128
7.1.4 Traceerbaarheid 129
7.1.5 Meldingsplicht 129
7.2 Gevaren 130
7.2.1 Microbieel 130
7.2.2 Fysisch 130
7.2.3 Chemisch 131
8. Evaluatie - besluit 133
9. Figuren 134

1. Inleiding

Een GIP is het eindwerk om jezelf te bewijzen op het einde van het secundair. Vorig schooljaar dachten we al na over een mogelijk onderwerp. Er waren meerdere mogelijkheden, maar er was meteen een grote interesse voor de brouwinstallatie. Bij het begin van dit schooljaar kwamen we tot de conclusie dat we aan de brouwinstallatie met de volledige klas zouden moeten werken, anders zou die hoogstwaarschijnlijk niet klaar zijn op het einde van het schooljaar. Uiteindelijk zijn we dan begin september met de volledige klas begonnen aan de brouwinstallatie. Doordat de installatie ook effectief zal gebruikt worden, zijn we ook vastberaden om het project tot een goed eind te brengen.

Een brouwinstallatie kost vandaag de dag handenvol geld, de brouwer wil dus een kwalitatieve installatie die betaalbaar is. Dergelijke installaties worden in de praktijk in verschillende volumes gemaakt, op maat van de klant. Dit soort installaties zorgen ervoor dat een brouwproces automatisch of semiautomatisch een bier kan brouwen dat altijd hetzelfde smaakt. Na iedere brouwbeurt van hetzelfde bier willen we een identieke smaak, daarom moet het brouwproces heel goed gecontroleerd worden. Deze GIP heeft ons veel geleerd over het brouwproces en de mogelijkheden die er zijn om bier te brouwen. Daarnaast hebben we ook geleerd hoe het is om in team een product af te werken.

2. Voorstudie

2.1 Brainstormen

In het begin van dit schooljaar besloten we om voor de brouwinstallatie te gaan. Om te verifiëren wat hier allemaal bij komt kijken, deden we een korte brainstorm. Hierdoor kregen we ook al een idee van hoeveel aparte domeinen er moesten verdeeld worden in de klas. Zo kreeg iedereen zijn/haar onderdeel waar ze het meest in uitblinken of geïnteresseerd in zijn. We maakten mindmap op het bord en verdeelden zo de taken.

Figure 2-1 takenverdeling brainstorm

Tot het brouwproces behoren de chemie, biologie, biochemie en de voedselveiligheid. Het bestuderen van het brouwproces werd in het begin door iedereen gedaan om zo een idee te krijgen wat onze installatie moet kunnen. Het in detail bestuderen van het brouwproces wordt gedaan door Camille, Thibault, Xander en Raf, die er later nog bijkwam.

Wat de installatie zelf betreft, kunnen we enkele takken onderscheiden. Alle personen die niet meewerken aan het brouwproces, zetten zich in voor de studie en realisatie van de installatie. Tot de elektrische componenten behoort alles wat met elektriciteit te maken heeft. Denk maar aan de verwarmingselementen, motoren voor de roerder en pomp en kleppen. Deze elektrische componenten moeten ook aangestuurd worden. Voor de aansturing kozen we al snel voor een Arduino. Een Arduino is niet zo duur en opent een waaier aan mogelijkheden. Daarbij komt ook dat we in het zesde jaar ook les krijgen over Arduino, dus dit was al mooi meegenomen. Zo konden we de theorie gemakkelijk aan de praktijk koppelen. Dit geldt ook voor het elektronische gedeelte om de elektrische componenten aan te sturen.

Zonder een installatie kunnen we de elektrische onderdelen ook niet plaatsen. Er moest dus ook een ontwerp gemaakt worden, dit houdt in dat een constructie moest ontworpen worden om de ketels en andere componenten op te plaatsen. Doordat we met vloeistoffen werken, hebben we ook nood aan een buizenstelsel dat de vloeistof kan transporteren. Dit valt onder 'sanitair'.

Voor de brouwinstallatie moest er ook een kostprijs berekend worden en een stukkenlijst opgemaakt worden. Hierbij werden alle componenten opgelijst en ook de kosten die hieraan verbonden zijn.

Naast dit alles hebben we ook nog een website namelijk "gip6iw.be". Deze website toont onze vooruitgang en onze activiteiten in verband met onze GIP. Er werden twee ontwerpen gemaakt. Aan de hand van de tips van de jury en de installaties die we zagen op bedrijfsbezoeken, stelden we een definitief ontwerp samen.

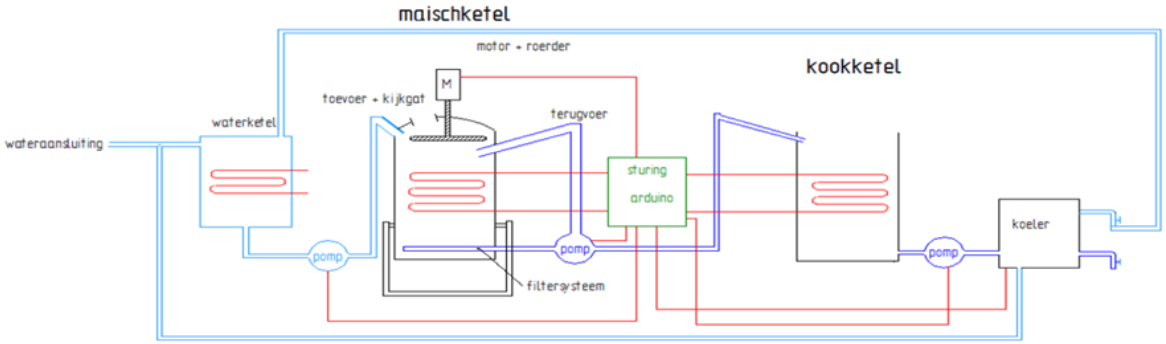


Figure 2-2 bierbrouwinstallatie voorstel 1

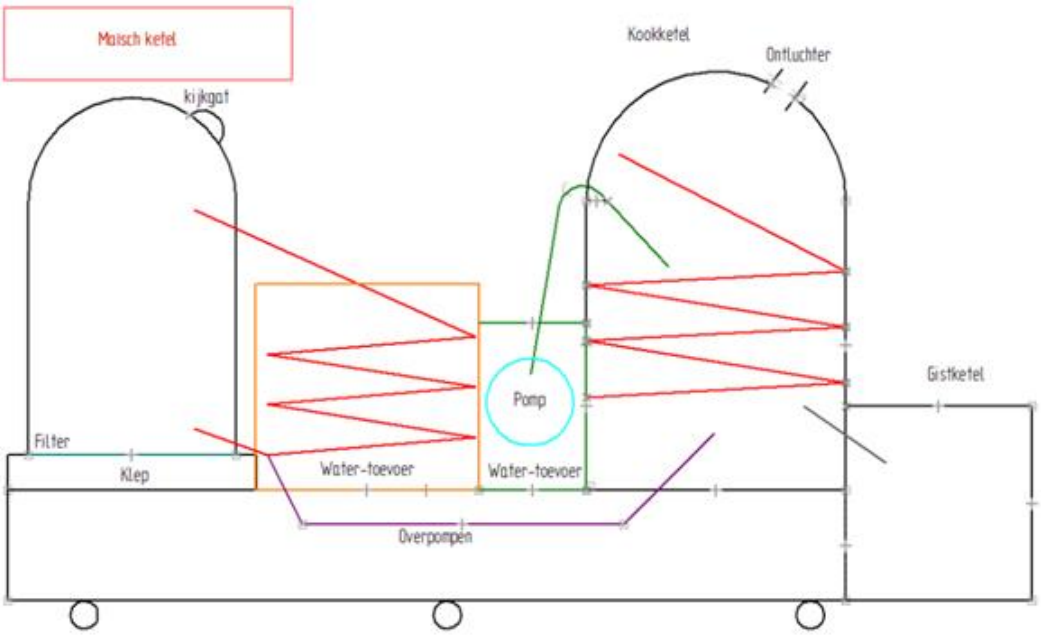


Figure 2-3 bierbrouwinstallatie voorstel 2

2.2 Brouwproces

2.2.1 Mouten

Het productieproces van mout heet mouten en vindt plaats in een mouterij. Kort verteld gaat het om het ontkiemen en vervolgens drogen van graankorrels. Bij het ontkiemen van het graan ontstaan er enzymen. Deze enzymen zetten het zetmeel dat aanwezig is in het graan gedeeltelijk om in vergistbare suikers. Als de gewenste verhouding tussen enzymen en zetmeel is bereikt, wordt het ontkiemingsproces gestopt en het zo ontstane groenmout gedroogd (het zogenaamde eesten). Later in het brouwproces, tijdens het maischen, wordt het zetmeel verder omgezet in suikers, en die worden op hun beurt (gedeeltelijk) omgezet in alcohol.

Er bestaan verschillende soorten mout. Deze verschillen zijn afhankelijk van de droogmethode: hoe langer de verhitting en hoe hoger de temperatuur, hoe donkerder het mout (en vervolgens ook het bier) zal worden. Dit wordt gemeten in EBC, waarbij de kleur van het malt vergeleken wordt met de kleur die ontstaat bij verschillende concentraties jodium in water.

2.2.2 Schroten

Schroten is het malen of pletten van mout. Vroeger gebeurde dat op een moutmolen.

Om bier te kunnen brouwen is het nodig om de gebruikte moutkorrels te breken, een moutkorrel is namelijk vrij hard. Door de korrel te breken kan het daarin aanwezige zetmeel beter oplossen in het brouwwater. Het zetmeel kan dan vervolgens worden afgebroken tot suiker die de gist opnieuw omzet in alcohol.

Het is bij het schroten belangrijk dat het kaf intact blijft. Uit het kaf komt namelijk (als het fijn vermalen is) veel tannine vrij, die het bier een wrange, bittere smaak geeft. Verder is het kaf ook van belang tijdens het filteren van het wort. Het zetmeel moet wel zo fijn mogelijk verdeeld worden, want dan lost het beter op. Mout wordt daarom niet fijn gemalen, maar heel grof gemalen of met speciale walsmolens (schrootmolens) platgewalst. Dat proces noemt men schroten.

2.2.3 Maischen

Maischen is een groot woord voor het verwarmen van de geschrote mout. Tijdens dit proces komen enzymen vrij die het aanwezige zetmeel in het geschrote mout omzetten in vergistbare en onvergistbare suikers, wat later in het proces zorgt voor de alcohol en voor de zoetigheid!

Een eerste stap is een ketel met water vullen en het water verwarmen tot ongeveer 55°C. Pas als het water de aangegeven temperatuur bereikt heeft, voeg je de mout toe en na toevoeging van de mout heet het ‘water’ beslag. Het beslag kun je regelmatig, maar rustig roeren zodat de temperatuur overal gelijk is en dit hou je 15 minuten aan. Je mag er ook niet te hard in roeren omdat er anders meer zuurstof in het beslag komt wat oxidatie tot gevolg heeft en dat is nefast voor de smaak van het bier.

Na een kwartier verwarm je het beslag tot ongeveer 65°c, hierbij wordt het zetmeel omgezet in vergistbare suikers, dat zorgt voor alcohol. Dit gaat aan een snelheid van ongeveer 1°C per minuut. Ook nu roer je in het beslag en dit laat je rusten gedurende een uur.

Tenslotte verwarm je het beslag tot ongeveer 78°c, hierbij wordt het zetmeel omgezet in onvergistbare suikers dat zorgt voor de zoetigheid van het bier. Dan laat je het 15 minuten rusten, ook nu blijf je roeren. Gedurende het maischproces hou je de PH op 5.50.

Het wort en de draf worden na het maischen gescheiden door een filtratie.

2.2.4 Klaren

Na het maischen blijft er een suikerrijke vloeistof over met sporadisch ronddrijvend vaste bestanddelen. Die vaste bestanddelen gebruikt men niet voor het bier, men filtert dat. Als men het bier filtert, blijft er een niet-oplosbaar moutafval over, ook wel draft of mout genoemd. Omdat de draft nog een suikerrijk beslag is, giet men rustig nog wat warm water door de natuurlijke filter. Zo komen er nog wat suikers in het bier terecht. Wanneer dit erop zit, zal men de draft verwijderen en die wordt dan afgeleverd in een melkveehouderij omdat draft een grote eiwitbron is. De vloeistof die nu nog overblijft, is wort. Dat is de basis van het bier, het bevat zowel vergistbare als onvergistbare suikers.

2.2.5 Koken

Na het klaren wordt het wort gekookt. Het koken vervult drie functies: het stoppen van de werking van de enzymen, het isomeriseren van de toegevoegde hop en het steriliseren van het water. Vroeger werd de hop in de vorm van gedroogde bloembellen toegevoegd, maar tegenwoordig kan ook voor geconcentreerde stroop (hopextract) of poeder (hoppellets) gekozen worden. De hopbellen zijn doorgaans aromatischer dan hopextract en zullen in het eindproduct nadrukkelijker aanwezig zijn. Hoe meer hop er wordt gebruikt, hoe bitterder het bier en des te meer hoparoma aanwezig is in het bier. Hop zorgt echter niet alleen voor de bittere smaak van bier, maar ook voor een stabiele schuimkraag en de betere conservering, en niet te vergeten het specifieke aroma van het bier. Tevens zorgen het kookproces en de hop ervoor dat een groot deel van de in het wort aanwezige eiwitten uitvlokken en uitgefilterd kunnen worden. Door het gedeeltelijk verdampen van het water stijgt de concentratie suikers (het zogenaamde stamwortgehalte): het bier wordt voller en zwaarder. De hop of hopproducten moeten gekookt worden, anders worden de bitterstoffen en het hoparoma niet vrijgegeven in het wort. Dit heet het isomeriseren van de alfa- en bètazuren. De geïsomeriseerde alfazuren en bètazuren smaken bitter, de niet-geïsomeriseerde alfazuren en bètazuren smaken niet bitter.

2.2.6 Filteren na het koken

De uitgevlokte eiwitten en de resten van de hopbellen moeten na het koken weer uit het bier gefilterd worden. Daarom wordt de vloeistof gezeefd of gecentrifugeerd. Indien het wort gezeefd wordt, dan doen de hopbellen ook dienst als een natuurlijke filter.

2.2.7 Koelen

Na het koken dient het wort afgekoeld te worden tot zo'n 20-25 °C om de gist eraan toe te voegen. Dit moet snel gebeuren om de oxidatie van het bier tegen te gaan. Oxidatie is eigenlijk de zuurstof die aan het bier wordt blootgesteld en dat zorgt voor een 'ijzerige' smaak die bij hogere temperaturen sneller gaat dan bij lagere temperaturen.

Alle voorwerpen die met het wort in contact komen, dienen ook steriel te zijn.

Dus je moet werken met heel nette en zuivere materialen. De ketel wordt afgedekt met een passend deksel om infectiegevaar vanuit de lucht zoveel mogelijk te voorkomen.

2.2.8 Vergisten

Nadat het wort is gefilterd, wordt het gekoeld. De koeltemperatuur is van belang: deze is laag (ongeveer 5 graden) indien een Saccharomyces Carlsbergensis-type gist of wel een ondergistende gist wordt gebruikt, dan duurt de gisting langer en is het resultaat een bier van het type lager of pils. Wordt het bier niet verder afgekoeld dan tot kamertemperatuur dan gaat de gisting veel sneller, dit wordt gedaan bij een bovengistend of Saccharomyces Cerevisiae-type gist en resulteert in een biertype ale, zoals de Belgische speciaalbieren en de Engelse bieren.

Na het koelen worden gist en lucht toegevoegd. De toevoeging van lucht is noodzakelijk voor een snelle vermeerdering van de gistcellen die voor hun reproductie zuurstof nodig hebben. De vergistbare suikers uit het wort worden tijdens deze hoofdgisting omgezet in alcohol, koolzuurgas en smaakstoffen, afhankelijk van het succes van een goede gisting. Problemen gedurende de gisting zoals verandering van temperatuur zullen ertoe leiden dat de cyclus van omzetting tot suikers wordt verbroken en zodoende "bijproducten" zoals diacetyl worden gevormd die onaangename aroma's (b.v. boter- en uiengeur) produceren.

Na de gisting is er niet langer sprake van "wort", "vloeistof" of "moutpap": eindelijk heet het bier. Bier (type lager) dat één keer gegist is, wordt jongbier genoemd: een tussenproduct met weinig smaak en nauwelijks koolzuur.

2.2.9 Lageren

Eens het brouwsel is uitgegist, spreken we van jong bier en dat zetten we op keldertemperatuur. Na een tweetal dagen hevelen we het over in een ander steriel vat om het te scheiden van het grootste gedeelte van de gist en reeds bezonken eiwitten en onzuiverheden. We laten het jonge bier gedurende minstens 10 tot 14 dagen onder waterslot verder koel staan, op bv. keldertemperatuur. Een gedeelte van de nog niet-vergiste, maar wel vergistbare suikers zullen eventueel verder omgezet worden in alcohol en koolzuurgas. Nog meer gist en eiwitten zullen uitvlokken en een aantal ongewenste aromacomponenten zullen ontsnappen.

→Lagering verbetert ook de schuimstabiliteit van het bier.

2.2.10 Filtering, pasteurisatie of direct op fles

Veel bier wordt, voorafgaand aan het bottelen, nog eens gefilterd. Zo wordt de gist verwijderd en ontstaat een helder bier. Veel consumenten geven de voorkeur aan een gefilterd bier. Gefilterd bier heeft geen smaakevolutie op de fles. De consument kan dus vertrouwen op de smaak die hij van het bier gewoon is. Hetzelfde geldt voor pasteurisatie, dat als bijkomend voordeel heeft dat het bier langer houdbaar is. Niet elke bierliefhebber geeft de voorkeur aan gefilterd bier. Ongefilterde bieren hebben vaak een meer gelaagde smaak en meer karakter. Veel witbieren worden niet gefilterd, wat voor de typische troebele kleur zorgt. De meeste zwaardere bieren, zoals de bekende trappisten, worden evenmin gefilterd en hebben een nagisting op de fles. Dat hoeven niet altijd zwaardere bieren te zijn, want in Engeland en Amerika worden bieren met 5 tot 6% alcohol geproduceerd met nagisting op de fles, waarbij het bier wel gefilterd wordt, maar daarna wordt een speciale gist toegevoegd. Vergelijk ook Cantillon Geuze en Orval die beide met de zeer langzame gist Brettanomyces worden verwerkt. Vele van deze bieren op de fles worden dan eigenlijk gedecanteerd voordat men ze drinkt, terwijl andere consumenten het graag met de gist erin drinken. Voordat hij filtert, kan de brouwer ook nog andere keuzes maken. Sommige brouwers kiezen ervoor het gerijpte bier te mengen met een jongbier, om een meer gelaagde smaak te krijgen of ze voegen nog andere ingrediënten toe, bijvoorbeeld vruchten (krieklambiek). Soms wordt ook nog wat suiker toegevoegd.

2.2.11 Op fles of op fust (vat)

Bier wordt gebotteld of op een fust (vat) gedaan. Fusten zijn populair in cafés: veel consumenten geven de voorkeur aan een getapt bier. Getapt bier is frisser, bruisender en helderder, heeft vaak ook meer smaak en heeft geen kans om geoxideerd te worden in het licht of de zon zoals sommige flessenbieren. De zwaardere bieren worden vooral op fles gewaardeerd en veel zware bieren zijn niet eens van het fust te verkrijgen.

2.3 Bedrijfsbezoeken

2.3.1 Bezoek brouwerij Maenhout

Dinsdag 12 oktober 2017 zijn we met de hele klas met de fiets vertrokken in het kader van ons laatste brouwerijbezoek naar brouwerij Maenhout. Een bezoek van ruim 2 uur.

Figure 2-4 minibrouwinstallatie

Brouwerij Maenhout, gelegen te Pittem, brouwt artisanale bieren. Het bedrijf werd eind 2009 opgericht door Thijs Maenhout en Birgit De Rammelaere in de voormalige bedrijfsgebouwen van de bouillonfabriek Gerdox.

Ze startten toen met een tweedehands brouwinstallatie met een capaciteit van 5 hectoliter.

Bottelen en etiketteren gebeurde op dat ogenblik nog volledig handmatig.

In 2014 verhuisde de brouwerij naar Pittem. Ze hebben toen beslist om uit te breiden en het brouwproces te automatiseren. Begin 2015 werd de nieuwe brouwerij met een capaciteit van 1200 hectoliter actief. Er werd tevens geïnvesteerd in een bottellijn. Om nieuwe bieren te bedenken, hebben ze ook nog een testinstallatie van 60 liter.

Bij de brouwerij hoort ook nog een proefzaal. Dit alles om tijdens het weekend de mensen hun bieren te laten proeven en te kopen, maar ook om groepen te ontvangen voor een brouwerijbezoek. Tijdens het bezoek kregen we ook nog wat vakkundige uitleg betreffende de chemie van het brouwen, geschiedenis van het brouwen en nog wat enkele interessante opmerkingen en weetjes.

De chemie van het brouwen

Om bier te brouwen heb je de volgende zaken nodig: water, hop, gist en mout.

Je hebt verschillende soorten mout namelijk: de gewone pilsmout, broeimout, karamelmout, geroosterde mout. De verschillende soorten geven elk een speciaal effect aan het bier. In die mout zitten veel zetmeel en enzymen. Die enzymen zorgen tijdens het maischproces dat het aanwezige zetmeel wordt omgezet in vergistbare en onvergistbare suikers die zorgen respectievelijk voor de alcohol en de zoetigheid van het bier.

De hop zorgt voor de bittere smaak en het aroma en dient tijdens het kookproces te worden toegevoegd.

Lupuline is een bittere, gele stof die uit de vrouwelijke hopplant wordt gewonnen. Het is het werkzame bestanddeel uit hop dat bier langer houdbaar maakt en zijn bittere smaak geeft. Lupuline is enkel aanwezig bij vrouwelijke planten dus worden er enkel vrouwelijke planten gekweekt. Volgens een wet uit 1971 is in België de kweek van mannelijk hopplanten binnen een straal van 5 kilometer rond een plantage met vrouwelijke hop zelfs verboden. Dit om bevruchting te voorkomen: de daaruit resulterende zaadjes in de vrouwelijk hopbelletjes bevatten vetten en oliën die een nadelige werking hebben op de schuimvormende kwaliteit in het bier.

Hop wordt uitsluitend geteeld van de 35ste tot de 55ste breedtegraad, dit aan beide zijden van de aardbol. Dit komt doordat op die plaatsen de stand van de zon ideaal is. De belangrijkste producenten van hop zijn Duitsland, Polen, Tsjechië, het Verenigd Koninkrijk, de Verenigde Staten en Zuid-Afrika. In België wordt er hop geteeld in de streek rond Poperinge en rond Asse-Aalst .

De hop wordt geplant rond maart, april de hopscheuten worden manueel rond een hopdraad gebonden en de planten groeien rechtsdraaiend rond de draad (met de zon mee). De hopplanten bereiken een hoogte van zo'n 7 à 8 meter. Eind augustus wordt de hop geoogst. De volledige rank wordt van het veld gehaald en wordt binnen gestript, vervolgens worden de bladeren weggeblazen. De hopbellen worden dan gedroogd. De hopbellen worden dan meestal in korrels geprest om dan vervolgens in te vriezen. Bij het brouwen gebruikt men zo'n 7 kg hopkorrels in 2000 liter brouwsel.

Men gebruikt bij het brouwen soms ook kruiden zoals koriander.

Sturing van de brouwinstallatie

De brouwerij wordt grotendeels elektrisch gestuurd. De brouwinstallatie is verbonden met een computer waarmee de brouwer zijn brouwschema instelt. Het volledige systeem wordt gestuurd met een PLC, die met profibuskabels aangesloten is op verschillende automaten en frequentieregelaars die het toerental van de pompen en motoren regelen. De motoren draaien op een frequentie van 20-30 Hz. De temperatuur wordt met een PTC 100-sensor gemeten. Deze sensor is bevestigd aan de zijkant van iedere tank en wordt onder een hoek naar beneden toe geplaatst om geen restanten te laten aankleven. Om de temperatuur juist in te stellen wordt er gebruik gemaakt van een PID-regeling, die regeling gaat uit van de ingestelde temperatuur en de gemeten temperatuur. Als het wort naar de kookketel vertrekt, gaat het eerst nog naar een massadebietsensor. Die meet hoeveel suiker er aanwezig is en bij-gevolg dus de plato. Een differentiële drukmeter meet de druk van het wort dat nog door het filterbed moet en wanneer het wort er net door is. Hieruit kan hij dan concluderen dat het natuurlijk filterbed slibt en de vloeistof er dus moeilijker kan passeren.

Figure 2-5 Belimo 5 aandrijving

Figure 2-6 ptc 100

In de installatie waren de meeste kleppen handmatig te bedienen. Enkele kleppen waren elektrische kleppen. De bedoeling is wel om op termijn alles te automatiseren. En de brouwer denkt er dan wel aan om met pneumatische kleppen te werken, omdat die krachtiger zijn. Alles wordt overgepompt door 2 pompen: een werkende pomp en een reservepomp. De brouwer werkt met een centrifugaalpomp, maar als hij zou mogen kiezen zou hij met een verdringerspomp werken, zodat het mout minder beschadigd wordt.

De opbouw van de brouwinstallatie

Het schroten gebeurt in dit bedrijf in een aparte ruimte die voorzien is van een schroter. De schroter werkt als volgt: 2 rollen liggen op de ingestelde afstand van elkaar zodat het pelletje van de mout gebroken wordt. Deze gebroken mout wordt dan met behulp van een lange buis met vijzel getransporteerd naar de maischketel.

De gebroken moutpellen worden dan toegevoegd aan de ketel. Toevoeging van warm water zorgt ervoor dat het chemische proces zijn gang kan gaan. Stoom (120°C), die door de twee wanden van de ketel stroomt, verwarmt deze substantie. Daarna volgt een pH-meting aan de hand van een staal dat wordt genomen en getest met behulp van een indicator. Als de pH te laag is, voegt de brouwer wat melkzuur toe zodat de pH zich rond 5,4 bevindt. Alles wordt ook goed geroerd door een stevige roerder die ongeveer 1 à 2 toeren per minuut draait.

Als het proces klaar is, laat de brouwer het wort weglopen om het later over te pompen naar de kookketel. Eerst loopt de vloeistof door een filterbed dat in een warmwaterbad staat. Belangrijk aan de filter is dat als je 120 kg mout wil filteren, je minstens een filteroppervlak van 1m^2 nodig hebt. Tussen de buizen die naar de kookketel lopen, bevindt er zich ook nog een kijkcilinder. Hier kan de brouwer zien of het bier te troebel is en heeft hij de mogelijkheid om het nog eens terug door het filterbed te laten gaan.

Als al het wort weglopen/overgepompt is, verwijdert de brouwer de moutpellen met behulp van een luik aan de zijkant van de ketel dat gesloten wordt door schroefdraad en dat gedicht is met een rubberen band. Alles wordt dan nog eens nagespoeld met warm water.

Alles wordt later overgepompt naar de kookketel die ook verder verwarmd wordt door stoom. Om alles af te koelen gebruikt de brouwer een platenkoeler met twee niveaus. Dit heeft wel als nadeel moeilijk te reinigen zijn. In deze platenkoeler wordt het eerste deel gekoeld met gewoon leidingwater naar 20°C, in het tweede deel met ijswater naar de gewenste temperatuur. Het alternatief is een buizenkoeler. Die heeft als nadeel meer ruimte in beslag te nemen, maar als voordeel dat die niet zo moeilijk te reinigen is.

Er zit ook nog een Whirlpool in de kookketel, deze zorgt dat de nog aanwezige restanten naar beneden worden getrokken en zo verwijderd kunnen worden.

Bij deze installatie loopt niet alles vlekkeloos. Ze ondervinden soms ook wel eens problemen. De meest voorkomende problemen zijn kapotte kleppen of de filtratie die al eens minder vlot verloopt.

Enkele interessante weetjes en opmerkingen

- De hele installatie moet steriel zijn om de voedselveiligheid te garanderen.
- Chloor in het water kan problemen veroorzaken, dit kan je oplossen door het water te laten voorkoken.
- 2 à 3 liter water nodig voor 1kg mout.
- Hoekjes en kantjes voorkomen, die bemoeilijken het reinigen van de installatie.
- Vermijden dat een vloeistof stilstaat, want dit zorgt voor verontreiniging in de installatie.
- Béta-analyse breekt de buitenkant van de pellen af.
- Alpha-analyse breekt de pellen af, dit gebeurt ook sneller dan Béta-analyse.

De geschiedenis van het brouwen

Vroeger mochten er geen kruiden gebruikt worden omwille van het Reinheitsgebot. Het Reinheitsgebot (reinheidsgebod of zuiverheidsgebod) is een Duitse regeling die haar oorsprong vindt in het hertogdom Beieren in 1516. Dit gebod geldt als de oudste warenwet ter wereld.

Volgens het Reinheitsgebot mocht bier alleen gemout gerst, water en hop bevatten. Het gebod verbiedt bovendien het gebruik van kruiden en vruchten. De paus had dit verbod ingevoerd. De reden voor dit verbod was dat de vrouwen vroeger bier brouwden en ze gingen op zoek naar kruiden in het bos en in buurt van abdijen. Zo kwamen de vrouwen en de paters en monniken bij elkaar en de paus wou dit verhinderen en voerde het reinheidsgebod in.

Vroeger was brouwen de taak van de vrouw net zoals eten maken en voor de kinderen zorgen. Veel vrouwen probeerden eigen recepten uit te vinden en gebruikten allerlei verschillende kruiden. Veel kruiden waren hallucinerende kruiden. Iedereen dronk van dat bier, zelfs de allerkleinsten. Soms gebeurde het dat de vrouw eens een foutje maakte in het bereiden en sommige kinderen stierven dan.

Sommige vrouwen begonnen bier te verkopen. Ze zetten een grote punthoed op en liepen op de markt om bier te verkopen. Wanneer de vrouwen een nieuw brouwsel klaar hadden, zetten ze hun bezem voor de deur en konden de voorbijgangers zien dat er een nieuw brouwsel klaar was. Sommige mensen waren jaloers en schoven de schuld op die vrouwen wanneer er iemand stierf. Die vrouwen dansten met de duivel in den hof volgens hen. Ze beschuldigden de vrouwen van hekserij.

En zo via het bier brouwen is het beeld van de heks ontstaan. Het waren vrouwen die brouwden in een grote zwarte ketel, ze hadden een punthoed op en een bezem en wisten veel over allerlei soorten kruiden.

Later zagen de mannen dat er geld te verdienen was met het brouwen en begonnen het zelf te doen.

2.3.2 Verslag brouwerij De Meester

Op zondag 1 oktober brachten we (Mathias, Thibault en Camille) een bezoek aan Brouwerij De Meester.

Brouwerij De Meester is een artisanale brouwerij gelegen te Stasegem. De bieren worden uitsluitend gebrouwen volgens het traditioneel brouwproces, met louter natuurlijke ingrediënten. De brouwerij heeft een capaciteit van 5.600 liter per maand.

Dirk De Meester is anderhalf jaar geleden begonnen met bierbrouwen en bracht intussen al 6 biertjes op de markt. Hij startte met een kleine installatie in zijn garage. Daarna kreeg de brouwerij een upgrade door een installatie van 200 liter per sessie, ofwel 1.600 liter per maand. Maar ook dat bleek al snel te weinig te zijn want de vraag was groter dan hun aanbod. Een nieuwe installatie waarbij ze 500 liter per sessie konden brouwen, ofwel een 5.600 liter per maand, werd dan ook al snel in gebruik genomen. De brouwerij is intussen ook uitgerust met een verwarmde ruimte waar het bier kan gisten en een automatische bottelarij.

Eind oktober komt er opnieuw een nieuwe installatie die een nog grotere capaciteit per sessie zal hebben. Wanneer die geïnstalleerd is, mogen we de brouwerij nog eens bezoeken om zo nog meer informatie te krijgen over de installatie en het proces.

We vertrokken naar de brouwerij met als doel een antwoord te krijgen op een aantal vragen.
-Hoe kuisen en reinigen jullie de installatie?
-Hoeveel keer moet je spoelen voor het genoeg gespoeld is?
-Welke ontsmettingsproducten gebruiken jullie?
-Welke leidingen gebruiken jullie en heb je daar al negatieve ervaringen mee gehad?
-Hoe bevestigen jullie de leidingen?
-Welke manier gebruiken jullie van opwarmen?
-Tot hoe ver gaat de automatisatie hier?
-Hoeveel pompen hebben jullie en hoe pompen jullie dan over?
-Hoe verloopt het koelproces?
-Hoe verwijderen jullie het draf?
-Hoe wordt de temperatuur van het bier gemeten?
-Welke installatie gebruiken jullie en wat zijn jullie ervaringen met deze installatie?
We kregen op heel wat vragen een antwoord.

Zo bestaat de opbouw van de installatie uit een maischketel en kookketel in één, dit wil zeggen dat er een open vat met kleine gaatjes (=filter) onderaan in de kookketel zit. Wanneer het maischproces klaar is, wordt de filter met behulp van een takel uit de kookketel gehaald.
De verwarming van het water gebeurt via een zonneboiler. Het verwarmen van het water om de kooktemperatuur te bekomen, gebeurt via een elektrische weerstand in de ketel. In dit systeem is er geen roerder nodig omdat de mout nooit in contact kan komen met de weerstanden aangezien de mout

in de filter zit en de weerstanden in de ketel rond de filter. Het overpompen van de wort gebeurt via een pomp en leidingen die handmatig moeten worden aan- en losgekoppeld worden.

Door dit bezoek hebben we veel nieuwe ideeën opgedaan in verband met het ontwerp. We kregen een antwoord op onze vele vragen en dat heeft ons ook vooruit geholpen. We moeten natuurlijk de andere bedrijfsbezoeken nog afwachten om tot een definitief ontwerp te komen, maar in ieder geval heeft dit bezoek ons al in een bepaalde richting gestuurd.

2.3.3 Verslag brouwerij De Leite

Inleiding

Op donderdag 5 oktober 2017 zijn we tijdens het 3de lesuur vertrokken met onze fiets om brouwerij De Leite te bezoeken. Ook de heer Geeraert was van de partij om ons ondersteuning te bieden. We kregen er de kans om hun installatie grondig te bekijken.

Figure 2-7 groepsfoto brouwerij de Leite

Voorstelling van de brouwerij

De brouwerij is eigenlijk opgericht door Luc Vermeersch die al in 1997 experimenteerde met een kleine capaciteit van 30 liter. Dan heeft hij gedurende een jaar een brouwcursus gevolgd om zo de stiel te leren. Nu beschikt de brouwerij al over materiaal om tot 6000 liter per keer te brouwen. Intussen hebben ze al een 10-tal biertjes in hun assortiment. Hun installatie van 6000 liter werd nog maar recent vernieuwd, dus ook voor hen is het momenteel nog een beetje zoeken.

Vragen en antwoorden

Het doel van ons bezoek was om nog wat extra informatie te verzamelen over brouwinstallaties, want we zaten nog met veel vragen. Zo vroegen we ons af wat de voor- en nadelen zijn van hun installatie. Het was moeilijk voor hen om deze vraag te beantwoorden aangezien hun installatie nog maar net vernieuwd was.

Deze brouwerij werkt in totaal met 4 pompen en heel veel kleppen. Ze zijn daar heel tevreden over, maar vinden de werking soms wel wat complex. Een paar kleppen zijn geautomatiseerd, de rest werken nog handmatig. Op termijn hopen ze alles geautomatiseerd te laten verlopen, zodat ze eigenlijk niet zoveel werk meer hebben.

Op een kleine display kunnen ze de werking van hun installatie volledig volgen. Daar lezen ze o.a. ook heel gemakkelijk de waarden af. Iets om te onthouden, want een dergelijke display zou ook voor onze installatie heel handig zijn.

Toch zijn er ook wat nadelen verbonden aan hun installatie. Ten eerste is de manier waarop de draf uit de maischketel gehaald wordt, niet praktisch. Ook komt na het maischen de vloeistof uit de ketel terecht in een soort trechter voordat hij naar de kookketel gaat. Zo wordt de vloeistof blootgesteld aan lucht en treedt er oxidatie op. Iets wat wij zo veel mogelijk proberen te vermijden in onze installatie.

In deze brouwerij zagen we ook een kleinere brouwinstallatie van ongeveer 50 liter, dus heel toepasselijk voor ons. Maar deze installatie werkt op het principe van gravitatie zodat er geen pomp nodig is, voor ons project is deze werkwijze echter niet realiseerbaar.

We hebben zeker een paar goede ideeën opgedaan voor onze brouwinstallatie. Het was een heel leerrijk bezoek!

3. Mechanische studie

3.1 Kar

3.1.1 Ontwerp

Ons eerste idee was om het chassis van onze installatie uit buisprofielen te vervaardigen en aan elkaar te laten lassen. Na wat overleg met de betreffende leerkrachten hebben we besloten dat het gemakkelijker zou zijn te werken met rexroth-profielen. De voornaamste argumenten hiervoor waren dat de kar zo gemakkelijk kan aangepast worden wanneer er nog componenten waren waarmee we geen rekening hadden gehouden in het begin en dat we zo ook de assemblage zelf konden doen.

De technische fiche van de wielen vindt u terug in de bijlagenbundel.

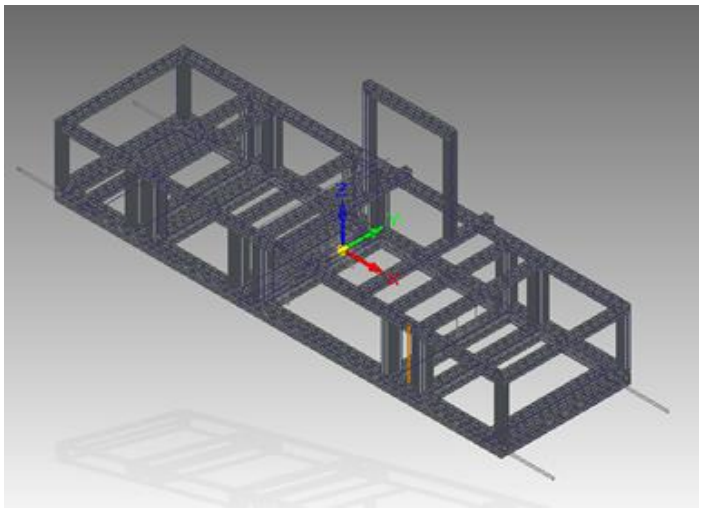


Figure 3-1 rextrotsysteem kar

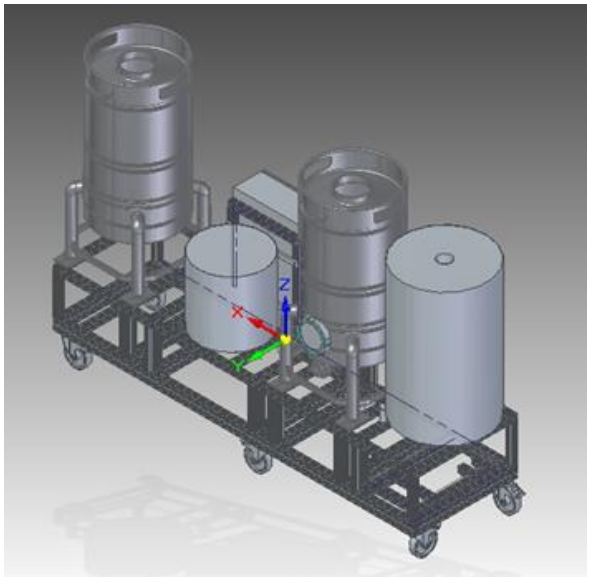


Figure 3-2 kar met alles erop

Na enkele schetsen en wat brainstormen werd al snel duidelijk hoe we de ketels zouden opstellen.

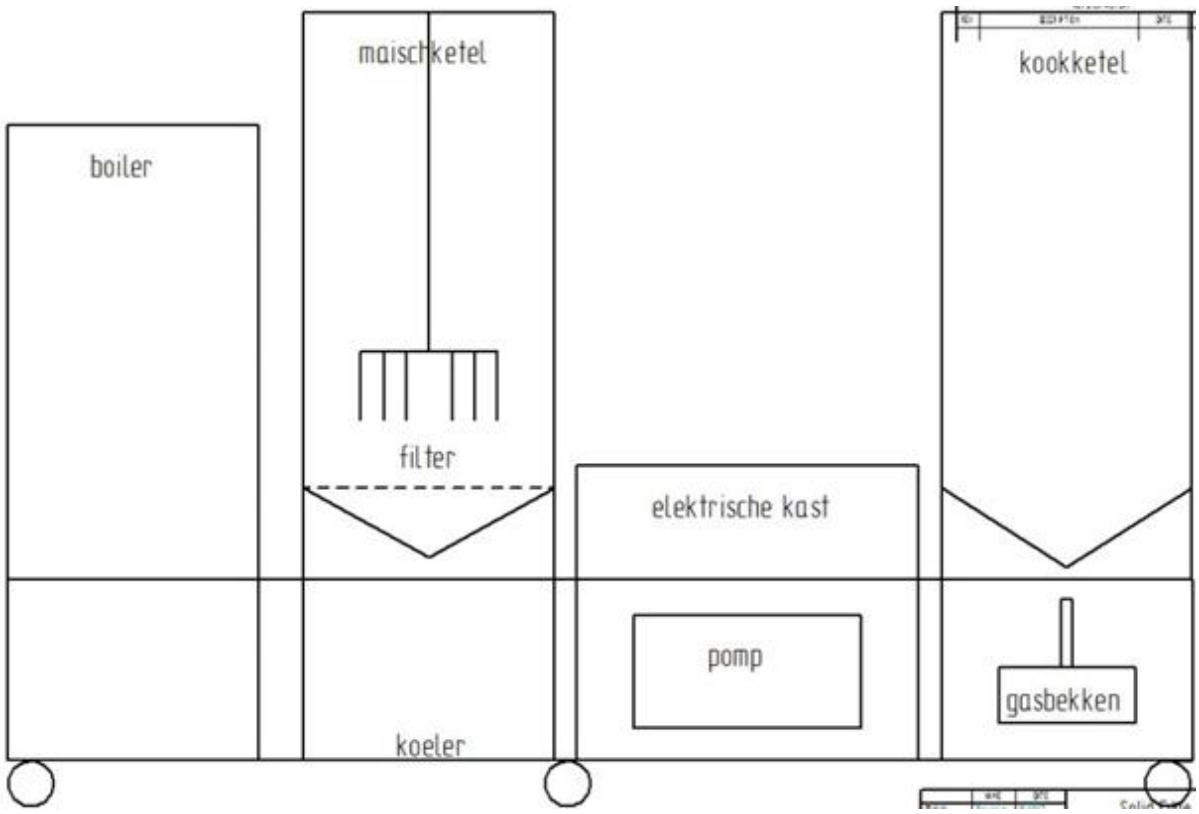


Figure 3-3 definitief ontwerp installatie

We kozen ervoor de boiler links te plaatsen zodat we dan de twee ketels zo konden opstellen zodat er een persoon op het trapje zou kunnen staan dat tussen de twee ketels voorzien is. Zo kan men gemakkelijk in de ketels kijken om het proces te volgen, kan men de filter en roerder uit de ketels halen en kan men hop en andere producten toevoegen in de ketels.

Dan zijn we gestart met de 3D-tekening van het chassis. Rekening houdend met wat we in stock hadden op school, hebben we ervoor gekozen de onderkant in 40 x 80-profielen te vervaardigen en de bovenkant in 40 x 40-profielen. Ons eerste idee was om ook de verticale profielen in 40 x 40-profielen te maken, maar dan zouden de profielen waarop de ketels bevestigd zijn, niet ondersteund zijn. Daarom zijn we dan ook bij deze overgeschakeld op 40 x 80-profielen.

Na overleg met dhr. Verlinde is ons idee dan nog een laatste keer veranderd. Hij zei dat hij liever niet zou hebben dat hij er moet opstaan en opteerde voor een trapladder ernaast. Nu hebben we de koeler op deze plaats gezet, zodat alles op de kar kan.

3.1.2 Leidingen en verbindingen

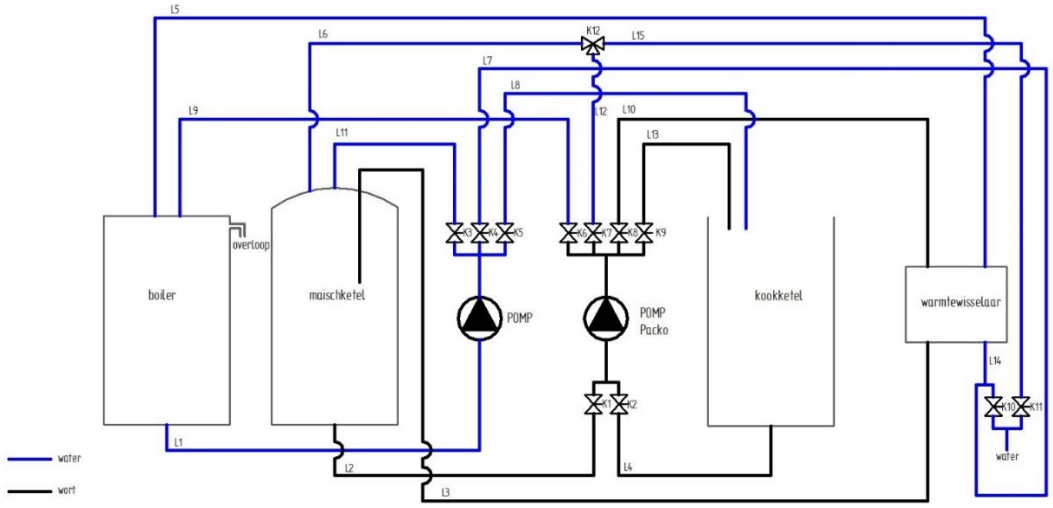


Figure 3-4 schema 1

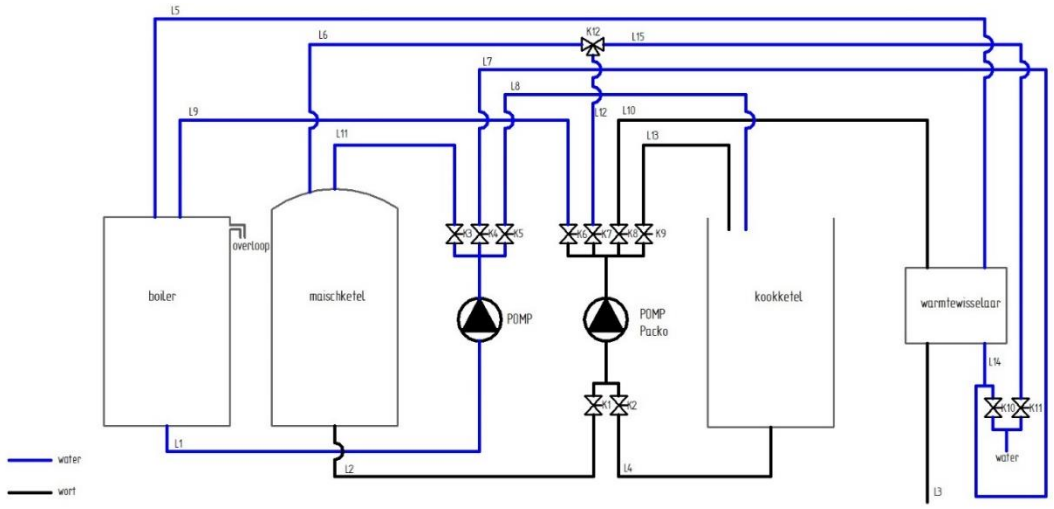


Figure 3-5 schema 2

Het verschil tussen deze twee figuren is de leiding (L3) die we omwisselen tijdens het brouwen. Eerst is de leiding aangesloten op de maischketel. Om het wort op te warmen pompen we het vanuit de maischketel naar de warmtewisselaar, om daarna terug in de maischketel te stromen. In de tweede figuur is de leiding aangesloten op het gistvat, want na het koken wordt de vloeistof gekoeld in de warmtewisselaar en stroomt dan rechtsreeks naar het gistvat. Op deze manier sparen we twee kleppen uit en een leiding, wat goed is om de kostprijs nog meer te drukken.

Flow van de vloeistof

De vloeistof stroomt bij elke stap van het brouwproces in een bepaalde richting naar een bepaalde plaats, die volgorde moet altijd gerespecteerd worden, anders loopt het brouwproces verkeerd. Hieronder wordt de volgorde opgelijst van welke leiding, klep die er gebruikt wordt bij elke stap van het brouwproces.

Stapnr.	WA/WO	Van	Leiding	Klep	Pomp/WW	Klep	Leiding	(3-weg klep)/ WW	leiding	Naar	Omschrijving	Opmerking
1	WA	NET		K10			L14	WW	L5	BO	water uit het net door WW naar boiler	L7 meegevuld met koud water
2	WA	BO	L1		Pwa	K5	L8			KK	KK vullen vanuit de BO	indien nodig water wat voorverwarmen in BO
3	WA WA	KK NET	L4	K2	Pwo	K7 K11	L12 L15	K12 K12	L6	MK	na voorkoken water van KK naar MK op 54°	vullen tot boven filter, dan mout toevoegen, nog verder vullen
4	WA	KK	L4	K2	Pwo	K6	L9			BO	overschot warm water vanuit KK naar BO	als temperatuur 90° heeft bereikt
5	WA	NET		K10			L14	WW	L5	BO	boiler bijvullen voor het naspoelen + maischproces	
6	WA WO	MK BO	L2 L1	K1	Pwo Pwa	K8 K4	L10 L7/L14	WW WW	L3 L5	MK BO	in maischketel temperatuur verhogen naar 64° via WW	L3 op maischketel aangesloten eerste water uit WW is nog koud
7	WO WA	MK BO	L2 L1	K1	Pwo Pwa	K8 K4	L10 L7/L14	WW WW	L3 L5	MK BO	in maischketel temperatuur verhogen naar 74° via WW	L3 op maischketel aangesloten
8	WO WA	MK BO	L2 L1	K1	Pwo Pwa	K9 K3	L13 L11			KK KK	wort naar KK overpompen + naspoelen vanuit BO T=84°	naspoelen totdat vereist volume in KK bereikt wordt begint bij volume MK net boven gevormd filterbed
9	WO WA	KK NET	L4	K2 K10	Pwo WW	K8	L10 L5	WW	L3	GV BO	gekookte wort afkoelen en naar GV leiden	L3 op GV aangesloten (ofwel op KK tot gewenste temp. bereikt wordt boiler vullen met warm water van het koelen/ of beter MK ook al?

legende	
WA	water
WO	wort
BO	boiler
KK	kookketel
MK	maischketel
WW	warmtewisselaar
GV	gistvat

Figure 3-6 flow van de vloeistof

Watercircuit

In dit punt staan de leidingen en kleppen getekend waar er alleen maar water door stroomt, dit maakt een verschil in het materiaal dat we gebruiken. Voor de waterleiding zullen we gebruik maken van koperen leidingen die we persen. Tijdens het persen ontstaan in de buis oneffenheden die niet kunnen gereinigd worden als er bijvoorbeeld wort doorstroomt. Maar omdat we in het watercircuit enkel water door deze leidingen sturen, vormen deze oneffenheden geen probleem.

Enkel L4 wordt ook gebruikt om het wort door te sturen, dus hier gebruiken we dan ook een voedselveilige leiding.

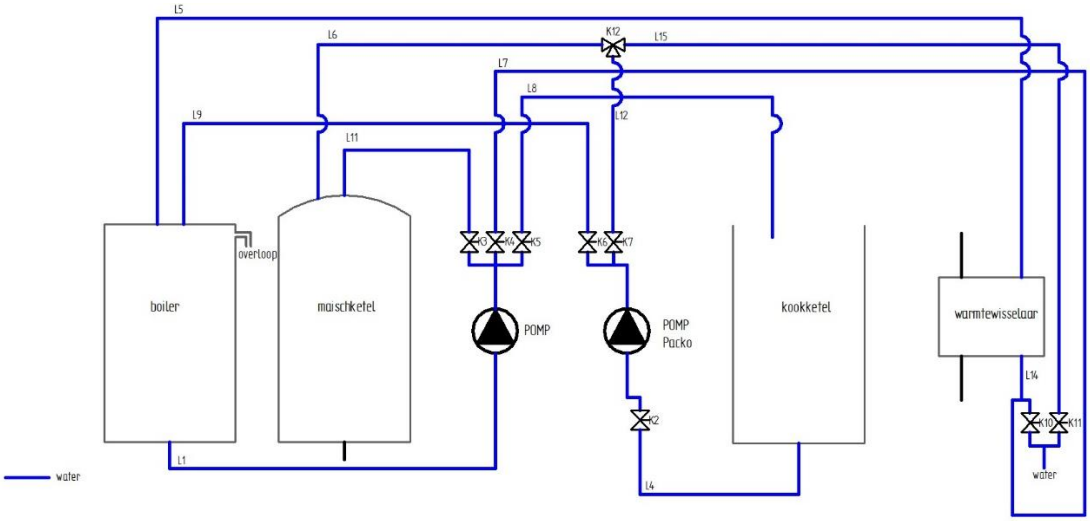


Figure 3-7 watercircuit

Wortcircuit

In dit punt staan de leidingen en kleppen getekend waar enkel het wort door stroomt, deze leidingen zullen dan ook uit voedselveilige leidingen bestaan en niet uit koper dat we aan elkaar persen.

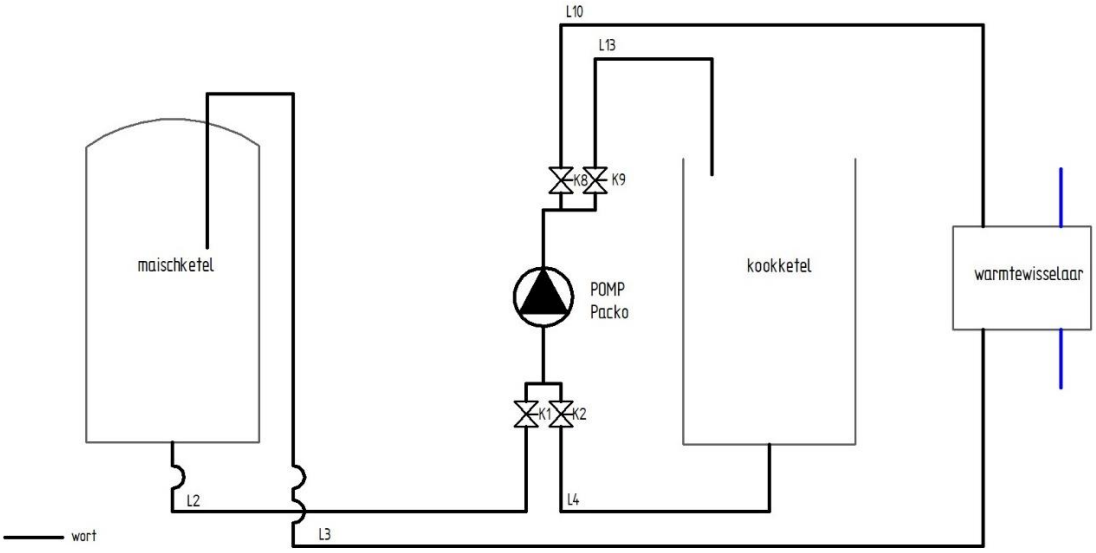


Figure 3-8 wortcircuit

3.1.3 Wielen

Om te bepalen welke wielen we nodig hebben voor onze kar, maakten we eerst een ruwe schatting van het gewicht. We berekenden dat de kar met de ketels erop ongeveer 250 kg zou wegen. Wanneer onze installatie gevuld zou zijn met 150 l water in de boiler, 120 liter bier en ongeveer 50 kg draf, zou onze installatie ongeveer 570 kg wegen. De kracht die dus op de wielen zou komen, is 5700 N. Als we deze verdelen over 6 wielen is de kracht op 1 wiel dus ongeveer 1000 N. Als we de specificaties van de wielen bekijken, is de max. kracht 3000 N, dus dit is ruimschoots voldoende. Dit is ook nodig, want wanneer de wielen maar net genoeg zouden kunnen dragen, zouden ze waarschijnlijk na lange tijd stilstaan vervormen.

	F	No.	CAD		Buy
Heavy-duty wheel, LR with lock, F3000	3000	3842536736	CAD		
Heavy duty wheel, LRI F3000	3000	3842536737	CAD		
Heavy duty wheel, trestle wheel, F3000	3000	3842536738	CAD		
Screw-on plate, heavy duty wheel		3842536701	CAD		

3.2 Maischketel

3.2.1 Ontwerp

In de maischketel warmen we gerst en mout op tot een grote pap.

Om dit vlot te doen verlopen heeft Co en Co een aantal aanpassingen voorgesteld van onze standaardketel.

1. Er moest een mangat in de romp van de ketel komen zodat de brouwer de mogelijkheid had om hier zijn restanten van het filterbed te verwijderen.

Figure 3-9 maischketel met mangat

2. Er moest een roerder voorzien worden zodat ons filterbed niet zou toeslibben. Hier hebben we als oplossing gevonden om aan een eenvoudige buis 2 geperforeerde pedalen te lassen. Dit alles komt op een knikker te liggen die op zijn beurt op het filterbed ligt. Deze knikker heeft als nut om de roerder vlotter te doen draaien en te maken dat deze niet te veel zijwaarts beweegt. En tot slot wordt de buis waar alles op bevestigd is, verbonden door een spie en een spiegeul in de as met onze roerder die bovenop het deksel staat.

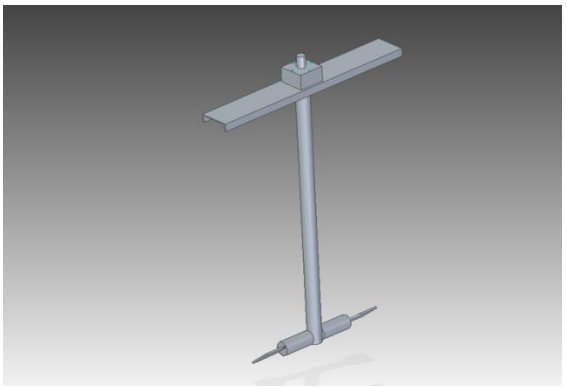


Figure 3-10 roerder

3.2.2 Bedrijfsbezoek Co&Co

Op donderdag 18 januari vertrokken we uit Torhout met de auto richting het bedrijf Co&Co in de Kanaalstraat in Oostkamp. We werden daar met open armen ontvangen door de jonge ondernemer van het bedrijf, die technisch directeur is van het bedrijf. We kregen een uitleg over het bedrijf zelf. In een vorig leven bouwde Luc Vanbleu een gedegen expertise op in processen in de vloeibare voedingsindustrie. Een toenmalige collega bracht heel wat brouwerijprojecten aan en deed zo bij hem de passie voor het bier kiemen. Op die basis startte hij in 1998 Co&Co: bouwer van microbrouwerijen en toestellen voor behandeling van vloeibare voeding. Vandaag opereert Co&Co met 10 medewerkers in een boeiende, groeiende, internationale markt in Europa én daarbuiten. Brouwerijmodules van 60 tot 4.000 l, randapparatuur. **Co en Co** staat voor: **Co**nstruction, **En**gineering, **Co**nsultancy.

Daarna gingen we verder naar de praktische kant van het bedrijf: het atelier. In het atelier werken ze met 6 werknemers. Het is geen groot bedrijf, maar ze voeren wel hun installaties rond in heel de wereld. Zelf kopen ze de ketels aan, dus de maischketel en de kookketel en eventueel het voorraadvat maken ze zelf niet. Het zou te veel tijd in beslag nemen.

Figure 3-11 installatie Co&Co

Nu is de productietijd voor een installatie al 5 à 6 maanden voordat men kan leveren aan de klant. Bij Co&Co houden ze zich dus enkel bezig met het proces na de bouw van de ketels. Ze doen dus de leidingen, installeren het elektrische deel en maken dat het volledige proces werkt. Zij proberen zo goed mogelijk de vraag van de klant te beantwoorden. Dit is wel een uitdaging aangezien ze nooit in productie werken. De arbeiders moeten dus steeds alles zelf ontwerpen. Ze monteren ook allerlei onderdelen zoals de motoren, de trapjes en de roosters.

Figure 3-12 installatie Co&Co

Naast het bouwen van nieuwe installaties restaureren ze bij Co&Co ook oude installaties. Zo hadden we het geluk om een installatie te zien die nog gebouwd werd in de beginjaren van Luc Vanbleu, die nu in het atelier stond om te restaureren.

Figure 3-13 installatie Co&Co

Na de rondleiding in het bedrijf bespraken we de mogelijkheid om in dit bedrijf een deurtje te produceren voor onze brouwinstallatie. Ze reageerden meteen heel enthousiast en een arbeider stelde al spontaan een oplossing voor ons probleem voor. Een week later is dhr. Vansteenlandt dan nog eens langs geweest om de concrete aanpak te bespreken. Hij slaagde erin om niet alleen een deurtje in onze ketels te laten produceren, maar ook een deksel voor de ketels. Voor ons is dit dus zeker een grote stap in de goede richting! Het was een heel leerrijke ervaring die ons zeker nog zal helpen in het verdere verloop van onze GIP. Bij Co&Co hopen ze naar de toekomst toe op een goede samenwerking met onze school en een goede afloop van ons eindwerk.

3.2.3 Lassen

In onze ketel is een mangat nodig om het kaf te verwijderen nadat het wort gefilterd werd. We kregen hiervoor de hulp van Co&Co. Zij hebben een passend mangat gemaakt en in onze ketel gelast. We konden dit zelf niet doen omdat er enige ervaring vereist is om dit te kunnen. Om RVS te lassen bestaan er enkele lasmethoden. Daarnaast zijn er nog veel meer lasmethoden die elk hun eigen toepassingsgebied hebben.

Geschiedenis

Tijdens de middeleeuwen konden we nog niet spreken van lassen. Toen werden materialen aan elkaar gehamerd. De metalen werden in die tijd door een smid opgewarmd en bewerkt tot de gewenste vorm. Het is maar in de 19^{e} eeuw dat het lassen zijn intrede deed. Er werden in die tijd veel ontdekkingen gedaan en tijdens die eeuw was het booglassen vermoedelijk de meest gebruikte lasmethode. Daarna is het onderzoek naar lasmethoden niet blijven stilstaan en hebben we nu een groot arsenaal aan lasmethoden.

Lasmethoden

Deze lasmethoden kunnen ingedeeld worden in verschillende hoofdgroepen. Elke hoofdgroep kenmerkt zich door een welbepaalde manier van lassen. In volgende tabel worden de verschillende hoofdgroepen beschreven.

Hoofdgroep	Uitleg
Booglassen	De voorwerpen die aan elkaar moeten gelast worden, worden verhit door een elektrische plasmaboog. Het plasma is zo heet dat het te lassen materiaal onder atmosferische omstandigheden direct zou verbranden door de inwerking van zuurstof uit de lucht als je geen voorzorgsmaatregelen zou nemen. Bij elke vorm van elektrisch booglassen wordt een methode toegepast om tegen verbranding te beschermen.
Elektrisch weerstandlassen	Bij weerstandlassen worden de twee te verbinden voorwerpen tegen elkaar aan gedrukt. Men laat vervolgens een grote elektrische stroom door beide voorwerpen lopen en doordat de weerstand het grootst is op het contactoppervlak, zal er daar een enorme temperatuursverhoging plaatsvinden waardoor het metaal aan het contactoppervlak zal smelten.
Autogeen lassen	Autogeen lassen is een lasmethode waarbij men gebruik maakt van een heel hete vlam.
Druklassen	De aan elkaar te verbinden materialen worden tegen elkaar gedrukt en doorgaans ook verhit. Dit is de oudste lasmethode, want smeden is ook een vorm van druklassen.
Bundellassen	Bij deze lasmethode worden de te verbinden materialen bestraald met deeltjes waardoor het materiaal smelt en ineen vloeit.

In deze hoofdgroepen zijn de verschillende lasprocessen gerubriceerd. In tabel 2 worden alle lasprocessen weergegeven onder hun hoofdgroep.

Hoofdgroep	**Lasproces**
	Nummers bij lasprocessen conform EN ISO 4063
Booglassen	11. Lassen zonder gasbescherming
	111. Lassen met beklede elektrode
	112. Zwaartekrachtlassen
	114. Lassen met gevulde draad
	12. Onder poederdek (OP)-lassen
	13. MIG/MAG-lassen
	14. TIG-lassen
	15. Plasmalassen
	16. Booglassen met roterende boog fusielassen
Elektrisch weerstandlassen	21. Puntlassen 22. Rolnaadlassen 23. Projectielassen 24. Afbrandstuiklassen 25. Weerstandstuiklassen (drukstuiklassen) 291. Hoogfrequent weerstandlassen
Autogeen lassen	31. Autogeen lassen met zuurstof-brandstof-gasmengsel
	311. Autogeen lassen met zuurstof-acetyleen-gasmengsel
	312. Autogeen lassen met zuurstof-propaanmengsel
	313. Autogeen lassen met zuurstof-waterstofmengsel
	32. Autogeen lassen met lucht-brandstof-gasmengsel
	41. Ultrasoon lassen 42. Wrijvingslassen
	423. Wrijvingsbout- / stiftlassen

Druklassen	43. Wrijvingsroerlassen 44. Lassen met hoge mechanische energie 441. Explosielassen 442. Magnetisch pulslassen 443. Wrijvingsbout(stift)lassen 45. Diffusielassen 47. Gasdruklassen 48. kouddruklassen smeden
Bundellassen	51.Eelektronenbundellassen 52.Laserlassen

Er zijn dus enorm veel lasprocessen. Om RVS te lassen wordt hoofdzakelijk gebruik gemaakt van elektrisch booglassen met gasbescherming. In deze categorie horen het MIG/MAG-lassen en het TIG-lassen.

MIG/MAG-lassen

MIG- en MAG-lassen behoren tot het booglassen, het verschil tussen beide is dat bij het MIG-lassen gebruik gemaakt wordt van een inert gas (edelgas: argon, helium) en bij MAG-lassen een actief gas (mengsel van argon, koolstofdioxide en zuurstof). Bij het MAG-lassen worden voornamelijk laaggelegeerde staalsoorten aaneen gelast. Hooggelegeerde staalsoorten en aluminium(legeringen) worden MIG-gelast. Door gebruik te maken van een inert gas kan gemakkelijk een hogere temperatuur bekomen worden bij het MIG-lassen. MAG-lassen kan ook maar enkel in gesloten ruimten uitgevoerd worden omdat het beschermgas zou kunnen wegwaaien door de weersomstandigheden. Dit heeft men niet met de inerte gassen bij het MIG-lassen.

Bij MIG/MAG-lassen wordt er continu een lasdraad aangevoerd. Deze wordt naar het werkstuk geleid. Tussen deze draad en het werkstuk wordt dan een elektrische boog gevormd. De lasdraad dient enerzijds als elektrode, maar ook als toevoegingsmateriaal doordat het smelt. Op hetzelfde moment wordt een beschermgas toegevoegd. Dit beschermt het smeltbad tegen de invloed van zuurstof en zorgt zo voor een oxidevrije verbinding. Het actieve gas bij het MAG-lassen reageert in tegenstelling tot het inerte gas bij het MIG-lassen ook nog met het werkstuk. Zo worden de materialen aaneen gelast.

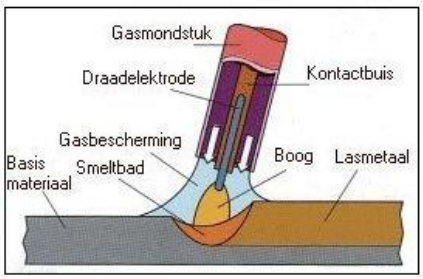


Figure 3-14 MIG/MAG-lassen

TIG-lassen

TIG-lassen behoort net als het MIG/MAG-lassen ook tot het booglassen. Bij het TIG-lassen kan men mits voldoende ervaring een heel hoge kwaliteit van laswerk bereiken. TIG-lassen wordt voornamelijk toegepast bij dunne platen aluminium of RVS, maar het kan ook voor staal gebruikt worden. TIG staat voor *Tungsten Inert Gas*, tungsten is de Engelse benaming voor wolfraam.

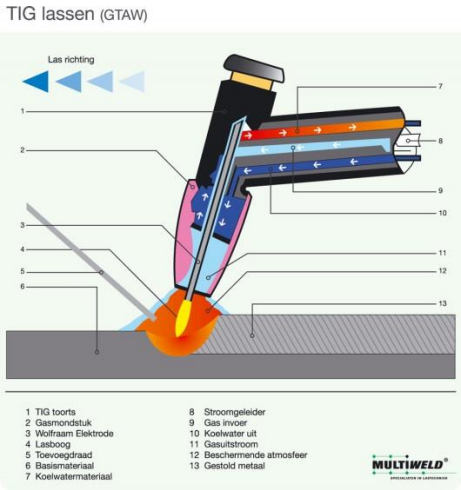


Figure 3-15 TIG-lassen

Bij TIG-lassen wordt er warmte verkregen door een elektrische plasmaboog te trekken tussen het werkstuk en de wolfraamelektrode .

Tegelijkertijd wordt er ook een draad naar het werkstuk gebracht die dient als toevoegingsmateriaal. Vanuit het gasmondstuk wordt een inert gas toegevoegd dat het smeltbad moet beschermen. TIG-lassen vraagt veel ervaring omdat er altijd met twee handen gewerkt moet worden.

Uiteraard zijn er nog veel meer lastechnieken. Wij beperken ons tot deze twee methoden, omdat we enkel RVS moeten lassen. In Co&CO gebruikten ze de techniek van het TIG-lassen voor het inlassen van het mangat.

Lassen van de leidingen

Onze inox leidingen moeten in de installatie gelast worden. Omdat dit niet zo gemakkelijk is, hebben we met de steun van Ardo de hulp gekregen van een ervaren lasser.

We werkten stuk voor stuk en puntlasten dit samen op 4 plaatsen rond beide buizen. Omdat het volledig oplassen van de leidingen een groot werk is, waaraan wij niet kunnen helpen, hebben we het gewoon gepunt zodat alle leidingen op de juiste plaats waren aangesloten.

Het lassen van de leidingen is veel werk omdat het moet gelast worden met tegendruk om te vermijden dat de las er aan de binnenkant zou uitkomen en we dus geen vloeiende verbinding zouden hebben op de lasnaad. Dit zou namelijk zorgen voor verontreiniging in de buizen bij het brouwen.

Om die naad mooi vloeiend te maken in de buis, wordt er in de buis het gas (gebruikt om te lassen) toegevoegd tot op een welbepaalde druk. Door de buis rond om rond te lassen zal de las aan de binnenkant niet uitkomen en zullen we een mooie egale afwerking krijgen aan de binnenzijde. Doordat ieder deel moet afgekoppeld worden van de installatie en op druk moet gebracht worden, brengt dit wel enige werktijd met zich mee en daaraan kunnen wij ook niet helpen. Dit werd door de lasser van Ardo gedaan.

3.3 Kookketel

De kookketel is het laatste onderdeel in de creatie van het bier voor het koelen en het gisten aan de beurt komen. Het koken is een zeer belangrijk onderdeel in het proces van onze brouwinstallatie.

Wanneer in de maischketel de laatste stap volbracht is van het maischen, wordt het wort overgepompt naar de kookketel, terwijl er ondertussen verder nagespoeld wordt in de maischketel. Tijdens het naspoelen wordt er een hoeveelheid water over het filterbed gesproeid, totdat het gewenste beginvolume in de kookketel bereikt wordt. Het wort wordt gekookt tot de gewenste massadichtheid. Dit is belangrijk voor het bepalen van het alcoholpercentage van het bier.

Tijdens het kookproces worden ook de gewenste hopbitterstoffen omgezet. Op het einde van het kookproces worden dan hopsoorten toegevoegd die zorgen voor het aroma van het bier. De hoeveelheid en welk soort hop er wordt toegevoegd, is volledig afhankelijk van het recept. Door de hoge temperatuur worden de hopbitterstoffen omgezet van alfazuren in iso-alfazuren, die beter oplossen in het bier en waardoor ook de bittere smaak in het bier wordt gevormd. Het koken dient ook om de grote eiwitvlokken eruit te halen, die door het maischen in het wort zijn terechtgekomen. Het koken is ook belangrijk om de ongewenste vluchtige stoffen te verdampen en om de gewenste massadichtheid te bereiken door verdamping. Er mag dus zeker geen deksel op de kookketel liggen dat de ketel volledig afsluit, anders heb je kans dat door de druk de ketel openspringt of zelfs ontploft. Maar bij onze brouwinstallatie is dit geen probleem, want wij gebruiken de kookketel zonder deksel en zo blijven we buiten de gevarenzone. Tot slot dient het koken ook om besmettingen, infecties en bacteriën tegen te gaan. Door de hoge temperatuur wordt het bier ook steriel.

Figure 3-16 bovenaanzicht en binnenkant kookketel

Voor het verwarmen van de kookketel zullen we gebruiken maken van gasbranders.

We berekenen vooraf eens welk vermogen we nodig hebben om dit kookproces succesvol te laten verlopen in de veronderstelling dat het koken na 10 minuten begint en ook in de veronderstelling dat de massadichtheid van het wort afgerond gelijk is aan 1000 kg/m³. Verder nemen we afgerond de waarde van de soortelijke warmtecapaciteit van water voor het wort.

Geg: 120 liter = 120kg, C_{water}= 4187J/kgK, T_1=74°C(=347K),T_2=100°C(=373K), bv t=10min(=600sec.)

Gev?: Vermogen in Watt?

Opls: $Q=m.C.(T_2-T_1)$
$= 120kg.4187J/kgK.(373K-347K)$
$= 120.4187.26$
$= 13063440$ Joule

1 J = 1Ws (wattseconde) => 13063,44kJ = 13063,44kWs

$P = \frac{Ws}{s} = \frac{13063440Ws}{600s} = 21772,4W = 21,77kW$

Als we de kookketel willen verwarmen in 10 min hebben we dus een vermogen nodig van 15 kW. Rekening houdend met een verlies van ongeveer 50%, komt dit dus neer op 30 kW.

Nu volgt eens de omgekeerde berekening. We zullen eens kijken na hoeveel tijd het wort begint te koken, indien we opteren voor 3 gasbranders van telkens 9,5 kW.

Geg: Ps=13063440 Ws, rendement van een gasbrander = 50%

- <u>3 gasbranders = 28,5kW rekeninghouden met rendement van een gasbrander =>14,25kW</u>

  $t = \frac{13063440Ws}{14250W}$=917sec.= 15min17sec.

- **<u>Besluit:</u>**
  Wegens de conische vorm van de bodem van de kookketels is niet zomaar iedere gasbrander bruikbaar. Daarom stellen we voor om het opwarmen te verdelen over drie plaatsen onder de kookketel met onderstaande gasbrander.

Figure 3-17 onderkant kookketel

Figure 3-18 onderkant kookketel

Figure 3-19 gasbrander

3.4 Pomp

De pomp is een heel belangrijk onderdeel in onze installatie. De vloeistof moet meerdere malen verpompt worden tussen de verschillende ketels. Niet elke pomp is geschikt, aangezien we ook rekening moeten houden met de voedselveiligheid. Dankzij dhr. Goethals leerden we heel wat over pompen. Deze kennis werd nog verdiept tijdens een bezoek aan Packo.

3.4.1 Soorten pompen

- **Centrifugaalpompen**

De hoofdonderdelen van centrifugaalpompen zijn het pomphuis en de waaier. De waaier kan in het pomphuis ronddraaien. Deze waaier bevat schoepen die de centrifugaalkracht in de vloeistof kan opwekken. Het pomphuis heeft twee openingen met daarop de aansluitingen voor de zuig- en de persleiding. Omdat de vloeistof door de centrifugaalkracht uit het hart van de waaier wegstroomt, ontstaat daar een onderdruk. Daardoor stroomt er weer vloeistof uit de zuigleiding de waaier in, die op haar beurt weer door de centrifugaal- kracht via het pomphuis naar de persleiding stroomt. Op deze manier ontstaat er een continue stroom vanuit de zuigleiding, via het pomphuis, naar de persleiding.

<u>Voordelen:</u>

- vaak klein van afmeting in vergelijking met andere principe pompen;
- minder bewegende delen, dus meestal lagere onderhoudskosten;
- geschikt voor rechtstreekse aandrijving;
- inkoopprijs is lager;
- ze zijn niet pulserend;
- in een aangepaste vorm geschikt voor sterk verontreinigde vloeistoffen.
-

<u>Nadelen:</u>

- pompen zijn niet zelf aanzuigend;
- volumestroom is sterk afhankelijk van de benodigde opvoerhoogte;
- ze mogen niet blijven draaien zonder aanvoer van vloeistof, anders is er onvoldoende koeling.

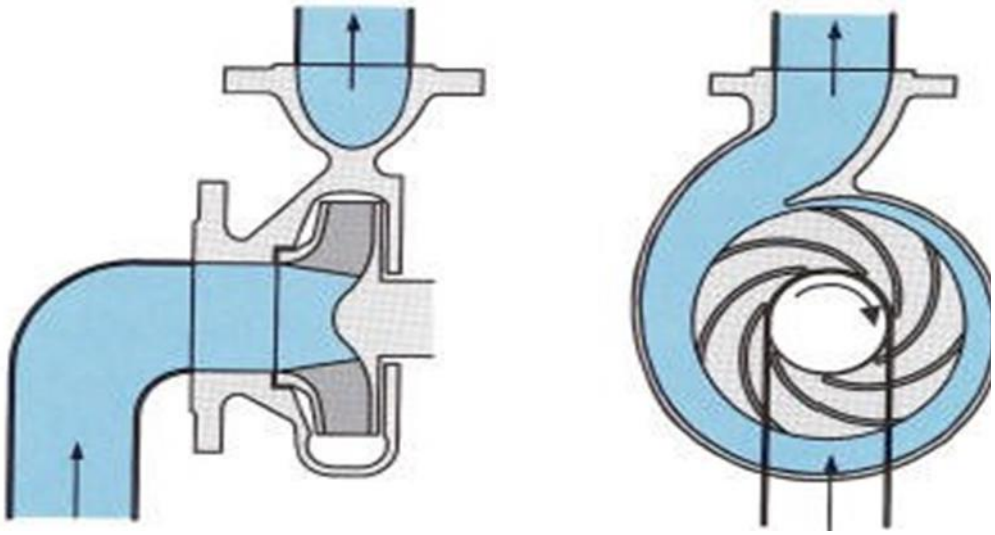


Figure 3-20 centrifugaalpomp

- **Verdringingspompen**

- <u>Schroefspindelpomp:</u> een schroefspindelpomp heeft twee of drie schroefspindels, die nauw opgesloten worden door het pomphuis. Door de draaiende beweging van de schroefas wordt de vloeistof in axiale richting verplaatst.

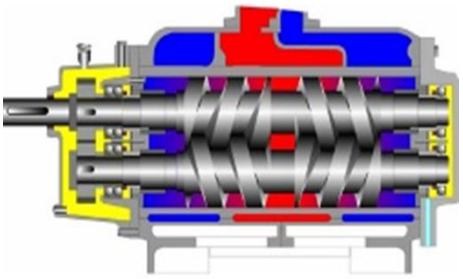


Figure 3-21 verdringingspomp

Deze uitvoering is het meest geschikt voor schone, smerende media. Deze is ook geschikt voor vloeistoffen met minder smerende eigenschappen.

- <u>Wormpompen:</u> de rotor van deze pomp is schroefvormig en met één of twee gangen en heeft een cirkelvormige doorsnede. De stator heeft een schroefvormige doorlaat met twee of drie gangen. Wanneer de rotor draait, verplaatsen zich afgesloten ruimten tussen rotor en stator,

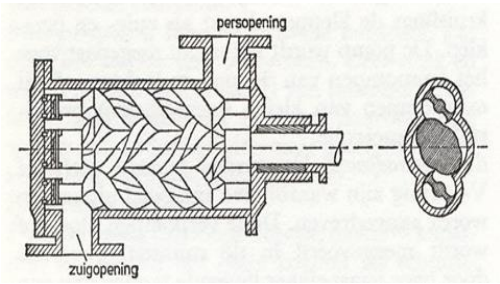


Figure 3-22 wormpomp

waarin het medium wordt meegenomen in axiale richting naar perszijde. Deze pomp is geschikt voor zeer viskeuze vloeistoffen en pasta's zoals mest. Deze mogen ook harde en slijtende deeltjes bevatten.

- Slangenpomp: een slang is opgesloten in een huis en is aan de uiteinden verbonden met de zuig- en persleiding. De rotor heeft twee persschijven of persrollen. De draaiende rotor drukt aan zuigzijde de slang dicht. Vervolgens wordt de vloeistof in de slang van zuig- naar persleiding gedrukt. Deze toepassing wordt dan meer gebruikt in de chemische en voedingsmiddelenindustrie.

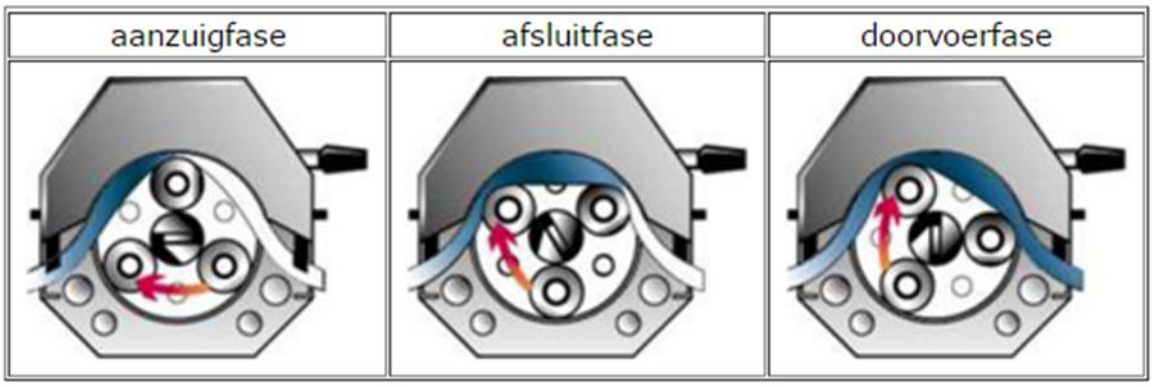


Figure 3-23 slangenpomp

- Tandwielpompen: je kunt in de tandwielpompen nog eens twee soorten onderscheiden: de inwendige vertanding en uitwendige vertanding. Wij zullen ons beperken tot de inwendige vertanding. De pomp heeft dan een groot wiel met inwendige vertanding. Daarin draait een heel klein wiel met uitwendige vertanding. Ook hier wordt de vloeistof in de tandholtes van de zuigzijde van de pomp naar perszijde getransporteerd. Deze worden meestal gebruikt voor het verpompen van viskeuze vloeistoffen.

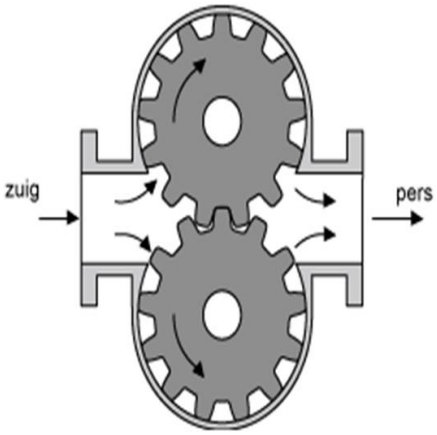


Figure 3-24 tandwielpomp

Voedinglabels pompen

De pompen die bestemd zijn voor de voedselindustrie hebben het EHDG- en het FDA- keurmerk. Deze keurmerken garanderen dat de pomp heel eenvoudig is om te reinigen, en dat ze ook zichzelf kunnen reinigen, dit proces wordt ook wel CIP genoemd.

CIP betekent *Cleaning In Place*, dat betekent dat de pomp zichzelf kan reinigen waardoor je als gebruiker de pomp niet hoeft te openen om te reinigen. Dit wordt onder andere mogelijk gemaakt door de oppervlaktebehandeling elektrolytisch polijsten.

De pompen van Packo zijn in diverse landen en instellingen gekeurd.

Zo hebben zij bijvoorbeeld het:

- CE-label dat staat voor de machinerichtlijnen;
- EHEDG-label (het gemakkelijk reinigen van de pomp)
- in Amerika is deze EHEDG = 3A;
- ook het materiaal is gekeurd en kreeg bijgevolg het label 1935/2004EC.

Zelf doet Packo ook nog enkele testen voor de productie van hun pompen door de reinigbaarheid te testen aan de hand van software 'CFD Simulating'.

Als deze pomp dan uiteindelijk gemaakt wordt, zal men de pomp vullen met olie en dan de pomp laten reinigen om vervolgens te controleren of er nog olieresten achterblijven.

NPSH

Wanneer de vloeistof in het pomphuis binnenkomt, dan denken de meeste mensen dat de druk geleidelijk aan wordt opgebouwd en dan het pomphuis verlaat naar de drukleiding, maar dit is in de realiteit niet zo. Wanneer de vloeistof in het pomphuis binnenkomt, dan komt er sowieso een onderdruk en daalt de druk verder en wordt daarna opgebouwd om dan pas het pomphuis te verlaten. NPSH is het gevreesde fenomeen bij het verpompen van een vloeistof. Als de druk daalt, dan verplaatst het kookpunt zich. Water kookt bij een normale luchtdruk van 1 bar op een temperatuur van 100°C. Daalt de druk, dan daalt de kooktemperatuur. Als de druk stijgt, dan stijgt de kooktemperatuur.

Als bij pompen de druk zodanig daalt, dan bestaat de kans dat de vloeistof begint te koken tijdens het verpompen, hierdoor worden dampbellen gevormd in de leidingen en pomp. Wanneer er dan drukverhoging optreedt, klappen deze bellen toe. Dit fenomeen wordt cavitatie genoemd. Aangezien gas aanzienlijk meer volume inneemt dan vloeistof, wordt er nog nauwelijks debiet behaald.

Oplossingen voor cavitatie

- Het vloeistofniveau verhogen door bv. je ketel hoger te plaatsen.
- De pomp lager zetten is ook een oplossing.
- Een grotere diameter van de leidingen waardoor minder drukverlies.
- Minder bochten of hoeken in het buizensysteem, dit zorgt ook voor minder drukverlies.
- Enkele kleppen verwijderen
- De temperatuur van de werkruimte verlagen.
- De druk in het zuigerreservoir verhogen.

Product damage

Wij vroegen ons ook af of een centrifugaalpomp schade aanricht aan je product.

In Packo leerden ze ons dat dit alleen invloed heeft op het rendement van de pomp.

Hoe groter de verliezen, hoe lager je rendement. Om dit te overwinnen heb je een bepaalde energie nodig en dit heeft gevolgen voor je product en zorgt dus bijgevolg voor product damage.

Ook de misvatting dat men een laag toerental moet hanteren om geen schade aan te richten is hierbij ontkracht, wat ons toch allemaal enigszins verbaasde.

3.4.2 Bedrijfsbezoek Packo

Inleiding

Tijdens onze vele brainstormsessies in het begin van het schooljaar werd al snel duidelijk dat we een pomp nodig hebben om de vloeistof te verpompen tijdens het volledige proces. Hierdoor kwamen al snel een aantal vragen in ons op over welke soort pompen er bestaan en welke bruikbaar zijn voor ons eindwerk. Gelukkig kregen we de mogelijkheid om op bedrijfsbezoek te gaan naar Packo in Diksmuide. In Packo kregen we een interessante uitleg over centrifugaalpompen en welke wij kunnen gebruiken in onze installatie.

Voorstelling bedrijf

Packo is een bedrijf dat zich gevestigd heeft in Diksmuide. Het is dé specialist op het vlak van roestvaststalen centrifugaalpompen. Al sinds 1975 ontwerpt en produceert Packo pompen voor diverse industrieën.

De eerste pompen die ontwikkeld werden, waren bestemd voor de melkindustrie. Er werden dan ook meteen hoge eisen gesteld op het vlak van hygiëne en onderhoud. Het gebruik van roestvast staal en het standaard toepassen van een elektrochemische oppervlaktebehandeling (elektrolytisch polijsten) vinden hier dan ook hun oorsprong, en dat zijn dan ook de twee factoren waarin Packo zich ook nu nog onderscheidt. Elektrolytisch polijsten houdt in dat het stuk in een bad ondergedompeld wordt en zo treedt er een spanning op die het oppervlak vlakker maakt.

Packo heeft 2 vestigingen in België, meer bepaald in Zedelgem en in Diksmuide. In de vestiging te Zedelgem worden melkkoeltanks en componenten voor de voedsel- en farmaceutische industrie vervaardigd. In de vestiging te Diksmuide worden onder meer industriële pompen en melkmachinecomponenten gefabriceerd. Er is ook nog een afdeling elektrolytisch polijsten die de producten een zeer hoge graad van afwerking bezorgt.

In Diksmuide worden ruim 130 medewerkers tewerkgesteld, die per jaar meer dan 12.000 pompunits fabriceren. De geproduceerde pompen hebben een vermogen tot maximaal 250kW en hebben een

debiet tot maximaal 1700m^3/h ofwel een debiet van 475l/s. 60% van alle pompen die geproduceerd worden, zijn bestemd voor de voedingsindustrie. Hierdoor zitten we zeker aan het juiste adres voor onze zoektocht naar een geschikte pomp voor onze installatie.

Vragen die we hadden voor het bedrijf:

- Hoe een pomp voedselveilig maken?
- Hoeveel debiet kan een pomp aan?
- Welke soorten pompen bestaan er?
- Hoe stuur je best een pomp aan?
- Heb je al problemen ondervonden met voedselveilige pompen, zo ja welke?
- Wat zijn de voor- en nadelen van een regelbare pomp?
- Hoe functioneert het elektrische gedeelte van de pompen?

We hebben daar dan heel veel uitleg gekregen over voedselveiligheid en pompen. Over de verschillende labels die er zijn. Ook kregen we heel wat info omtrent NPSH.

Besluit

We hebben in Packo heel veel bijgeleerd waarvoor dank. We hebben dan ook een pomp aangekocht, die zal dienen voor alle bier dat verpompt moet worden.

3.4.3 Keuze pomp

Na 2 bedrijfsbezoeken in Packo beslisten we om daar uiteindelijk geen pomp aan te kopen, doordat de prijs van de pomp veel te hoog was voor onze toepassing.

Na verder onderzoek belandden we in een winkel die alles verkoopt in verband met bierbrouwen, deze winkel heet BMS en bevindt zich in Kuurne. Daar hebben we dan ook een volledige rondleiding gekregen en hebben we dan ook de pomp aangekocht.

Na de laatste GIP-vergadering kregen we als opmerking dat met deze pomp de kans bestaat dat de pomp waarschijnlijk niet genoeg druk zal kunnen creëren, om uiteindelijk het wort door het filterbed te trekken en te verpompen doorheen de installatie. Naar aanleiding van deze opmerking heeft dhr. Goethals de vereenvoudigde pompcurve erbij genomen die we teruggevonden hadden op internet en in de handleiding. Het drukverschil werd ook berekend steunend op alle stroomverliezen doorheen de installatie.

Hieruit besloten we dat de pomp het onmogelijk voor elkaar gespeeld kan krijgen om het wort uit de maischketel te pompen. Doordat het drukverschil dat opgebouwd zal worden in de leidingen groter is dan het maximaal drukverschil dat de pomp kan opbouwen.

Omdat de eerste pomp die we aangekocht hadden in BMS niet volstaat om het wort te verpompen doorheen de installatie, waren we genoodzaakt om een tweede krachtigere pomp te kopen. Voor de aankoop van de tweede pomp hebben we dan toch een beroep gedaan op Packo, met als enige eis dat deze pomp wel het drukverschil kan overbruggen.

Doordat we 2 pompen hebben, gaan we ze dan ook beide gebruiken. De lichtere pomp zullen we gebruiken om het watercircuit te realiseren. De tweede pomp, de 'Packopomp', zullen we gebruiken om het wortcircuit te realiseren. In bijlage worden de technische gegevens van de pompen beschreven. Daarin is duidelijk te zien dat de Packopomp een grotere druk kan opbouwen in vergelijking met de andere pomp.

3.5 Warmtewisselaar

Om het wort te kunnen opwarmen en/of afkoelen hebben we gekozen voor een tegenstroom-warmtewisselaar (buis in buis). De warmtewisselaar die wij gebruiken is een buizenkoeler van Packo, die hebben we van Packo gratis gekregen.

De voorkoelers die geproduceerd worden bij Packo, worden voornamelijk gebruikt om melk te koelen en bevinden zich tussen de melkmachine zelf en de melkkoeltank. Hun doel is om de melk zo snel mogelijk op een lagere temperatuur te krijgen. De warme melk stroomt in de binnenste buis en het koude water stroomt in de buitenste buis. Hierdoor koelt de melk af en neemt het water de warmte van de melk op. Wij gebruiken dit systeem ook om het wort af te koelen.

Figure 3-25 Packo warmtewisselaar

Daarnaast willen het systeem ook andersom gebruiken om het wort op te warmen. Dit doen we door warm water aan de buitenkant te laten stromen.

3.6 Materialenstudie

3.6.1 Inox

Geschiedenis

Roestvast staal, RVS of inox, werd ontdekt ten tijde van de Eerste Wereldoorlog (1914-'18). In Engeland werd er op dat ogenblik onderzoek gedaan naar iets om de kwaliteit van de geweerlopen te verbeteren. Men ontdekte dat wanneer je een legering maakt van ijzer en chroom met minimum 12% chroom de geweerlopen niet meer roesten. Op hetzelfde moment werd in Duitsland diezelfde ontdekking gedaan en de firma Krupp bracht later deze ontdekking uit.

Figure 3-26 inox

Samenstelling

Er is blijvend onderzoek gedaan om de kwaliteit van ijzer te verbeteren, met als gevolg dat er nu meer dan 200 soorten roestvast staal zijn. Er is telkens sprake van een legering met minimum 12% chroom en maximum 1,2% koolstof.

De reden waarom er minimum 12% chroom en 1,2% koolstof aanwezig is bij RVS is omdat bij deze waarden het staal een omslagpunt kent waarbij het een zelfherstellende oxidelaag begint te vormen. Daardoor wordt het onderliggend metaal beschermd. Deze oxidelaag wordt spontaan gevormd wanneer het in contact komt met lucht, vandaar ook de oxidelaag. Het resulteert dus in een laag die passief en corrosiebestendiger is, vandaar dat we spreken van roestvast staal en niet van roestvrij staal. RVS kan dus in wezen wel roesten, wanneer het staaloppervlak beschadigd wordt, komt de ijzerlegering in eerste instantie weer vrij zonder de oxidehuid. Het metaal is op die plaats dan extra kwetsbaar. Doordat er een oxidelaag gevormd wordt wanneer er contact is met lucht, zal deze dus snel herstellen.

Er zijn dus enorm veel ijzerlegeringen die aan de term RVS voldoen. Alle toevoegingen hebben een speciaal effect op de kwaliteiten van het materiaal. Zo wordt er in plaats van alleen maar ijzer, chroom en koolstof ook nog nikkel, molybdeen, titaan … aan toegevoegd.

Elke stof heeft zijn eigenschappen. Hier een overzicht:

stof	eigenschap
Koolstof "C"	Koolstof geeft sterkte aan het materiaal.
Ijzer "Fe"	Dit is het basiselement van inox.
Chroom "Cr"	Dit zorgt voor de beschermlaag tegen corrosie.
Nikkel "Ni"	Dit zorgt voor het beter vervormen van het materiaal en het beschermt tegen corrosie bij hogere temperaturen.

Tabel 1: eigenschappen chemische stoffen RVS

AISI USA	DIN W-Dld	C ≤%	Si ≤%	Mn ≤%	P ≤%	S ≤%	Cr %	Mo %	Ni %	Cu %	Andere %
301	1.4310	0,15	1,00	2,00	0,045	0,030	16,0-18,0	-	6,00-8,00	-	-
302	1.6900	0,15	1,00	2,00	0,045	0,030	17,0-19,0	-	8,00-10,0	-	-
302B	-	0,15	2,00-3,00	2,00	0,045	0,030	17,0-19,0	-	8,00-10,0	-	-
303	1.4305	0,15	1,00	2,00	0,20	≥ 0,15	17,0-19,0	-	8,00-10,0	-	Zr of Mo ≤ 0,60
303Se	-	0,15	1,00	2,00	0,20	0,060	17,0-19,0	-	8,00-10,0	-	Se ≥ 0,15
304	1.4301	0,08	1,00	2,00	0,045	0,030	18,0-20,0	-	8,00-10,5	-	-
304L	1.4306	0,03	1,00	2,00	0,045	0,030	18,0-20,0	-	8,00-12,0	-	-
304N	-	0,08	1,00	2,00	0,045	0,030	18,0-20,0	-	8,00-10,5	-	N 0,10-0,16
304LN	1.4311	0,03	1,00	2,00	0,045	0,030	18,0-20,0	-	8,00-12,0	-	N 0,10-0,16
304H	1.4948	0,04-0,10	0,75	2,00	0,045	0,030	18,0-20,0	-	8,00-10,5	-	-
305	1.4303	0,12	1,00	2,00	0,045	0,030	17,0-19,0	-	10,5-13,0	-	-
308	1.4303	0,08	1,00	2,00	0,045	0,030	19,0-21,0	-	10,0-12,0	-	-
309	1.4828	0,20	1,00	2,00	0,045	0,030	22,0-24,0	-	12,0-15,0	-	-
309S	1.4833	0,08	1,00	2,00	0,045	0,030	22,0-24,0	-	12,0-15,0	-	-
310	1.4841	0,25	1,50	2,00	0,045	0,030	24,0-26,0	-	19,0-22,0	-	-
310S	1.4845	0,08	1,50	2,00	0,045	0,030	24,0-26,0	-	19,0-22,0	-	-

Tabel 2: chemische samenstelling RVS

In tabel 2 zie je een aantal RVS-legeringen, ze hebben allemaal een verschillende samenstelling die ervoor zorgt dat er voor elke toepassing wel een soort RVS is. De legeringen hebben niet alleen chemische capaciteiten. Door een legering te maken verbetert men ook de mechanische eigenschappen. Dit wordt weergegeven in onderstaande tabel.

AISI USA	DIN W-Dld	0,2 rekgrens [N/mm²] bij diverse temperaturen (°C)							Trek-sterkte [N/mm²]	Breek-rek (L_0=5D_0) [%]	Insnoe-ring [%]	Kerfslag arbeid [J]	Hardheid [HB 30]
		20	50	100	200	300	400	500					
301	1.4310	350	-	-	-	-	-	-	700-950	45	50	105	170-220
303	1.4305	195	-	-	-	-	-	-	500-700	35	60	85	130-180
304	1.4301	195	177	157	127	110	98	92	500-700	45	60	85	130-180
304L	1.4306	180	162	147	118	100	89	81	460-480	45	60	85	120-180
304LN	1.4311	270	245	205	157	136	125	119	550-760	40	-	85	140-200
305	1.4303	185	175	155	127	110	98	92	490-690	45	-	85	130-180
308	1.4303	185	175	155	127	110	98	92	490-690	45	-	85	130-180
309	1.4828	280	-	-	-	-	-	-	650-750	45	-	-	170
309S	1.4833	280	-	-	-	-	-	-	650-750	45	-	-	170
310	1.4841	280	-	-	-	-	-	-	650-750	45	-	-	170
310S	1.4845	280	-	-	-	-	-	-	650-750	45	-	-	170

Tabel 3: mechanische eigenschappen RVS

Normalisatie

Doordat er veel verschillende soorten RVS bestaan, moet er een normering komen. In de industrie maken we het meest gebruik van de Amerikaanse normalisatie, namelijk de AISI (American Iron and Steel Institute). Elk normnummer komt overeen met één welbepaalde legering. Wij gebruiken de AISI-normering, maar er zijn wel meerdere manieren om een roestvaste stalen legering uit te drukken. Hieronder enkele normeringen:

Duitsland W.-Nr.	DIN	Frankrijk AFNOR	Groot-Brittannië B.S.	Japan JIS	Zweden SS	U.S.A. AISI	U.S.A. UNS
1.4319	X 5 CrNi 18 7	Z 10 CN 18 09	302 S 17 302 S 25	-	2331	302	S30200
1.4371	X 12 CrMnNi 18 8 5	-	284 S 16	SUS 202	-	202	S20200
1.4401	X 2 CrNiMo 17 12 2	Z 6 CND 17.11	316 S 16 316 S 31	SUS 316	2347	316	S31600
1.4404	X 2 CrNiMo 17 13 2 G-X 2 CrNiMo 18 10	Z 2 CND 18.13 Z 2 CND 17 12 Z 3 CND 19.10 M	316 S 11 316 S 12	SUS 316 L	2348	316 L	S31603
1.4406	X 2 CrNiMoN 17 12 2	Z 2 CND 17.12 Az	316 S 61	SUS 316 LN	-	316 LN	S31653
1.4408	G-X 6 CrNiMo 18 10	-	316 C 16	SCS 14	2343	CF-8 M	J92900
1.4429	X 2 CrNiMoN 17 13 3	Z 2 CND 17.13 Az	316 S 62	(SUS 316 LN)	2375	316 LN	S31653
1.4435	X 2 CrNiMo 18 14 3	Z 2 CND 17.13	316 S 11 316 S 12	SCS 16 SUS 316 L	2353	316 L	S31603
1.4436	X 5 CrNiMo 17 13 3	Z 6 CND 17.12	316 S 16	SUS 316	2343	316	S31600

Tabel 4: normalisatie RVS

Toepassingen

Zoals eerder vermeld zijn er veel verschillende soorten RVS. Elk hebben ze hun eigen chemische en mechanische eigenschappen die ervoor zorgen dat ze een eigen toepassingsgebied hebben. In onderstaande tabel wordt volgens de DIN-normering weergegeven waarvoor iedere legering het meest in aanmerking komt of het meest gebruikt wordt.

RVS type	Toepassingen	Geschikte lastoevoeg-materialen
1.4000	Onderdelen voor water en stoom, alsmede huishoudelijke apparaten, beslag en bekledingen voor binnenhuisarchitectuur, enz.	1.4009 1.4302 1.4502 1.14551
1.4002	Apparaten en onderdelen voor de olie-industrie, kraakinstallaties, alsmede voor gelaste onderdelen voor waterkrachtinstallaties.	1.4009 1.4302 1.4502 1.4551
1.4003	Autobuscarrosserieën, containers voor wegtransport, agrarische techniek, transporttechniek, machine- en apparatenbouw.	1.4316
1.4005	Bevestigingsmiddelen die met water en stoom in aanraking komen.	-
1.4006	Constructiedelen voor water en stoom en niet al te agressieve stoffen uit de voedingsmiddelenindustrie.	1.4009 1.4302 1.4502 1.4551
1.4016	Onderdelen voor zwaardere corrosieve belasting met goede dieptrek-eigenschappen en polijstbaarheid, zoals bestek, aanrechtbladen, bumpers en wieldoppen, enz.	1.4302 1.4316 1.4502 1.4551
1.4021	Onderdelen met hogere sterkte zoals assen, pompdelen, zuigerstangen, kegelventielen, naaldafsluiters, scheepsschroeven.	1.4302 1.4316 1.4502 1.4551
1.4024	Onderdelen zoals assen, schroeven, afsluiterassen, zuigerstangen, alsmede turbineschoepen e.d.	1.4302 1.4316 1.4502 1.4551
1.4028	Veren, zuigerstangen, schroeven.	2.4806
1.4031	Veren, zuigerstangen, schroeven.	2.4806
1.4034	Hardbaar staal voor snijdende gereedschappen, tafelmessen, machinemessen, scheermessen, scharen, alsmede meetgereedschap,kogellagers en schaatsen.	1.4302 1.4316 1.4501 1.4502 1.4551 2.4806
1.4057	Mechanisch zwaar belaste onderdelen voor de levensmiddelenindustrie en voor de bereiding van zeep en azijn.	1.4302 1.4502 1.4551 2.4806
1.4104	Onderdelen voor water en stoom die met automaten worden bewerkt zoals schroeven, spindels, assen, bussen, enz.	-
1.4109	Hooghardend staal voor snijdend gereedschap zoals slachtmessen, snijschijven voor snijmachines, enz.	-
1.4110	Als 1.4034 echter met een hogere hardheid en hogere slijtvastheid, bijvoorbeeld voor chirurgische instrumenten, vleesmessen.	-

Tabel 5: toepassingen RVS

In onze brouwinstallatie gebruiken we RVS304. Soms wordt er ook 316 gebruikt omdat die nog corrosiebestendiger is dan 304. Wanneer we in een agressievere omgeving zitten met zuren en chloordampen wordt er RVS316 gebruik. Over het algemeen gezien volstaat 304 in brouwinstallaties.

3.6.2 Oppervlakteruwheid

Dit is de ruwheid van het materiaal na een bewerking.

Als je bijvoorbeeld een stuk ijzer wil bewerken (lazeren, frezen…),

zullen er zich altijd heel kleine tandjes vormen.

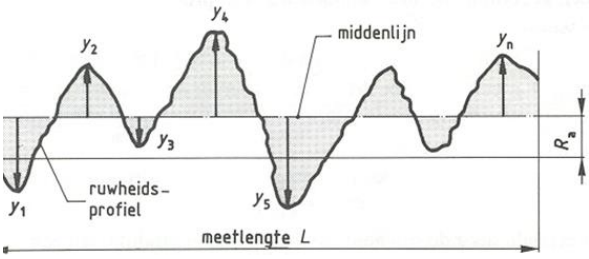


Figure 3-27 oppervlakteruwheid

Deze tandjes noemt men oppervlakteruwheid.

In ons eindwerk heeft de oppervlakteruwheid

natuurlijk een grote invloed op onze leidingen.

Want als er veel wort of resten blijven 'hangen' tussen deze tandjes zorgt dit voor moeilijkheden bij het reinigen van de installatie.

Om de ruwheid zo beperkt mogelijk te houden gebruikt men verschillende technieken:

- borstelen (van 1,25 tot 2,5 mm ruwheid);
- polijsten (van 0,6 tot 0,05 mm ruwheid);
- elektrolyse.

Het elektrolytische polijsten gebeurt door het plaatsen van het werkstuk in een bad met elektrolyt, een bad met een geleidende vloeistof.

Tussen de kathoden en het anodische werkstuk wordt een elektrische spanning gecreëerd.

De spanning dwingt de metaalionen van het oppervlak van het werkstuk naar de kathoden te verplaatsen. Hierdoor verdwijnen de oneffenheden van het oppervlak, dat daardoor gladder wordt.

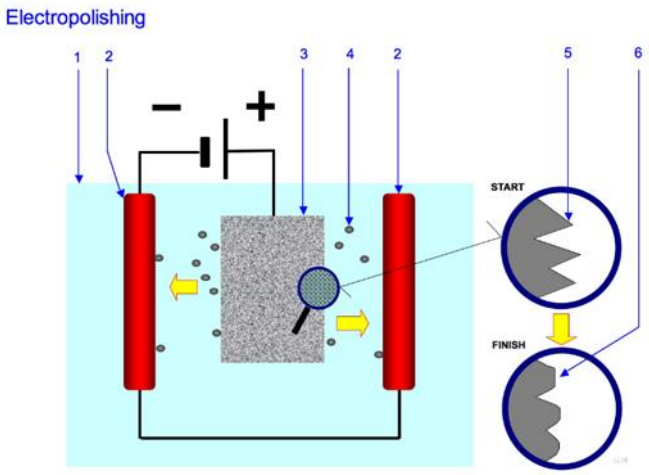


Figure 3-28 elektrolytisch polijsten

Normen en wetten

De oppervlakteruwheid moet tussen twee waarden liggen om met voeding in contact te mogen komen.

De oppervlakteruwheid van de leidingen voor de voedingsindustrie moet tussen de 0,8-1,6µm liggen.

Hoe kan je dit meten?

Er bestaat een speciaal toestel waarbij je met een fijne naald over het oppervlak wrijft en zo te weten komt wat de ruwheid is.

Figure 3-29 oppervlakteruwheidsmeter

4. Elektrische studie

4.1 Boiler

Om het water op te warmen voor het bier maken we gebruik van een boiler. De boiler heeft een volume van 150 L. Hij beschikt ook over een weerstand van 2400W die van 230 V AC voorzien wordt.

Kenmerken boiler

De boiler zou volgens de kentekenplaat een temperatuursopbouw van 50°C kunnen opbouwen in 4 uur. Na het testen van de boiler zijn we tot de conclusie gekomen dat de temperatuur van het water onder het verwarmingselement nauwelijks steeg.

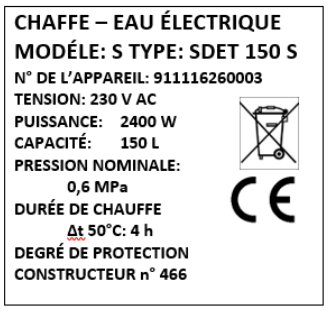


Figure 4-1 kenplaat boiler

Date	Time	temperatuur 1	temperatuur 2
23/03/2018	7:45:38 AM	18,5	19
23/03/2018	8:02:29 AM	18,5	23,25
23/03/2018	8:15:22 AM	18,5	26,5
23/03/2018	8:30:14 AM	18,5	30
23/03/2018	8:45:06 AM	18,5	33,5
23/03/2018	9:00:58 AM	18,5	37,25
23/03/2018	9:15:50 AM	18,75	40,75
23/03/2018	9:30:42 AM	18,75	44
23/03/2018	9:45:34 AM	19	47,5
23/03/2018	10:00:26 AM	19	50,75
23/03/2018	10:15:18 AM	19,25	54
23/03/2018	10:30:10 AM	19,5	57,25
23/03/2018	10:45:02 AM	19,75	60,5
23/03/2018	11:00:54 AM	20,25	63,75
23/03/2018	11:15:46 AM	20,75	67
23/03/2018	11:30:38 AM	21,25	70
23/03/2018	11:45:30 AM	21,75	73
23/03/2018	12:00:22 PM	22,25	76
23/03/2018	12:15:14 PM	23	78,75

Tabel 6: meting boiler zonder extra elementen 23/03/2018

Tijdens het meten werd elke minuut de temperatuur weergegeven in Excel met behulp van twee temperatuursensoren die verbonden waren met een Arduino. Uit deze meting kunnen we opmaken dat we twee problemen hebben: het duurt te lang om de boiler op te warmen en we komen ook niet

aan de 90°C die we graag zouden bereiken. Daarnaast is er ook nog het probleem dat het water onderaan de boiler bijna niet opwarmt.

Aanpassing boiler

Om deze problemen op te lossen, zullen er nog 4 extra weerstanden van 1000 W in de boiler geplaatst worden. Deze weerstanden worden bovenaan de boiler bevestigd en gebogen zodat ze onder het oorspronkelijke element het water ook verwarmen. De verwarmingselementen worden op een plexiplaat bevestigd (zie figuur 2). Om ervoor te zorgen dat de damp in de boiler zou kunnen ontsnappen en we dus op die manier drukopbouw tegengaan, werd er ook nog een gat gemaakt in het midden van de plexiplaat.

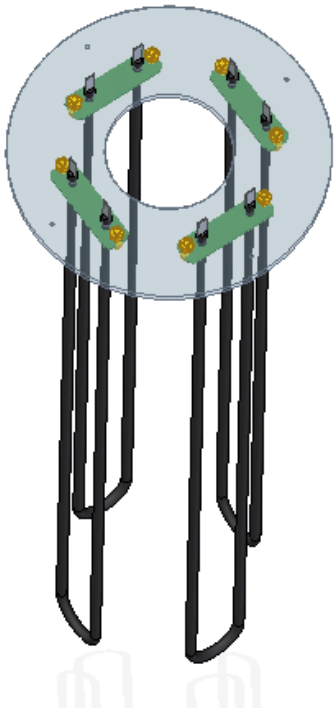


Figure 4-2 houder verwarmingselementen

Figure 4-3 bovenkant boiler

Een boiler bestaat uit een binnenketel omgeven door isolatie die op zijn beurt nog eens omgeven is door een buitenwand. De oorspronkelijke opening in de boiler is al vergroot, maar om de houder met verwarmingselementen (zie figuur 2) in de boiler te plaatsen moet de opening in de buitenwand nog groter gemaakt worden zodat de plexiplaat erdoor kan en kan vastgemaakt worden op de binnenketel. Doordat we de opening van de boiler groter maken, komt de isolatie bloot te liggen. Er moet dus nog een bescherming komen zodat de waterdamp niet in contact kan komen met de isolatie. Daarnaast liggen de verwarmingselementen ook nog bloot, dus om elektrocutie tegen te gaan, dienen deze elementen ook afgesloten te zitten. Er wordt dus een deksel gemaakt dat boven op de buitenwand bevestigd wordt. Dit deksel beschermt de isolatie en de verwarmingselementen (zie figuur 3).

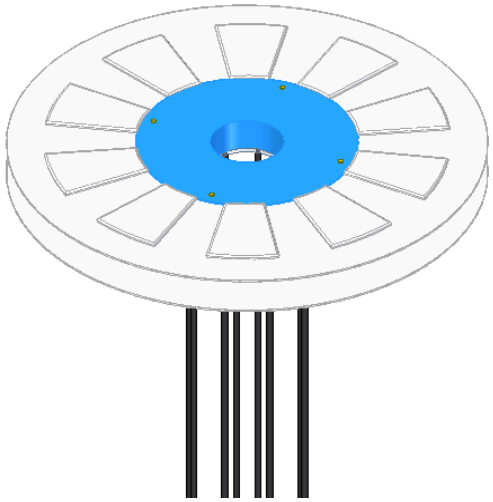


Figure 4-4 verwarmingselementen boiler

In de boiler zitten nu drie extra elementen ingebouwd. Deze elementen hebben elk een vermogen van 1000 W. Wanneer we het vermogen van het al aanwezige element in de boiler erbij nemen, dan komen we aan volgend vermogen:

2 400 W + 3 000 W = 5 400 W

Wanneer we dan de stromen berekenen bij aansluiting op 230 V.

$$I = \frac{p}{U} = \frac{5\,400\ W}{230\ V} = 23{,}47\ A$$

Dit is te veel voor een gewone huishoudelijke automaat die 20 A aankan.

Wanneer we de berekening doen met 400 V, dan krijgen we volgende waarden:

$$I = \frac{p}{U} = \frac{5\,400\ W}{400\ V} = 13{,}5\ A$$

Dit is wel mogelijk.

De mogelijkheid is dus om de elementen aan te sluiten op 400 V of om de weerstanden op 230 V aan te sluiten en er een PWM-signaal op uitsturen dat ervoor zorgt dat de weerstanden continu aan- en uitgeschakeld worden. Wanneer we dit doen, valt de thermische beveiliging in de automaat niet uit en wordt het water probleemloos op temperatuur gehouden.

4.2 Bezoek Detroit

Met de klas zijn we naar Jabbeke getrokken om het bedrijf "Detroit" te bezoeken, een bedrijf dat zelf verwarmingselementen maakt en herstelt. De reden voor het bezoek was het feit dat we een weerstand nodig hadden voor onze boiler.

Detroit is een bedrijf gelegen in Jabbeke en wordt gerund door één persoon die al 40 jaar ervaring heeft op het vlak van verwarmingselementen.

We kregen ook een heel uitgebreide uitleg over alle soorten verwarmingselementen die hij liggen had.

- **Spiraalribelement**: is een gewikkelde draad die bestaat uit een combinatie van nikkel en chroom waar stroom doorvloeit om zo warmte te creëren.

Figure 4-5 spiraalribelement

- **Patroonweerstand**: werkt ook op het principe van een geleider waar stroom doorheen loopt (en zo opwarmt) met daarrond een isolerende stof en vervolgens een beschermende buis. Hier zitten de aansluitingen wel aan dezelfde kant. Een patroonweerstand heeft ook een negatieve tolerantie, dit wil zeggen dat ze zeker niet langer mogen zijn. Ze hebben meestal een vermogen van 26W/cm^2.

Figuur 4-6 patroonweerstand

- **Dompelweerstand**: werkt volgens hetzelfde principe als een patroonweerstand, alleen moet de dompelweerstand altijd onder water (een vloeistof) blijven.

Figuur 4-7 dompelweerstand

- **Keramische dompelaar**: werkt ook met een gewikkelde draad waar stroom doorloopt om zo warmte te creëren. Het keramiek daarrond neemt op zijn beurt de warmte op en geeft dit af aan zijn omgeving. Dit wordt o.a. gebruikt in heel grote frietpotten.

Figuur 4-8 keramische dompelaar

- **Plaatweerstand**: werkt op het principe dat vele draden lopen op een vlakke plaat. Daar wordt er dan stroom doorgestuurd om zo warmte te creëren.

- **Verwarmmat**: is hetzelfde als een plaatweerstand, maar deze is flexibel en kan ergens op kleven.

Figuur 4-9 verwarmmat

Enkele weetjes

- Intensiteit van je verwarmingselement wordt uitgedrukt in Watt per vierkante meter (W/m²).
- Je moet opletten met de elektrische verbindingen. Als de middenstof warmer is dan 90°C kunnen de connecties oxideren of de aangesloten beschermhulzen van de draden smelten.

Plooien

Alleen elementen die opnieuw gegloeid zijn, kunnen worden geplooid zonder een kans dat het element niet meer werkt.

Men moet buigen met een buigrol of mal anders kan dit je buis beschadigen.

Na de interessante uitleg hebben ook wij enkele van onze weerstanden laten buigen. In het labo hebben we vervolgens de overige elementen geplooid.

Figuur 4-10 plooien weerstand

4.3 Motor roerder

In de maischketel maken we gebruik van een roerder om het maischbed te breken wanneer het toeslibt, dit om te voorkomen dat er bij de pomp cavitatie kan optreden. Hiervoor hebben we uiteraard een motor nodig.

Werking driefase asynchrone motor

Onze motor is een driefasige asynchrone motor, ook wel een inductiemotor genoemd. We kunnen de motor onderverdelen in twee delen, namelijk: de stator en de rotor.

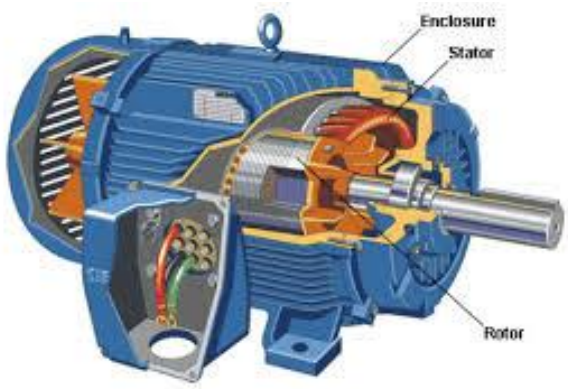


Figure 4-11 asynchrone motor

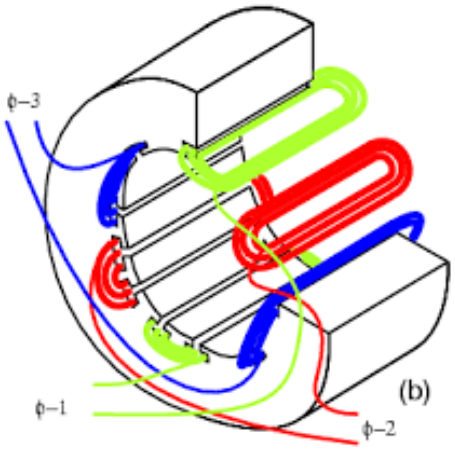


Figure 4-12 stator asynchrone motor

<u>Stator</u>

De stator omvat een driefasige wikkeling. Wanneer je deze aansluit op een driefasige spanning zal er een magnetisch draaiveld gevormd worden. Dit magnetische draaiveld zal aanleiding geven tot het roteren van de rotor. Die driefasige wikkelingen krijgen elk een naam: U, V & W.

Rotor

Je hebt twee soorten rotoren, namelijk: de sleepringankermotor of kooiankermotor. Beide zullen door middel van de magnetische flux door de rotor een Lorentzkracht opwekken die een draaibeweging zal teweegbrengen. Deze draaizin zal gelijk zijn aan de draaizin van de magnetische draaizin.

Rendement motor

Zoals op elk kentekenplaat van een motor staat een rendement van de motor. Het geleverde (elektrische) vermogen zal niet volledig omgezet worden naar het gewenste (mechanische) vermogen. Er zal dus verlies optreden. Dit verlies kan je o.a. merken aan het opwarmen van de motor.

De vermogensverliezen van de motor is een som van verschillende deelverliezen:

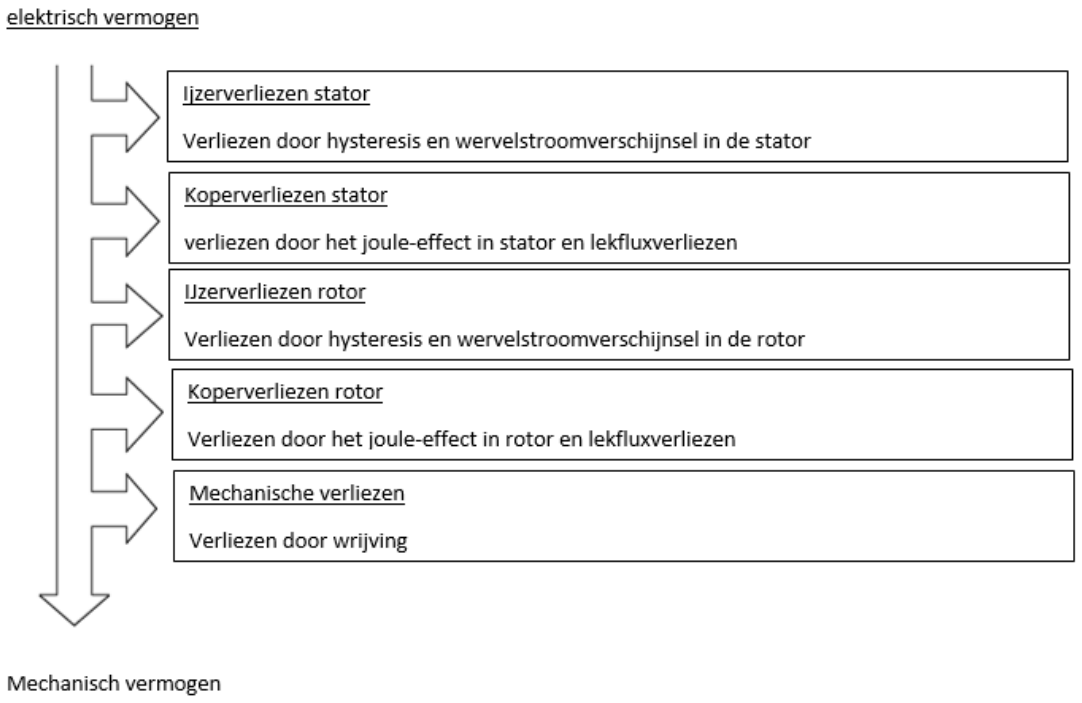


Figure 4-13 verliezen motor

Het rendement van de motor wordt meestal bij ons weergegeven bij een frequentie van 50 Hz. Wanneer we met een frequentieregelaar werken, zal bij hogere frequenties het rendement dalen. De ijzerverliezen zullen naarmate de frequentie toeneemt ook toenemen. Wanneer een motor op een lager toerental draait, zal de ventilator ook trager draaien en zal bijgevolg de motor ook minder koelen.

Mechanische berekeningen

Figure 4-14 NORD SK63L/4 met reductie

Onze motor is een NORD SK63L/4 met een reductie. Hieronder enkel technische gegevens.

MOTOR	
Type	SK 63 L/4
Aantal netfasen	3
Bouwjaar	2016
Nominale frequentie	50 Hz
Nominale spanning	230/400 V Δ/Y
Nominaal vermogen	0,18 kW
Vermogensfactor	0,61
Nominale toerental	1 390 tr/min
Nominale stroom	1,18/0,68 A
Nominaal rendement	58,0%

Aan de hand van het nominale toerental kunnen we achterhalen of we te maken hebben met een asynchrone motor met twee polenparen.

Wanneer we de formule voor het toerental erbij nemen:

$$n = \frac{f \,.\, 60}{p} \quad [tr/min]$$

We zien dus dat we het toerental kunnen regelen op twee manieren, namelijk door de frequentie aan te passen of door het aantal polenparen aan te passen. Wanneer we de frequentie van bij ons nemen (50 Hz) en we twee polenparen hebben, kunnen we berekenen dat ons toerental 1 500 tr/min zal zijn.

Op de kentekenplaat staat 1 390 tr/min, dit komt doordat een motor een rendement en dus verliezen heeft.

REDUCTIE

Type	SK 1SI31F-IEC 63-63L/4
Overbrengingsverhouding	10
Nominaal koppel na reductie	9,7 Nm

Bij de motor hebben we ook een koppelcurve gekregen. Hieruit kunnen we nog extra gegevens afleiden.

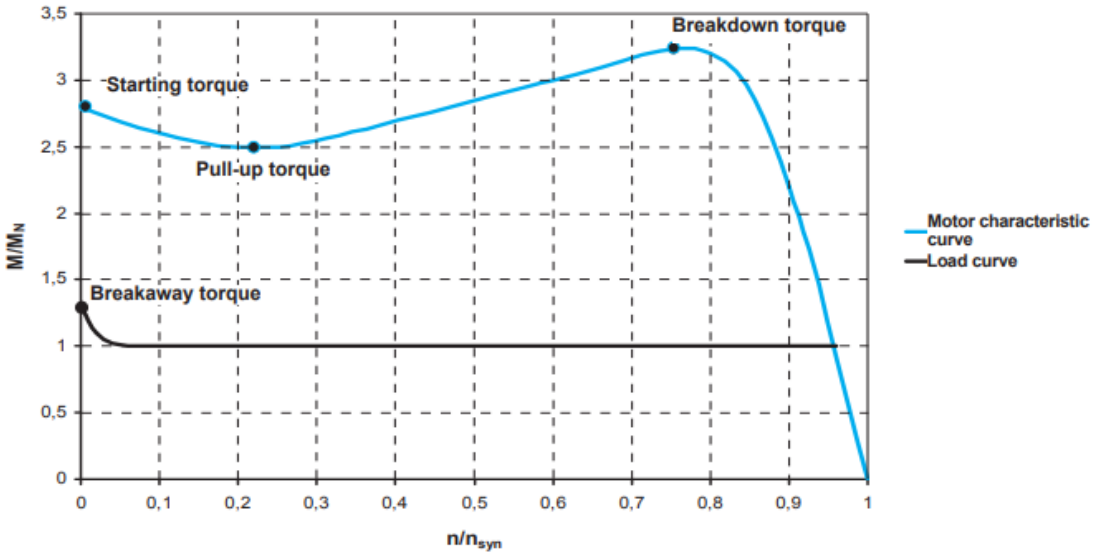


Figure 4-15 NORD koppelcurve

We krijgen met deze curve twee belangrijke punten namelijk: het kipkoppel (breakdown torque) en het startkoppel (starting torque).

$$M_{aan} = 2{,}8 \,.\, M_{nom}$$

$$M_{kip} = 3{,}2 \,.\, M_{nom}$$

Het ideale werkgebied van een motor is tussen de 50% van de nominale belasting en de belasting bij nullast. Met nominale belasting bedoelen we de belasting waarbij de motor voortdurend kan blijven werken met een optimaal rendement. Wanneer we spreken over belasting bij nullast dan wil dit zeggen dat er niets op de motor is aangesloten. Wanneer we de motor niet willen overbelasten, mogen we de motor niet te lang in het gebied tussen nominaal koppel en kipkoppel laten draaien. Die gegevens worden ook door de producent meegegeven. Bij onze motor mag (wanneer we onze motor aansluiten op het net) de acceleratietijd niet meer zijn dan 4 seconden, dit om de motor niet te oververhitten.

Met de gegevens die we hebben, kunnen we het koppel bij nominale belasting berekenen.

$$p_{nom} = \frac{M_{nom} \cdot n_{nom}}{9{,}55}$$

Met

p_{nom} in W $\quad$ M_{nom} in Nm $\quad$ n_{nom} in tr/min

Uit deze formule kunnen we ons nominaal koppel berekenen. Aangezien we altijd met de SI-eenheden werken, zullen we ook altijd in de juiste eenheid eindigen.

$$M_{nom} = \frac{p_{nom} \cdot 9{,}55}{n_{nom}} = \frac{0{,}18 \cdot 10^3 \cdot 9{,}55}{1\,390} = 1{,}24 \text{ Nm}$$

Wanneer we dit in rekening brengen, wil het zeggen dat we op een afstand van ongeveer 0,30 m maar een kracht kunnen uitoefenen van 4,12 N, als we onze motor nominaal willen laten draaien. Dit wanneer we de motor rechtstreeks op de roerder zouden aansluiten.

Dit zal te weinig zijn voor onze installatie, maar op de motor is een reductie aanwezig. Deze reductie zal ervoor zorgen dat we een groter koppel kunnen genereren. Daarbij zal het toerental wel dalen, maar voor onze installatie is dit geen probleem, want de motor moet toch heel traag draaien. Want een toerental van om en bij de 1400 tr/min is veel te groot voor onze toepassing .

De reductie op de motor heeft een overbrengingsverhouding van 10. De reductie zal er dus voor zorgen dat we het toerental met 10 verkleinen.

$$i = \frac{n_{motor}}{n_{reductie}}$$

We willen nu het toerental na de reductie kennen, dus:

$$n_{reductie} = \frac{n_{motor}}{i} = \frac{1\,390 \ {}^{tr}/_{min}}{10} = 139 \ {}^{tr}/_{min}$$

Wanneer we nu opnieuw het nominaal vermogen berekenen na de reductie, krijgen we volgende waarde.

$$M_{nom} = \frac{p_{nom} \cdot 9{,}55}{n_{nom}} = \frac{0{,}18 \cdot 10^3 \cdot 9{,}55}{139} = 12{,}4 \text{ Nm}$$

Het koppel is dus tien keer verhoogd. Dit zorgt ervoor dat we op een afstand van 0,30 m van de as een kracht kunnen uitoefenen van 41,2 N. Dit is al een stuk meer. We moeten hier wel nog rekening houden met het rendement van de reductie. Volgens de fabrikant zullen we maar een uitgaand koppel hebben van 9,7 Nm. Dit wil zeggen dat ons moment op een afstand van 0,30 m maar 32 N zal bedragen.

Wanneer we toch meer koppel vragen dan het nominale zal onze motor in de zones tussen het kip- en nominaal koppel terechtkomen. Op zich is dit niet zo erg… als we het niet te lang zo houden. Wanneer de motor in deze zones zal werken, zal hij meer warmte ontwikkelen in de wikkelingen. Dit kan ervoor

zorgen dat de motor oververhit geraakt. De frequentieregelaar die we aansluiten, zal dit kunnen controleren als hij correct is ingesteld.

Wanneer we dus het koppel willen weten, waar we zeker onder moeten blijven, krijgen we volgende waarden.

$$\mathrm{M_{kip}} = 3{,}2\ .\ \mathrm{M_{nom}} = 3{,}2\ .\ 12{,}4\ \mathrm{Nm} = 39{,}68\ \mathrm{Nm}$$

Wanneer we dit opnieuw bekijken over een afstand van 0,30 m van het center kunnen we besluiten dat we op deze plaats een maximale kracht van 132 N kunnen verzetten. Dit is al meteen een heel grote waarde. Het is wel niet aangewezen om in de buurt te werken van het kipkoppel. De waarden die we hier krijgen, zullen we ook proberen te vermijden.

We kunnen hieruit ook ons maximaal vermogen berekenen. Al hebben we hiervoor wel het toerental nodig dat we hebben bij ons maximaal koppel. Volgens de koppelcurve krijgen we volgende waarden.

$$\mathrm{n_{kip}} = 0{,}75\ .\ \mathrm{n_{nom}} = 0{,}75\ .\ 139\ \ \mathrm{tr/min} = 104\ \mathrm{tr/min}$$

$$\mathrm{p_{max}} = \frac{\mathrm{M_{kip}}\ .\ \mathrm{n_{kip}}}{9{,}55} = \frac{39{,}68\ .\ 104}{9{,}55} = 432{,}11\ \mathrm{W} = 0{,}432\ \mathrm{kW}$$

We kennen nu onze mechanische vermogens. Hieruit kunnen we het vermogen bepalen dat geleverd wordt. Doordat een motor geen rendement van 100% heeft, zal er enig verlies optreden. We zullen dus meer energie moeten toevoegen dan we krijgen.

$$\eta = \frac{p_{me}}{p_{el}}$$

We kennen het rendement en het mechanisch vermogen, dus we kunnen hieruit ons elektrische vermogen berekenen bij nominaal koppel en maximaal koppel.

$$p_{el_{nom}} = \frac{p_{me_{nom}}}{\eta} = \frac{0{,}18}{0{,}58} = 0{,}31\ kW$$

$$p_{el_{max}} = \frac{p_{me_{max}}}{\eta} = \frac{0{,}432}{0{,}58} = 0{,}74\ kW$$

Met deze gegevens kunnen we berekenen hoeveel stroom de motor zal trekken bij nominale en maximale belasting.

$$p = \sqrt{3}U.I.\cos\varphi$$

$$I_{nom} = \frac{p_{nom}}{\sqrt{3}\,.\,U.\cos\varphi} = \frac{0{,}31\,.\,10^3}{\sqrt{3}\,.\,230\,.\,0{,}61} = 1{,}28\ A$$

$$I_{max} = \frac{p_{max}}{\sqrt{3}\,.\,U.\cos\varphi} = \frac{0{,}74\,.\,10^3}{\sqrt{3}\,.\,230\,.\,0{,}61} = 3{,}05\ A$$

Wanneer we de motor starten, krijgen we ook een hoger koppel gedurende enige tijd. Dit zal geleidelijk aan dalen om dan weer te stijgen naar het kipkoppel en dan opnieuw te dalen naar het nominaal koppel.

We hebben al aangehaald dat de roerder niet te snel mag draaien. Bijkomend mag er ook niet ingeboet worden op koppel. Om dit op te lossen zullen we gebruik maken van een frequentieregelaar om na de reductie de roerder nog trager te laten draaien.

De frequentieregelaar wordt gekoppeld aan de Arduino zodat de snelheid van de motor digitaal kan worden aangepast.

Frequentieregelaar

We maken gebruik van een frequentieregelaar om onze motor aan te sluiten. Waarom? De hoofdreden is omdat we de snelheid van de motor willen veranderen. Deze motor moet heel traag kunnen draaien zodat we het graanbed traag kunnen breken. We zullen de motor driefasig laten aansturen. Als de motor sneller zou draaien dan nodig, dan treedt er energieverlies op. Op onze elektrische kast voorzien we drie mogelijke aansluitingen (zowel driefase als enkelfase). Om deze op enkelfase te laten werken, maken we ook gebruik van de frequentieregelaar. Een laatste voordeel is dat de motor dankzij de frequentieregelaar stelselmatig op gang kan komen en dus niet in één keer op volle snelheid zit.

Figure 4-16 frequentieregelaar

In onderstaande figuur vind je het principeschema van een frequentieregelaar.

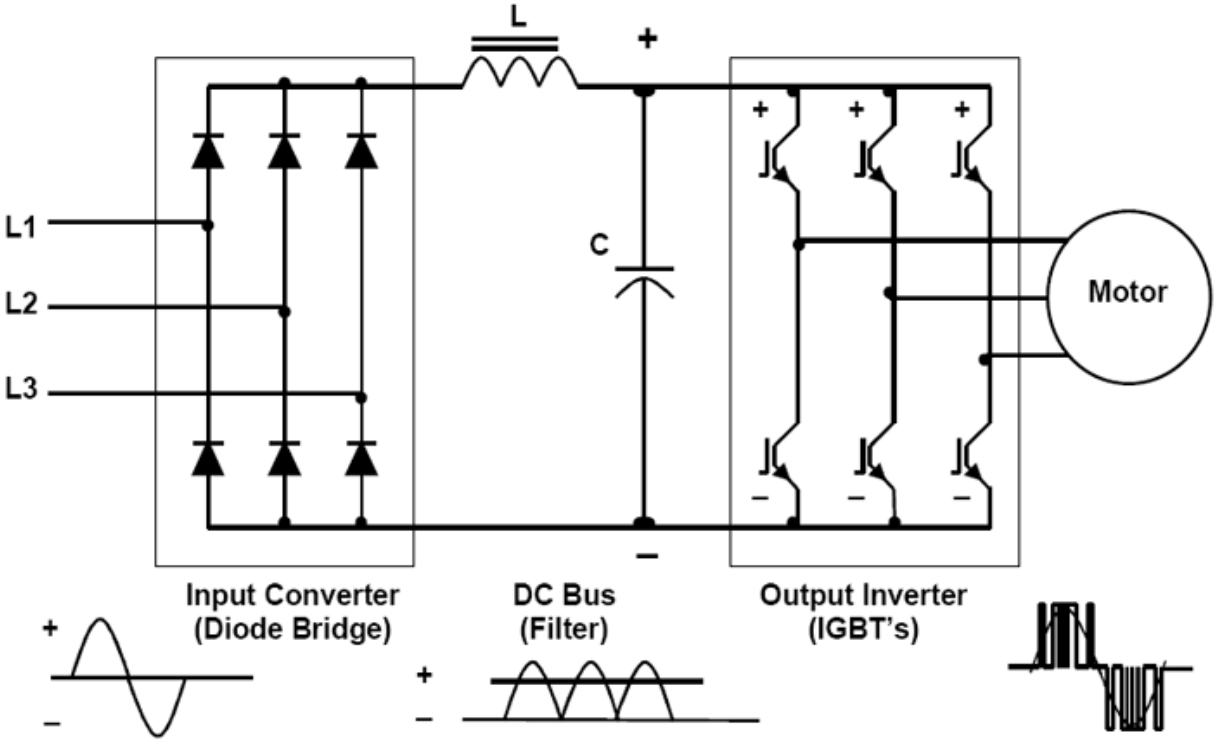


Figure 4-17 schema frequentieregelaar

In het eerste deel van de frequentieregelaar (convertor) wordt de éénfase- of driefasespanning gelijkgericht. Dit aan de hand van een diodebrug op driefase. In het volgende deel (filter) wordt die spanning afgevlakt. Hiervoor dient de condensator die continu zal opladen en ontladen. Deze afgevlakte spanning wordt dan in de volgende blok (invertor) omgevormd naar een driefasespanning met veranderbare frequenties. We kunnen dit hier zien als een H-brug.

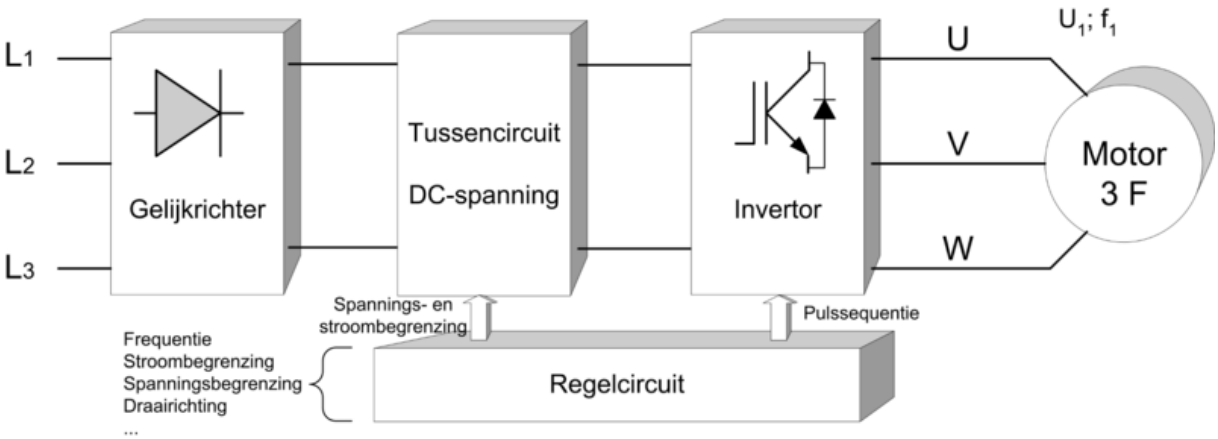


Figure 4-18 blokschema frequentieregelaar

Elektrische filters

Omdat we de frequentie van onze motor voor de roerder graag digitaal zouden kunnen veranderen via Arduino, gaan we gebruik maken van elektrische filters. Een Arduino stuurt standaard een frequentie uit van 490Hz bij het PWM commando. Wij willen dat er zeker geen hogere frequenties doorgaan. We zorgen ook nog voor een marge, dus nemen we een filter met kantelfrequentie van 50Hz. Alles wat lager is dan 50Hz zal deze filter doorlaten, alles wat hoger is, zal hij onderdrukken. Dit is natuurlijk niet volledig juist aangezien perfecte filters niet bestaan.

De bedoeling is om de AC (hoge frequenties) van de Arduino te onderdrukkenen de DC (lage frequenties door te laten)s

Bij elektrische filters is het eigenlijk de bedoeling om frequenties door te laten of tegen te houden. Er bestaan meerdere soorten filters. Wij zullen er daar twee van bespreken, namelijk hoog- en laag-doorlaatfilters. Een hoogdoorlaatfilter laat hoge frequenties door en een laagdoorlaatfilter laat lage frequenties door. Deze werken enkel op wisselspanning, dus ook netspanning. Als je deze zou aansluiten op gelijkspanning, dan zou je bij een spoel een X_L krijgen van 0 en bij een condensator een X_C die oneindig groot wordt. Dit kunnen we afleiden uit volgende formules :

$$X_L = 2\pi f . L$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f . C}$$

In onderstaande berekeningen worden de waarden voor onze filter berekend.

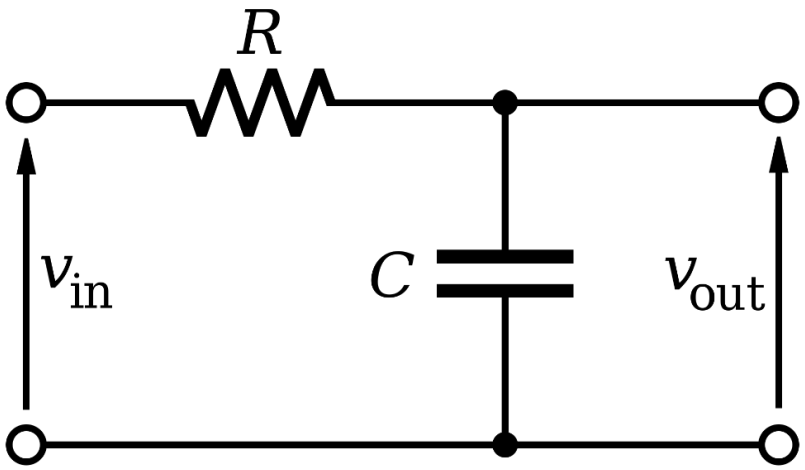


Figure 4-19 elektrische filter

$$\text{Au} = \frac{U_{uit}}{U_{in}} = \frac{U_C}{U_R+U_C} = \frac{I*X_C}{I*(R+X_C)} = \frac{\frac{1}{jwC}}{R+\frac{1}{jwC}} = \frac{1}{\sqrt{1^2+(jwRC)^2}}$$

met : $U_C = I \,.\, X_C$

$U_R = I \,.\, R$

$X_C = \frac{1}{jwC}$

$$-3\text{dB} = 20\log|\text{Au}|$$

$$-3\text{dB} = 20log\left|\frac{1}{\sqrt{1^2+(wRC)^2}}\right|$$

$$\rightarrow \quad \omega.\text{R.C} = 1$$

$$2\pi\text{f.R.C} = 1$$

We moeten rekening houden met een kantelfrequentie van 50Hz.

$$R = \frac{1}{2\pi f.C} = \frac{1}{2\pi 50.1.10^{-6}} = 3\,183{,}10\Omega$$

Als we bv. een condensator nemen van 1 . 10^{-6}F, dan zouden we een weerstand nodig hebben van 3 183,10Ω. Deze weerstand bestaat echter niet, dus zullen we gebruik maken van een weerstand van 3,3kΩ.

Aansluiting frequentieregelaar en motor

De aansluitingen van een asynchrone motor zijn zo gemaakt dat je hem zowel in ster als in driehoek kunt aansluiten.

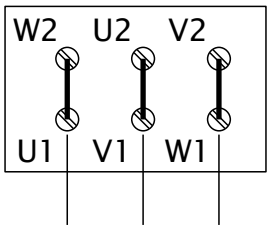


Figure 4-20 aansluiting motor in driehoek

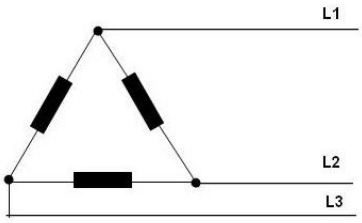


Figure 4-21 driehoekschakeling

Op het kentekenplaatje van onze motor staat 230/400 V Δ/Y. Dit wil zeggen dat je de motor zowel op 3x230 V als op 3x400 V kan aansluiten. De 230 V voor de schuine streep wil zeggen dat de spanning over iedere wikkeling 230 V moet bedragen.

Wanneer we de motor op 3x230 aansluiten, moeten we de motor dus in driehoek aansluiten. Zo staat er 230 V over iedere wikkeling.

Zoals in bovenstaande figuur te zien zal de spanning tussen de lijnen (230 V bij aansluiting 3x230 V) dezelfde spanning zijn die over iedere wikkeling zal staan.

Stel dat we de motor op 3x400V zouden aansluiten, dan zouden we de motor in ster moeten schakelen. Doordat de spanning over de lijnen bij driehoek gelijk is aan de fasespanning vermenigvuldigd met $\sqrt{3}$ zal er bij 3x400V ook 230 V staan over iedere wikkeling.

We weten nu hoe we onze motor moeten aansluiten op het net. We willen echter de motor niet rechtstreeks aansluiten op het net, er zit nog een frequentieregelaar tussen. We zullen de motor en de frequentieregelaar moeten aansluiten volgens de aanwijzingen van de fabrikant van de frequentieregelaar. In onderstaande figuur vind je de aansluitklemmen van de frequentieregelaar.

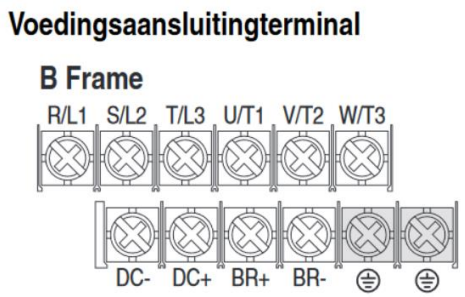


Figure 4-22 aansluitklemmen frequentieregelaar

Terminal	Beschrijving
R/L1, S/L2	1-fase ingang
R/L1, S/L2, T/L3	3-fase ingang
U/T1	verbinding naar motor U/T1
V/T2	verbinding naar motor V/T2
W/T3	verbinding naar motor W/ T3
DC+, DC-	aansluiting DC-bus
⏚	aarding

Tabel 7: legende aansluiting frequentieregelaar

We nemen nu de legende erbij van de frequentieregelaar en zien dat we 3 verbindingen hebben voor de motor. Dit moet ook aangezien het een driefasige asynchrone motor is. We zullen dus de U_1-klem van de motor moeten aansluiten op de U/T_1-klem van de frequentieregelaar. De V_1-klem op de V/T_2-klem en de W_1-klem op de W/T_3. Dit is de koppeling tussen de frequentieregelaar en de motor.

Hierboven spraken we over de uitgangen van de frequentieregelaar. We moeten de frequentieregelaar ook aansluiten op zijn ingangen. Er zijn verschillende waarden die als ingang dienen.

Enerzijds heb je de aansluiting met het net. We zullen de motor aansluiten op een 1-fase net. Dit wil zeggen dat we L_1 en L_2 moeten aansluiten op respectievelijk R/L1 en R/L2. Naast de lijndraden moeten

we ook de aarding aansluiten. Dit is verplicht en zal bij een lekstroom (die bijvoorbeeld bij elektrocutie kan voorkomen) ervoor zorgen dat de zekeringen uitschakelen.

We willen de frequentieregelaar sturen met behulp van de Arduino. We hebben al meegegeven dat we dit zullen doen aan de hand van een elektrische filter. Er is op de frequentieregelaar ook een aansluiting aanwezig die wij kunnen aanwenden om dit te realiseren.

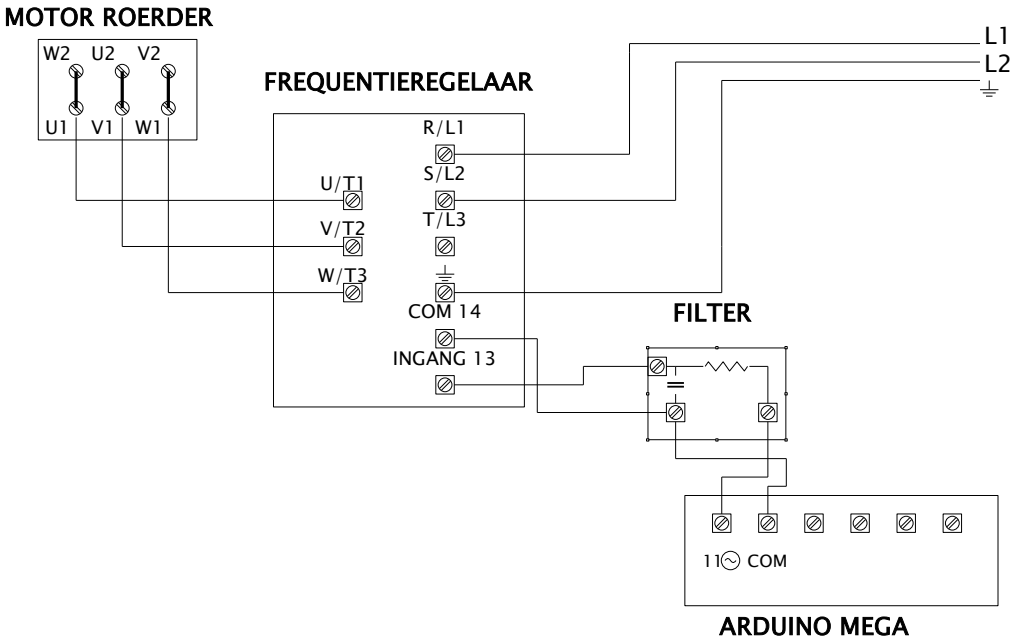


Figure 4-23 aansluitschema motor roerder

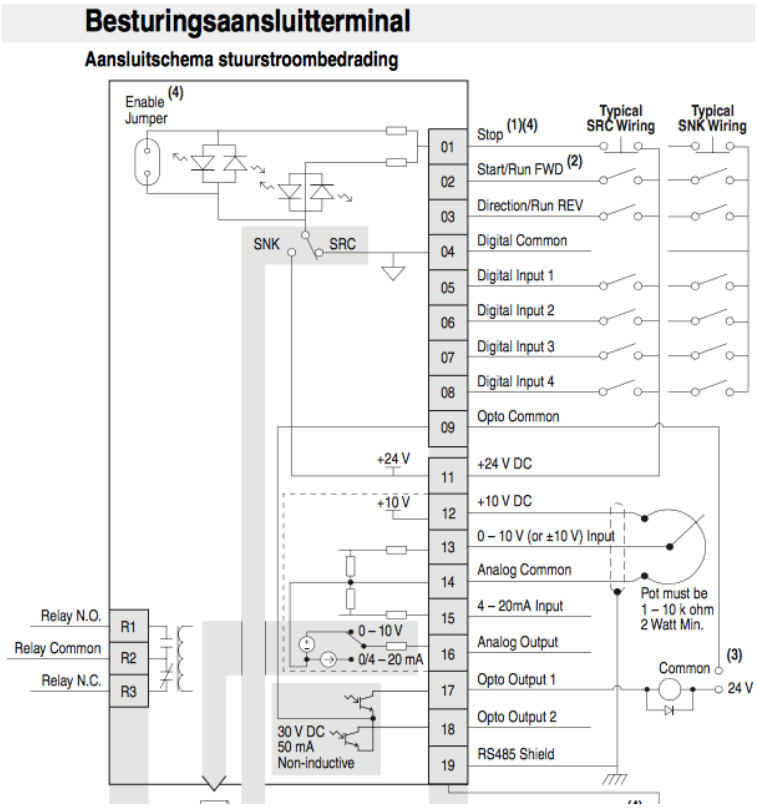


Figure 4-24 besturingsaansluitterminal

Uitleg programma Arduino

Dit is een basisprogramma om de motor aan te sturen waarin je het percentage ingeeft aan hoeveel van de maximale snelheid de motor zou moeten draaien.

```
int waarde_motor; // variable aanmaken waarde_motor
int waarde_omgezet; // variable aanmaken waarde_omgezet

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode (11, OUTPUT); // pin 11 instellen als output

}

void loop() {
  Serial.println("Op hoeveel % van de maximale waarde moet de motor draaien?"); // tekst

  while (Serial.available() == 0) {}; // wachten tot gebruiker waarde ingeeft
  waarde_omgezet = Serial.parseInt(); // waarde toekennen aan waarde_omgezet
  waarde_motor = waarde_omgezet * 10.23; // waarde vermeenigvuldigen met 10.23
                                         // om van % naar alle mogelijke waarden te gaan

  Serial.print("Motor draait op "); // tekst (na elkaar)
  Serial.print(waarde_omgezet); // waarde_omgezet (aantal %) weergeven
  Serial.println(" %"); // tekst

  analogWrite(11, waarde_motor); // pin 11 de waarde_moter toekennen aan de hand van PWM

}
```

De waarden die we ingeven in Arduino zullen volgens het programma via pin 11 naar de frequentieregelaar gaan. We moeten dus de frequentieregelaar verbinden met pin 11 van de Arduino.

5. Elektronische studie

5.1 Blokschema

Het is niet de bedoeling om de brouwinstallatie handmatig te bedienen. We zullen een beroep doen op de elektriciteit en elektronica om onze installatie (semi-)automatisch te maken. Dankzij het uitstekende inzicht van dhr. Geeraert konden we een schema tekenen dat ons een eerste idee gaf over hoe we onze installatie zullen aansturen.

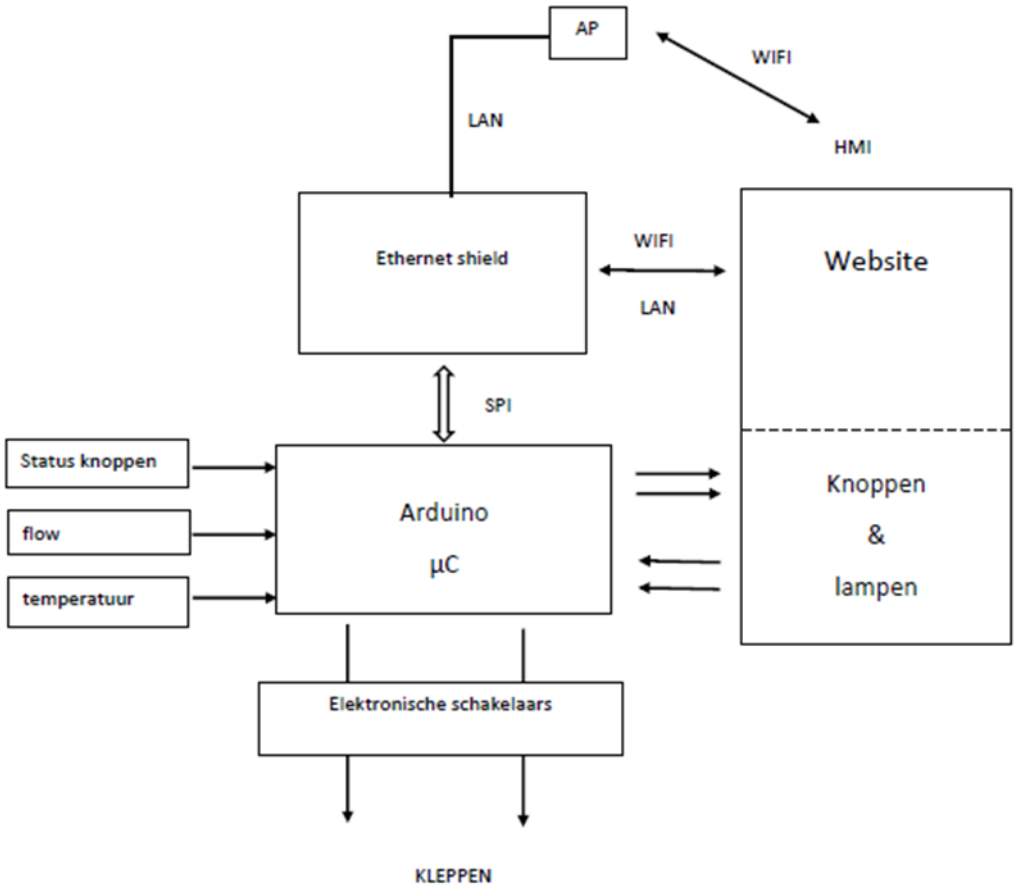


Figure 5-1 blokschema IN/OUTPUT

We zullen onze installatie aansturen m.b.v. een microcontroller, deze microcontroller zal temperaturen en de status van de knoppen registreren om zo de kleppen aan te sturen via elektronische schakelaars. Daarnaast kan hij ook de nodige lampen en knoppen aansturen.

Wanneer er genoeg tijd is, kunnen we er nog een extra stuk aanbouwen. Dit omvat een Ethernet shield dat via WIFI in verbinding staat met een website, om zo het volledige brouwproces op te volgen.

Dit is dus een schema dat ons de mogelijkheid geeft om met het deel onderaan te beginnen. Is er tijd over, dan kunnen we uitbreiden naar het deel bovenaan. Wanneer dit bovenste deel toch niet zal kunnen gerealiseerd worden, kan het nog altijd later aan de installatie toegevoegd worden.

5.2 Arduino

Onze brouwinstallatie moet bestuurd worden met behulp van een microcontroller. Er moeten waarden uitgemeten worden om daaropvolgend een reeks handelingen uit te voeren. Er zijn verschillende microcontrollers op de markt te verkrijgen zoals Raspberry Pi, Parallax Basic Stamp … Wij hebben gekozen voor een Arduino omwille van de prijs en gebruiksvriendelijkheid. Tijdens de lessen kregen we ook veel uitleg over Arduino, dit maakte de keuze iets eenvoudiger.

Wat is een Arduino?

De Arduino werd in het Ivrea Interaction Design Institute in Italië ontwikkeld als een gemakkelijk hulpmiddel om prototypes te bouwen voor studenten. Al vlug werd het een populair hulpmiddel in de elektronica. Alle Arduinoborden zijn open-source net als de software. Dit wil zeggen dat iedereen vrije toegang heeft tot de bronmaterialen. Met een Arduino is het mogelijk om apparaten te creëren die reageren door middel van digitale en analoge inputsignalen en zo digitale en analoge outputsignalen terug uitzenden om zo in ons geval bijvoorbeeld een klep aan te sturen.

Figure 5-2 Arduinologo

Arduino UNO

In onze brouwinstallatie kunnen we gebruik maken van een Arduino UNO. De UNO is de meest gebruikte Arduino van de volledige Arduinofamilie. Het is dan ook het beste bord om mee te experimenteren. De UNO heeft 6 digitale inputpinnen en 8 outputpinnen. Dit zijn er zeker niet genoeg, maar we kunnen nog een extra shield aanbrengen wanneer we de UNO gebruiken, om zo genoeg pinnen te hebben. Hij heeft ook nog eens 6 analoge inputpinnen. De UNO heeft een werkspanning van 5V, en de maximale stroom is 20mA. Door zijn kleine afmetingen (68,6 x 53,4 mm) neemt deze microcontroller heel weinig plaats in.

Figure 5-3 Arduino uno

Ethernet shield

Bij een Arduino UNO is er geen internetaansluiting mogelijk. De bedoeling is om de brouwinstallatie te koppelen aan een website om zo via het internet de installatie aan te sturen. Doordat we niet zeker zijn of we hier nog tijd voor zullen hebben, hebben we gekozen voor een ethernet shield. Dit shield pluggen we gewoon in op onze Arduino. De pinnen van onze UNO blijven hetzelfde waardoor we ons schema niet moeten aanpassen.

Figure 5-4 ethernet shield

Arduino MEGA

De Arduino MEGA kun je zeer goed vergelijken met de UNO, maar bij de MEGA zijn er meer I/O-pinnen. Dit zorgt ervoor dat we bij een MEGA dus geen extra shield moeten aansluiten, wat bij een UNO wel het geval zou zijn. Daardoor is ook gekozen om met de Arduino MEGA te werken. De Arduino MEGA heeft 54 digitale I/O-pinnen en 16 analoge inputpinnen. Deze Arduino werkt net als de UNO op 5V werkspanning en heeft een maximale stroom van 20mA.

Figure 5-5 Arduino mega

In onze brouwinstallatie maken we gebruik van een Arduino MEGA.

5.3 Sensoren

5.3.1 Doel

In de installatie moeten bepaalde waarden uitgemeten worden. Hiervoor maken we gebruik van sensoren. Een sensor kunnen we beschouwen als een soort zintuig. Dit zintuig neemt de elementen van de omgeving waar waarvoor hij ontworpen is, waar: druk, temperatuur, spanning … De ingelezen waarden worden omgezet in analoge of digitale signalen die door een microcontroller begrepen worden.

Figure 5-6 sensoren

5.3.2 Type

Temperatuursensoren

Om de temperatuur in de boiler en maischketel te meten, maken we gebruik van temperatuursensoren. Een temperatuursensor heeft als doel de temperatuur te meten in een bepaalde materie.

In onze installatie zullen we gebruik maken van een MAX6675.

Dit is een thermokoppel. Een thermokoppel zijn 2 verschillende staven die verwarmd worden aan hun contactoppervlak. Wanneer ze verwarmd worden, ontstaat er een spanning over de 2 metalen. Aan de ene staaf zal de temperatuur beter geleiden dan aan de andere staaf en daardoor zal er dus een spanningsverschil gemeten worden aan het einde van de staaf. Deze spanning kan dan volgens de specificaties van het thermokoppel omgezet worden naar de temperatuur.

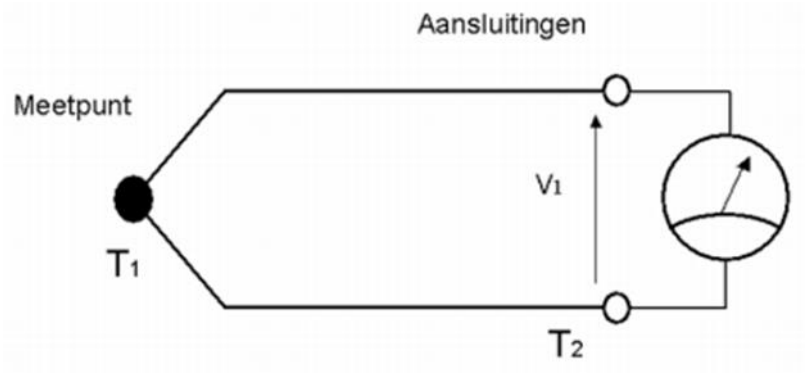


Figure 5-7 temperatuursensor schematisch

De MAX6675 is een chip die het ons gemakkelijk maakt om de thermokoppel te verbinden met de Arduino. De MAX6675 zet de spanning afkomstig van de thermokoppel om naar een signaal voor de SPI-bus.

Voedingsspanning	3,3 tot 5,0 V DC
Bedrijfsstroom	Ong. 50mA
Meetbereik	0 tot 1 024 °C
Meetresolutie	+/- 0,25°C
Uitvoer	SPI-interface
Vereiste sensor	K Thermokoppel

Figure 5-8 temperatuursensor

Volumesensoren

We moeten in onze installatie ook het volume in de 3 ketels (boiler, maischketel, kookketel) bepalen. Hiervoor zullen we gebruik maken van een ultrasoon sensor.

<u>Ultrasone sensor</u>

De werking van een ultrasone sensor is heel eenvoudig. Geluidsgolven hebben een bepaalde snelheid en worden weerkaatst door vaste stoffen. De sensor stuurt een geluidsgolf uit en registreert de tijd wanneer hij deze heeft uitgezonden. De ontvanger zal luisteren wanneer de echo terug komt. De geluidsgolf zal dus op het vloeistofniveau teruggekaatst worden richting sensor. Die registreert de tijd van ontvangst.

Een ultrasone sensor maakt gebruik van frequenties boven het hoorbaar gebied (20Hz – 20kHz). Je zal dus geen geluid waarnemen.

Figure 5-9 volumesensor schematisch

Rekening houdend met het tijdsverschil en de voortplantingssnelheid van het geluid in lucht kunnen we de hoogte berekenen van het vloeistofniveau tot de sensor. En daaruit kunnen we dan het volume afleiden.

In de brouwinstallatie gaan we gebruikmaken van een JSN-SR04T ultrasone sensor. Hier enkele specificaties:

Stroom	30 mA
Spanning	5V
Frequentie	40 kHz
Detectiehoek	< 50°
Meetbereik	4 tot 5 m

Figure 5-10 volumesensor

Dit is een waterdichte sensor en kunnen we dus zonder problemen aan de bovenkant van onze ketels bevestigen.

De frequentie van 40 kHz wil zeggen dat deze sensor zijn geluidspulsen aan een frequentie van 40 kHz zal uitzenden.

Om het volume in de ketel te bepalen maken we een formule waarin het volume in functie van de afstand wordt berekend. Wanneer we dit in ons Arduinoprogramma steken kunnen we zonder problemen het volume bepalen.

Deze sensor zal gebruikt worden in de maisch- en kookketel.

Wanneer we deze aansluiten aan onze Arduino zullen we deze moeten aansluiten op 4 pinnen namelijk:

- GND
- +5V
- Echo-pin
- Trig-pin

In de maisch- & kookketel wordt het wort aan de onderkant aangevoerd. Het vloeistofniveau zal bijgevolg gewoon stijgen, dit zal geen probleem vormen voor de sensor.

In de boiler wordt het water aan de bovenkant aangevoerd en zullen we dus een bewegend wateroppervlak krijgen. Dit zal de meting verstoren. Om dit te voorkomen hebben we een test gedaan waarbij we de sensor in een inox buis hangen die tot beneden loopt. Door het principe van communicerende vaten zal het vloeistofniveau in de buis even hoog zijn als het niveau in de buis die zich in de boiler bevindt. Het was niet zeker dat die buis zou werken aangezien het een invloed zou hebben op de geluidsgolven. Na de test bleek het toch te lukken en zullen we de sensor in de boiler in een buis monteren.

5.4 Regeling maischproces

5.4.1 Wat is het juist?

Een STC-1000 is een temperatuurregelaar die wij gebruiken om de temperatuur in de maischketel te regelen. De STC-1000 beschikt zelf over 1 temperatuursensor en over 2 relais, 1 voor het opwarmen en 1 voor het afkoelen. Wij maken echter alleen maar gebruik van het relais om op te warmen.

Figure 5-11 STC 1000

In de STC-1000 kan je verschillende parameters ingeven zoals temperatuur en tijdspanne. Een temperatuurregelaar zoals deze STC-1000 is voor ons de beste oplossing om onze maischketel op temperatuur te kunnen houden.

Een STC-1000 is een temperatuurregelaar die wij gebruiken om de temperatuur in de maischketel te regelen. De STC-1000 beschikt zelf over 1 temperatuursensor en over 2 relais, 1 voor het opwarmen en 1 voor het afkoelen. Wij maken echter alleen maar gebruik van het relais om op te warmen. In de STC-1000 kan je verschillende parameters ingeven zoals temperatuur en tijdspanne. Een temperatuurregelaar zoals deze STC-1000 is voor ons de beste oplossing om onze maischketel op temperatuur te kunnen houden.

5.4.2 Nieuwe firmware voor de STC-1000

We hebben de firmware van de STC-1000 geüpdatet zodat het mogelijk was om o.a. te communiceren met een Arduino. De update was afkomstig van:

https://github.com/matsstaff/stc1000p

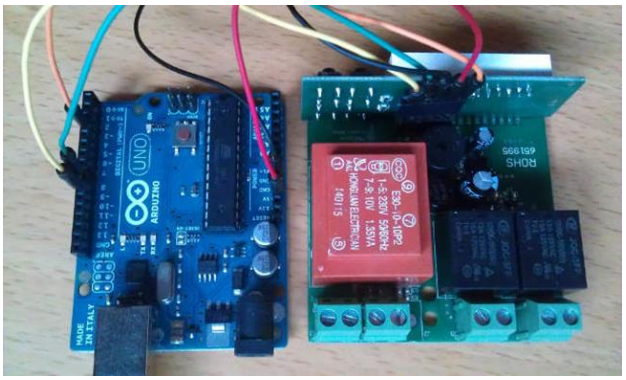


Figure 5-12 firmware

5.4.3 Communicatie tussen Arduino en STC-1000?

In ons project zou het heel handig zijn dat de brouwer deze waarden niet steeds manueel moet ingeven, maar dat hij ook via het ethernet shield deze waarden kan ingeven en dat dan via Arduino de waarden worden doorgeven aan de STC-1000. Ook zouden we graag de temperatuur in de maischketel kunnen visualiseren.

Om te communiceren tussen de Arduino en de STC-1000 is een protocol ontwikkeld. Dit is te moeilijk voor ons om de bespreken.

We kunnen het protocol gebruiken. Enkele voorbeelden uit het Arduinoprogramma zijn:

```
//temperatuur uitlezen
cmd[0]='t';
cmd[1]='\n';
parse_command(cmd);
//toestand heating relais uitlezen
cmd[0]='h';
cmd[1]='\n';
parse_command(cmd);
```

Alle mogelijkheden zijn terug te vinden op:
https://github.com/matsstaff/stc1000p/tree/master/usermanual

5.5 Ethernet Shield

Wat is het juist?

Een ethernet shield is een module die we op een Arduino plaatsen om verbinding te maken met het internet. Men kan aan het shield een internetkabel bevestigen die deze verbinding dan tot stand moet brengen. Ook beschikt dit shield over een SD-kaart om de gegevens van de pagina op te slaan. Deze module kan op een Arduino-Uno geplaatst worden, maar werkt ook perfect met een Arduino-Mega.

Figure 5-13 ethernet shield

SPI bus

SPI staat voor Serial Peripheral bus. Dit is een vorm van communicatie tussen een master (in ons geval de Arduino) en minimaal 1 slave (in ons geval het ethernet shield)

De communicatie verloopt over 4 pinnen

- SCLK (serial clock)
- MOSI (master out slave in)
- MISO (Master in slave out)
- SS (slave select) per slave

Figure 5-14 spi bus

Bij een Arduino mega worden volgende pinnen gebruikt:

- MISO 50
- MOSI 51
- SCK 52
- SS 53

Per extra slave wordt er een extra slave select pin voorzien.

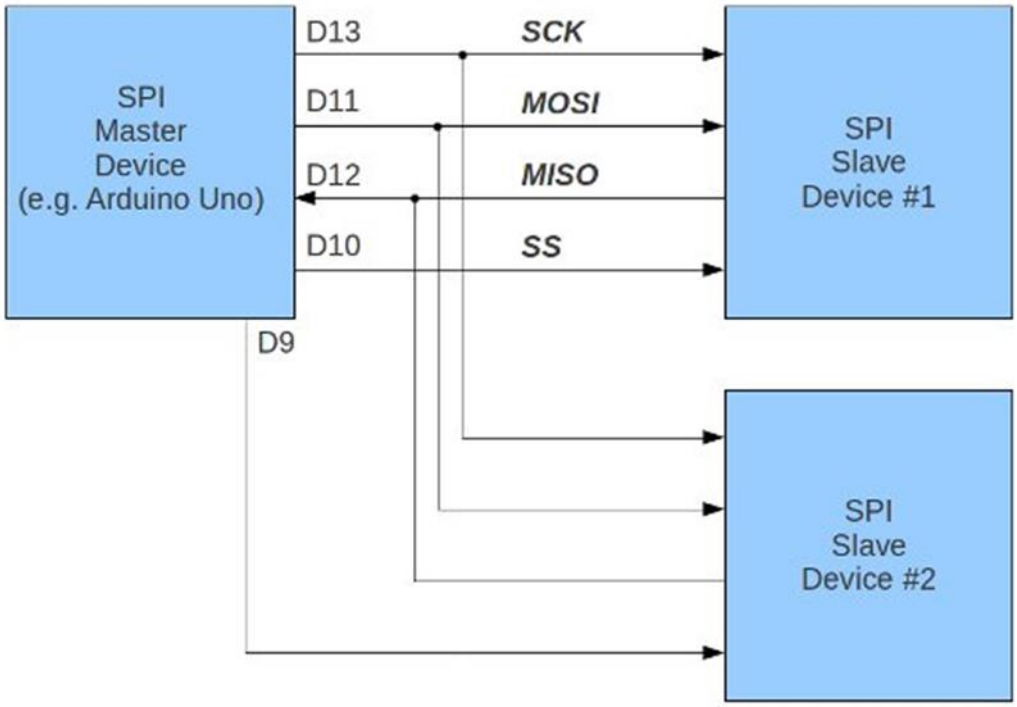


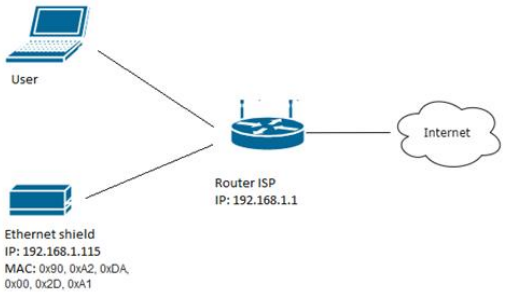
Figure 5-15 spi bus

Waarom een ethernet shield?

We zullen het ethernet shield gebruiken om onze brouwinstallatie op afstand aan te sturen via een webpagina op het internet. Zo moet er niet steeds een laptop aangesloten worden om de installatie te bedienen. Je vindt op deze website ook allerlei gegevens terug zoals wie er juist aan het project gewerkt heeft en wat de opdracht van het project juist was. Het is dan ook nog de bedoeling dat de volumes en temperaturen van de verschillende ketels zichtbaar zijn op de webpagina. Ook kan je zien wat de status van de kleppen is.

Communicatie tussen Arduino programma en netwerk

Het programma om connectie te maken tussen het ethernet shield en de Arduino is er al. De leerkrachten hebben dit programma voor ons geschreven omdat dit voor ons niet haalbaar is.



.

Figure 5-16 commuunicatie

In het Arduinoprogramma wordt een vast IP-adres toegewezen aan het ethernet shield zodat de brouwer steeds weet via welke pagina de installatie te bedienen is.

Zie onderstaande Arduinocode met de instellingen van het ethernet shield:

```
byte mac[] = {0x90, 0xA2, 0xDA, 0x00, 0x2D, 0xA1}; //fysisch adres ethernet module
byte ip[] = {192, 168, 1, 115}; //vast IP adres ethernet module
byte gateway[] = {192, 168, 1, 1}; //gateway (uitgang van het lokale netwerk)
```

De webpagina

Op onderstaande afbeelding ziet u een foto van de homepagina van de webpagina.

Zoals u kan zien op de afbeelding hebben wij onze webpagina in 3 grote delen verdeeld: iets meer over ons, over de brouwinstallatie met visualisatie van de ketels en onze contactgegevens.

Figure 5-17 visualisatie

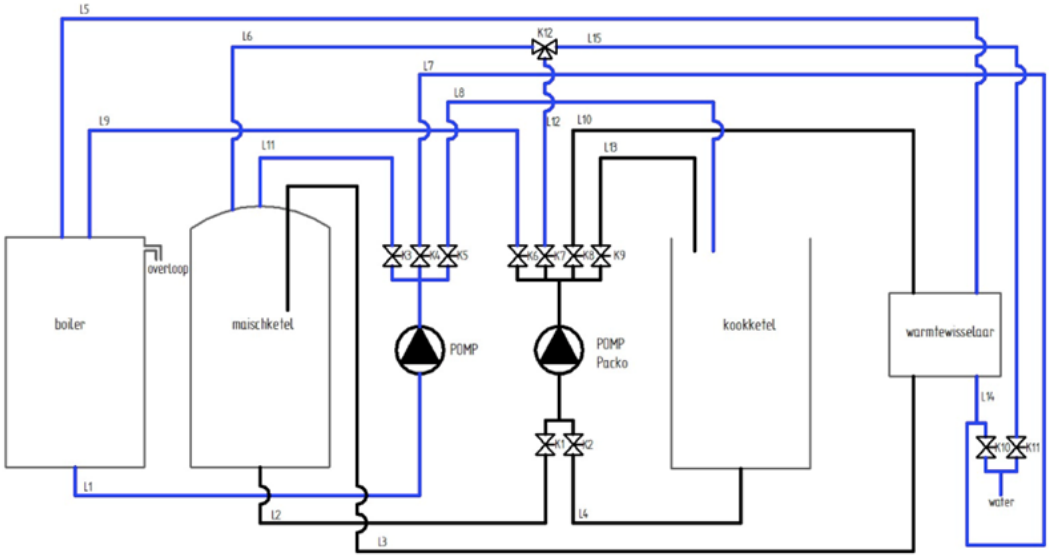


Figure 5-18 circuit

Hieronder kan u ook de code vinden van de opbouw van de startpagina.

```
index.html
<!DOCTYPE html> // documenttype is html
<html>
<head> // begin van je hoofd
    <title>Bierbrouwinstallatie GIP 6IW</title> // titel van de webpagina
    <link href="https://fonts.googleapis.com/css?family=Open+Sans:400,700,600" rel="stylesheet" type="text/css"> // gegevens van het internet ophalen voor de pagina
    <link href="https://netdna.bootstrapcdn.com/font-awesome/4.1.0/css/font-awesome.min.css" rel="stylesheet"> // gegevens van het internet ophalen voor de pagina
    <link href="css/app.css" rel="stylesheet" type="text/css"> // lay-out van de pagina verzorgen
</head>
<body>
<div id="contentWrapper">
    <div id="contentLeft">
        <ul id="leftNavigation">
            <li folder="about"> <a href="#"><i class="fa fa-user leftNavIcon"></i> Over ons</a> // wijzen naar andere pagina namelijk 'over ons'
                <ul>
                    <li page="task"> <a href="#"><i class="fa fa-angle-right leftNavIcon"></i> Opdracht</a> </li> // wijzen naar andere pagina namelijk 'opdracht'
                    <li page="6iw"> <a href="#"><i class="fa fa-angle-right leftNavIcon"></i> 6IW (2017-2018)</a> </li> // wijzen naar andere pagina namelijk '6IW'
                </ul>
            </li>
            <li folder="install" class="active"><a href="#"><i class="fa fa-flask leftNavIcon"></i> Bierbrouwinstallatie</a>
                <ul>
                    <li page="visual" class="active"> <a href="#"><i class="fa fa-angle-right leftNavIcon"></i> Visualisatie</a> </li>
                    <li page="manual"> <a href="#"><i class="fa fa-angle-right leftNavIcon"></i> Manuele besturing</a> </li>
                    <li page="param"> <a href="#"><i class="fa fa-angle-right leftNavIcon"></i> Parameters</a> </li>
                </ul>
            </li>
            <li folder="contact"><a href="#"><i class="fa fa-envelope leftNavIcon"></i> Contacteer ons</a>
                <ul>
                    <li page="general"> <a href="#"><i class="fa fa-angle-right leftNavIcon"></i> Algemeen</a> </li>
                    <li page="ceo"> <a href="#"><i class="fa fa-angle-right leftNavIcon"></i> Promotor</a> </li>
                    <li page="tech"> <a href="#"><i class="fa fa-angle-right leftNavIcon"></i> Technische ondersteuning</a> </li>
                </ul>
            </li>
        </ul>
    </div>

    <div id="contentRight">
        <h1 id="heading">Visualisatie</h1> // hoofdtitel weergeven voor pagina
        <div id="pageContent">
            <p>Gelieve geduld te hebben tot de pagina is ingeladen.</p> // tekst weergeven op pagina
        </div>
    </div>

</div>

<script src="https://ajax.googleapis.com/ajax/libs/jquery/3.1.0/jquery.min.js"></script>
<script src="/js/app.js"></script>

</body>
</html>
```

Figure 5-19 codes

6. Wetenschappelijke studie

6.1 Chemie

6.1.1 Water

6.1.1.1 Soorten water

De allergrootste verzameling water op aarde wordt gevormd door de zeeën. Hier bevindt zich +/- 70% van alle water op aarde. Dit is goed te zien op een wereldbol of wereldkaart, het meeste is blauw. Als er water op zee verdampt, wordt het hoger in de lucht weer vloeibaar omdat het afkoelt en dan komt het naar beneden als regen. De meeste regen valt weer in zee. Dit is de kortste kringloop die het water maken kan. Maar niet alle regen valt in zee. In de koude gebieden verandert regen in sneeuw. Op de polen, waar het vaker vriest dan dooit, blijft de sneeuw heel lang liggen zonder te verdampen of te ontdooien. Soms ligt het daar miljoenen jaren. Als er veel sneeuw op elkaar ligt, dan perst het samen tot ijs. Dit gebeurt op de polen, maar ook hoog in de bergen. Lager, op hellingen, stroomt het water met watervalletjes naar beneden. Maar rond de bergtoppen verzamelt de sneeuw zich en stroomt als ijs naar beneden. We noemen deze ijswatervallen gletsjers. Ze stromen natuurlijk langzamer dan watervallen. Veel sneller dan 1 meter per jaar gaan ze meestal niet. Maar uiteindelijk komt dit water weer terug in de kringloop. Een gedeelte van de regen verdampt weer voordat het ook maar ergens terecht is gekomen.Er is natuurlijk ook regen die op de grond valt! In de grond gebeuren er verschillende dingen met het water. Planten zuigen het op met hun wortels. Ze gebruiken het om te groeien en veel water verdampt via bladeren. Bomen kunnen wel 200 liter per dag verdampen. Ook drinken dieren ervan en gebruiken mensen het voor verschillende dingen. Het water dat niet wordt gebruikt, sijpelt steeds dieper de grond in totdat het op een waterdichte laag komt. Over deze laag stroomt het water ondergronds. Soms komt het in zee uit, zonder eerst boven de grond te komen. Maar als het wel weer boven de grond komt, vormt het een bron, meer, rivier of beek. Meren lopen over in beken, beken lopen over in rivieren en rivieren komen uit in de zee. Eenmaal in zee verdampt het water weer en wordt regen. Dan begint alles weer opnieuw. Tijdens de kringloop komt het water in contact met heel veel verschillende stoffen, afhankelijk van waar het water voorbij komt.

Regenwater

Er zijn verschillende manieren om regenwater op te vangen. Onderweg in de lucht zijn er stoffen opgenomen en in het water opgelost. Gassen bijvoorbeeld zoals koolstofdioxide(CO_2). Dit gas geeft het water een frisse smaak. Ook lost in regenwater zuurstof op. Zuurstof (O) en kooldioxide (CO_2) in regenwater zijn nuttig voor de vijver. Er kunnen ook stoffen in regenwater zitten die niet zo goed zijn. Denk maar aan stoffen uit fabrieksschoorstenen (onnatuurlijke gassen zoals zwavel). Deze maken de regen zuur en ongeschikt voor de vijver. Verder zweeft er veel vuil in de lucht. Dit wordt door de regendruppels onderweg naar beneden meegenomen. In regenwater zitten er geen zouten. Onder zouten verstaan we in dit geval calcium- en magnesiumzouten. In zeewater, waar de regen vandaan komt, zitten heel veel zouten. Maar in regenwater niet omdat zouten niet mee kunnen verdampen. Ze blijven achter in zee. Water zonder zouten of met weinig zouten noemen we zacht water. Water met veel zouten noemen we hard water.

Oppervlaktewater

Oppervlaktewater is water dat zich op de grond heeft verzameld in beken, sloten, rivieren of meren.

In dit water lossen stoffen op vanuit de bodem van die wateren. Ook waaien er allerlei stoffen in en leven er dieren en planten in. Dieren en planten gebruiken stoffen en scheiden weer andere stoffen uit, waardoor het water van samenstelling verandert.

Figure 6-1 oppervlaktewater

Grondwater en bronwater

Grondwater is water dat onder de grond is gesijpeld en zich verzameld heeft op een waterdichte laag. Dit water kan opgepompt worden. Soms komt grondwater spontaan aan de oppervlakte, bijvoorbeeld aan de voet van een helling. Dit heet dan bronwater.

Figure 6-2 grondwater en bronwater

Leidingwater

Leidingwater is door een waterleidingbedrijf ergens opgepompt. Daarna is het chemisch onderzocht en gereinigd van stoffen die niet in drinkwater thuis horen. Welke stoffen er in leidingwater zitten, verschilt van stad tot stad. Wie wil weten wat er thuis uit de kraan komt, kan dit navragen bij het waterleidingbedrijf of opzoeken via het i-net. In de wet is vastgelegd hoeveel er van bepaalde stoffen in het leidingwater mag zitten. Schadelijke stoffen mogen er niet inzitten of alleen in een concentratie waar wij geen last van hebben. Zo is leidingwater schoon genoeg om te drinken.

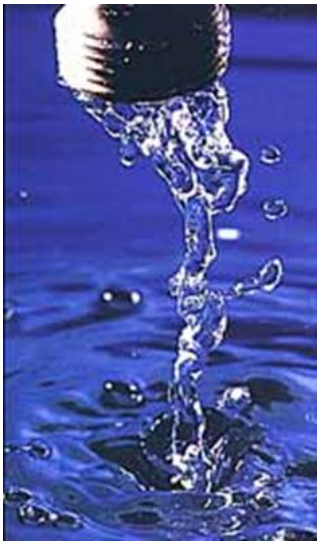


Figure 6-3 leidingwater

6.1.1.2 Chemische opbouw van water

Water is een sterk oplossend middel

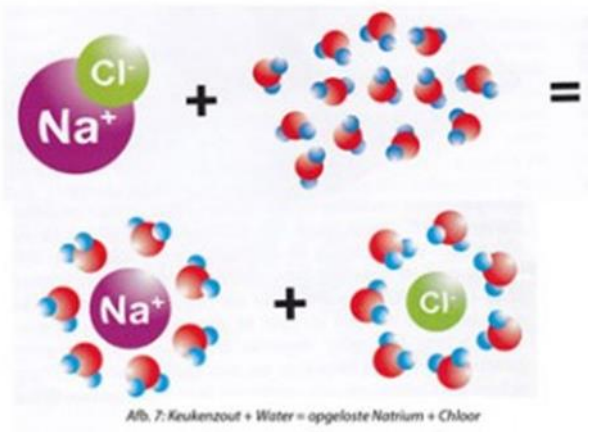


Figure 6-4 natruim chloride en water

Watermoleculen dringen tussen de natrium- en chlooratomen en lossen zo het zout op.

Het dipoolkarakter bepaalt oplossende eigenschappen van het water

Watermoleculen gaan verbindingen aan met naburige watermoleculen, waardoor aantrekkingskracht ontstaat tussen de negatieve pool van de ene watermolecuul en de positieve pool van de andere. Dit is vergelijkbaar met de aantrekkingskracht tussen twee magneten. Deze zogenaamde waterstofbruggen zijn niet zo sterk als de bindingskrachten binnen de molecuul en zij ontstaan even gemakkelijk als zij loslaten. Deze zwakke verbindingen spelen een beslissende rol bij de stabilisatie van veel grote organische moleculen. Omdat de verbindingen zwak zijn, kunnen ze in fysiologische reacties snel afbreken en weer opnieuw opbouwen. De afbraak en het opnieuw aangaan van verbindingen is de essentie van de chemie van het leven. De waterstofbruggen zijn ook de oorzaak van de oppervlaktespanning van het water (druppelvorming) en het relatief hoge kookpunt van water (100° C).

Zwakke verbindingen lossen vaste kristallen op

Watermoleculen zijn bij uitstek geschikt voor het oplossen van ionenverbindingen. Op basis van de verschillende ladingen kunnen watermoleculen zich tussen de positief en negatief geladen ionen dringen en de geladen deeltjes met een waterlaagje omgeven.

Zo is bijvoorbeeld zout in droge toestand een heel vaste verbinding. In water lost het op, waardoor het positief geladen Na met de negatieve polen van de H_2O-moleculen en het negatief geladen Cl^- met de positieve polen van de H_2O-moleculen verbindingen aangaan. Zoals uit dit voorbeeld blijkt, zijn de

zwakke verbindingen van afzonderlijke watermoleculen in staat sterke en harde kristalverbindingen op te lossen.

Daarom noemen we water een universeel, natuurlijk oplosmiddel, dat sterke en complexe verbindingen kan openbreken. Dit is de chemie van het leven op aarde.

Chemische eigenschappen

Het watermolecuul is een dipool: omdat de waterstofatomen niet symmetrisch liggen ten opzichte van het zuurstofatoom is de ene kant van het watermolecuul elektrisch geladen ten opzichte van de andere kant. In overeenkomst met de octetregel heeft het zuurstofatoom in water zijn elektronen als volgt verdeeld: twee keer twee elektronen voor de binding met de twee waterstofatomen en twee keer een vrij elektronenpaar. Door de polariteit van het watermolecuul, trekken deze moleculen elkaar dus sterk aan. Dit verklaart het, ten opzichte van andere stoffen, hoge kookpunt en de hoge smeltwarmte en verdampingswarmte. De polariteit van water verklaart ook waarom zouten (ionen) en polaire stoffen (zoals suiker) zo goed in water oplossen.

Watermoleculen kunnen opsplitsen in een (zuur) H3O+-ion en (base) OH−-ion. Deze reactie wordt de autoprotolyse van water genoemd:

$$H_2O + H_2O \rightleftarrows H_3O^+ + OH^-$$

In zuiver water bij een temperatuur van 298 K zijn de concentraties van beide ionen 10^{-7}mol/l. De pH van het water is dan 7 ($-\log 10^{-7}=7$). De pH-neutraliteit wordt dus veroorzaakt door het feit dat beide ionen in gelijke concentraties aanwezig zijn.

Water is dus een amfolyt, wat wil zeggen dat de stof zowel zuur, als basisch kan reageren. Voegen we een zuur aan het water toe, dat een zwakkere base is dan het water zelf, dan neemt een watermolecuul een proton op en vormt het hydronium-ion ($H3O^+$). Het water reageert nu basisch met het zuur. Is er een sterkere base dan het water zelf aanwezig, dan vormt er zich een basisch deeltje: het hydroxide-ion (OH^-), het water reageert als zuur met de base.

Water kan onedele metalen oxideren onder vorming van waterstofgas. Bij heel onedele metalen zoals natrium en kalium verloopt die reactie snel (met vuurverschijnselen), bij minder onedele metalen zoals ijzer verloopt de oxidatiereactie veel langzamer en gelijkmatiger. Een goed voorbeeld van een explosieve reactie tussen een metaal en water is die van natrium en water, waarbij naast natriumhydroxide en waterstofgas ook nog een grote hoeveelheid energie gevormd wordt:

$$2\ Na + 2\ H_2O \rightarrow 2\ Na^+ + 2\ OH^- + H_2 + E$$

6.1.1.3 Parameters

❖ **Het calciumion en het magnesiumion**

➢ Belang:

▪ Calciumion:

- Reacties van stoffen uit de mout met het calciumion uit het brouwwater zorgen ervoor dat de pH van het beslagwater wijzigt. Het calciumion werkt daarbij pH-verlagend, want bij de reactie komen waterstofionen (H+) vrij die voor de pH-verlaging zorgt. De reactievergelijking ziet er als volgt uit:

  $2\ HPO_4^{2-} + 3\ Ca^{2+} \rightarrow Ca_3(HPO_4)_2 + 2\ H^+$

- De uit de mout afkomstige fosfaten worden door het calciumion gebonden tot het zeer moeilijk oplosbare calciumfosfaat dat neerslaat in het wort.

- Ze stabiliseren de alfa-amylase en verhogen de vrije aminozuren.

- Ze bevorderen ook het uitvlokken tijdens het koken en sedimentatie van de gist.

- De aanbevolen waardes liggen tussen de 50-150 mg/liter.

▪ Magnesiumion:

- Ook magnesiumionen (Mg2+) werken op dezelfde wijze pH-verlagend, maar doordat magnesiumfosfaat beter oplost, is het maar half zo effectief als calcium. Magnesium heeft een minder sterk effect op de pH dan calcium.

- Pas bij hogere temperaturen slaat dit fosfaat neer.

- In Engelse brouwerijen wordt vaak magnesiumfosfaat toegevoegd aan het beslag. De reden hiervoor is dat magnesium de gisting bevordert, want ze verhogen de activiteit van enzymen. Bij de Engelse bieren wordt een groot percentage suiker toegevoegd. Als je volmoutbier brouwt (d.i. bier, dat wordt bereid uit 100% mout, dus zonder toevoeging van andere granen of suiker) zoals de meeste hobby-brouwers gewoon zijn is de noodzaak van magnesium toevoegen niet aanwezig. Bij volmoutbieren komen er voldoende magnesiumionen in het beslag via de mout.

- De aanbevolen waardes liggen tussen 10-30 mg/liter.

- Metingen

Deze metingen vallen onder de rubriek hardheid van water, omdat de hardheid van water precies veroorzaakt wordt door de aanwezigheid van calcium- en magnesiumionen. Deze meting en verwerking van resultaten wordt daar uitvoerig behandeld. Door voor te koken in ons proces halen we er de tijdelijke hardheid al uit. Dus in ons brouwwater resten na dit koken nog calcium- en magnesiumionen, die vallen onder de blijvende hardheid.

- Resultaten

Voor de blijvende hardheid hebben we een waarde van 14,2 °f (graden Franse hardheid) berekend wat overeenkomt met 142 mg/l $CaCO_3$. De waarde moest tussen de 100 en 150 mg/l liggen.

- Bespreking

Het gehalte aan calcium- en magnesiumionen in ons brouwwater ligt onder de toegelaten normwaarden, dus wat betreft deze parameter is ons brouwwater in orde.

Het chloride-ion

- Belang:
  - Chloride-ion:
    - Dit ion verhoogt het mondgevoel van het bier als er tussen de 50-150 mg/liter aanwezig is. Concentraties boven de 250 mg/liter vermijd je best.
    - Het verlaagt de bitterheid en de hop flavour.
    - Een verhouding sulfaat/chloride-ionen van 1/1 is eerder in balans; verhouding kleiner dan 1 accentueert moutigheid; verhouding hoger dan 1 accentueert hop-karakter.
    - Een te hoog Cl-gehalte verstoort een goede gistwerking.

- Metingen:

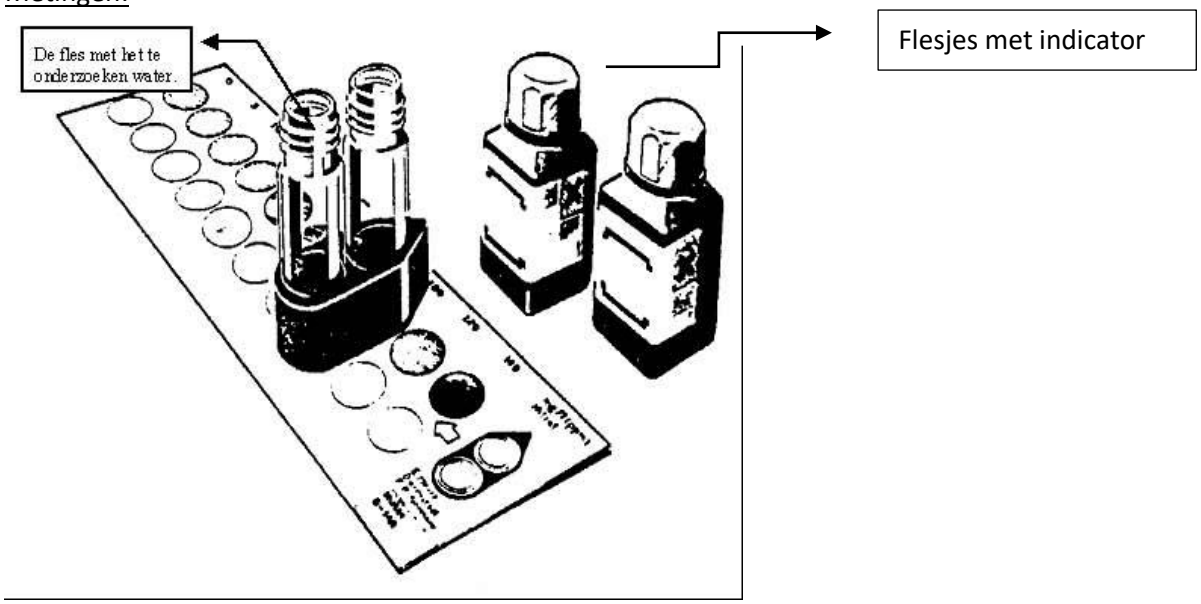


Figure 6-5 opstelling

1. Neem de twee cuvettes uit de doos.

2. Spoel beide cuvettes drie keer met het waterstaal.

3.Vul beide cuvettes met 5 ml water.

4.Voeg aan 1 cuvette 10 druppels Cl-oplossing toe.

5.Schud de oplossing goed.

6.Voeg aan dezelfde cuvette 10 druppels Cl-oplossing toe.

7.Schud de oplossing goed en laat de oplossing 1 minuut staan.

8.Verwijder de draaidop van de cuvette en plaats de cuvettes in de bijgeleverde comparateur.

9.Overloop de kleurenset en noteer hoeveel mg/l Cl de oplossing bevat.

Dit hebben we ook bepaald voor stalen leidingwater uit Harelbeke en Hooglede.

- Resultaten

	Cl^- (mg/l)
Brouwwater	5
Harelbeke	60
Hooglede	60

- Bespreking

Het Cl-gehalte mag ten hoogste 250 mg/l bedragen. Wij zitten er nog ruim onder, dit is heel gunstig want in brouwwater mag er zich zeker niet teveel chloride bevinden. Teveel chloride zou immers de gistwerking ernstig verstoren.

Het sulfaation

- Belang:
  - Sulfaation:
    - Het verhoogt de bitterheid en de hopflavour met een drogere zuivere nasmaak.
    - De normale waardes liggen tussen de 50-150 mg/liter; hogere waardes tussen de 200-500 mg/liter gebruikt men voor het verkrijgen van het burtoniserend effect (= een ronde volmondigheid, verhoogde bitterheid en een uitgesproken zachte hop flavour).

Ijzer

- Belang:
  - Ijzer:
    - Er is een zeker percentage tussen de 0,1-0,2 mg/liter zink nodig voor de gistgroei. Het mag geen hogere concentraties bevatten want anders kan dit giftig worden voor de gist.

- Metingen

1) Doe 50 ml van het brouwwater in een maatkolf van 100 ml.
2) Voeg er 4 ml koningswater (mengsel: 1 deel geconcentreerd waterstofnitraat HNO_3 en 3 delen waterstofchloride HCL) bij .
3) Voeg nu 4 druppels H_2O_2 .
4) Voeg er nog 20 ml KSCN bij.
5) Leng het mengsel nu aan met gedemineraliseerd water tot aan 100 ml.
6) Overspan het maatkolfje nu met een plastiekje en laat dit een nacht rusten.
7) Giet het mengsel van het maatkolfje nu in de cuvette en plaats het mengsel in de spectrometer. Dit toestel meet de absorbantie van monochromatisch licht voor een bepaalde golflengte (voor ijzer bedraagt de golflengte 509 nm). Deze waarde heeft een recht evenredig verband met de concentratie van de te onderzoeken stof.
8) Lees de waarde van het scherm af.
9) Van deze standaardoplossingen wordt via lineaire regressie een best passende ijklijn opgemaakt, waaruit dan het ijzergehalte van de onbekende bepaald wordt. Dit ijzergehalte hebben we ook bepaald voor het putwater, regenwater en leidingwater.

- Resultaten

	Ijzergehalte (ppm)
Brouwwater	1,998
Putwater	0,50
Regenwater	6,054
Leidingwater	7,468

- Bespreking

Het ijzergehalte in het brouwwater is al heel laag, alleen in putwater is het nog iets lager, het is een goede waarde vergeleken met de toegelaten hoeveelheid.

Algemeen besluit

Het brouwwater werd onderzocht op zijn belangrijkste parameters voor wat betreft het brouwproces en algemeen kunnen we besluiten dat het voldoet aan alle vereisten. Alle parameterwaarden overschrijden niet de maximaal toegelaten hoeveelheden. Wat er nodig is aan parameters zit er eveneens voldoende in. Dus het onderzochte brouwwater is geschikt voor het brouwen van ons bier.

6.1.2 Zuurtegraad

De zuurtegraad of de pH van een vloeistof is de negatieve logaritme van de concentratie H^+-ionen in een vloeistof.

De schaal van de zuurtegraad loopt van 0 tot 14 waarbij 0 tot 7 zuur is en 7 tot 14 basisch is.

7 wordt gezien als een neutrale pH bv. water.

De zuurtegraad is van groot belang tijdens het brouwproces. Tijdens het maischen zal de zuurtegraad dalen van pH 7 naar een pH van 5,2. Het is belangrijk dat de pH na het maischen gecontroleerd wordt. De zuurtegraad mag variëren tussen de 5 en 5,5 (dit is de gemiddelde optimale waarde van de enzymen die actief zijn). Op het einde mag de pH nog een beetje dalen naar 5,1 à 5,2 (voor een goede eiwituitvlokking en extractie van de hopbitterstoffen). Men kan de pH bijregelen door enkele druppels melkzuur toe te voegen, dan daalt de pH. Om de pH te verhogen kan men enkele druppels natriumhydroxide toevoegen. Dit komt echter zelden voor. Bij het hoppen is de zuurtegraad zeer belangrijk: de pH moet rond de 5,5 zijn, want dan is de isomerisatie (omzetting van alfazuren naar iso-alfazuren) van de alfazuren optimaal. Bij een hogere pH worden onaangename bitterstoffen uit de hop afgegeven aan het wort.

Een hoge pH tijdens het brouwen geeft aanleiding tot het sterker uitlogen van de bostel/draf tijdens de filtratie waardoor er meer looistoffen in het wort komen. Deze geven aanleiding tot een donkerder kleur. Daarnaast zullen ook de Maillardreacties tijdens het koken toenemen. Een hoge pH zal dus steeds voor donkerder, harder bier zorgen en is dus totaal ongeschikt voor het brouwen van pilsbieren.

Ook tijdens de gisting is pH-opvolging van belang. Bij een goed gestarte gisting zal de pH snel dalen van beginwaardes rond 5,5 naar een lager niveau van 4,2, omdat voldoende vitale gist de aanwezige aminozuren van het wort zal omzetten naar organische zuren met een lagere pH.

Daalt de pH lager dan 4, dan is dit een sterke aanwijzing op verzuring door melkzuurbacteriën. Als deze niet toegevoegd zijn, is dit een infectie en moet de hygiëne worden opgevoerd.

6.1.3 Alcoholpercentage

We hebben het alcoholgehalte van het bier bepaald via spectrometrie. De 'letterlijke' betekenis van spectrometrie is: analyse waarbij de golflengten van de stralen van een spectrum worden gemeten.

Hoe?

UV-VIS spectrometrie is een analysemethode die vooral gebruikt wordt om de concentratie van een stof te bepalen. De techniek berust op de absorptie van ultravioletlicht (UV) of zichtbaar licht (VIS = visible = zichtbaar).

Absorptie van straling

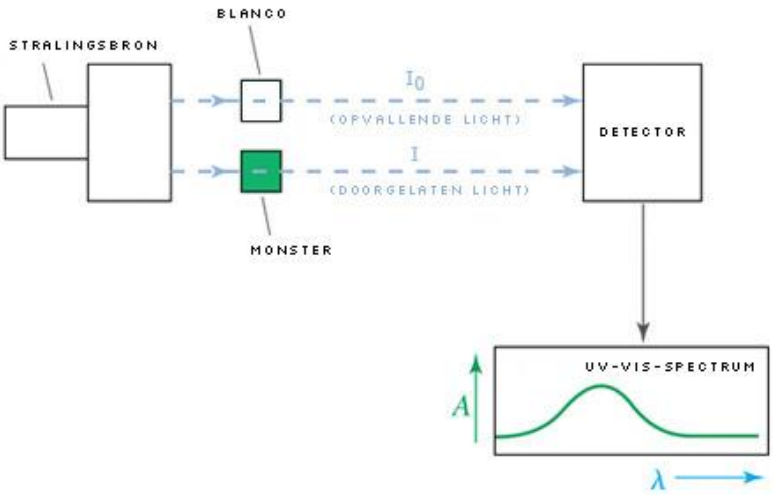
Bij UV-VIS spectrometrie wordt een stof bestraald met uv-licht (golflengte van 200 tot 400 nm) of met zichtbaar licht (golflengte van 400 tot 800 nm). De moleculen kunnen deze straling absorberen.

Als een molecuul voldoende stralingsenergie heeft opgenomen, bevindt het zich in een zogenoemde aangeslagen toestand. Het heeft dan een hogere energie dan in de oorspronkelijke grondtoestand. Het molecuul kan vervolgens terugvallen van de aangeslagen toestand naar de grondtoestand onder verlies van die extra energie. Deze energie komt dan vrij in de vorm van warmte of licht.

Opmerking: wat er in feite gebeurt bij het opnemen van de stralingsenergie, is dat een *elektron* van de grondtoestand naar de aangeslagen toestand gaat. Hoeveel energie daar precies voor nodig is, is afhankelijk van de chemische bindingen in een stof.

Werking van de UV-VIS spectrometer

Een UV-VIS spectrometer bestaat grofweg uit de volgende onderdelen: een stralingsbron, een plaats voor het te onderzoeken staal en een detector.



Figuur 6-6 spectrometer schematisch

Allereerst wordt het licht van de stralingsbron in twee aparte, maar identieke, lichtbundels gesplitst. De ene lichtbundel gaat door een buisje met een oplossing van het te onderzoeken monster. De tweede lichtbundel gaat door een identiek buisje met het oplosmiddel, maar zonder het te onderzoeken monster. Dit buisje duiden we aan met blanco.

De intensiteit van de lichtbundel door het te onderzoeken monster geven we aan met I. De intensiteit van de lichtbundel door de blanco geven we aan met I_0.

De lichtbundels vallen vervolgens op de detector, waar de bundels met elkaar worden vergeleken. Zo kan worden bepaald welke golflengte van het licht door het monster is geabsorbeerd. Deze gegevens worden tot slot verwerkt tot een UV-VIS spectrum.

Figure 6-7 spectrometer

De buisjes die in de spectrometer worden geplaatst, worden ook wel cuvettes genoemd.

Figure 6-8 cuvette en cuvettes in spectrometer

(links) Twee voorbeelden van cuvettes. (rechts) De bovenkant van de spectrometer is geopend. De twee cuvettes, één met het te onderzoeken monster en de ander als blanco, zijn hier duidelijk zichtbaar.

UV-VIS spectrum

In het UV-VIS spectrum is te zien bij welke golflengte er een maximale absorptie heeft plaatsgevonden. Hieronder is een gedeelte van het UV-VIS spectrum van 2-methylbuta-1,3-dieen weergegeven.

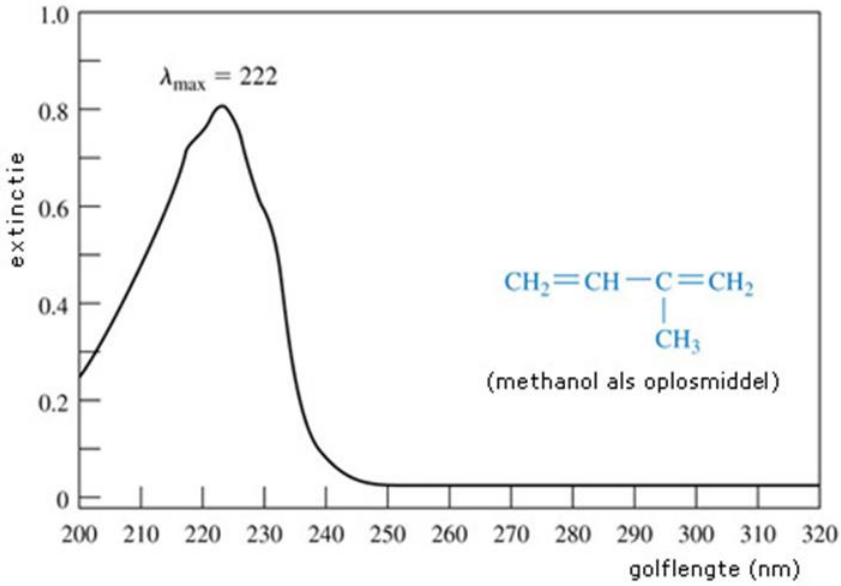


Figure 6-9 uv-vis spectrum

UV-licht met een golflengte van 222 nm wordt dus maximaal door de stof 2-methylbuta-1,3-dieen geabsorbeerd. We zeggen ook wel dat de stof een λ_{max} van 222 nm heeft.

Opmerking: UV-VIS spectra worden altijd opgenomen van een oplossing van de te onderzoeken stof. Er wordt dan gekozen voor een oplosmiddel dat zelf geen absorptie vertoont bij de λ_{max} van de te onderzoeken stof.

Rekenen aan UV-VIS spectra

Er is een recht evenredig verband tussen de concentratie van een stof en de vertoonde absorptie. Dit verband staat bekend als de *Wet van Lambert-Beer*.

Wet van Lambert-Beer: $E = \varepsilon \cdot [A] \cdot l$

waarin $E = -\log I / I_0$

Hierin geldt dat:

- E is de extinctie (met I = intensiteit van het doorgelaten licht en I_0 = intensiteit van het opvallende licht).
- ε is de molaire extinctiecoëfficiënt.
- [A] is de concentratie van stof A.
- *l* is de afstand die het licht aflegt in de oplossing van stof A; deze afstand is gelijk aan de breedte van de cuvette.

De **extinctie** wordt gebruikt als maat voor de absorptie. Een hoge extinctie betekent een hoge absorptie.

De **molaire extinctiecoëfficiënt** is een constante die karakteristiek is voor elke stof. In Binas-tabel 39A of ScienceData-tabel 11.2 is de molaire extinctiecoëfficiënt van enkele stoffen weergegeven.

6.1.4 Elektrolytisch reinigen

Elektrolyse

Als er elektriciteit geleidt door een zout-, zuur- of alkalioplossing, ontstaat er elektrolyse. Dat wil zeggen dat er een chemische verandering plaatsvindt met bepaalde reacties in de oplossing bij de elektroden. De ontladingsreacties bij de elektroden zijn chemische reacties, hierdoor ondergaan de ionen veranderingen. Bij elke elektrode zijn de reacties verschillend. Het verschil van de ontladingsprocessen bij de anode en de kathode is dat bij de anode elektronen vrijkomen en bij de kathode elektronen opgenomen worden. Van dit principe kun je gebruik maken om ijzer te ontroesten door middel van elektrolyse. Hierbij geeft het ijzer aan de anode elektronen af die zich dan op het te ontroesten element combineren met de positieve ijzerionen (roest). Deze combinatie zorgt weer voor het element ijzer.

Ontroesten

Wanneer je geen mechanische bewerking op je voorwerp wil toepassen, zoals schuren, stralen, borstelen, etc. dan is elektrolytisch ontroesten een hele goede optie. Het resultaat is dat alle roest verdwenen is en het voorwerp bedekt is met een dun zwart laagje. Na de elektrolyse kun je verder de restjes verwijderen, door toedoen van een lichtzure behandeling met azijnzuur of citroenzuur.

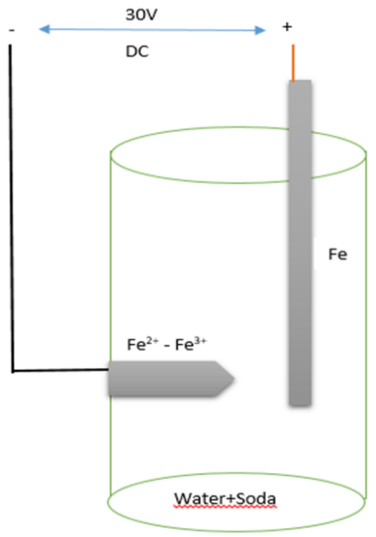


Figure 6-10 elektrolitische opstelling schematisch

Elektrolyse is dus een opstelling met twee elektroden in een bak met water, waar een gelijkstroom wordt doorgejaagd. In het water doen we ook wat huishoudsoda om de geleiding van de elektronen in het water te stimuleren. De elektrode die we anode noemen, is verbonden met de + van de stroombron. De kathode is dus verbonden met de -. We weten dat bij de anode zuurstof opborrelt omdat er daar ook een oxidatieproces van water plaatsvindt. De hiervoor benodigde elektronen komen bij de kathode vandaan. De reductie van het water bij de kathode doet daar anderzijds waterstofgas opborrelen. Het ontstane waterstofgas kan met zuurstofgas knalgas maken, wat gevaarlijk kan zijn. De hoeveelheid waterstofgas, die ontstaat is hier zeer klein, maar toch is het belangrijk om te zorgen voor een goede ventilatie in de ruimte waar de elektrolyse wordt uitgevoerd.

Figure 6-11 elektrolitische opstelling

6.2 Biologie

6.2.1 Gerst

Gerst is een graansoort. Gerst behoort tot de grassenfamilie en is een eenjarige (zomergerst) of tweejarige (wintergerst) plant. De wintergerst moet voldoende koude gehad hebben om te kunnen bloeien. Wintergerst bloeit in de tweede helft van mei. Zomergerst bloeit wat later.

Figure 6-12 gerst

Er is zomergerst en wintergerst. Daarnaast bestaat gerst ook in 2 variëteiten: de twee– en zesrijige gerst. Voor de bierproductie wordt veelal de voorkeur gegeven aan de tweerijige gerst. De gerstkorrel is gelijkmatiger ontwikkeld dan bij de zesrijige gerst. Daarnaast is het kaf veel fijner. Dit biedt een voordeel tijdens de latere filtratiestap. Het gehalte aan ongewenste polyfenolen is eveneens lager in het tweerijige type.

Ten eerst moet de gerst geweekt en gekiemd worden voor de activatie van de aanwezige enzymen. Alfa-amylase en β-amylase staan in voor de afbraak van zetmeel. Daarnaast zorgen peptidasen en proteïnasen voor de degradatie van eiwitten. Vetten worden afgebroken door de aanwezige lipasen in de gerst. De belangrijkste enzymen zijn deze die het zetmeel degraderen, namelijk α- en β- amylase. Alfa- amylase komt enkel voor in gekiemde gerst en zal ontwikkeld worden tijdens de kieming. Daarentegen is β- amylase al aanwezig in de gerst en zal de hoeveelheid stijgen naarmate het kiemingsproces vordert. De hoeveelheden van beide enzymen is afhankelijk van verschillende

factoren: klimaatomstandigheden, opname van water tijdens het weekproces, de beluchting en de grootte van de gerstkorrel.

De opslag gebeurt op kamertemperatuur.

6.2.2 Mout

Figure 6-13 ontkiemde graankorrels+ mouttoren

Figure 6-14 Rode en normale mout

Mout is ontkiemd en daarna gedroogd graan. Het is een grondstof voor met name bier, jenever en whisky en voor sommige voedingsmiddelen.

Het meest gebruikte graan voor het maken van mout is gerst, en dan in het bijzonder brouwgerst dat een laag eiwitgehalte heeft, hoewel in principe alle graansoorten en ook boekweit in aanmerking komen. Gerst wordt verkozen omdat het een uitstekende samenstelling aan enzymen heeft en omdat door het specifieke kafvliesje van gerst de blad- en wortelkiem beter beschermd zijn dan bij andere graansoorten.

Mouten

Het productieproces van mout heet mouten en vindt plaats in een mouterij. Het gaat om het laten ontkiemen en vervolgens drogen van graankorrels. Bij het ontkiemen van het graan ontstaan er enzymen. Deze enzymen zetten het zetmeel dat aanwezig is in het graan gedeeltelijk om in vergistbare suikers. Als de gewenste verhouding tussen enzymen en zetmeel is bereikt, wordt het ontkiemingsproces gestopt en het zo ontstane groenmout gedroogd (het zogenaamde eesten). Later in het brouwproces, tijdens het maischen, wordt het zetmeel verder omgezet in suikers, en die worden op hun beurt (gedeeltelijk) omgezet in alcohol.

Er bestaan verschillende soorten mout. Deze verschillen zijn afhankelijk van de droogmethode: hoe langer de verhitting en hoe hoger de temperatuur, hoe donkerder het mout (en vervolgens ook het bier) zal worden. Dit wordt gemeten in EBC, waarbij de kleur van het malt vergeleken wordt met de kleur die ontstaat bij verschillende concentraties jodium in water.

Soorten

Hieronder een lijst van enkele moutsoorten.

- **Ambermout** (55-65 EBC) is zo genoemd vanwege de kleur. Ambermout wordt langzaam gedroogd op een temperatuur van 140-150 °C. Vaak (niet altijd) is ambermout ook een vorm van broeimout, wat inhoudt dat het tijdens het ontkiemingsproces niet gekoeld wordt. Tijdens het gehele moutproces verdwijnen de meeste enzymen uit deze moutsoort. Hierdoor is het niet mogelijk om alleen maar ambermout te gebruiken voor het brouwen. Ambermout geeft het bier een droge en biscuitachtige smaak. Om het te maken wordt veelal wintergerst gebruikt.
- **Broeimout** (30-40 EBC) is een soort mout dat tijdens het ontkiemingsproces niet gekoeld wordt. Hierdoor loopt de temperatuur behoorlijk op, waardoor deze moutsoort niet altijd meer gedroogd hoeft te worden. Al tijdens het ontkiemingsproces kleurt dit mout donker door de hoge temperatuur. Ook wordt het meellichaam, dat het zetmeel en het eiwit bevat, grotendeels afgebroken. Tijdens het mouten gaan bovendien veel enzymen verloren, waardoor het niet mogelijk is met enkel broeimout bier te brouwen.
- **Chocolademout** (1100-1300 EBC) is pils- of lagermout dat geroosterd wordt op 225 °C. Alle enzymen denatureren tijdens het roosteren, waardoor het altijd vermengd dient te worden met andere moutsoorten voor het brouwen. Chocolademout wordt gebruikt als smaakmaker en voor de donkere kleur van stout en donkere ales. Het geeft het bier een droge, biscuitachtige smaak.
- **Destillatiemout** wordt speciaal voor destilleerderijen geproduceerd. Voor de productie van sterkedrank is een vereiste dat het mout tijdens de vergisting zo veel mogelijk alcohol afgeeft. Daarom wordt de temperatuur tijdens het ontkiemen en het drogen zo laag mogelijk gehouden, opdat er zo veel mogelijk enzymen bewaard blijven in het meellichaam.
- **Groenmout** is mout dat na de ontkieming nog niet gedroogd is. Omdat er in groenmout nog veel enzymen zitten die anders tijdens het drogen verdwenen zouden zijn, wordt het later in het brouwproces (tijdens het maischen) nog weleens toegevoegd. Hierdoor kan er ook meer

ongemout (de benaming voor ongemoute granen) toegevoegd worden, zodat de smaak kan worden aangepast. Groenmout is een dagvers product dat snel bederft.

- **Karamelmout** of aromamout (90-150 EBC) wordt gedroogd op 175 °C en heeft een lichtbruine kleur. Het geeft het bier een volle, moutachtige smaak.
- Kristalmout (90-175 EBC) is groenmout dat zonder drogen meteen geroosterd wordt. Dit gebeurt in twee stadia, waardoor nauwkeurig bepaald kan worden welke kleur het krijgt. Kristalmout wordt door andere moutsoorten gemengd, voor de kleur en om het bier een zoetere smaak te geven. Het wordt voornamelijk gebruikt voor lager, pils en ales.
- **Lagermout** (2,5-3 EBC) lijkt op pilsmout (zie hieronder) maar wordt net even anders gedroogd, waardoor het iets lichter is. Lagermout kan als basis voor andere moutsoorten gebruikt worden.
- **Münchenermout** (8-30 EBC) wordt voornamelijk gebruikt voor Duitse bieren. Het wordt gedroogd bij 100 °C, en wordt hierdoor lichtelijk gebruind. Hoewel dit op de kleur van het bier niet veel meer effect heeft dan bijvoorbeeld lagermout of pilsmout, is deze moutsoort wel een stuk aromatischer en geeft het bier een moutachtigere smaak. Meestal wordt voor Münchermout zomergerst gebruikt. Deze moutsoort dankt zijn naam aan de stad München, waar het voor de daar geproduceerde bieren veelvuldig gebruikt wordt.
- **Pale mout** (5-14 EBC) is een soort broeimout, en lijkt veel op pilsmout. Het wordt gebruikt voor het brouwen van ale zoals dat op de Britse eilanden veel gedronken wordt.
- **Vienna mout** (6-8 EBC) voor correctie van over-pale mout. Verbeteren van de volmondigheid. Geeft licht amberbier. Gouden kleur is geschikt voor festivalbieren.
- **Pilsmout** (2,5-4 EBC) is een lichte moutsoort die gebruikt wordt voor de bereiding van pils. Pilsmout wordt ook wel als basis voor andere moutsoorten gebruikt, bijvoorbeeld door het te roosteren of te roken.
- **Rookmout** (8-30 EBC) wordt gedroogd boven een open vuur waardoor het mout een typische scherpe rokerige smaak krijgt. In het geval van turfmout (ook wel whiskymout) wordt dit vuur gestookt van turf, voor een houtvuur wordt wel vochtig beukenhout gebruikt. Hoewel bier van enkel rookmout gebrouwen zou kunnen worden, wordt het voor de smaak vaak gemengd met andere moutsoorten om het bier milder te laten zijn. Voorbeeld van een bier gemaakt met rookmout is porter. Ook worden er in het Duitse Bamberg nog een aantal bieren met rookmout bereid.
- **Witmout** wordt gedroogd in de buitenlucht in de zon. Hierdoor ontstaat een heel lichte moutvariant, dat ook wel gebruikt wordt voor het maken van witbier (maar lang niet altijd). Er bestaat het risico dat het groenmout bederft voordat het op deze wijze gedroogd is.
- **Zuurmout** wordt tijdens het mouten langer geweekt waardoor er melkzuur in het mout ontstaat. Dit is interessant indien er bij het brouwen hard water gebruikt wordt. Men zou ook melkzuur toe kunnen voegen tijdens het brouwen, ware het niet dat het Reinheitsgebot het verbiedt middelen toe te voegen.
- **Zwartmout** (1200-1600 EBC) heeft als basis lager- of pilsmout, dat bij een zeer hoge temperatuur (hoger dan 200 °C) wordt geroosterd, waardoor het een zeer donkere kleur heeft. De moeilijkheid hierbij is dat het niet mag verkolen. Door deze hoge temperatuur zitten er geen enzymen meer in het mout, en ook zal de suiker niet om worden gezet in alcohol omdat het gekaramelliseerd is. Het wordt in heel kleine dosis meegebrouwen om het bier een specifieke smaak en kleur te geven, en wordt voornamelijk gebruikt voor het brouwen van stout. Door het roosteren heeft het een branderig aroma en smaak.

Mouten

Figure 6-15 Kristalmout gemaakt van gerst

Figure 6-16 Een moutvloer in de Highland Park mouterij op de Orkney-eilanden

Mouten is het proces waarbij van een graansoort, doorgaans gerst, mout wordt gemaakt. Mouten wordt gedaan in een mouterij.

Het mouten bestaat uit vier stappen. Eerst het reinigen en sorteren van het graan. Hierbij worden stof, kaf, andere granen en onkruidzaden verwijderd met een wanmolen en een trijzel.

Daarna het weken van het graan. Hierbij wordt het graan met periodes onder water gezet zodat het vochtgehalte stijgt van 12 à 16 procent tot ongeveer 45 procent, koolzuur uit het graan ontsnapt en het graan wordt belucht. Dit duurt 24 tot 48 uur. Door deze bewerkingen ontstaat kiemgoed. Omdat de gerst moet ademen, kan deze niet simpelweg onder water worden gezet. Het weken gebeurt dus meestal door het geregeld natsproeien van de gerst.

Het kiemen van het graan. Dit proces duurt ongeveer 6 dagen en kan op verschillende manieren plaatsvinden. Volgens de traditionele methode wordt het vochtige kiemgoed in lagen van 20 tot 100 cm dik opengespreid, regelmatig gekeerd en indien nodig bevochtigd. Ook worden temperatuur en de toevoer van zuurstof op peil gehouden om de vorming van enzymen te bevorderen. Deze enzymen zetten het zetmeel in de kiem om in vergistbare suikers. Het kiemen wordt gestopt als de gewenste verhouding tussen enzymen en zetmeel is bereikt, afhankelijk van de verdere verwerking van het mout. Het eindproduct heet groenmout. Groenmout kan onmiddellijk in een stokerij worden gebruikt.

Eesten (drogen) van het groenmout. Hierbij wordt het vochtgehalte van het groenmout verlaagd tot zo'n 4 % waardoor het kiemproces wordt stilgelegd en schimmelaantasting wordt vermeden.

Mout kan donkerder gemaakt worden door het op hogere temperatuur te drogen. Door de mout te roosteren kan de smaak verder worden beïnvloed.

Het mout wordt uiteindelijk vermalen tot moutschroot. Vroeger gebeurde dat op een door de wind aangedreven moutmolen.

Ook het binnenste gedeelte van Maltesers-snoepgoed wordt van mout gemaakt.

Eesten

Eesten is een onderdeel van het moutingsproces, waarbij groenmout, meestal ontstaan uit gerst, bij hogere temperatuur wordt gedroogd. Het werkwoord *eesten* is afgeleid van het zelfstandig naamwoord **eest**, dat droogoven aanduidt. Ook een droogvloer wordt *eest* of *ast* genoemd.

Omdat het groenmout door zijn hoog vochtgehalte gevoelig is voor schimmels wordt het vochtgehalte via eesten tot 5% teruggebracht waardoor het groenmout voor later gebruik kan worden bewaard. Eesten stopt het kiemproces van het groenmout.

Het eesten gebeurt in een mouttoren waarbij het groenmout wordt opengespreid op een geperforeerde eestvloer. Rook, afkomstig van een eesthaard, wordt onder de eestvloer via een rookkanaal verspreid. Bij ongeveer 55°C wordt het groenmout gedurende 12 uur gedroogd.

Kieming

Kieming of ontkieming is het proces van groei van een zaad, waarin uit een embryo of kiem een kiemplant groeit

Veel planten vormen zaden die pas na enige tijd gaan kiemen, deze zaden hebben een zogenaamde kiemrust. Wanneer er geen kiemrust is, kan het zaad al kiemen als het nog aan de plant vastzit. Dit wordt bij granen schot genoemd. Grassen, waarbij dit verschijnsel vrijwel altijd optreedt, heten levendbarend of vivipaar.

Figure 6-17 kieming

6.2.3 Gist

Bacteriën, gisten en schimmels zijn micro-organismen. Dit zijn levende organismen die zo klein zijn dat ze niet met het blote oog te zien zijn, net zoals virussen en eencellige parasieten. Micro-organismen leven overal. Ze zitten dus ook in voedsel. Daar zijn ze soms gewenst en soms ongewenst omdat ze het voedsel bederven of omdat ze ziektes veroorzaken.

Virussen en eencellige parasieten behoren officieel niet tot de micro-organismen omdat ze zich niet zelfstandig kunnen delen, maar ze kunnen net als micro-organismen ziektes veroorzaken. Micro-organismen zijn overal aanwezig en zijn meestal niet verantwoordelijke voor ziektes. Ze bevinden zich in grond, water, dieren, planten, voedsel, mensen…

Nuttige micro-organismen zijn micro-organismen die gewenst zijn. Zoals bij fermentatie, waarbij bacteriën, schimmels en gisten gebruikt worden om een voedingsmiddel te maken. Bier is hier ook een voorbeeld van.
Bij fermentatie zorgen bacteriën, schimmels of gisten voor het omzetten van stoffen in een product, waardoor de zuurgraad, smaak, geur of uiterlijk verandert. Dit proces noemen we fermenteren.

Een cel is een essentiële bouwsteen van alle levende organismen dus ook van micro-organismen (behalve virussen, maar dat zijn geen zelfstandige organismen). Er zijn maar twee soorten cellen op aarde: prokaryotische cellen en eukaryotische cellen (eu = echt; karyon = kern).

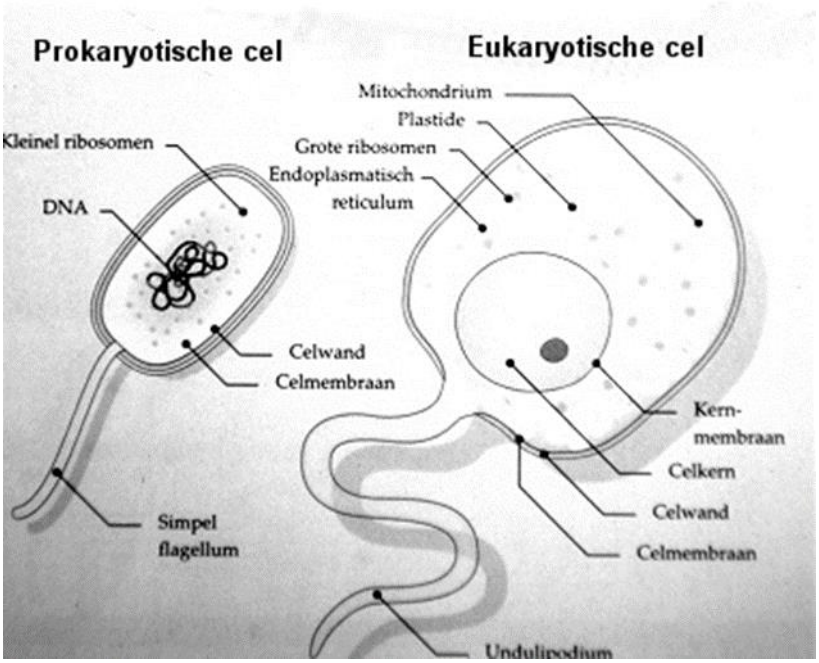


Figure 6-18 prokaryotische en eukaryotische cel

Een prokaryotische cel is een eencellig organisme zonder celkern. Organismen die uit prokaryotische cellen bestaan, zoals bacteriën, heten prokaryoten en deze zijn heel klein. Het belangrijkste verschil tussen prokaryoten en eukaryoten, is dat prokaryoten geen celkern hebben en eukaryoten wel.

Prokaryoten hebben circulair DNA in tegenstelling tot eukaryoten die lineair DNA hebben. In eukaryoten ligt het DNA opgeborgen in de celkern. Doordat de celkern in prokaryoten ontbreekt, ligt het DNA los in het cytoplasma, niet door een membraan gescheiden van de rest van de celinhoud. Naast de celkern ontbreken in prokaryoten ook andere organellen die een eukaryotische cel wel heeft, zoals mitochondriën, het endoplasmatisch reticulum, en het golgi-apparaat. Een organel is een celcompartiment, een specifiek onderdeel van een eukaryotische cel met een bepaalde functie. Organellen van een cel kunnen vergeleken worden met organen binnen meercellige organismen. Door de ruimtelijke scheiding maken de organellen diverse celprocessen mogelijk.

Naast het chromosomaal DNA (de eiwitten die de erfelijke informatie bevatten) bevat de prokaryoot vaak verschillende plasmiden. Met dit plasmide-DNA kan genetische informatie tussen bacteriën, ook tussen soorten, worden uitgewisseld. Een plasmide is een cirkelvormige streng DNA die zich buiten het chromosomaal DNA bevindt van sommige eencellige organismen. Met dit DNA kan genetische informatie tussen bacteriën, ook tussen soorten, worden uitgewisseld.

Wat is gist?

Gist is een eukaryotisch micro-organisme, een eencellige schimmel. Er bestaan veel soorten gist. De bekendste is bakkers- of biergist (*Saccharomyces cerevisiae*), die gebruikt wordt bij de brood- en bierbereiding. Gisten hebben suiker nodig om te groeien. Uit suiker maken ze alcohol en koolzuurgas. Ook produceren ze aangename geur- en smaakstoffen, die belangrijk zijn voor het eindproduct.

Gisten onderscheiden zich van prokaryoten (zoals de bacteriën) door het bezit van een celkern en zijn ook veel groter.

Gisten van het geslacht *Saccharomyces* en sommige andere zijn in staat om glucose te ontleden en deze om te zetten in alcohol en koolzuurgas. Het metabolisme van *Saccharomyces cerevisiae* (bakkersgist, brouwersgist, wijngist of biergist) is aeroob of anaeroob. Een aeroob organisme heeft zuurstof nodig voor stofwisselingen en andere levensfuncties. Een anaeroob organisme heeft geen zuurstof nodig voor stofwisselingen en andere levensfuncties.

Onder anaerobe omstandigheden is de alcoholproductie maximaal, onder aerobe omstandigheden is de groei en vermenigvuldiging het hoogst.

Reincultuur / kweken

Elke bacterie heeft haar eigen specifieke kenmerken zoals celvorm, beweeglijkheid, stofwisselingseigenschappen. Om deze specifieke eigenschappen van een bepaald micro-organisme te achterhalen is het noodzakelijk om het micro-organisme in zuivere vorm te kweken, d.w.z zonder de aanwezigheid van andere micro-organismen!

Een dergelijke cultuur wordt een reincultuur genoemd en is afkomstig van een enkele cel, zodat aangenomen mag worden dat alle cellen van dergelijke cultuur dezelfde eigenschappen hebben, dus identiek zijn aan elkaar. Er zijn geen andere micro-organismen aanwezig die het onderzoek naar de gewenste bacterie kunnen verstoren.

Je kunt dit met het blote oog niet zien, dus moet je tijdens je onderzoek en het reinkweken zelf de zekerheid hebben dat al je gekweekte bacteriecellen gelijk zijn en er geen "mengseltje" ontstaat van cellen met verschillende eigenschappen, want dan zal het onderzoek zeker mislukken.

Een reincultuur is dus noodzakelijk voor de studie (identificatie) van micro-organismen, hieronder beschrijven we de methode om een reincultuur te maken.

Uitvoering

Materiaal waarin vermoedelijk het rein te kweken micro-organisme (hier gist) zit, wordt op een agarbevattende voedingsbodem steriel uitgestreken met een steriel entoog.

Agar is gemaakt van zeewieren en wordt in de tropen gebruikt als bindmiddel om pudding en snoepjes mee te maken. In de keuken is het een vegetarisch alternatief voor gelatine. Bij microbiologisch en moleculair-biologisch / biochemisch onderzoek is agar onmisbaar voor de bereiding van vaste voedingsbodems (het gieten van agarplaten).

Na incubatie (uitbroeiing) kunnen op de voedingsbodem verschillende kolonietypen aanwezig zijn.

Figure 6-19 uitbroeiing

Opnieuw wordt overgeënt in een nieuw potje met agarbodem, nu van een losliggende kolonie welke vermoedelijk door het gewenste micro-organisme is gevormd. Dat kan je afleiden uit het kolonietype en vaststellen via de microscoop.

Bevat deze plaat na incubatie uitsluitend kolonies van het juiste type en zijn ze microscopisch uiterlijk hetzelfde dan wordt nog een keer overgeënt.

Bevat deze derde plaat ook alleen kolonies van het overgeënte type dan kan de cultuur als rein worden beschouwd en op een schuine buis worden overgeënt.

De reincultuur wordt na incubatie en groei in de koelkast bewaard.

Zie ook onderstaand schema: het bijbehorend microscopisch onderzoek is niet aangegeven.

Alle handelingen moeten zo uitgevoerd worden dat besmetting uit de lucht of via andere voorwerpen, handen en omgeving niet mogelijk is, dus steriel materiaal gebruiken en werken in een entkast of bij een vlam (brander).

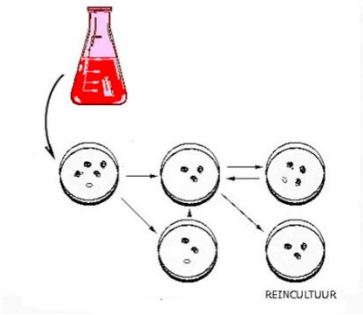


Figure 6-20 reincultuur

Suikermetabolisme

Gist haalt zijn energie uit organische moleculen en die doen tegelijkertijd dienst als koolstofbron. Er is in de natuur een enorme variëteit aan koolstofbronnen die door de gist kunnen worden gebruikt, maar suikers zijn altijd de te prefereren bron.
Brouwersgisten zijn facultatief anaerobe gisten (eencelligen die zowel met als zonder zuurstof kunnen leven) omdat ze hun energie kunnen halen uit respiratie, fermentatie of een combinatie van beide systemen.
De suikersamenstelling van het medium en de beschikbaarheid van zuurstof zijn de meest bepalende omgevingsfactoren op het verloop van het metabolisme. Door te variëren met deze twee factoren kunnen twee verschillende effecten waargenomen worden.

- Respiratie

  Dit wordt bij brouwgist (*S. cerevisiae*) enkel waargenomen onder speciale condities, namelijk tijdens groei bij een lage suikerconcentratie en voldoende zuurstof. Bij die omstandigheden zorgt de respiratie voor zo goed als alle adenosinetrifosfaat (ATP) en is de fermentatie uitgeschakeld. Men maakt hiervan gretig gebruik bij de gistproductie. Door de suikerconcentratie voldoende laag te houden bij het opgroeien van de gist gaat al de toegevoegde suiker naar de aangroei van celmassa en is er nagenoeg geen omzetting van suiker naar alcohol.

- Fermentatie
  - Een tweede effect is het vormen van alcohol onder aerobe condities. Dit is alcoholische fermentatie bij een teveel aan suiker wat verder evolueert tot een mengeling van respiratie en fermentatie. Het effect is te verklaren door het verschil in snelheid van de glycolyse en de daaropvolgende stappen van het aeroob metabolisme. Het aangemaakte pyruvaat kan niet snel genoeg afgebroken worden en wordt omgezet in ethanol om het gevormde nicotinamide adenine dinucleotide (NADH)* opnieuw te kunnen recupereren.

    Het effect van omzetting in alcohol speelt een belangrijke rol in het begin van de bierfermentatie van het met zuurstof verzadigde wort en zorgt ervoor dat er dus tijdens de aangroei van celmassa ook al vorming is van ethanol.

Groei van gist

Gistcellen kunnen zich in twee delen net zoals bacteriën. Deze manier om zich te vermenigvuldigen noemt men vegetatieve groei of voortplanting.

Het celmateriaal wordt eerst verdubbeld en gedeeld over twee celeinden, die zich door een insnoering van elkaar scheiden. Het plasmalemma vormt op het scheidingsvlak een dubbel membraam, dat zich na de deling ontwikkelt tot een complete celwand (met litteken). De optimale temperatuur voor vermenigvuldiging ligt tussen 25-30 °C, bij hogere temperatuur sterft de gist en bij lagere temperatuur daalt het tempo van de vermenigvuldiging sterk. Zuurstof versnelt de vermenigvuldiging. Koolzuurgas, hoge suikerconcentraties (> 20%), nitrieten, zware metalen en (hogere) alcoholen remmen de vermenigvuldiging.

Wanneer gist wordt toegevoegd aan het wort (of een ander vloeibaar medium), kan men een 4-tal fasen in het groeiproces onderscheiden.

- Lag-fase
- Log-fase
- Stationaire fase
- Afstervingsfase

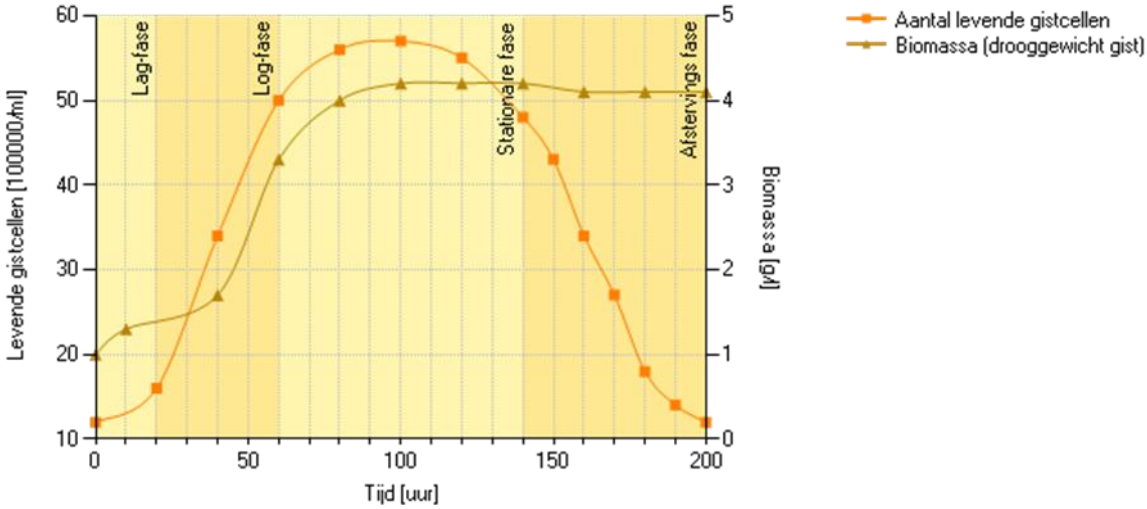


Figure 6-21 fasen

- Lag-fase
  - Na het toevoegen van de gist aan het wort, begint eerst een periode waarin de gist zich moet aanpassen aan het nieuwe milieu, de lag-fase (lag is Engels voor achterblijven). Gedurende deze periode zal het aantal cellen niet onmiddellijk toenemen, maar kan men wel de groei van de individuele gistcellen waarnemen. De grootte neemt toe, doordat er met behulp van de in het nieuwe medium aanwezig voedingsstoffen, bouwstenen gevormd worden, zoals ATP voor de energievoorziening, ribosomen voor de eiwitsynthese en enzymen die nodig zijn voor de diverse biochemische processen. De duur van deze fase is o.a. afhankelijk van:

    - de manier waarop de gist van tevoren gekweekt werd, of de activiteit van de gist;
    - de samenstelling van het nieuwe medium, rijk of arm aan voedingsstoffen;
    - de temperatuur.

- Log-fase
  - Nadat de gist is aangepast, beginnen de gistcellen zich te delen. De snelheid waarmee het aantal toeneemt, hangt af van de generatietijd, dit is de tijd die verloopt tussen twee opeenvolgende delingen. De generatietijd voor gist is 80 minuten. Dus als je met één gistcel begint, heb je na 80 minuten 2 gistcellen. In het begin lijkt deze toename niet spectaculair, maar na 10 delingen zijn er 1024 en na 20 delingen heb je al ruim een miljoen gistcellen! Wanneer gist zich met constante snelheid deelt, zal het aantal cellen met de tijd dus exponentieel toenemen. Men spreekt dan ook van de exponentiële of logaritmische groeifase.

- Stationaire fase
  - In de stationaire fase neemt het aantal levende cellen in een populatie niet meer toe. De vorming van nieuwe cellen is gelijk aan het afsterven van cellen in deze fase. Het stoppen van

de groei wordt meestal veroorzaakt door het opraken van een essentiële voedingsstof of door het ophopen van giftige stoffen (ethanol) of het ontstaan van een ongunstig medium (te lage pH).

- Afstervingsfase
  - Tenslotte komt er een moment, door te veel toxische stoffen in het medium, dat er meer cellen afsterven, dan er gevormd worden, het afstervingsproces. Zodra dit proces begint, gaan de cellen kapot onder invloed van enzymen, die normaal in de celwandsynthese bij delende cellen werkzaam zijn en nu in de niet-delende cellen door hun activiteit de celwand verzwakken. De snelheid van dit afstervingsproces is ook exponentieel, d.w.z. dat er per tijdseenheid steeds meer cellen doodgaan totdat bijna alle cellen dood zijn.

Droge/ verse (natte) gist

Gisten kan men indelen in 2 groepen.

- Droge gist
  Wordt ook wel instantgist genoemd, is een natuurlijke en levende gist in gedroogde vorm. Het drogen van de gist is een uiterst delicaat proces. Droge gist heeft een vochtgehalte van maximum 5%, maar toch is droge gist na contact met water opnieuw levensvatbaar. Een belangrijk voordeel van de droge gist is dat hij niet vooraf moet opgelost worden in water voor hem met het wort te mengen. Door de fijne korrelstructuur kan de gist droog toegevoegd worden.

- Verse of natte gist
  Verse gist wordt ook wel bakkersgist of biergist genoemd, is letterlijk vers en 'leeft'. Deze gistsoort heeft veel weg van klei en bevat ongeveer 30% droge stof, hij wordt ofwel geperst tot blokken ofwel als gistkruimels verkocht. De nadelen zijn dat verse gist moeilijker te verkrijgen is en bovendien is hij slechts twee weken houdbaar in de koelkast. Wel kun je verse gist invriezen gedurende maximaal zes weken. Verse gist mag je nooit rechtstreeks (zonder toevoeging van vocht) met suiker en zout in contact brengen, want dan breekt de gist. Suiker en zout onttrekken namelijk het vocht uit de gistcellen.

6.2.4 Hop

Een belangrijk ingrediënt bij het bierbrouwen is de hop of ook wel Humulus Lupulus genoemd. Hop is een rechtsdraaiende klimplant uit de hennep. De reden waarom de plant rechts draait, is omdat ze meedraait met de zon om zo zoveel mogelijk zonlicht op te vangen. Hop wordt uitsluitend geteeld van de 35^{e} tot de 55^{e} breedtegraad, dit aan beide zijden van de aardbol. Dit komt doordat op die plaatsen de stand van de zon ideaal is voor de groei van de plant. De hop wordt geplant omstreeks maart, april en wordt wel 7 tot 8 meter hoog. De hop wordt geoogst in de eerst helft van september.

Tijdens het brouwproces worden enkel de vrouwelijke bloemen gebruikt. Het is ook bij wet verboden om mannelijke hopplanten te kweken binnen een straal van 5 km rond de hopplantage. Wanneer de mannelijke planten de vrouwelijke planten bevruchten, bevatten de hopbellen zaden en dus vetten die nadelig zijn voor de schuimvorming en schuimstabiliteit. Ze zijn ook minder rijk aan alfazuren.

De vrouwelijke bloemen bevatten een gele poederachtige stof die lupuline genoemd wordt. De lupuline bevat harsen die alfazuren en betazuren bevatten. Betazuren zijn niet oplosbaar, maar de alfazuren worden tijdens het kookproces omgezet in iso-alfazuren die de bitterheid geven aan het bier. Dit proces wordt isomerisatie genoemd.

We onderscheiden 2 soorten hop: bitterhop en aromahop. Belangrijk is dat de bitterhop wordt toegevoegd aan het begin van het kookproces (vanaf het ogenblik dat het wort begint te koken) en dat de pH daarbij gecontroleerd wordt, die idealiter rond de 5,5 is, want dan is de isomerisatie van de alfazuren optimaal. Bij een hogere pH worden onaangename bitterstoffen uit de hop afgegeven aan het wort.

Op het einde wordt de aromahop toegevoegd, die dient dan vooral om aroma's en smaak toe te brengen. De hop zorgt naast bitterheid ook voor een goede schuimkwaliteit en een betere bewaarbaarheid. De hopbloemen worden meestal verder verwerkt tot hoppellets omdat die makkelijker bewaren. Men kan die invriezen waardoor de eigenschappen beter bewaard blijven.

6.2.5 Toevoegingen

Vanuit de wetgeving is er ruimte voor 40 % toevoegingen in het bierproces. De toevoegingen die plaatsvinden gebeuren met het oog op het verbeteren van de organoleptische eigenschappen en/of bevorderen van de productie. Daarnaast kan bier ook geproduceerd worden volgens het Reinheitsgebot, waarbij enkel gebrouwen wordt met de 4 hoofdgrondstoffen: gerst, hop, gist en brouwwater.
Eventuele adjuncten zijn maïs, haver, rijst, gerst, sorghum, bloem, suiker – of suikerstropen, fruitaroma's/vruchtenextracten en karamel (E150c) .E150c is amonia karamel en wordt gebruikt voor optimalisering van de kleur. Indien graangewassen worden toegevoegd als adjunct, dient men rekening te houden met de geleringstemperatuur bij een welbepaalde temperatuur. Hier even uitleggen wat geleringstemperatuur is. Indien de geleringstemperatuur hoger is dan de optimale geleringstemperatuur van gerstmout, wordt het adjunct graan in een andere beslagketel verwarmd en later toegevoegd aan het beslag. In onderstaande tabel worden verschillende graansoorten met bijhorende geleringstemperatuur weergegeven.

Tabel 1 Geleringstemperatuur van granen

Graangewassen	**Geleringstemperatuur (°C)**
Haver	89-91
Maïs	60-79
Gerst	65-69
Bloem	52-66
Sorghum	67-79
Rijst	61-91

6.3 Biochemie

6.3.1 Saccharide

Een rode draad, die door het brouwproces loopt, is de omzetting van het zetmeel in de ontkiemde gerstekorrel, via suikers (sachariden), naar alcohol (ethanol) en koolstofdioxide. Voor vergisting tot alcohol is suiker nodig.

Monosachariden

Dit zijn de eenvoudigste verbindingen onder de sachariden. Twee van deze zogenaamde monosachariden zijn glucose (ook wel dextrose, druivensuiker of officieel volgens IUPAC, 2,3,4,5,6-pentahydroxyhexanal) en fructose (vruchtensuiker of volgens IUPAC, 1,3,4,5,6-pentahydroxy-2-hexanon):

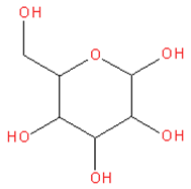


Figure 6-22 Glucose

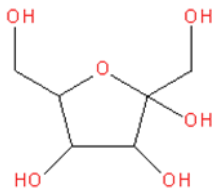


Figure 6-23 fructose

Beide suikers komen in deze vorm voor in fruit en andere plantendelen. Glucose is een belangrijke energiebron in levende organismen.

Hieronder nogmaals de glucose- en fructosemolecule, maar dan in een ruimtelijke weergave.

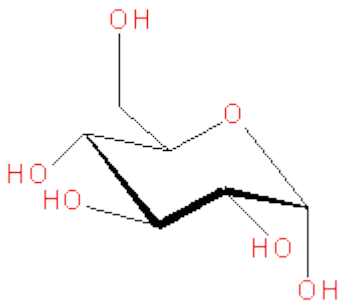


Figure 6-24 Glucose

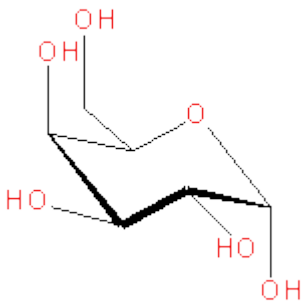


Figure 6-25 Galactose

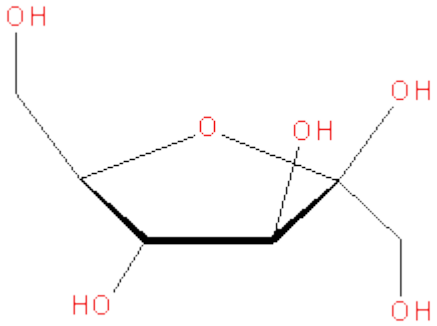


Figure 6-26 Fructose

Ook galactose wordt hier weergegeven. Galactose heeft dezelfde structuurformule als glucose, maar ruimtelijk gezien is het verschil, dat de OH-groep op het 4e koolstofatoom is gespiegeld. Galactose komt niet veel voor in de natuur. Het is daarentegen wel een belangrijke bouwsteen van allerlei grotere suikers.

Door middel van een condensatiereactie, waarbij water wordt afgesplitst, kunnen sachariden zich met elkaar binden tot ketens van 2 of meer sachariden. Een voorbeeld hiervan is maltose:

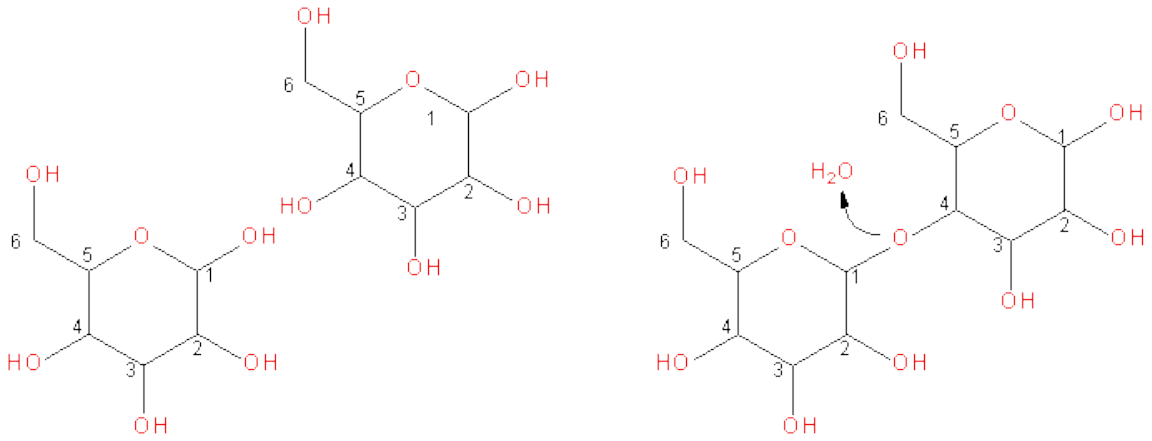


Figure 6-27 Maltose

Hierop is te zien dat de hydroxygroepen, op positie 1 en 4 van de glucosemoleculen, een α(1-4)-binding aangaan.

Disachariden

Glucose en fructose kunnen ketens met zichzelf of met elkaar vormen. Indien twee moleculen van glucose en/of fructose met elkaar verbonden zijn, dan noemt men die disachariden. De belangrijkste zijn maltose en sacharose.

Maltose

Maltose bestaat uit twee glucosemoleculen verbonden door een α(1-4)-binding.

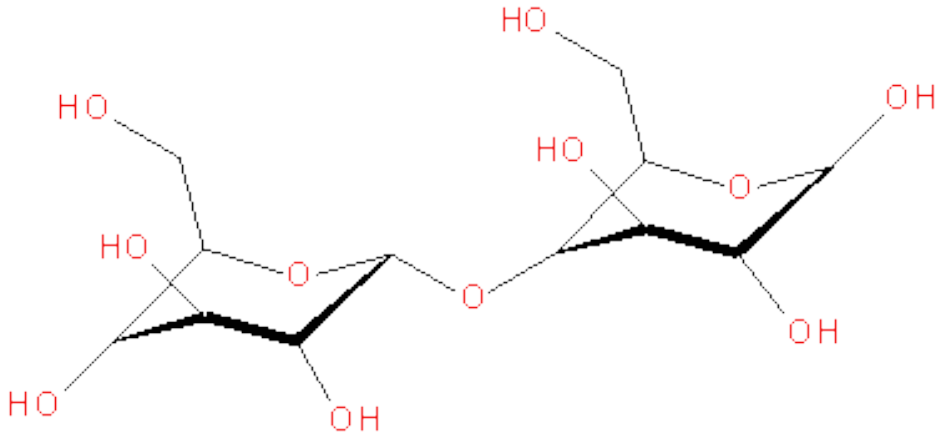


Figure 6-28 Maltose

Sacharose

Sacharose wordt ook wel tafel- of keukensuiker genoemd en wordt gewonnen uit suikerbieten, suikerriet of suikerpalm. Deze bestaat uit een glucose- en een fructosemolecuul, die met elkaar verbonden zijn door een α(1-2)-binding.

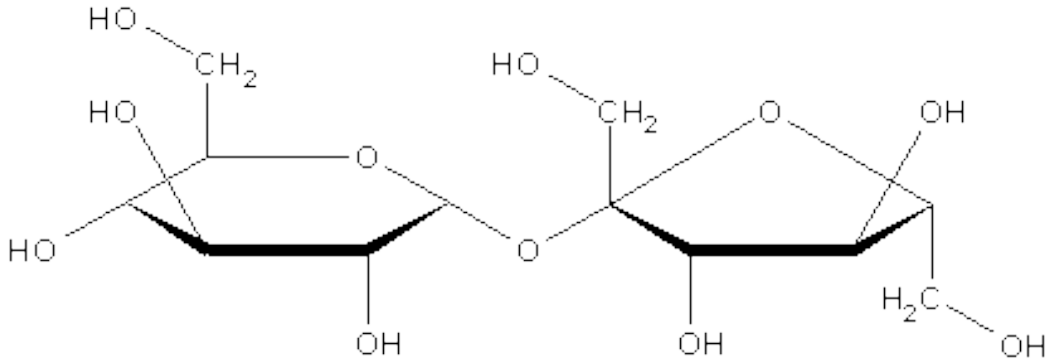


Figure 6-29 Sacharose

Trisachariden

De belangrijkste trisacharide die we in het brouwproces kennen, is maltotriose. Deze bestaat uit 3 glucosemoleculen.

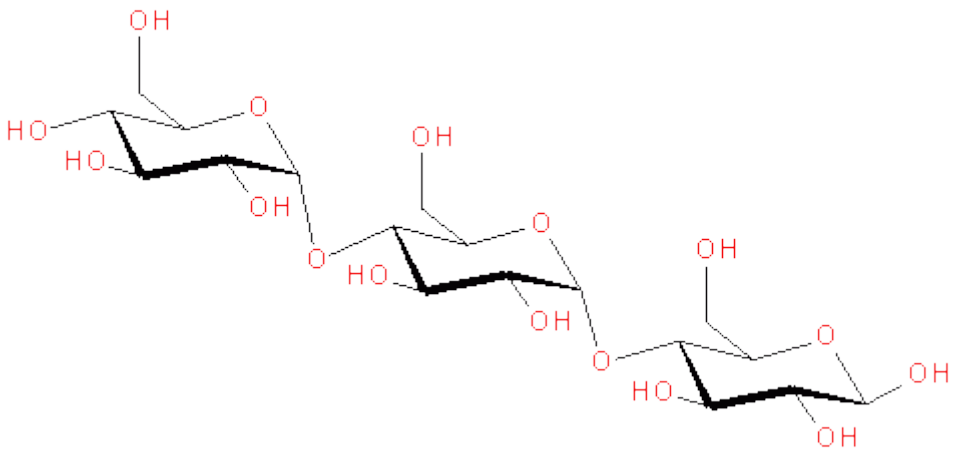


Figure 6-30 Maltotriose

Polysachariden

Op bovenstaande manier kunnen er nog langere ketens van sachariden worden gevormd. Bijvoorbeeld zetmeel bestaat uit een mengsel van twee polysachariden, amylopectine en amylose. Beide zijn opgebouwd uit glucosemoleculen; enkele honderden tot duizenden in een regelmatige onvertakte keten bij amylose, enkele duizenden in een onregelmatig vertakkende boomvorm bij amylopectine. Amylose is een veel kleinere molecule dan amylopectine.

Amylose

Amylose vormt de lineaire gedeelten van het zetmeelmolecuul en bestaat uit α(1-4)-gekoppelde glucose-eenheden. Dit model toont 36 glucose-eenheden in een helix, een dubbele spiraalvormige structuur, in feite een buis.

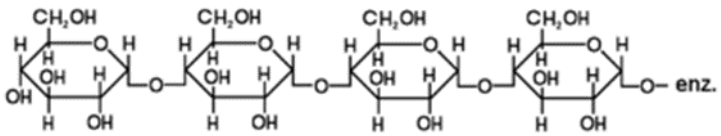


Figure 6-31 structuurformule van amylose

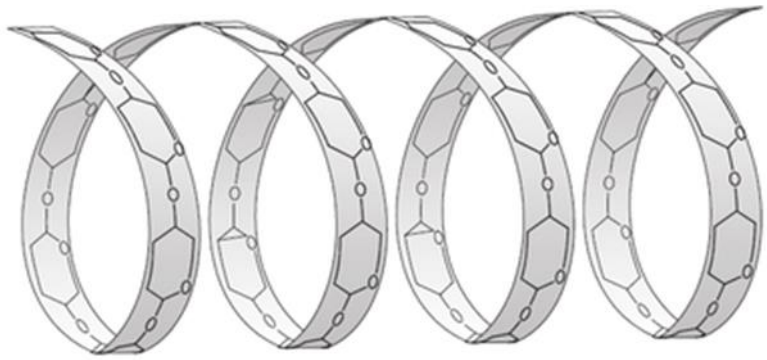


Figure 6-32 helixstructuur van amylose

In de spiraalvorm kunnen de jodide-ionen terechtkomen, wat een paarse verkleuring geeft, ook wel de jodiumtest genoemd.

Amylopectine

Amylopectine is een polysacharide die in diverse structuren voorkomt en is samengesteld uit lineair α(1-4)-gebonden glucose-eenheden (opgerold in een spiraalvorm) met α(1-6)-gebonden vertakkingen. Elke amylopectinemolecule kan 100.000 tot 200.000 glucose-eenheden bevatten. Hierbij is elke tak ongeveer 20 tot 30 glucose-eenheden lang.

6.3.2 Enzymen

Enzymen zijn van cruciaal belang gedurende de gehele bierbereiding.

Biokatalysatoren

Enzymen zijn opmerkelijke eiwitmoleculen. Het zijn fantastische stoffen die in staat zijn chemische processen te versnellen onder milde condities. Anders dan niet-biologische katalysatoren hebben ze geen extreme temperaturen, pH-waarden, druk of hoge concentraties nodig om hun werk goed te doen. Voor bijna alle biochemisch processen is er een enzym of een groep van enzymen beschikbaar. Enzymen zijn biokatalysatoren, dat wil zeggen dat ze chemische processen versnellen zonder daarbij zelf te veranderen. Enzymen nemen zelf deel aan de chemische reacties, maar worden hierbij eigenlijk niet verbruikt. Een ander groot voordeel is dat de energie die nodig is voor het op gang brengen van een proces (= activeringsenergie) veel minder is dan bij niet-gekatalyseerde reacties.

Activeringsenergie

De activeringsenergie is kort geformuleerd de energie die een systeem nodig heeft om een chemische binding te laten plaatsvinden.

Een reactie tussen twee stoffen kan plaatsvinden wanneer de moleculen elkaar op de juiste manier benaderen. Er worden dan chemische bindingen gebroken en anderen gevormd. Tijdens dit proces is de totale energie van het complex altijd hoger dan de energie-inhoud van de uitgangssituatie. Het energieverschil van de overgangssituatie met de uitgangssituatie wordt activeringsenergie genoemd.

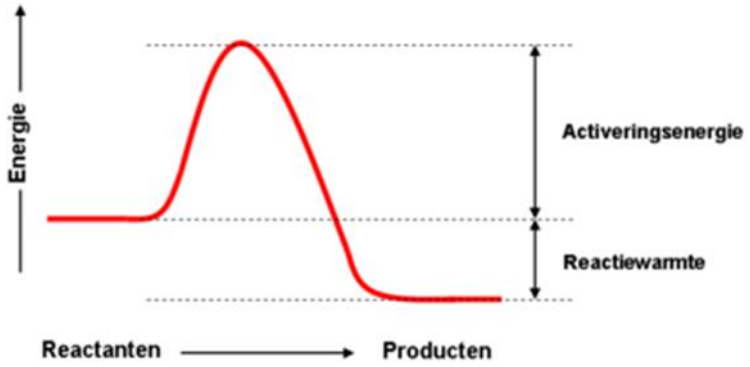


Figure 6-33 activeringsgrafiek

Bovenstaande grafiek toont een situatie waarbij de energie-inhoud na de reactie lager is dan voor de reactie. Hier in dit geval komt dit verschil vrij onder de vorm van warmte, wat een exotherme reactie wordt genoemd.

De opbouw van enzymen

Eiwitten bestaan uit aaneenschakelingen van aminozuren, de kleinste eiwitverbindingen, ook wel peptiden genoemd. Aminozuren zijn in feite de bouwstenen van de grote eiwitmoleculen. Het is onvoorstelbaar dat er met slechts 20 aminozuren duizenden enzymen aangemaakt kunnen worden. De aminozuren zijn met elkaar verbonden via peptidebindingen (CO-NH).

De algemene formule voor alle aminozuren is als volgt:

NH_2
|
R-C-COOH
|
H

De letter staat hierbij voor een zijketen die per aminozuur verschillend is en het aminozuur speciale eigenschappen geeft.

De peptidebinding ziet er als volgt uit:

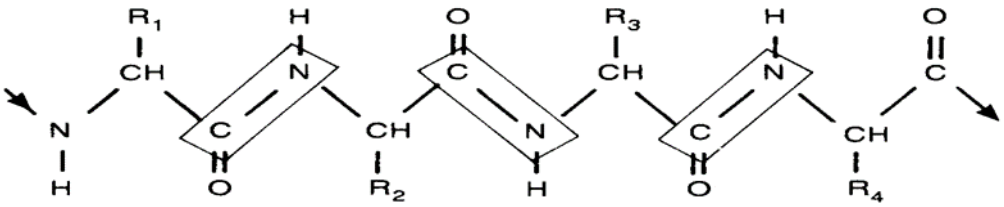


Figure 6-34 peptidebinding

Veel enzymen bezitten speciale bestanddelen die noodzakelijk zijn voor hun activiteit, maar die niet afkomstig zijn van aminozuren. Deze bestanddelen bestaan vaak uit vitamines en metaalionen. Vitamines zijn dus noodzakelijk om enzymen te laten werken! Verder maken ook vaak metaalionen onderdeel uit van enzymen. Zo heeft alfa-amylase calciumionen nodig voor de stabiliteit. En een aantal enzymen die werkzaam zijn bij de vergisting werken beter als er een heel kleine hoeveelheid zinkionen aanwezig zijn in het brouwwater.

Zoals al aangestipt zijn enzymen heel selectief in hun substraat. Enzymen gebruiken daarvoor een tweetal unieke herkenningsmechanismen.

Slot en sleutel

Het slot- en sleutelmechanisme houdt in dat het substraat als een sleutel past in het slot dat zich op het enzym bevindt. Bij dit mechanisme zijn er meerdere niveaus van specificiteit mogelijk.

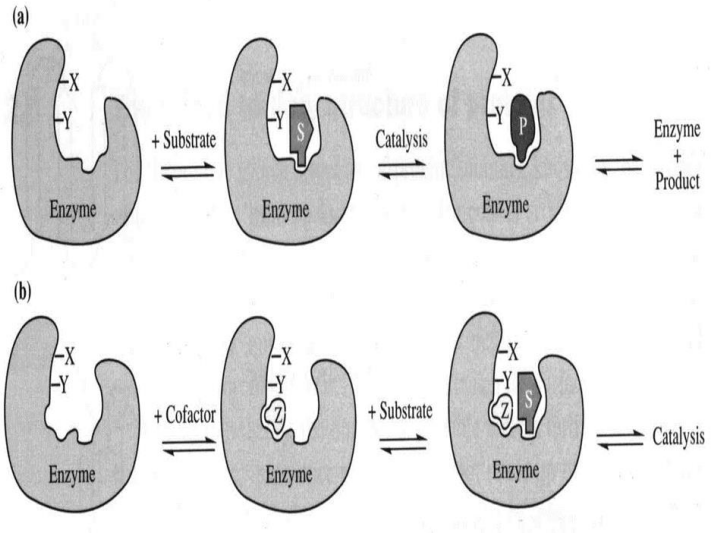


Figure 6-35 slot sleutelmechanisme

Handschoen

Het andere mechanisme kun je vergelijken met een handschoen. Wanneer het substraat zich bindt aan het enzym, past de vorm van het enzym zich aan waardoor de actieve zijde van het enzym in de juiste positie wordt gebracht waardoor de katalyse van de reactie kan plaatsvinden. Verschillende stoffen kunnen zich binden aan het enzym, maar alleen het juiste substraat zorgt voor de perfecte vormverandering.

Optimale werking enzymen

Temperatuur

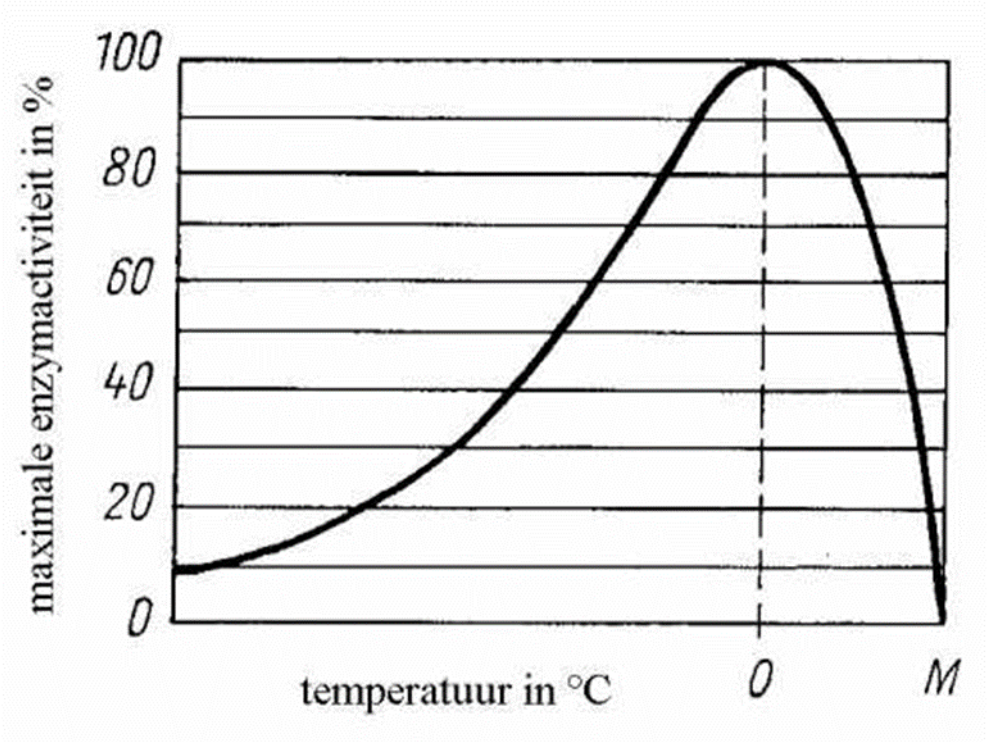


Figure 6-36 enzymactiviteit

Net als elke andere chemische reactie stijgt de enzymatische reactie met de temperatuur. Omdat enzymen eiwitten zijn, die kunnen degenereren, kan de temperatuur niet onbeperkt verhoogd worden. (Degenereren is een term voor het veranderen van de structuur van het enzym, waardoor deze zijn werkzaamheid verliest.) Het veranderen van de structuur van een eiwit door hitte kennen we natuurlijk allemaal. Immers, wie van ons heeft er nog nooit een hardgekookt eitje bij het ontbijt gehad?

De activiteit van een enzym stijgt dan ook tot een maximale waarde bij het verhogen van de temperatuur en daalt vervolgens daarna snel. De versnelling van de reactie wint het dan niet meer van het teloorgaan van het enzym. In de grafiek "Optimale temperatuur" is het typische verloop van de

verhoging van de enzymactiviteit afgezet tegen de stijging van de temperatuur. Bij de grafiek zijn bewust geen waarden voor de temperatuur vermeld omdat elk enzym een eigen optimale temperatuur (O in de grafiek) heeft. Dit heeft natuurlijk alles te maken met de structuur van het enzym en de temperatuur waarbij de degeneratie plaatsvindt.

pH-waarde

De structuur van enzymen verandert niet alleen door toevoeging van hitte, maar ook door veranderingen van de pH-waarde. Dit komt omdat de stabiliteit van enzymen onder andere te danken is aan zogenaamde waterstofbruggen. Een waterstofbrug is een binding tussen atomen van verschillende moleculen via een waterstofatoom. Het is dus een intramoleculaire binding die vooral voorkomt met stikstof-, zuurstof-, fluor- en chlooratomen. Doordat enzymen heel grote macromoleculen zijn die op een bepaalde manier gevouwen zijn, kunnen er tussen delen van deze moleculen ook waterstofbruggen ontstaan.

De pH-waarde geeft de in de oplossing zijnde concentratie aan waterstofionen weer. Bij verandering van de pH wijzigt deze concentratie zich en komen de waterstofbruggen meer of minder onder druk te staan. Delen van het enzym kunnen daardoor ioniseren en zich afsplitsen. Daarnaast heeft een verandering van de pH ook invloed op de binding van het substraat aan het enzym.

De grafiek "Optimale pH-waarde" geeft de afhankelijkheid van de enzymactiviteit op de pH weer. Het effect van een kleine verandering van de pH is in het algemeen niet zo groot als die van een temperatuurs-verandering.

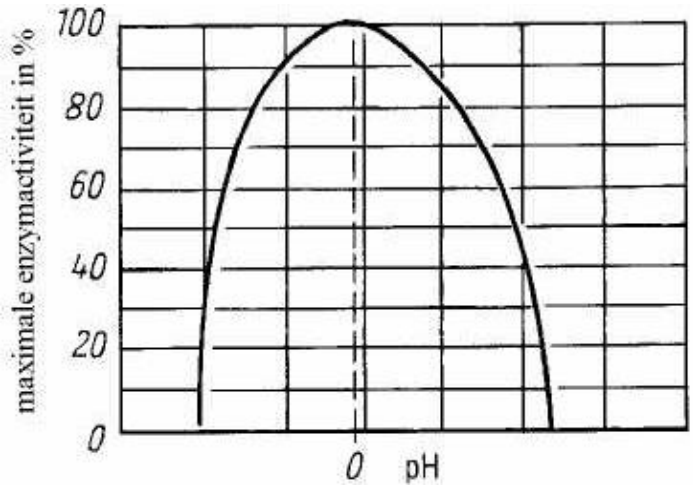


Figure 6-37 enzymactiviteit

Degeneratie

Zoals al aangegeven bij de behandeling van de invloed van de temperatuur op de werking van enzymen is de degeneratie van enzymen al volop aan de gang bij de optimale temperatuur. Uit een internetdiscussie van een tijd terug konden we afleiden dat zelfbrouwers wat moeite hebben om dit aan te nemen. De meesten van ons hebben geleerd dat bij 63ºC het enzym beta-amylase optimaal werkt en dat het langer aanhouden van genoemde temperatuur meer vergistbare suikers oplevert. Wanneer je echter 60ºC aanhoudt voor de werking van beta-amylase zal er bij een verlenging van de enzympauze meer vergistbare suiker gevormd worden omdat het enzym minder degenereert en langer zijn werk kan doen. De grafieken "Overleving alfa-amylase " en "Overleving beta-amylase" afkomstig uit het boekje *Brewing*, geschreven door de professoren Micheal J. Lewis en Tom W. Young, illustreren dit.

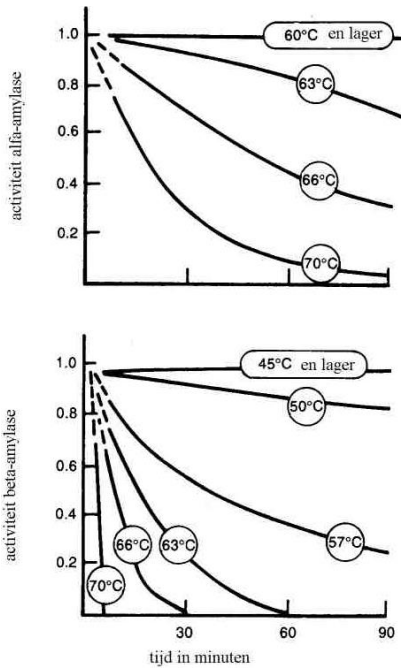


Figure 6-38 activiteit beta en alfa amylase

Dit valt enigszins te vergelijken met de actieradius van een auto. Als een auto op topsnelheid rijdt, gaat hij wel op zijn hardst, maar verbruikt hij ook de meeste benzine. Met een volle tank benzine zal hij niet zo veel kilometers maken dan wanneer hij wat trager rijdt. Als nu bij topsnelheid ook nog eens de motor van de auto supersnel slijt, wordt de tank misschien nog niet eens leeggereden.

Naast de vermindering van de degeneratie van beta-amylase heeft ook de alfa-amylase, zoals je uit de grafieken kunt afleiden, veel minder last van degeneratie. Overigens doorloop je bij het verhogen van de temperatuur om naar de enzympauze van de alfa-amylase te gaan natuurlijk ook de 63ºC, waarbij beta-amylase even full speed kan gaan.

Tenslotte merken we nog op dat je om een vroegtijdige degeneratie van alfa-amylase tegen te gaan je veel beter bij 70ºC een enzympauze kunt houden en dus niet zoals in veel recepten vermeld staat bij 73ºC.

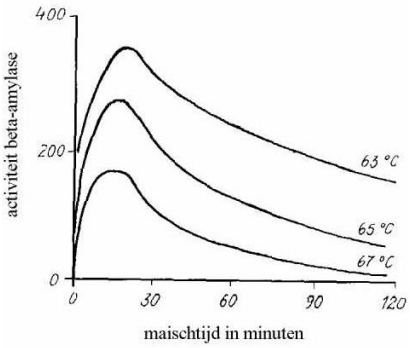


Figure 6-39 activiteit beta amylase

Proteasen

Vooraleer uit te leggen wat een protease precies is, moeten we eigenlijk eerst weten wat een proteïne is.

Proteïnen of eiwitten zijn macromoleculen opgebouwd uit aminozuren. In de natuur komen 20 verschillende aminozuren voor. Een aminozuur is een polyfunctionele koolstofverbinding, die bestaat een aminegroep, een carboxylgroep en een restgroep.

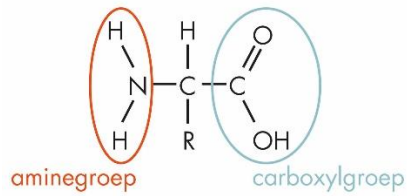


Figure 6-40 proteïne

Eiwitten zijn natuurlijke polymeren, die ontstaan door het aaneenschakelen van aminozuren. Om aminozuren met elkaar te verbinden, treedt er en reactie op tussen de carboxylgroep van het ene aminozuur en de aminegroep van het andere aminozuur. Dit is een condensatiereactie, want er wordt een molecule water afgesplitst. Er ontstaat op die manier een dipeptide en de binding tussen de aminozuren noemen we een peptidebinding. Dit proces herhaalt zich voortdurend, waardoor er een polypetideketen ontstaat.

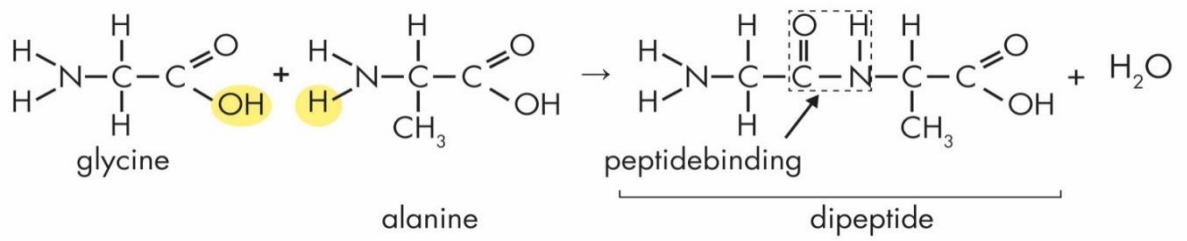


Figure 6-41 aaneenschakeling van aminozuren

Een polypeptideketen kan vervolgens met een andere polypeptideketen binden om zo een complexe driedimensionale structuur te vormen. De binding komt tot stand door middel van zwavelbruggen of waterstofbruggen.

Het hormoon insuline is een voorbeeld van een eiwit, dat bestaat uit twee polypeptideketens. Deze ketens hangen aan elkaar door middel van drie zwavelbruggen. In totaal telt dit eiwit 51 aminozuren. Dit hormoon regelt het suikergehalte in het bloed.

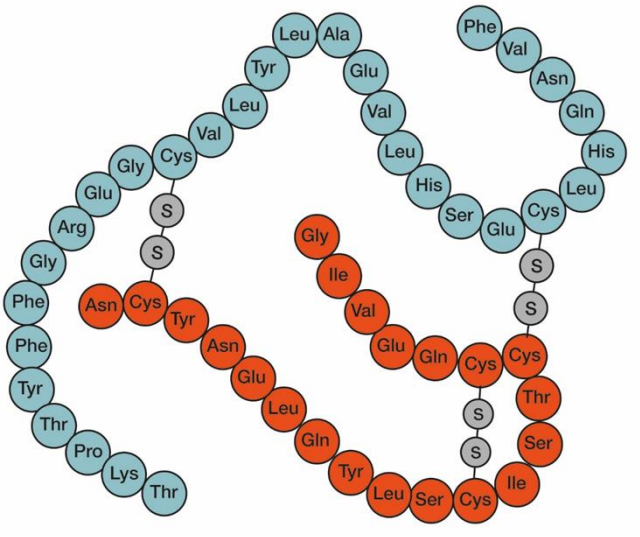


Figure 6-42 polypeptideketen

Nog een voorbeeld van een proteïne is epo (of erytropoëtine). Epo bestaat uit 165 aminozuren en stimuleert de productie van rode bloedcellen. Epo wordt gebruikt als doping in duursporten. Door de hoeveelheid rode bloedcellen te vergroten, kan meer O_2 naar de spiercellen vervoerd worden en kunnen atleten het langer volhouden.

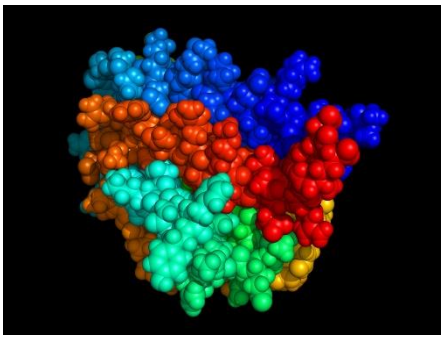


Figure 6-43 epo

Proteasen of ook wel peptidasen genoemd zijn enzymen die eiwitten en andere ketens van aminozuren afbreken. We onderscheiden twee soorten:

- Endoproteasen

Een endoprotease kan midden in een eiwitketen knippen en zo een aminozuur uit de keten halen.

- Exoproteasen

Een exoprotease kan alleen een aminozuur aan het eind van een keten eraf halen.

Zonder enzymen geen bier

Bij de bierbereiding spelen enzymen een bijzonder belangrijke rol. Als brouwer manipuleren we biologische processen en deze zijn zonder enzymen niet mogelijk.

Vermouting

Om gerst geschikt te maken voor het brouwproces moet het vermout worden. Bij het moutproces bootst men de natuur na. Het kiempje dat in de gerstekorrel zit, heeft voedingsstoffen nodig om te kunnen uitgroeien tot een volwaardig plantje. Deze zijn opgeslagen in het meellichaam. Bij het begin van het kiemen worden enzymen aangemaakt die de voedingstoffen vrijmaken. Zo wordt er hemicellulase aangemaakt die in staat is de hemicellulose af te breken, die als onderdeel van een soort beschermlaag rond de zetmeelkorrels aanwezig is. Polysacchariden (suikerverbindingen), eiwitten en vetten moeten worden afgebroken om te kunnen dienen als bouwstoffen voor het nieuwe plantje. Door te spelen met de temperatuur, vochtigheidsgehalte en kiemingstijd kan de mouter het afbraakproces sturen. Om het kiemen te stoppen droogt men het graan bij hoge temperaturen (eesten wordt dit genoemd). Je krijgt dan mout en geen gerstplantjes! Tegenwoordig laat men het meellichaam veel verder oplossen in de mouterij dan in het verleden. Het gevolg hiervan is dat we bij een hogere temperatuur kunnen maischen (50ºC of hoger) als we een bier brouwen met geen of weinig ongemoute granen. Het aanhouden van enzympauzes bij 37ºC en 45ºC is niet meer nodig. We kunnen dus stellen dat een gedeelte van het werk van de brouwer is overgenomen door de mouter.

Maischen

Bij het maischen gaat het ook bijna puur en alleen om de werking van enzymen. Er bestaan diverse maischmethoden die als doel hebben verschillende bieren te brouwen.

Gisting

Alle chemische reacties die plaatsvinden bij de gisting gebeuren onder invloed van enzymen. De gistcel is in feite niets anders dan een enzymfabriekje! Het gaat te ver om al deze enzymen te behandelen. Het is echter wel zo dat biergist een belangrijke rol heeft gespeeld bij de ontdekking van enzymen. In 1897 ontdekte Eduard Buchner namelijk dat een extract afkomstig van dode biergistcellen in staat was suiker om te zetten in alcohol en koolzuur. Hij vermoedde dat een bepaalde levensvorm die hij 'zymase' noemde verantwoordelijk was voor de geconstateerde vergisting. Het geheim van de vergisting is later ontrafeld door Embden en Meyerhof. Nu weten we dat in de zogenoemde Embden-Meyerhof-Parnas-cyclus waarbij glucose omgezet wordt in pyruvaat in totaal 10 verschillende enzymen vereist zijn. Voor het omzetten van pyruvaat naar ethanol zijn er nog twee enzymen nodig. Zymase bestaat dus in feite uit 12 enzymen!

Lagering

Zoals vooraf vermeld zijn aan de lagering ook enzymatische aspecten verbonden. Ten gevolge van autolyse kunnen eiwitsplitsende enzymen uit de gistcellen vrijkomen. Door de werking van deze enzymen verminderen de volmondigheid en schuimhoudbaarheid.

De kwaliteit van ons bier wordt dan ook van het begin tot het einde bepaald door enzymen.

Amylasen

Omdat bepaalde enzymen zo'n belangrijke rol spelen bij het maischen staan we uitgebreider stil bij een aantal daarvan.

Beta-amylase

Het zogenaamde versuikeringenzym beta-amylase is een exo-enzym. Het valt de uiteinden van onvertakte (amylose) en vertakte (amylopectine) zetmeelketens aan. Door de werking van beta-amylase ontstaat er maltose, een suiker bestaande uit twee glucosemoleculen en een zetmeelketen die iets kleiner is geworden. Beta-amylase is in staat in een hoog tempo haar werk te doen, vooral als grote zetmeelketens voorhanden zijn waarmee zij een grote affiniteit heeft.

Als beta-amylase voldoende tijd wordt gegeven, is zij in staat amylose bijna volledig af te breken tot maltose. Bij amylopectine worden alleen de uitstekende delen van zo'n molecuul afgebroken. Maar liefst 85 tot 90% van het potentiële maltose is ingesloten door knooppunten en daardoor niet bereikbaar voor beta-amylase. Een amylopectinemolecuul dat niet meer afgebroken kan worden door beta-amylase wordt beta-grens dextrine genoemd. Aangezien de verhouding amylose - amylopectine gelijk staat aan 75-80% : 20-25% is een werking van alfa-amylase een absoluut vereiste om te komen tot een wort met een goede vergistbaarheid.

De temperatuur waarbij het enzym voor langere tijd het meest effectief werkt, bedraagt 55 tot 60ºC. Het aanhouden van een enzympauze bij deze temperatuur zorgt voor bieren met een hogere vergistingsgraad. Deze temperatuur ligt zo'n 5 graden lager dan de zogenaamde optimale temperatuur van beta-amylase. Bijkomend voordeel van het aanhouden van een iets lagere temperatuur is dat het enzym alfa-amylase ook minder degenereert .

Alfa-amylase

Het is voor ons brouwers maar goed dat alfa-amylase een endo-enzym is. Het enzym is in staat op vrijwel willekeurige plaatsen in de zetmeelketens verbindingen tussen aaneengeregen glucosemoleculen te verbreken. Doordat het enzym op willekeurige plaatsen in de zetmeelketen werkt, vormt het pas vergistbare suikers tegen het einde van het maischen als er alleen nog maar relatief kleine moleculen in oplossing zijn. Omdat dan de omstandigheden voor een optimale werking van het enzym minder gunstig zijn (door degeneratie en verminderde affiniteit) levert de directe

werking van alfa-amylase weinig vergistbare suikers. Aangezien het enzym echter ook werkzaam is onder de 65ºC draagt het per saldo wel in grote mate bij aan de vergistbaarheid van het wort. Door het verbreken van de inwendige ketens van amylopectine komen er zetmeeluiteinden vrij die door beta-amylase kunnen worden afgebroken.

Volgens de laatste inzichten kun je het best voor een langdurige werking van alfa-amylase voor dit enzym een enzympauze aanhouden bij 65 tot 75ºC.

Peptidasen

Voor de afbouw van eiwitten zijn een hele rij enzymen actief: endopeptidasen, exopeptidasen, carboxypeptidasen. De enzymen zijn optimaal werkzaam tussen de 40 en 60ºC, maar zelfs bij 60 - 75ºC zijn er eiwitsplitsende enzymen actief. Om de enzymen optimaal hun werk te laten doen wordt er vaak een enzympauze aangehouden tussen de 47 en 53ºC.

Tijdens het maischen zijn vooral de endopeptidasen, exopeptidasen, carboxypeptidasen actief. De endopeptidasen zijn in staat de heel grote eiwitmoleculen op willekeurige plaatsen af te breken op een wijze die enigszins vergelijkbaar is met de werking van alfa-amylase. Carboxylpeptidasen zijn verantwoordelijk voor maar liefst 80% van de aminozuren die bij het maischen vrijkomen.

Al deze tot aminozuren afgebroken eiwitten zijn uiteindelijk nodig voor een goede gisting, want de gistcellen gaan zich tijdens het gistproces massaal vermenigvuldigen en hebben dus vele bouwsteentjes of aminozuren nodig.

6.3.3 Maillardreacties

De Maillardreactie, ook wel de bruinreactie genoemd, is een chemische reactie tussen reducerende suikers en aminozuren uit eiwitten onder invloed van temperatuur. Denk maar aan het bruin kleuren van de korst van brood tijdens het bakken. Wanneer tijdens het koken de Maillardreacties toenemen (door stijging van de pH) zal die zorgen voor steeds donkerdere, hardere bieren.

De Maillardreactie is genoemd naar de Franse arts en chemicus Louis Camille Maillard. Maillard hield zich vooral bezig met onderzoek naar nierziekten en onderzocht onder andere het effect van suiker en aminozuren op de nieren.

De Maillardreactie is een heel complexe set van chemische reacties, die ruim 100 jaar na de ontdekking nog altijd slechts gedeeltelijk zijn beschreven. Tegenwoordig wordt de reactie (basis) als volgt beschreven in drie stappen.

1. Het begint met de reactie tussen een aminogroep of een aminozuur (los aanwezig of een onderdeel van een eiwitketen) en de carbonylgroep van een suiker (los of onderdeel van bijvoorbeeld zetmeel). Deze reactie vormt een glycosylamine (en water als bijproduct).
2. Het glysosylamine is een instabiele stof, die verder reageert tot diverse aminoketoses.

Ten slotte reageren ook die stoffen weer verder door, waarbij ook de stoffen ontstaan die voor de karakteristieke smaken en kleuren zorgen.

6.3.4 Eiwitbreuk

Eitwitbreuk wordt ook wel uitvlokken genoemd. Uitvlokken is het samenklonteren van eiwitten wat plaats vindt tijdens het koken van het wort.
Door het koken van het wort gaan eiwitmoleculen kapot; het zogenaamde denaturaliseren van de eiwitten. Tijdens de afkoeling en door de zure omgeving gaan de eiwitten met elkaar en met de looistoffen, uit de mout en hop, een reactie aan, waardoor vlokken ontstaan. Eiwit denaturaliseert bij hoge temperaturen en in het kokende wort vlokken ze samen en moeten ze uit het brouwsel verwijderd worden. Het verwijderen van de uitgevlokte eiwitten en alle andere onopgeloste graandelen gebeurt door filtering. Hierbij worden de eiwitvlokken gescheiden van het wort. De vlokken die uit het wort gefilterd worden, worden gebruikt als veevoeder. Het uitvlokken heeft als voordeel dat een teveel aan eiwitten (en bitterstoffen) wordt verwijderd. Deze eiwitten kunnen een nadelige invloed hebben op de gisting en op de schuimkraag van het uiteindelijke bier.
De uitgevlokte eiwitten geven een ongewenste smaak aan het bier. En ook kan het bier (op den duur) troebel worden.
De optimale zuurgraad van het wort voor het uitvlokken van de eiwitten is een pH 5,2.

6.3.5 Schuim

Schuim is een moeilijk iets in het brouwproces omdat de schuimvorming van veel verschillende factoren afhankelijk is. Schuim bestaat uit eiwitten die door de mout bij de gisting vrijkomen.
De hoeveelheid schuim per bier is echter heel verschillend, want er zijn diverse factoren die invloed hebben op de schuimvorming en schuimstabiliteit. Niet alle eiwitmoleculen veroorzaken schuim. Schuim ontstaat door grote eiwitmoleculen, en als het bier door pompen en filters gaat, worden die afgebroken en zal er minder schuim ontstaan.
Hoe meer bewerkingen bier ondergaat, des te minder schuimt het.
Tijdens het brouwproces zorgen de volgende zaken voor verandering van de schuimvorming:

- Tijdens het maischen worden grotere eiwitten omgezet in kleinere eiwitten en aminozuren. De middelgrote eiwitten zijn van belang voor een goed schuim. De afbreking van de eiwitten mag dus niet te ver gaan.
- Tijdens het filteren is een goed heldere wort bevorderlijk voor het schuim. Een te ver uitspoelen van de maisch vermindert de schuimkwaliteit omdat dan stoffen meekomen die een negatieve invloed hebben op het schuim, bv. vetzuren.
- Tijdens het koken vlokken de grote eiwitten uit, de middelgrote blijven in het wort aanwezig. Van belang zijn de alfazuren afkomstig uit de hop. De alfazuren worden bij het koken omgezet in iso-alfazuren Deze stoffen bevorderen de kwaliteit van het schuim.
- De gebruikte giststam is ook van invloed op het schuim. Bij de gisting gevormde esters (verbinding van alcoholen en zuren) en hogere alcoholen zijn van negatieve invloed op het schuim. Esters en hogere alcoholen worden in grotere mate gevormd bij een hoge vergistingstemperatuur. Voor een goed schuim zou men dus bij een lage temperatuur moeten vergisten.

- Tijdens de lagering kunnen dode gistcellen uiteen vallen (autolyse). Hierbij komen stoffen vrij die de schuimkwaliteit negatief beïnvloeden. Het is daarom van belang na de hoofdgisting over te hevelen naar een nieuw vat.
- Tijdens het bottelen voegt men suiker toe om een voldoende CO2 druk op te bouwen in de fles. Van belang is voldoende suiker toe te voegen, maar ook niet te veel. Ook moeten voldoende levende gistcellen aanwezig zijn. Sommige brouwers bottelen met stikstof af, dit geeft een fijner en steviger schuim. Het grootste negatief effect op het schuim hebben oliën en vetten. Bv. een vettig glas . Een ander aspect is de temperatuur van het bier. Hogere temperatuur geeft meer schuim, maar het schuim valt sneller in dan bij lagere temperatuur.
- Ook de wijze van inschenken is van belang, niet van grote hoogte inschenken, maar langzaam langs het glas.

De hoeveelheid schuim is ook per biersoort anders.
Tarwebier geeft meestal steviger schuim dan bier van gerstemout, omdat de tarwemout meer eiwitten afgeeft dan gerstemout in het brouwproces.
Soms doet men wat tarwemout in het bier waardoor het beter schuimt.

6.4 Hygiëne

6.4.1 Algemene principes

Bij het reinigen houden we rekening met enkele basisregels die ook in de keuken en op andere terreinen van toepassing zijn. We kunnen ze samenvatten onder het letterwoord **TACT**.

- **Temperatuur**
  Bij een hogere temperatuur gaat het reinigen doorgaans vlotter. (Bij loog tot 100° C, voor andere producten de technische fiche raadplegen!)
- **Actie**
  Wrijven of schuren met borstel, (roestvrij-)stalen of synthetische spons. Een hogedrukreiniger helpt vuil of micro-organismen alleen maar verspreiden, zelfs indien men reinigings- of ontsmettingsmiddelen aan het gebruikte water toevoegt. De contacttijd is immers te kort.
- **Chemie**
  Aard en concentratie van de producten.
- **Tijd**
  Hoelang kunnen de producten inwerken of schrobben we?

De gewone huishoudelijke reinigingsmiddelen zijn goed te gebruiken voor een algemene schoonmaak, maar de sterkere producten die in de brouwerijen gebruikt worden, zullen de amateurbrouwer nog betere diensten bewijzen.

6.4.2 CIP

Cleaning in Place (kortweg CIP) is een gebruikte techniek uit de procestechniek, waarbij een productiedeel (object) automatisch gereinigd wordt zonder dat het object of delen daarvan gedemonteerd, verplaatst of uit elkaar gehaald moeten worden. Soms is het nodig een deel van het object handmatig te prepareren, zoals het wegnemen van kritische delen of verwijderen van grove residuen. Vaak worden een gehele fabriek of meerdere installaties door een CIP-systeem gereinigd.

CIP vormt een belangrijk onderdeel bij GMP en HACCP (bij wetgeving vermeld) en wordt toegepast in de voedingsmiddelenindustrie en farmacie.

6.4.3 Reinigingsproducten

Alkalische reinigers zoals natriumhydroxide (bijtende soda) zijn goede hulpmiddelen om organisch vuil, o.a. eiwitten van verschillende oorsprong (brouwproces, etiketlijm), te verwijderen. Voor de amateurbrouwer zijn samengestelde reinigers handiger in gebruik, bv. Purexol 2 van Sopura of P3-asepto vloeibaar van Henkel Ecolab. Beide producten bevatten natriumhypochloriet (werkt oxiderend = vooral desinfecterend), polymere fosfaten en kaliumhydroxide (reinigend en ook desinfecterend). Gebruiksconcentratie: 0,25 à 5%, afhankelijk van het merk, afhankelijk van de toepassingswijze bij 20 à 45° C gedurende 30 tot 40 minuten. Steeds goed naspoelen met water.

Daarnaast kan het nodig zijn ketels en vaten jaarlijks met een zuurreiniger te behandelen om de aanslag van kalk en eventueel biersteen te verwijderen. Men kan hiervoor verdunningen maken met zwavelzuur, salpeterzuur, mierenzuur, fosforzuur… of gewoon een kant-en-klaarproduct gebruiken zoals DT 6 van Sopura (bevat zwavelzuur plus middelen die de aantasting van inox voorkomen) of Calgonit S.

6.4.4 Desinfecteren

Na het reinigen wordt alles wat in contact komt met het afgekoelde wort, bijkomend gedesinfecteerd. Omwille van de kans op ongewenste of gevaarlijke chemische reacties moeten de resten van reinigingsproducten eerst goed worden weggespoeld. Het is beter drie (!) keer na te spoelen met een beperkte hoeveelheid water dan eenmaal met een grote hoeveelheid.

Men kan desinfecteren door gebruik te maken van warmte (koken, autoclaveren, stomen, flamberen), alcohol (ethanol van 70%), chloor (meestal al aanwezig in de samengestelde reinigers in de vorm van natriumhypochloriet) en oxidatiemiddelen. De mogelijkheden om warmte te gebruiken, zijn voor de meeste amateurbrouwers erg beperkt; alcohol is vrij duur en chloor laat een geur achter.

Oxidatiemiddelen zijn voor de amateur het best toe te passen, o.a. waterstofperoxide of perazijnzuur. Beide hebben een grote kiemdodende werking. Men vindt ze beide samen in P3-oxonia actief van Henkel of Sopuroxid 5 van Sopura. Gebruiksconcentratie: van 0,02 tot 1% gedurende 5 à 20 minuten, afhankelijk van het merk en de concentratie. Naspoelen met water is niet echt noodzakelijk, maar dan wel goed laten uitlekken.

Door hun lagere oppervlaktespanning nemen de meeste desinfectiemiddelen ook eventuele resten van de reinigingsmiddelen weg.

Quat, quaternaire ammoniumverbindingen die ook terug te vinden zijn in het in ziekenhuizen gebruikte HAC, is wegens zijn lage oppervlaktespanning moeilijk weg te spoelen en dus minder geschikt. Het kan wel gebruikt worden voor het reinigen (bv. van het werkoppervlak waarop men gist vermenigvuldigt, de vloeren en wanden van de brouwzaal).

7. Veiligheid

7.1 Voedselveiligheid

7.1.1 Wetgeving

Het Koninklijk besluit betreffende autocontrole, meldingsplicht en traceerbaarheid in de voedselketen verplicht elk bedrijf tot de opzetting van een autocontrolesysteem. Een bedrijf wordt gedefinieerd als “een onderneming, zowel publiek- als privaatrechtelijk, die al dan niet met een winstoogmerk actief is in enig stadium van de productie, verwerking en distributie van een product”. Het autocontrolesysteem is geldend voor het ganse productieproces, inclusief distributie. De opzetting hiervan berust op de zeven principes van het HACCP- systeem.

7.1.2 GHP

Goede hygiënepraktijken (GHP)

Om een goed autocontrolesysteem te hebben, is het noodzakelijk dat u de goede hygiënepraktijken toepast.

Persoonlijke hygiëne

Persoonlijke hygiëne vormt de basis van alle hygiëne en is een van de meest fundamentele elementen van de voedselveiligheid. Een goede algemene persoonlijke hygiëne en een onberispelijke handhygiëne in het bijzonder kunnen het besmettingsrisico van levensmiddelen maximaal beperken. Daarom is het belangrijk dat elke werknemer in de voedingssector op de hoogte is van de basisregels voor een goede persoonlijke hygiëne en ze ook strikt naleeft!

Voorzieningen, Inrichting van lokalen & Uitrusting

Aangepaste voorzieningen voor het personeel, zoals een kleedruimte, een eetruimte en sanitaire voorzieningen zijn belangrijk om de persoonlijke hygiëne te garanderen en zodoende het risico op besmetting te verlagen.
De goede werking van een bedrijf begint met de controle van de onmiddellijke omgeving.

- De omgeving van de bedrijfsruimten goed onderhouden om elke besmetting te voorkomen.
- Toezicht op de algemene orde, op de hygiënische opslag van afval, op een goed waterafvoersysteem en op goed onderhouden gebouwen.
- Om correct en vooral hygiënisch te kunnen werken moeten de lokalen van het bedrijf voldoende groot zijn.

Er worden eveneens hoge eisen gesteld met betrekking tot de afwerking en de inrichting van de lokalen. Alles moet gemakkelijk en correct kunnen onderhouden, gereinigd en ontsmet worden. Zorg ervoor dat er geen ongedierte noch enige andere bron van besmetting kan binnenkomen. De werkvlakken, toestellen en werkmateriaal zijn plaatsen in het bedrijfslokaal die het meest in contact komen met levensmiddelen. Daarom is de hygiëne van de uitrusting zeer belangrijk.

Reiniging & ontsmetting

Een goed onderhouden inrichting is de beste garantie om ongedierte op afstand te houden, maar ook om micro-organismen, die vectoren zijn voor ziekte en bederf, te bestrijden. Orde en netheid zijn niet enkel gewenst voor de voedselveiligheid, maar zijn ook het visitekaartje van de inrichting. Voor een efficiënte reiniging en ontsmetting zijn het geschikte materiaal en producten nodig, net zoals de naleving van de aangewezen methoden. Ontsmetting is niet altijd nodig, maar reiniging is noodzakelijk.

Reiniging
De reiniging bestaat uit de verwijdering van residuen en vuil van organische of anorganische oorsprong (vb. vetten, bloed, roest, kalkaanslag, …). Op die manier is de behandelde oppervlakte zichtbaar schoon. Alleen reinigen is geen garantie van ontsmetting. Daarom is het soms nodig om te ontsmetten.

Ontsmetting
Ontsmetting maakt het mogelijk de organismen te bestrijden die schadelijk zijn voor de menselijke gezondheid door deze te doden of te verwijderen. Ontsmetting verhindert echter verdere contaminaties niet, daarom moet dit regelmatig worden uitgevoerd in gevoelige zones. Voorbeeld: Een grondige reiniging gevolgd door ontsmetting is nodig in een inrichting voor de vervaardiging van zuivelproducten. Immers het aantal micro-organismen moet vanaf het begin maximaal beperkt worden.

Water

Water wordt vaak gebruikt als ingrediënt. Werk altijd met drinkwater wanneer water rechtstreeks of onrechtstreeks in contact kan komen met levensmiddelen!

Afval

Afval is een schuilplaats en een perfect groeimilieu voor schimmels, micro-organismen en ongedierte. Afval mag nooit in contact komen met levensmiddelen om besmetting te voorkomen. Daarom moeten alle soorten afval zo vlug mogelijk verwijderd worden.

Ongedierte

Ongedierte kan eveneens aan de basis liggen van gezondheidsrisico's.

- Kruipende en vliegende insecten vormen een bron van microbiologische contaminatie van de producten.
- Knaagdieren en huisdieren kunnen ook ziekten overdragen die gevaarlijk zijn voor de mens.

Het is dus belangrijk dat de nodige maatregelen worden getroffen om ongedierte in de hele inrichting te vermijden.

Opleiding

Alle personeelsleden die in de voedingssector werken, moeten zich bewust zijn van hun rol en verantwoordelijkheid op het vlak van de voedselveiligheid. Basiskennis over hygiëne en voedselveiligheid is nodig voor iedereen die voeding bereidt, opdient en verkoopt. Voorzie om deze reden een basisopleiding over GHP!

7.1.3 HACCP

HACCP (Hazard Analysis Critical Control Points) is de basis tot de vorming van een autocontrolesysteem. De aandacht wordt gelegd op het opsporen van gevaren en hiervoor bijpassende maatregelen te treffen. HACCP steunt op een zevental principes, namelijk:

1. Het identificeren van elk mogelijk gevaar. Het gevaar dient te worden geëlimineerd of gereduceerd tot op aanvaardbaar niveau.

2. Het identificeren van de kritische controlepunten (CCP's) in elke stadia van het productieproces waarbij het geïdentificeerd gevaar dient te worden geëlimineerd of gereduceerd tot op aanvaardbaar niveau.

3. Het vaststellen van kritische grenswaarden voor de vooropgestelde kritische controlepunten.

4. Het opstellen van een monitoringsysteem, zodat de kritische controlepunten kunnen worden beheerst.

5. Oprichten van corrigerende maatregelen wanneer de kritische controlepunten niet beheerst worden.

6. Het opstellen en bewaren van documentatie en meetresultaten ter controle van het uitvoeren van de vooropgestelde maatregelen.

7. Verificatie van het functioneren van HACCP-plan.

Het bestaande HACCP-plan dient op regelmatige tijdstippen getoetst te worden met het actuele productieproces. Indien wijzigingen in het productieproces voorkomen, dienen deze spoedig opgenomen te worden in het HACCP-plan.

7.1.4 Traceerbaarheid

Traceerbaarheid is de mogelijkheid om een product in alle stadia van de productie, verwerking en distributie te traceren en te volgen. Het is één van de middelen om risico's te beheren en laat toe om: voedingsmiddelen die (vermoedelijk) een gevaar voor de gezondheid inhouden, efficiënter terug te roepen; doelgerichte en gedetailleerde informatie over deze producten aan de consument aan te bieden; nuttige gegevens te bezorgen aan de instanties die het probleem onderzoeken (bv. over de betrokken bedrijven, de oorzaak van de besmetting, de maatregelen die moeten worden genomen …).

- **Stadia van traceerbaarheid**

  De traceerbaarheid van voedingsmiddelen bestaat uit drie grote stadia:

1. Traceerbaarheid 'in' bij binnenkomst van producten in een voedingsmiddelenbedrijf. Deze producten moeten geïdentificeerd en geregistreerd worden zodat ze altijd terug te leiden zijn naar de toeleverancier;
2. Interne traceerbaarheid: ook binnen het bedrijf moet de traceerbaarheid worden behouden, door te registreren welke binnenkomende producten in welke uitgaande voedingsmiddelen zijn verwerkt;
3. Traceerbaarheid 'out' bij het vertrek van de producten, zodat ze ook op hun nieuwe bestemming kunnen worden opgespoord.
4.

7.1.5 Meldingsplicht

Meldingsplicht is een verplichting tot het melden van producten die een schadelijk effect hebben op de gezondheid van mens, dier of plant. De melding gebeurt door de exploitant aan het FAVV. Daarnaast wordt de procedure door de exploitant gestart om de producten uit de handel te nemen. Indien de producten de consument hebben bereikt, dient de exploitant de consument te verwittigen op een doeltreffende manier.

Een melding dient niet te gebeuren indien het gevaar in het bedrijf wordt vastgesteld. Bovendien moeten corrigerende acties ondernomen worden om het gevaar te elimineren of te reduceren naar een aanvaardbaar niveau. (Koninklijk besluit, 14 november 2003, hoofdstuk 4)

7.2 Gevaren

Tijdens het opstellen van een autocontrolesysteem dient men de potentiële gevaren te identificeren per productiestap. De gevaren worden ingedeeld in 3 categorieën: microbieel, chemisch en fysisch.

7.2.1 Microbieel

Micro-organismen kunnen zowel nuttig, bederfveroorzakend als pathogeen zijn. Bederfveroorzakende organismen geven ongewenste veranderingen aan het levensmiddel, waardoor consumptie niet meer mogelijk is. Daarnaast hebben pathogenen een schadelijk effect op de gezondheid van de mens. De verschillende vormen waaronder bacteriën zich van elkaar onderscheiden zijn coccen, bacillen of gebogen staafvormigen. Er kan ook een classificatie gemaakt naar celwand toe, waarbij we zowel grampositieve als -negatieve bacteriën van elkaar onderscheiden. Grampositieve bacteriën bevatten een dikkere celwand, die rijk is aan teichonzuur. Daarentegen hebben gramnegatieve bacteriën een dunnere celwand. Het verschil in celwand wordt aangetoond aan de hand van een gramkleuring.

Bederf veroorzakende Micro – organismen

Bier is eigenlijk geen optimaal groeimedium voor zowel bederf- als pathogene micro - organismen. Dit is te wijten aan de aanwezigheid van ethanol, iso- alfazuren in hop en een lage pH (3.8 - 5.7). Daarnaast worden de voedingsstoffen, zoals glucose… aangesproken door de gist tijdens de fermentatie. Hierdoor zijn deze in mindere mate beschikbaar voor de andere micro-organismen in bier.

Pathogenen

Vanwege een groot aantal remmende factoren in bier vormt dit een zeer ongunstig milieu voor de overleving van pathogenen. Factoren zoals een lage pH-waarde, het alcoholgehalte verkregen door fermentatie, de aanwezigheid van iso-alfazuren met anti-microbiële eigenschappen in hop, lage zuurstofconcentratie en gebrek aan beschikbare voedingsstoffen bemoeilijken de groei en overleving van micro-organismen.

7.2.2 Fysisch

Een fysisch gevaar kan zowel een direct als indirect gevolg hebben voor de consumptie. Fysische delen kunnen ook een bron van microbiële besmetting vormen. Oneetbare delen (takjes, verharde plantdelen...), ongedierte en vreemde voorwerpen kunnen via de grondstoffen in het begin van het productieproces aanwezig zijn. Preventieve maatregelen zijn het opstellen van de inkoopspecificaties, de certificaten per grondstof vergelijken met de inkoopspecificaties en visuele inspectie van de grondstoffen bij ontvangst. Ook een correcte opslag kan een maatregel bieden.

Tijdens het proces is de aanwezigheid van metaaldeeltjes als gevolg van slijtage en corrosie een fysisch gevaar. De aanwezigheid van metaaldeeltjes heeft nefaste gevolgen voor de consument. Metaaldeeltjes kunnen via corrosie of slijtage van de installatie in het bier terechtkomen. De brouwinstallatie in het laboratorium is vervaardigd uit roestvrij staal. Periodiek onderhoud van de installatie wordt ter preventie voor dit gevaar gehanteerd. Door beschadiging van de flesmond tijdens het bottelen, kunnen er ook glasdeeltjes in het eindproduct terechtkomen. Door het manueel bottelen, kan men voorafgaand de flesmond inspecteren op beschadigingen. Nadien kan visuele controle van de gebottelde flessen een maatregel bieden.

7.2.3 Chemisch

Het chemisch gevaar is het derde type gevaar in de gevarenanalyse. Dit type van gevaar bevat de aanwezigheid van residuen van de CIP- reiniging, mycotoxinen, gewasbestrijdingsmiddelen en zware metalen in of op de grondstoffen.

Residuen CIP- reiniging

De reiniging van de installatie gebeurt door de CIP-behandeling. In de brouwerij is een CIP-tank aanwezig voor het reinigen van de installatie. Het heeft een totaal volume van 130 liter. Na elke brouw-dag wordt de volledige brouwinstallatie gereinigd en ontsmet. Eerst wordt de brouwinstallatie tank per tank gespoeld met 2 % natriumhydroxide op een temperatuur van 70 °C. De circulatietijd per installatie is circa 15 min per apparatuur. Ook de tussenleidingen worden goed gespoeld. In totaal duurt dit reinigingsproces gemiddeld ongeveer 2 uur. Op dezelfde manier wordt de brouwinstallatie nadien gespoeld met leidingwater. Na de reiniging gebeurt de desinfectie met 0,2% Oxonia (waterstofperoxide) van de brouwinstallatie.

Als extra desinfectiestap wordt bij de start van de productie, water gekookt in de kookketel. Vervolgens wordt dit kokend water soms nog eens door de whirlpool, platenwarmtewisselaar en fermentatietank gestuurd. Dit laatste is van belang omdat het eindproduct na de kookstap geen verdere warmtebehandelingen ondergaat.

Residuen van gewasbestrijdingsmiddelen op grondstoffen

Gerstemout bevat een aanzienlijke hoeveelheid aan zetmeel en eiwitten. Deze nutriënten vormen een ideale voedingsbodem voor micro-organismen, insecten en wormen. Indien na oogsten, het vochtgehalte meer dan 14 % bevat, kan ook schimmelvorming optreden. Aspergillus en Penicillium zijn fungi en staan in voor de productie van mycotoxinen. Ook klimaatfactoren, hebben een invloed op de kwaliteit van de teelt. Als gevolg van deze factoren, wordt gebruik gemaakt van gewasbestrijdingsmiddelen zoals pesticiden, herbiciden en fungiciden.

Residuen van pesticiden, herbiciden of fungiciden kunnen via gerst en hop in het bierproces aanwezig zijn. Daarentegen zal de aanwezige concentratie aan pesticiden, herbiciden en fungiciden dalen

doorheen het productieproces. De grootste reductie aan deze residuen op de grondstoffen situeert zich bij de wortfiltratie. Dit is te wijten aan de verwijdering van het draf. Voor het gebruik van pesticiden, herbiciden of fungiciden mogen enkel deze in de lijst van toegelaten gewasbestrijdingsmiddelen worden toegepast.

Zware metalen

Zware metalen (lood, methylkwik, cadmium, arseen) kunnen via de lucht, water of bodem in contact komen met plantgewassen. Deze metalen worden opgenomen en opgeslagen in deze plantgewassen. Door de consumptie van deze gewassen wordt de mens hieraan blootgesteld. De toxische effecten, afhankelijk van de ingenomen hoeveelheid, zijn waarneembaar op langere termijn.
Bijvoorbeeld: kankers, cardio- vasculaire aandoeningen en nierfalen. Vanwege deze toxische effecten zijn de maximumgehalten in levensmiddelen vastgelegd.

Type zwaar metaal	**Maximumgehalte**
<u>Lood</u>	
■ Granen en peulvruchten	0.20 mg/kg
<u>Cadmium</u>	
■ Granen (met uitzondering van zemelen, kiemen, tarwe en rijst)	0.10 mg/kg
■ Tarwe, rijst, zemelen, kiemen	0.20 mg/kg

8. Evaluatie - besluit

In het begin van het jaar hebben we de taken duidelijk en eerlijk verdeeld. Deze manier van werken heeft heel goed gewerkt. Halfweg het jaar deden we een tussentijdse evaluatie en merkten we wel dat we de GIP toch onderschat hadden. Pas na januari begon de installatie echt vorm te krijgen. Dit is ook wel te wijten aan de vele tijd die we gespendeerd hebben aan de voorstudie. En terecht ook, want er is wel veel basiskennis vereist om een brouwinstallatie te ontwerpen. We moesten ook nog nadenken over de manier van brouwen. Het is namelijk mogelijk om op verschillende manieren te brouwen. Wij moesten de knoop doorhakken welke methode voor ons optimaal zou zijn.

Tijdens het schooljaar zijn er nog veel aanpassingen gebeurd. We hadden bijvoorbeeld in het begin gedacht om met een lichtere pomp te werken voor heel ons project, maar na tips uit de GIP-vergadering en na verdere studie en berekeningen bleek dit dan toch niet te lukken en hebben we dan een tweede zwaardere pomp moeten aankopen. Zo zijn er nog tal van voorbeelden, die hebben geleid tot verdere aanpassingen van het ontwerp.

Oorspronkelijk was het de bedoeling om een volledige hobbyinstallatie (elektrisch en mechanisch volledig afgewerkt) af te leveren tegen het einde van het jaar. In april viel de beslissing om toch een professionele installatie af te leveren en dit hield natuurlijk een aantal aanpassingen in van het ontwerp op het vlak van materiaalkeuze om zo aan de hygiëne-eisen te voldoen. Ons GIP-onderwerp veranderde bijgevolg in ‘ontwerp van een bierbrouwinstallatie’. Het elektrische gedeelte en afregeling zullen dan waarschijnlijk afgewerkt worden in een GIP volgend jaar.

Enkele tips voor toekomstige gip-leerlingen!

- Vroeg genoeg beginnen, uitstelgedrag vermijden.
- Een goede samenwerking en communicatie zijn essentieel.
- Luisteren naar elkaar!
- Een duidelijke planning maken en die ook proberen zo goed mogelijk te volgen.
- Proberen eventuele vertragende factoren te voorzien.
- Bijeenkomsten op woensdag zijn productief.
- Wanneer iets mislukt, dit zien als een les.

Een GIP is zeker niet te onderschatten. Uiteindelijk hebben we er met heel de klasgroep heel wat tijd en energie in gestopt. Nu, net voor de examens van juni, vinden we dat het resultaat er wel mag zijn. We zijn als klas 614 tevreden over wat we in team met behulp van de leerkrachten hebben verwezenlijkt. Het was een leerrijk project waaraan we alle 10 met heel veel plezier hebben gewerkt. We hebben ook ervaren dat iedereen zijn eigen talenten en interesses heeft. Als klas hopen we dan ook dat het project volgend jaar nog tot een goed einde wordt gebracht en dat alles werkt. Het zou super zijn als we volgend jaar op de opendeurdag een perfect werkende brouwinstallatie zien staan...

9. Figuren

Figure 2-1 takenverdeling brainstorm 7
Figure 2-2 bierbrouwinstallatie voorstel 1 8
Figure 2-3 bierbrouwinstallatie voorstel 2 8
Figure 2-4 minibrouwinstallatie....13
Figure 2-5 Belimo 5 aandrijving....14
Figure 2-6 ptc 100 14
Figure 2-7 groepsfoto brouwerij de Leite 18
Figure 3-1 rextrotsysteem kar 20
Figure 3-2 kar met alles erop....20
Figure 3-3 defenitief ontwerp installatie 21
Figure 3-4 schema 1 22
Figure 3-5 schema 2 22
Figure 3-6 flow van de vloeistof 23
Figure 3-7 watercircuit....23
Figure 3-8 wortcircuit....24
Figure 3-9 maischketel met mangat 25
Figure 3-10 roerder....25
Figure 3-11 installatie Co&Co....26
Figure 3-12 installatie Co&Co....26
Figure 3-13 installatie Co&Co....26
Figure 3-14 MIG/MAG-lassen....30
Figure 3-15 TIG-lassen....31
Figure 3-16 bovenaanzicht en binnenkant kookketel....32
Figure 3-17 onderkant kookketel 34
Figure 3-18 onderkant kookketel 34
Figure 3-19 gasbrander 34
Figure 3-20 centrifugaalpomp 36
Figure 3-21 verdringingspomp 36
Figure 3-22 wormpomp 36
Figure 3-23 slangenpomp....37
Figure 3-24 tandwielpomp 37
Figure 3-25 Packo warmtewisselaar 41
Figure 3-26 inox 42
Figure 3-27 oppervlakteruwheid 46
Figure 3-28 elektrolytisch polijsten 47
Figure 3-29 oppervlakteruwheidsmeter 47
Figure 4-1 kenplaat boiler 48
Figure 4-2 houder verwarmingselementen....49
Figure 4-3 bovenkant boiler 49
Figure 4-4 verwarmingselementen boiler....50

Figure 4-5 spiraalribelement 51
Figuur 4-6 patroonweerstand 51
Figuur 4-7 dompelweerstand 51
Figuur 4-8 keramische dompelaar 52
Figuur 4-9 verwarmmat 52
Figuur 4-10 plooien weerstand 53
Figure 4-11 asynchrone motor 53
Figure 4-12 stator asynchrone motor 53
Figure 4-13 verliezen motor 54
Figure 4-14 NORD SK63L/4 met reductie 55
Figure 4-15 NORD koppelcurve 56
Figure 4-16 frequentieregelaar 59
Figure 4-17 schema frequentieregelaar 60
Figure 4-18 blokschema frequentieregelaar 60
Figure 4-19 elektrische filter 61
Figure 4-20 aansluiting motor in driehoek 62
Figure 4-21 driehoekschakeling 62
Figure 4-22 aansluitklemmen frequentieregelaar 63
Figure 4-23 aansluitschema motor roerder 64
Figure 4-24 besturingsaansluitterminal 64
Figure 5-1 blokschema IN/OUTPUT 66
Figure 5-2 Arduinologo 67
Figure 5-3 Arduino uno 67
Figure 5-4 ethernet shield 68
Figure 5-5 Arduino mega 68
Figure 5-6 sensoren 68
Figure 5-7 temperatuursensor schematisch 69
Figure 5-8 temperatuursensor 70
Figure 5-9 volumesensor schematisch 71
Figure 5-10 volumesensor 71
Figure 5-11 STC 1000 73
Figure 5-12 firmware 73
Figure 5-13 ethernet shield 75
Figure 5-14 spi bus 75
Figure 5-15 spi bus 76
Figure 5-16 commuunicatie 77
Figure 5-17 visualisatie 78
Figure 5-18 circuit 78
Figure 5-19 codes 79
Figure 6-1 oppervlaktewater 81
Figure 6-2 grondwater en bronwater 81

Figure 6-3 leidingwater 81
Figure 6-4 natruim chloride en water 82
Figure 6-5 opstelling 86
Figuur 6-6 spectrometer schematisch 90
Figure 6-7 spectrometer 90
Figure 6-8 cuvet en cuvetten in spectrometer 91
Figure 6-9 uv-vis spectrum 91
Figure 6-10 elektrolitische opstelling schematisch 93
Figure 6-11 elektrolitische opstelling 94
Figure 6-12 gerst 94
Figure 6-13 ontkiemde graankorrels+ mouttoren 95
Figure 6-14 Rode en normale mout 95
Figure 6-15 Kristalmout gemaakt van gerst 98
Figure 6-16 Een moutvloer in de Highland Park mouterij op de Orkney-eilanden 98
Figure 6-17 kieming 99
Figure 6-18 prokaryotische en eukaryotische cel 101
Figure 6-19 uitbroeiing 103
Figure 6-20 reincultuur 103
Figure 6-21 fasen 105
Figure 6-22 Glucose 108
Figure 6-23 fructose 108
Figure 6-24 Glucose 108
Figure 6-25 Galactose 108
Figure 6-26 Fructose 108
Figure 6-27 Maltose 109
Figure 6-28 Maltose 110
Figure 6-29 Sacharose 110
Figure 6-30 Maltotriose 111
Figure 6-31 structuurformule van amylose 111
Figure 6-32 helixstructuur van amylose 112
Figure 6-33 activeringsgrafiek 113
Figure 6-34 peptidebinding 114
Figure 6-35 slot sleutelmechanisme 114
Figure 6-36 enzymactiviteit 115
Figure 6-37 enzymactiviteit 116
Figure 6-38 activiteit beta en alfa amylase 117
Figure 6-39 activiteit beta amylase 117
Figure 6-40 proteïne 118
Figure 6-41 aaneenschakeling van aminozuren 118
Figure 6-42 polypeptideketen 119
Figure 6-43 epo 119