



SINT
JOZEF
Geel

Technische Schoolstraat 52
2440 Geel
www.kogeka.be/sintjosef

Geïntegreerde proef

Minimelker

2018-2019

Naam: Lander Rommens

Klas: T3 lw6



KOGEKA



SINT
JOZEF
Geel

Technische Schoolstraat 52
2440 Geel
www.kogeka.be/sintjozef

Geïntegreerde proef

Minimelker

2018-2019

Naam: Lander Rommens

Klas: T3 lw6



KOGEKA

Voorwoord

Ik heb voor mijn eindwerk een minimelker gemaakt, omdat dit bij mijn interesse aansluit. Omdat mijn ouders een landbouwbedrijf hebben zou deze machine ons ook tijd besparen bij het melken van apart staande koeien. Dit was dan ook het moment om een project te kiezen dat me interesseerde.

Uit dit project heb ik veel dingen geleerd, zo kan ik nu beter met Arduino werken dan vorig jaar. Ook heb ik zeer veel geleerd over de werking van een melkmachine. Over dit onderwerp wist ik het minst bij het begin van het project. Daarom heb ik me hier heel wat meer in verdiept. Het belangrijkste dat ik geleerd heb uit dit project is dat een planning maken niet extreem moeilijk is, maar een planning volgen wel. Dit is dan ook een van de belangrijkste delen van een project.

Voor dit project waren mijn ouders en broers zeer belangrijk omdat ze me bleven steunen. Mijn nonkel die me het materiaal voor de weegschaal heeft gegeven en me er ook mee heeft geholpen ben ik zeer dankbaar. Ik wil ook meneer Wyns danken voor het helpen en ondersteunen van mijn eindwerk. Meneer Peys was ook belangrijk omdat hij mijn eindwerk heeft nagelezen. Misschien wel de belangrijkste personen waren mijn klasgenoten om naast het project ook voldoende ontspanning te nemen.

Inhoud

Voorwoord.....	4
Inleiding.....	6
1 Eerste ideeën.....	7
1.1 Separatiepoort.....	7
1.2 Minimelker	7
2 Projectplanning	9
3 Onderdelen van de melkmachine.....	10
3.1 Elektromotor	10
3.1.1 Driefasige asynchrone motor.....	11
3.1.2 Steinmetzschakeling	12
3.2 Vacuümpomp	13
3.3 Vochtvangter	14
3.4 Regulator-regelklep	15
3.5 Vacuümmeter	15
3.6 Vacuümkraan	16
3.7 Melkklauw	17
3.8 Tepelhouders.....	18
3.9 Pulsator-drukwisselaar.....	21
4 Elektronische onderdelen	23
4.1 Arduino Uno	23
4.2 SEN-10245.....	25
4.3 HX711 ADC	26
4.4 I ² C LCD Display.....	28
4.4.1 LCD	28
4.4.2 I ² C.....	29
4.5 RFID.....	30
4.5.1 SPI	31
5 Behuizing	32
5.1 Weegschaal	32
5.2 Identificatie koe	33
6 Totale kostprijs	35
Besluit	36
Gebruikte bronnen	37
Bijlagen	38

Inleiding

Ik heb voor mijn eindwerk een minimelker gemaakt. Dit is een melkmachine geschikt voor één koe. Hierbij drijft een motor een vacuümpomp aan zodat deze een zuigfase veroorzaakt. Dit vacuüm gaat tot aan de tepelvoering en zo wordt de melk uit de koe gezogen. Hiervoor heb ik een oude melkmachine opgeknapt en voorzien van technische snufjes waaronder een digitale weegschaal. Dit om het aantal liter melk te bepalen. Ook identificeer ik de koe met behulp van RFID (draadloze identificatie chips).

Ik ben dit project begonnen met een planning te maken. Deze planning heb ik gemaakt in een vorm van een Gantt-diagram. Dit heb ik gemaakt op de website van TeamGantt. Ook heb ik GitHub gebruikt om mijn programma's, libraries en andere informatie op te plaatsen. Mijn project heet ook op deze website Minimelker.

In deze bundel leg ik uit hoe ik op dit idee ben gekomen. Ook leg ik uit hoe de onderdelen, die ik gebruik in het project, werken en waarvoor ze dienen. Daarna geef ik ook uitleg waarom en waar ik de behuizing heb gebruikt. Op het einde geef ik nog weer welke kosten ik heb moeten maken om het project te realiseren.

1 Eerste ideeën

In dit hoofdstuk ga ik meer vertellen over de ideeën die ik had voor mijn eindwerk. Ik volg de richting industriële wetenschappen, maar ik ben erg geïnteresseerd in de landbouw. Dit was mijn kans om een project te kiezen richting landbouw.

1.1 Separatiepoort

De separatiepoort stuurt automatisch verschillende groepen koeien naar verschillende ruimten. Met deze poort is het wisselen van groepen koeien en het afzonderen van koeien voor een bepaalde behandeling zeer simpel en verlies je er weinig tijd mee. Indien nodig worden te behandelen dieren individueel naar een behandelingsbox gestuurd. De poort detecteert de koe en stuurt haar vervolgens door naar een van de ruimtes. Als de koe gepasseerd is, sluit het hek en wordt de volgende gesepareerd.

Er bestaan separatiepoorten die de koeien in meer dan twee groepen kunnen verdelen. Zo is er bij een poort met twee richtingen een klapdeur met één separatiedeur links of rechts. Bij een poort voor drie richtingen zijn er twee mogelijkheden. Bij deze poort is er een klapdeur met zowel een separatiedeur links als rechts, oftewel twee separatiedeuren achtereen aan dezelfde kant.

Dit idee kwam nadat we naar een opendeurdag van een nieuwe koestal waren geweest. Hier hadden ze een nieuwe separatiepoort om de koeien te verdelen in twee verschillende groepen. Ik wou dit wel maken omdat me dat wel nuttig leek en omdat wij dit thuis ook zouden kunnen gebruiken. Maar een separatiepoort is veel te groot om als gip te maken. Daarom wou ik het nog wel in miniatuur te maken. Hiervoor zou ik koe herkenning, eventueel met RFID, en cilinders moeten gebruiken. Het pneumatische gedeelte leek me wel zeer interessant, maar we hadden er nog weinig tot niets over geleerd op school. De leerkracht raadde het me ook niet aan omdat de aankoop van nieuwe cilinders de prijs voor mijn eindwerk al meteen in de hoogte zou laten gaan. Daarom besloot ik ook om een ander project te zoeken.

1.2 Minimelker

De minimelker is een mobiele melkmachine voor het individueel melken van koeien in geval van bijvoorbeeld ziektes. De minimelker is ook ideaal voor het melken van pas afgekalfde koeien. De werking is simpel uit te leggen. Een motor drijft een vacuümpomp aan zodat deze een zuigfase veroorzaakt. Dit vacuüm reikt tot aan de tepelvoering en zo wordt de melk uit de koe gezogen.

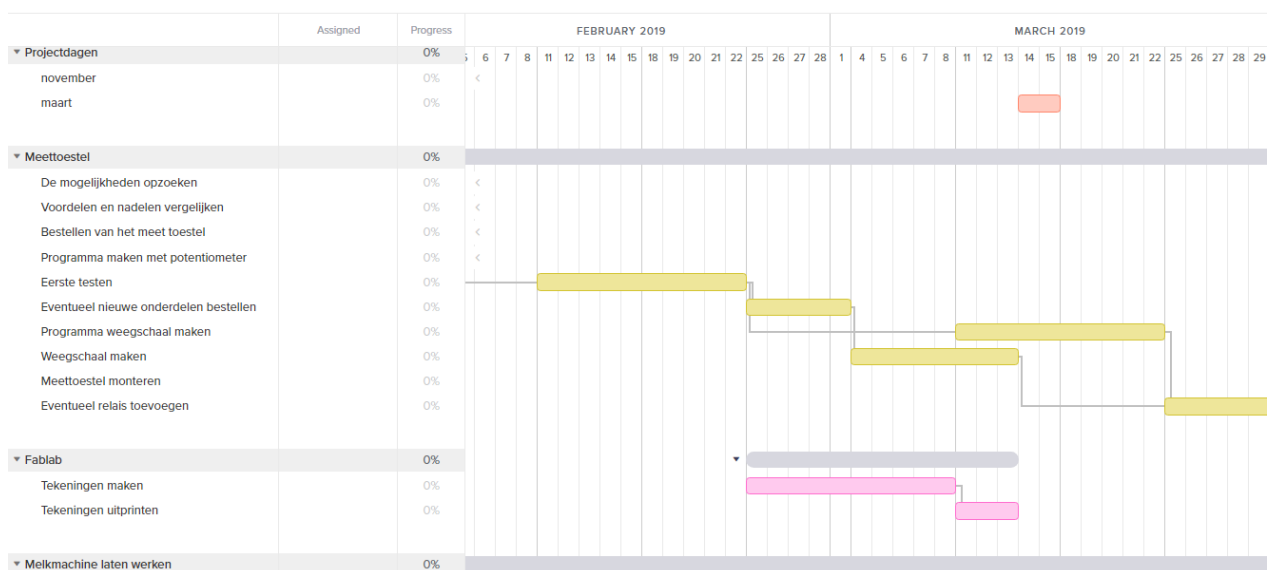
Ik wou een minimelker maken voor mijn eindwerk, maar het werd niet goedgekeurd omdat dit project niet aan de eisen voldeed. Wanneer ik er nog iets aan toevoegde was het wel goed. Hierdoor ben ik op het idee gekomen om de melk digitaal te wegen door middel van belastingssensoren om zo het aantal liter

melk te bepalen. De koe wordt met behulp van RFID (draadloze identificatie chips) geïdentificeerd. Dit doe ik omdat ik nu ook meer kennis van vorige jaren kan gebruiken in mijn eindwerk.

2 Projectplanning

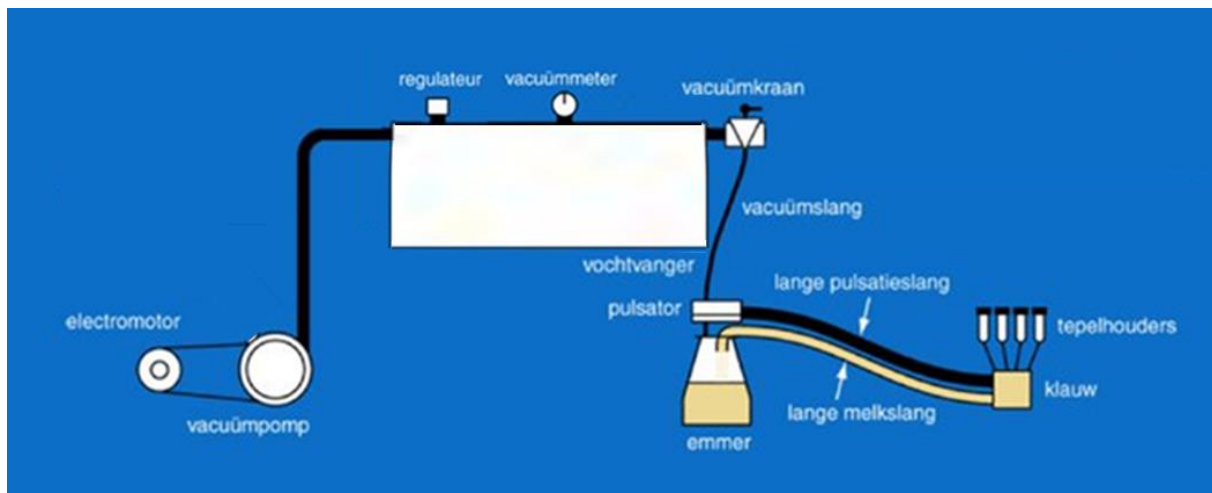
Toen ik te horen kreeg dat ik dit project mocht maken, ben ik niet meteen praktisch begonnen. Het eerste wat ik wel heb gedaan is een planning gemaakt. Dit heb ik gedaan op de website van TeamGantt. Zoals je al kan afleiden van de naam is dit met een Gantt-diagram. Dit is een grafiek ofwel diagram voor het plannen. Dit systeem kan gebruikt worden als hulpmiddel bij projectmanagement.

In dit diagram heb ik dus mijn tussenstappen vastgelegd met daarbij telkens een timing voor dat deel van mijn project. Door dit diagram te volgen heb ik mijn tijd voor dit project over een hele schooljaar verdeeld. Dit heb ik gedaan omdat ik anders nooit op tijd zou klaar zijn met dit project. Zo heb ik bijvoorbeeld mijn weegschaal laten werken tegen de projectdagen in maart. Dit is me grotendeels gelukt. Ik heb ook rekening gehouden met het feit dat ik bij sommige tussenstappen meer tijd nodig had dan gepland. Zo was mijn laatste tussenstap om eventueel een relais toe te voegen. Wanneer alle tussenstappen toch op tijd zouden klaar geraakt, zou ik toch nog iets kunnen doen. Ik heb uiteindelijk toch geen tijd meer gehad om een relais toe te voegen. Hieronder zie je een deel van mijn Gantt-diagram.



3 Onderdelen van de melkmachine

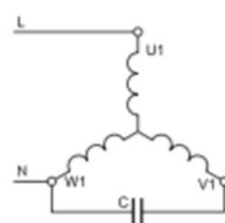
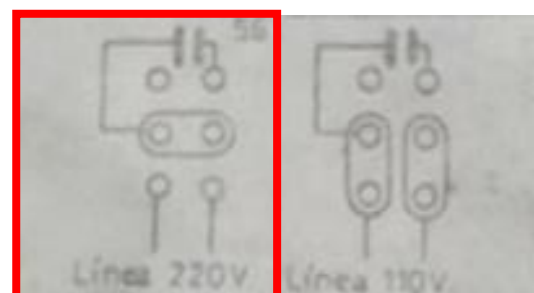
In dit hoofdstuk ga ik uitleg geven over de onderdelen van de melkmachine zonder al de elektronica die erbij wordt toegevoegd. Voor mijn eindwerk werk ik verder op een oude minimelker die we thuis nog hadden staan, maar al enkele tientallen jaren stil staat. Daarom heb ik niet echt moeten kiezen tussen verschillende soorten elektromotoren, vacuümpomp en cetera. Hieronder vind je een eenvoudig schema van de melkinstallatie.



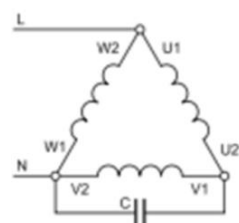
3.1 Elektromotor

Voor het aandrijven van mijn vacuümpomp gebruik ik een elektromotor. Het kentekenplaatje van de motor is versleten en ik kan er niks meer van lezen. Wat ik wel weet van de motor is dat deze wordt aangesloten op 230V. Op het klemmenbord van de motor zie ik zes aansluitingen. Op het deksel van het klemmenbord staan twee aansluitmogelijkheden. De motor is volgens de aangeduide mogelijkheid aangesloten. Omdat er zes aansluitingen zijn is dit een driefasige motor.

Wanneer we een driefasige asynchrone motor willen aansluiten op een enkelfasige wisselspanning gebruik je meestal een steinmetzschakeling. Dit is een schakeling die hiervoor zorgt door middel van een condensator.



Sterschakeling



Driehoekschakeling

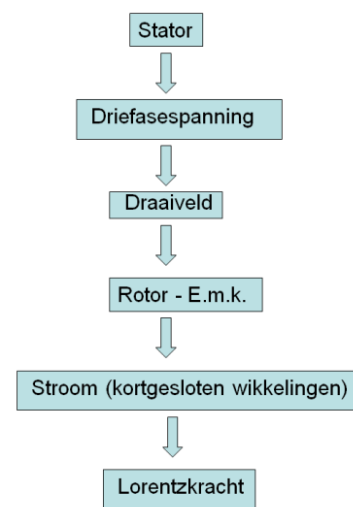
3.1.1 Driefasige asynchrone motor

Elke motor bestaat uit een stator en een rotor. De stator is het stilstaande gedeelte en de rotor is dan weer het gedeelte dat ronddraait. Het kenplaatje geeft een overzicht van de belangrijkste elektrische en mechanische gegevens. Zo vermeldt het steeds de lijnspanningen en de lijnstromen. Omdat het kentekenplaatje dat ik gebruik niet meer leesbaar is, zijn deze gegevens niet bekend. Het kenplaatje zou ons leren dat de motor op twee spanningen kan werken:

- ✓ de laagste spanning is de fasespanning ook driehoekspanning of spoelspanning genaamd;
- ✓ de hoogste spanning is de lijnspanning of de sterspanning.

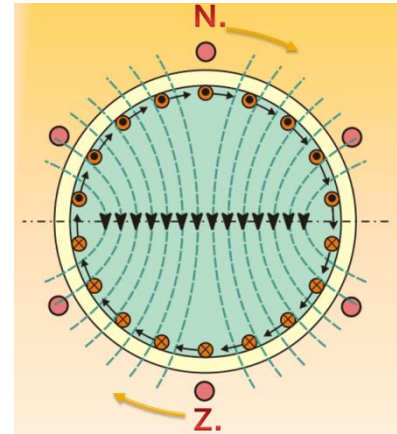
De werking van een driefasige motor wordt op eenvoudige wijze uitgelegd in het schema hiernaast. Zo wordt in de statorwikkelingen het draaiveld opgewekt bij aansluiting op een driefasespanning. Deze aansluiting gebeurt via een klemmenbord.

Na het aansluiten van statorwikkelingen op driefasespanning ontstaat er een draaiveld in de statorwikkelingen. De rotorleiders worden dan gesneden door de veldlijnen. Er worden bijgevolg in de geleiders, die niet op de neutrale lijn liggen, elektromotorische krachten, oftewel emk's, geïnduceerd die in de gesloten keten van de rotor stromen doen vloeien. Met de rechterhandregel wordt de stroomzin bepaald. We houden de handpalm naar de N-pool gericht zodanig dat de veldlijnen de handpalm binnen treden, de duim houden we tegengesteld aan de draaizin van het magnetisch veld. De gestrekte vingers duiden dan de zin aan van de stroom in de geleiders. Merk op dat we hier de tegengestelde beweging van het draaiveld moeten gebruiken, de rotor staat immers stil. Het is hier het draaiveld dat draait.



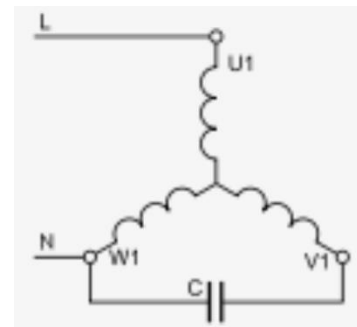
Tussen de stroomvoerende rotorleiders in het magnetisch veld ontstaat een krachtwerking: de Lorentzkracht. Deze kan nu bepaald worden met de linkerhandregel. We houden de handpalm naar de N-pool gericht zodanig dat de gestrekte vingers de stroomzin aangeven. De gestrekte duim duidt dan de zin aan van de Lorentzkrachten. Deze krachten vormen twee aan twee een koppel van krachten, die herleid kunnen worden tot een resulterend rotorkoppel. Onder invloed van dit koppel gaat de rotor draaien.

De draaizin van de rotor is dezelfde als de draaizin van het draaiveld. De rotor draait altijd iets trager dan het draaiveld van de stator. Hij draait asynchroon met het draaiveld vandaar zijn naam asynchrone motor. De motor wordt ook wel eens inductiemotor genoemd. Dit omdat de werking steunt op het principe van inductie door beweging. Inductie is dat elektrische stromen in draden opgewekt kunnen worden door veranderingen van het aanwezige magnetische veld.



3.1.2 Steinmetzschakeling

De steinmetzschakeling is aansluitschakeling waarbij een driefasige asynchrone motor door middel van een condensator wordt aangesloten op een enkelfase wisselspanning. De condensator bevindt zich in de cilinder die naast de motor hangt. Deze motor is in sterschakeling geschakeld.



Als er bij een driefasige motor een van de lijndraden wordt onderbroken dan zal de motor onder invloed van het resulterende magneetveld gewoon blijven doordraaien. Het probleem is alleen dat de motor niet kan aanlopen. Daarom wordt één statorwikkeling als aanloopwikkeling gebruikt, waarbij de extra condensator zorgt voor de vereiste faseverschuiving. Bij het starten wordt de condensator gebruikt zodat de motor weet welke richting hij op moet. De hulpcondensator wordt uitgeschakeld als de motor op snelheid komt of met andere woorden na de aanloop wordt de condensator afgeschakeld, daarom noemen we deze een aanloopcondensator.

Door de aansluiting van de condensator op het net te veranderen, zal de motor de andere kant gaan opdraaien. Het voordeel van de steinmetzschakeling is dat een standaard asynchrone draaistroommotor als een enkelfasemotor gebruikt kan worden. Door het asymmetrische veld is het koppel van deze motoren veel kleiner dan wanneer de motor op een driefasespanning wordt aangesloten. Hierdoor wordt het toepassingsgebied beperkt tot kleine vermogens.



Lander Rommens

T3 Iw6



Minimelker

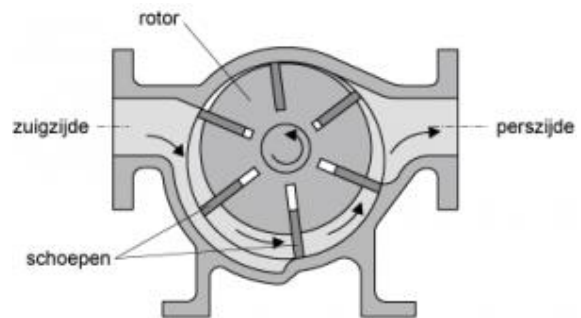
3.2 Vacuümpomp

Er zijn drie typen vacuümpompen:

- ✓ schoepenpomp,
- ✓ wateringpomp,
- ✓ impellorpomp.

Voor mijn minimelker gebruik ik een schoepenpomp. Zoals de naam het al zegt werkt deze pomp met schoepen.

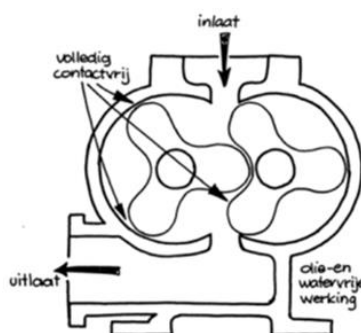
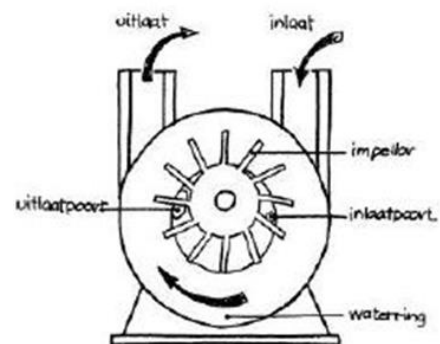
Schoepen zijn hetzelfde als schotten. Dat verklaart ook waarom deze pomp ook wel eens een schottenpomp wordt genoemd.



Deze pomp kenmerkt zich door een liggend pomphuis en heeft één as waaraan de rotor hangt. Deze is excentrisch ten opzichte van het pomphuis geplaatst. Aan de omtrek van de rotor zijn gleuven met schoepen erin. De schoepen kunnen zich makkelijk in radiale richting bewegen. Ze worden tegen de binnenkant van het pomphuis gedrukt door veren en/of centrifugale krachten. Tussen de rotor, het pomphuis en 2 schoepen worden er dus telkens ruimtes gevormd die afgesloten zijn. Deze ruimtes worden groter en vervolgens kleiner. Op deze manier ontstaat de pompende werking. De lucht wordt van zuigzijde naar perszijde verplaatst. Er ontstaat dus een soort vacuüm aan de zuigzijde.

De lucht die wordt weggenomen is verbonden met de buitenlucht, maar omdat dit teveel geluidsoverlast veroorzaakt wordt er een geluidsdemper geplaatst. Deze is aan de perszijde vastgemaakt en is eenvoudig te monteren via schroefdraad.

In het pomphuis van de waterringpomp bevindt zich een rotor met vaste schoepen. Water zorgt voor de afdichting en koeling. Tijdens het draaien vormt het water een "ring" tegen de wand van het pomphuis. De pomp is milieuvriendelijk omdat er geen olie wordt gebruikt. Deze pomp is ook geluidsarm, maar vraagt wel ongeveer 30 procent meer energie dan de schoepenpomp.



Deze pomp wordt vooral gebruikt bij een automatisch melksysteem. In het pomphuis van deze pomp zitten twee draaiende, metalen impellors. Beide impellors draaien in tegenovergestelde richting. De impellors raken noch elkaar noch de wand van het pomphuis. In het pomphuis is dus geen smering nodig. Dat maakt deze pomp zeer schoon in het gebruik. Ook het geluidsniveau is laag.

3.3 Vochtvangerv

Bij de meeste melkmachines is de vochtvangerv geplaatst tussen de pomp en de vacuümleiding, maar bij mijn machine is er geen vacuümleiding. Dit komt doordat de onderdelen die normaal aan de vacuümleiding hangen op de vochtvangerv zijn bevestigd. Dit wil zeggen dat na de vochtvangerv meteen de vacuümslang komt.

De vochtvangerv is een reservoir dat dient onder meer om het vocht, dat in de slangen wordt gevormd of komt (condenswater) op te vangen. Dit vocht mag niet in de vacuümpomp komen want hierdoor kan deze ernstig beschadigd worden. De vochtvangerv wordt zo dicht mogelijk bij de vacuümpomp geplaatst, zodat er vrijwel geen condenswater tussen beide kan ontstaan. De pomp is dan ook alleen gebouwd voor het afzuigen van lucht en niet voor het verplaatsen van water.

Onderaan aan de vochtvangerv staat een opening, hiervoor hangt een los lapje rubber. Bij het aanzetten van de machine wordt er een vacuüm gecreëerd hierdoor zal het lapje rubber tegen de opening worden gezogen waardoor de vochtvangerv gesloten is. Zodra men de melkmachine stilzet en de lucht weer in de leiding toestroomt, zal het lapje rubber vanzelf loslaten, zodat het aangezogen vocht weg kan lopen. Ook bovenaan de vochtvangerv is er een opening met een losse rubberen dop. Deze zal ook bij het aanzetten van de machine tegen de opening worden gezogen waardoor de vochtvangerv gesloten is. Zodra men de melkmachine stilzet en de lucht weer in de leiding toestroomt, zal de rubberen dop vanzelf loslaten en licht deze los op de vochtvangerv. Deze opening heeft als doel de vochtvangerv van binnen schoon te kunnen borstelen.

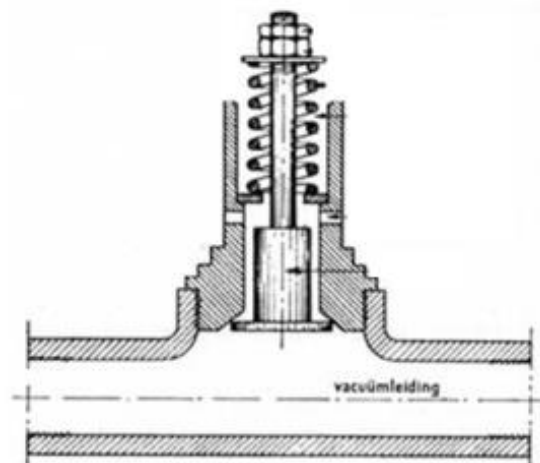
De vochtvangerv wordt ook wel vacuümtank genoemd. Hoe groter de vacuümtank, hoe groter de bufferende werking die wordt verkregen. Hiermee wordt bedoeld dat de totale inhoud van de vacuümleiding met een grote tank groter is dan met een kleine tank. Als er bijvoorbeeld een melkstel afvalt waardoor extra lucht wordt aangezogen, zal, nadat het ventiel van de vacuümregulator is dichtgevallen, het vacuüm in een leiding met een grote vochtvangerv minder snel dalen dan in een leiding met kleinere inhoud. Een grote tank zal schommelingen in de hoogte van het vacuüm enigszins opvangen, dus een buffer voor de schommelingen zijn.

3.4 Regulator-regelklep

De regulator die ik gebruik voor mijn eindwerk is een regulator die werkt door middel van een spiraalveer en een ventiel, die in een cilinder geplaatst zijn. De veer drukt het ventiel tegen de ventielzitting. Zodra het drukverschil tussen buitenlucht en vacuüm groter is dan de kracht waarmee de veer het ventiel op de zitting drukt, wordt deze veer door de buitenlucht iets samengedrukt. Het ventiel wijkt van zijn zitting, zodat een kleine opening ontstaat en door deze opening kan de lucht in de regulator stromen. De onderdruk trekt de klep dus eigenlijk op, vandaar dat deze ook regelklep wordt genoemd.



De veer en het ventiel worden op hun plaats gehouden door een stop, die in- en uitgeschroefd kan worden. Wordt hij naar binnen geschroefd, dan maakt men de veer korter en deze drukt dus sterker tegen het ventiel. Het drukverschil tussen vacuüm en buitenlucht moet dan ook sterker zijn om de veer nog dieper in te kunnen drukken, m.a.w. het vacuüm zal door de sterkere druk van de veer op het ventiel, en dus van het ventiel op de zitting, stijgen.



Een spiraalveer verliest op den duur zijn spankracht. Deze regulator zal dus regelmatig bijgesteld moeten worden. De luchttoevoer van sommige regulators is door een koperen gaasje stofdicht afgesloten. Dit doet men omdat er in de stal veel stof ontstaat, vooral bij het voeren van hooi en stro. Wanneer het gaasje door stof is verstopt zal het weinig lucht doorlaten en het vacuüm zal oplopen. Velen verstellen dan de regulator, maar dit zal uiteraard niet helpen wanneer het kopergaasje niet gereinigd wordt. Dit gaasje moet daarom regelmatig afgeborsteld en doorgeblazen worden. Dit kan heel eenvoudig doordat het gemakkelijk afneembaar is.

3.5 Vacuümmeter

De vacuümmeter geeft het verschil in luchtdruk weer tussen de buitenluchtdruk en de druk in de vacuümtank. Hoe hoger het getal op de vacuümmeter, hoe groter het verschil in druk buiten en binnen de tank. Om te kunnen controleren of met het juist ingestelde vacuüm wordt gemolken, is er een vacuümmeter op de vacuümtank gemonteerd. Bij een hoog vacuüm is er dus een groot drukverschil buiten en binnen de tank. Een laag vacuüm geeft dus een klein drukverschil buiten en binnen de tank. De vacuümmeter moet ongeveer 0.44 bar aangeven voor een goede melkbeurt. Dit is anders dan bij een grote

melkmachine. Hierbij moet de vacuümmeter rond de 0.50 bar aanwijzen omdat hier de melk enkele meter omhoog moet gepompt worden naar de koeltank. De vacuümmeter moet goed zichtbaar zijn want de melker moet deze in 1 oogopslag kunnen zien.

Het verschil in druk buiten en binnen de leiding wordt door de regulator geregeld. Door middel van de vacuümmeter heeft men dus een goede controle op de werking van de vacuümregulator. Wanneer de vacuümmeter een andere luchtdruk aanwijst, terwijl de machine goed melkt en de regulator schoon is, zal vermoedelijk de meter ontregeld zijn.



Let op, de meter duidt onderdruk aan. De waarden op de meter zijn dus negatief. Dit wil niet zeggen dat de luchtdruk negatief is want de vacuümmeter duidt het verschil aan tussen de lucht binnen en buiten de tank. De luchtdruk waarin wij leven is 100 kPa ofwel 1 bar. Dit wil dus zeggen dat we 0.44 bar onder de omgevingsdruk melken. De luchtdruk in de vacuümtank is dan eigenlijk 0.56 bar.

3.6 Vacuümkraan

De vacuümkraan maakt de overgang van vacuümleiding naar vacuümslag. In mijn geval is dit de overgang van de vochtvanger naar de vacuümslang. Omdat ik verder werk op een minimelker voor twee koeien zijn er twee kranen. Dit is niet zo erg want men kan een van de twee kranen constant gesloten houden. De andere kraan is ook gesloten bij het starten van de motor. Wanneer er in de vochtvanger het nodige vacuüm is gecreëerd, kan men de vacuümkraan openzetten zodat er ook in de vacuümslang een vacuüm kan ontstaan.

Bij het einde van het melken is deze kraan ook belangrijk. Wanneer de koe is leeg gemolken, zet men de kraan dicht waardoor er gewone lucht in de vacuümslang kan komen. Zo verdwijnt het vacuüm en is het afnemen/verwijderen van het melkstel veel aangenamer voor de koe. De tweede vacuümkraan zetten we open net voor we de motor stilleggen. Dit doen we zodat het vacuüm verdwijnt en zo vermijden we dat de vacuümpomp terugdraait. Wanneer we dit niet doen draait de pomp even achterstevoren omdat er aan de ene kant een vacuüm is en aan de ander kant gewone buitenlucht. Het terugdraaien van de pomp is niet goed voor de schoepen in de pomp.

3.7 Melkklaauw

Het melkstel bestaat voornamelijk uit de melkklaauw en deze bestaat uit twee delen: het luchtverdeelstuk en het melkverzamelgedeelte . Deze delen zijn altijd van elkaar gescheiden.

In het luchtgedeelte komen de vier korte luchtslangen van de tepelhouders bij elkaar om de lucht via het luchtverdeelstuk naar de pulsator te voeren. Omdat ik met een alternatief werkende pulsator werk gebeurt dit met twee vacuümslangen.

Aan het melkverzamelstuk zijn aan de bovenkant de vier korte melkslangen van de tepelhouders gemonteerd. De lange melkslang is dan weer aan de voorkant van het melkverzamelstuk gemonteerd. Bij sommige melkklauwen is er, in het melkverzamelgedeelte, een kraan aanwezig waarmee je het vacuüm onder de spenen kunt afsluiten. Bij mijn melkklaauw is dit niet het geval en daarom gebruik ik een knipsluiting in de lange melkslang.



Bij de klauw zijn de aansluitingen van de luchtslangen makkelijk te onderscheiden van die van de korte melkslangen doordat ze recht zijn, terwijl de einden van de aansluitingen voor de korte melkslangen schuin zijn afgewerkt. Deze aansluitingen zijn schuin om de lucht af te sluiten als de klauw in de hand gehouden wordt en de machine in werking gesteld is met neerhangende tepelhouders. Om de tepelhouders aan de spenen te kunnen aanbrengen neemt men de klauw zo in de hand dat de tepelhouders naar beneden hangen. Omdat de melkslangen over de schuin afgewerkte einden hangen, wordt het vacuüm daar ter plaatse afgesloten en kunnen de tepelhouders geen vuil opzuigen. Bij koeien met abnormaal grote laaghangende uiers bevinden de tepelhouders zich laag ten opzichte van de melkemmer. In de korte melkslangen kan dan een knik komen, zodat de melk niet vlot uit de tepelvoering in de emmer kan vloeien.

De melkklaauw is aangebracht om de melk van de vier uierkwartieren in één slang te verenigen. Er zijn geen normen voor de inhoud van de melkklaauw. Toch is het aan te bevelen dat de klauw minimaal een inhoud heeft van 250 cc. Hierdoor gebruik ik nu een andere klauw dan de originele omdat deze een zeer kleine inhoud had. De klauw die ik nu gebruik heeft een inhoud van 350cc of 0,35 liter.



De melk verplaatst zich in de slang, omdat er drukverschil is. Dus als er lucht achter de melk aangezogen wordt, zal de melk sneller worden afgevoerd, omdat het druk verschil dan groter wordt. Daarom zit er een klein luchtgaatje in het

melkverzamelstuk. Dit gaatje laat tijdens het melken ongeveer 4 tot 12 liter lucht per minuut in het melkverzamelstuk van de klauw.

Het haakje aan de achterkant van de klauw is er om de klauw te kunnen weghangen aan het haakje bij de handvatten van de minimelker.

3.8 Tepelhouders

Het melkstel bestaat uit een melkklauw en vier tepelhouders. Een tepelhouder van een melkstel bestaat uit een tepelbeker, een tepelvoering, een korte melkslang en een korte pulsatieslang. De tepelvoering en de korte melkslang zijn na verloop van tijd verenigd en dus ook bij mijn eindwerk, maar het is makkelijker uit te leggen met twee aparte stukken en het principe blijft toch hetzelfde.

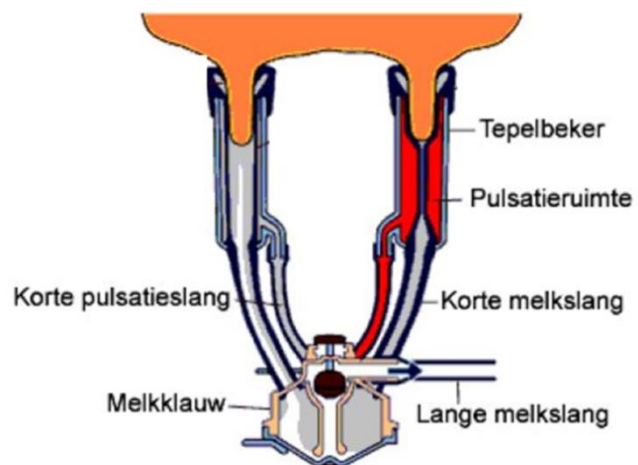
De tepelvoeringen vervullen bij het melken een belangrijke rol en daarom zullen deze hier uitvoerig worden beschreven. Aan de bovenkant bevindt zich een stootring, van bovenaf gezien is dit een ring met een groot oppervlak. Deze ring sluit om de speen en stoot bij korte spenen tijdens het melken tegen de uier, waardoor het opkruipen van de tepelhouder wordt tegengegaan. Bovendien verhindert hij het toestromen van lucht in de tepelvoering tijdens het melken en wordt het afvallen van de tepelhouders voorkomen. Door zijn elasticiteit beschadigt de ring de tepel niet.

De doorsnede van de tepelvoering is kleiner dan die van de tepelbeker en de bevestiging van deze zijn luchtdicht, waardoor er dus een afgesloten ruimte blijft tussen de buitenwand van de tepelvoering en de binnenwand van de tepelbeker, deze ruimte wordt pulsatie­ruimte genoemd. Bij het monteren moet de tepelvoering goed in de tepelbeker worden gestrekt. In deze pulsatie­ruimte kan afwisselend vacuüm en luchtdruk tot stand worden gebracht. Dit wordt gedaan door de pulsator. Onderaan de zijkant van de tepelbeker bevindt zich een pijpje, dat in de pulsatie­ruimte uitmondt. Hieraan komt een korte pulsatieslang, die naar het luchtverdeelstuk loopt. De speenruimte is de ruimte in de voering waar de speen in zit. Hier heerst tijdens het melken voortdurend vacuüm, omdat deze continu via de klauw en lange melkslang op de melkinstallatie aangesloten zit. Het is dus zo, dat van elk der vier tepelhouders twee slangen naar de klauw lopen, vier melkslangen en vier pulsatieslangen.

De onderdruk die voortdurend heerst in de speenruimte is bijna de helft van de normale luchtdruk. Doordat er in de speen een hogere druk heerst dan in de tepelvoering onder de speen, zal de speen zich in de lengte uitzetten. Door de werking van de pulsator heerst er in de pulsatie­ruimte ook een vacuüm. Hierdoor wordt de druk binnen en buiten de voering gelijk. In het algemeen sluit de tepel tegen de binnenkant van de tepelvoering aan. Deze gaat open staan door de eigen elasticiteit van de tepelvoering en de tepel zal zich ook in de breedte uitzetten. Doordat de tepel in de breedte uitzet, zal het melkkanaal in de tepel zich breder maken en het slotgat zal geopend worden. Door het vacuüm onder

de speen wordt nu de melk afgezogen. Dit zien we bij de linkse tepelhouder op de tekeningen en we noemen dit de zuigslag.

Op de hierboven beschreven zuigslag volgt de rustslag. Deze is geïllustreerd bij de rechtse tepelhouder op de tekeningen. Tijdens de rustslag, ook wel persslag genoemd, laat de pulsator lucht toe in de pulsatie ruimte. Hierin heerst dan de druk van de buitenlucht. De druk rondom de tepelvoering is dus sterker dan die in de tepelvoering en het gevolg hiervan is dat de tepelvoering dichtgedrukt wordt. Hierdoor kan de melk niet meer uit de tepel worden gezogen. De tepel zal zich weer tot zijn normale lengte verkorten, terwijl de tepelvoering vrijwel tot het slotgat dichtgedrukt zal worden. De lucht die toestroomt, komt via de korte pulsatieslang.



De luchtdruk in de ruimte tussen tepelvoering en tepelbeker moet bij de persslag oplopen van vacuüm tot de normale luchtdruk. Hoe snel dit geschiedt hangt af van de snelheid van het openen van de klep in de pulsator en van de grootte van de luchtkanalen. De klep wordt schoksgewijze bewogen en dus plotseling geheel geopend. De volle drukverandering heeft daarom snel plaats. Door nauwe kanalen komt de lucht in de veel grotere ruimte, de pulsatie ruimte, en hierin heerst steeds overal gelijke druk. Nadat voldoende lucht toegestroomd is, heerst in deze ruimte de druk van de buitenlucht. Binnen de tepelvoering blijft een vacuüm en daarom wordt er nu van buiten naar binnen een druk op de tepelvoering uitgeoefend. Deze druk is overal even groot. Ze oefent het meeste effect uit op de plaats, die de minste tegenstand biedt.

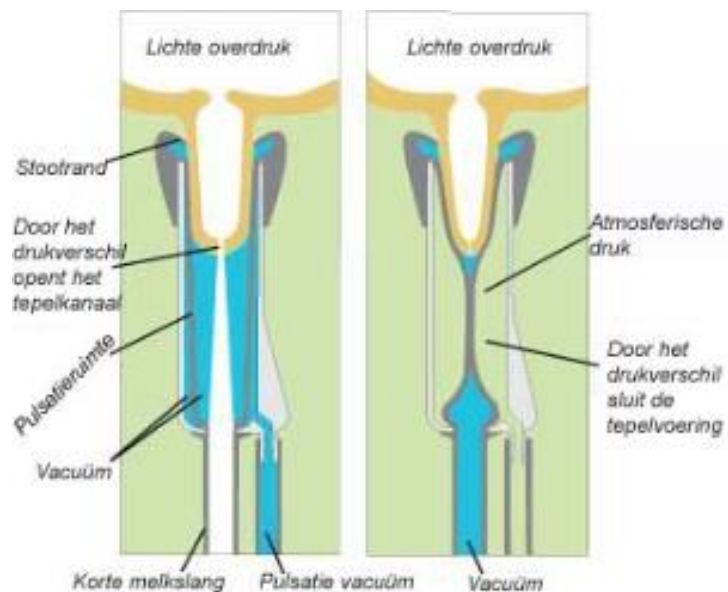
In het algemeen zal dit wel zijn vlak onder de speen, omdat hier de tepelvoering wijd is en zeer soepel. Hier wordt deze onmiddellijk dichtgelegd en op het onderende van de speen wordt een druk uitgeoefend, die zich door de luchtdruk op de gehele tepelvoering naar boven voortzet. De speen wordt dus van onder naar boven gemasseerd en het naar beneden gezogen bloed wordt naar de uier teruggebracht, terwijl tevens de prikkel tot melkafgifte wordt onderhouden.

De soepelheid en elasticiteit van de tepelvoering is voor de goede massage zeer belangrijk. Deze moet gemakkelijk ingedrukt kunnen worden, maar moet ook snel zijn oorspronkelijke vorm weer aannemen. De tepelvoering kan zowel te soepel als te stug zijn. Belangrijk is in deze ook hoe de pulsator werkt, hoe snel de lucht wordt aangevoerd en afgezogen. De pulsator zorgt voor het openen en sluiten van de tepelvoeringen. De combinatie van de rustslag en de zuigslag

zorgt ervoor dat een koe gemolken wordt. Via de lange melkslang gaat de melk naar de melkemmer.

Omdat de tepel zich tijdens de zuigslag in de lengterichting uitzet is het, vooral voor koeien met lange spenen, noodzakelijk dat de tepelvoering lang en ook onder de speen breed genoeg is, zodat de melk vlot kan worden afgevoerd.

Een zeer dunne en korte tepel zal niet tegen de binnenkant van de tepelvoering sluiten, waardoor een dergelijke tepel weinig of in het geheel niet gemasseerd wordt. Bij deze kleine tepels is het onderbreken van het vacuüm door het dichtleggen van de tepelvoering, echter reeds voldoende om het bloed naar de uier terug te doen vloeien.



Uit bovenstaande blijkt wel dat het gehele pulsatie-systeem dient ter ondersteuning van de bloedsomloop en om de prikkel tot melkafgifte te onderhouden, terwijl verder kan worden vastgesteld, dat elke rustslag het melken onderbreekt. De melkmachine werkt dus op geheel andere wijze dan de handmelker. Deze perst de melk uit de speen en wel vanaf de uier naar het slotgat. Daarna opent hij de hand, waardoor het bloed dat in de bloedvaten van de speen ook enigszins in de richting van het slotgat geperst was, de gelegenheid krijgt naar de uier terug te vloeien. De tepelhouder moet zich echter steeds aan de speen vastklemmen, waardoor de bloedsomloop enigermate belemmerd wordt. Mede daarom moet bij het machinaal melken de bloedsomloop ondersteund worden.

Het verschil tussen handmatig en machinaal melken is dus dat de handmelker de melk uit de speen perst vanaf de uier naar het slotgat, terwijl de melkmachine de melk uit de speen zuigt en daarna het bloed in de bloedvaten van de speen vanaf het slotgat naar de uier terug perst. Wanneer men de duim in de tepelvoering van een werkende melkmachine houdt, moet men duidelijk kunnen constateren dat de tepelvoering telkens op de top van de duim drukt.

3.9 Pulsator-drukwisselaar

In de pulsatieruimte kan afwisselend onderdruk en buitenluchtdruk tot stand worden gebracht. Dit wordt gedaan door de drukwisselaar. Dit gebeurt door op regelmatige momenten lucht in de pulsatieruimte te laten. De drukwisselaar stuurt dus pulsaties, vandaar dat deze ook wel pulsator wordt genoemd. Tegenwoordig wordt vooral het elektronische drukwisselingssysteem toegepast. De pulsator die ik gebruik is redelijk oud en is dus nog zonder elektronica. Buiten het onderscheid van elektronisch of niet kan je ook nog onderscheid maken tussen een simultaan of en alternatief werkende pulsator. Ik gebruik de tweede soort voor mijn eindwerk.

Bij een simultaan werkende drukwisselaar hebben de vier de tepelhouders op het zelfde moment de zuigslag en op het zelfde moment de rustslag. Er is dan maar één lange pulsatieslang nodig tussen de drukwisselaar en de vier tepelhouders. Dit systeem kan in principe alleen gebruikt worden om alle vier de kwartieren te samen te melken en vraagt dus een ruimere melkafvoer.

Bij een alternatief werkende drukwisselaar gaan twee tepelhouders gelijktijdig over van de rustslag in de zuigslag, terwijl de twee andere tepelhouders op dat moment overgaan van de zuigslag in de rustslag. Er zijn dan twee pulsatieslangen nodig tussen de drukwisselaar en de vier tepelhouders. Een luchtverdeelstuk boven op de klauw zorgt voor de verdeling over de vier tepelhouders. Bij dit systeem hebben 2 tepelbekers gelijktijdig de zuigslag of rustslag. Door de manier van aanhangen van het melkstel beslist men dat dit het linker- en het rechterpaar of het voor- en het achterpaar zijn.

De tepelvoering is het onderdeel van de melkmachine dat het meest met de koe in aanraking komt. Deze moet zeer precies werken en hier zijn dan 3 belangrijke punten:

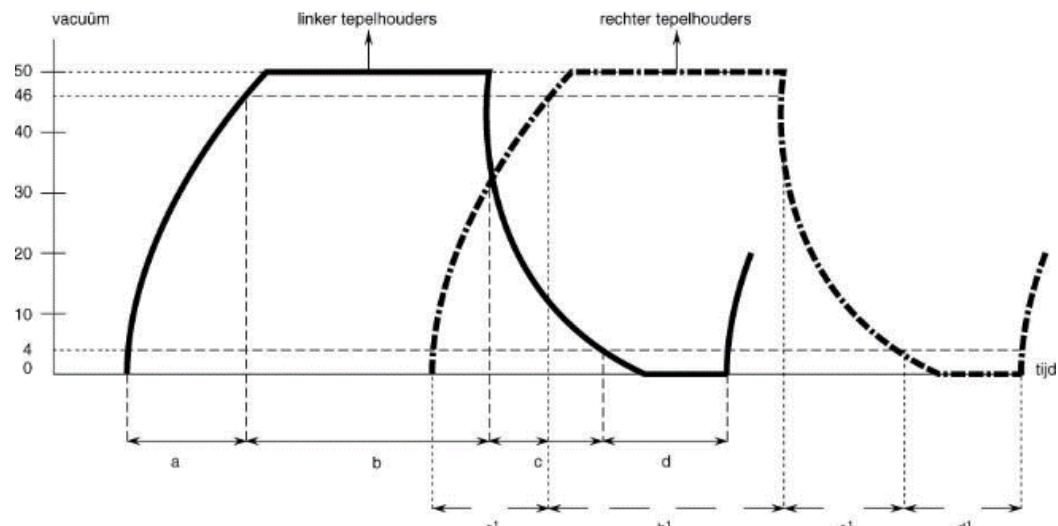
- ✓ er mag niet te lang aan de speen gezogen worden dus mag de zuigslag niet te lang duren;
- ✓ de speen moet voldoende rust hebben dus moet de rustslag lang genoeg zijn;
- ✓ het melken mag niet lang duren dus moet er een goede verhouding zijn tussen zuigslag en rustslag.

Er zijn dan ook waarden om het melken optimaal te laten verlopen. De zuigslag is gemiddeld 650 ms, de rustslag duurt ongeveer 350- 450 ms. Dit is samen ongeveer $1000 \text{ ms} = 1 \text{ s} = 60 \text{ pulsatieslagen per minuut}$. Een gemiddelde pulsatiecyclus is dan ook 50 à 60 slagen/min.

Het drukverloop bij het wisselen van vacuüm en buitenlucht kan in een curve worden weergegeven. Een complete wisseling noemen we één pulsatiecyclus of één pulsatie. Een alternatief drukwisselingssysteem geeft twee pulsatiecurves die tegen elkaar in lopen.

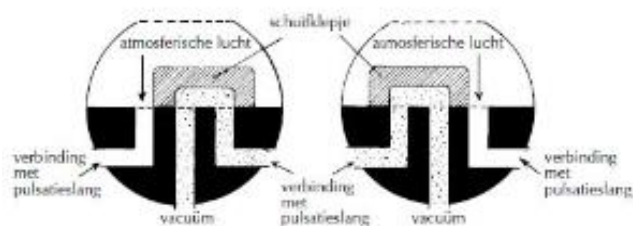
De pulsatiecyclus bestaat uit 4 onderdelen, ook wel 4 fasen genoemd:

- ✓ tijdens de a-fase neemt het vacuüm in de pulsatie ruimte toe;
- ✓ tijdens de b-fase blijft het vacuüm even constant op maximumniveau en stroomt de melk uit de speen;
- ✓ tijdens de c-fase verdwijnt het vacuüm uit de pulsatie ruimte;
- ✓ tijdens de d-fase is er buitenluchtdruk in de pulsatie ruimte en de speen krijgt rust.



Om de pulsatiecurve te analyseren wordt de curve voorzien van meetlijnen. De onderste meetlijn wordt 4 kPa boven de basislijn geplaatst, de bovenste meetlijn 4 kPa beneden de top van de curve. Op de figuur is dit 46 kPa, maar omdat bij een minimelker een standaard vacuüm aanwezig is van 44 kPa zal deze meetlijn normaal op 40 kPa liggen. Op de snijpunten van de meetlijnen en de pulsatiecurve beginnen en eindigen de diverse fasen. De duur van een fase kan zowel in milliseconden als in procenten van de pulsatiecyclus worden weergegeven.

De pulsator bevindt zich op het deksel onder de vaste handgreep. Deze pulsator is cilindervormig en van het merk Alfa-Laval. Dit is een oude pulsator waarvan ik zeer weinig informatie vind. Ik vermoed dat deze pulsator van het type P77 is. De precieze werking vind ik nergens, maar vermoedelijk werkt de pulsator wel als onderstaande afbeelding. Er zal een schuifklepje links en rechts bewegen zodat er afwisselend vacuüm en atmosferische lucht wordt doorgelaten.



4 Elektronische onderdelen

In dit hoofdstuk leg ik de elektronische onderdelen uit. Mijn eindprogramma is nog niet helemaal klaar, maar de belangrijkste deelprogramma's kan je in de bijlagen vinden. Ook de aansluitingen per onderdeel kan je vinden in de bijlagen.

4.1 Arduino Uno

Arduino is de merknaam van een populaire serie microcontroller-boards. Deze boards bestaan uit een microcontroller, enkele ondersteunende componenten en een aantal aansluitingen. Samen vormen ze een soort kleine 'computer' waarmee op eenvoudige wijze verschillende projecten kunnen aangestuurd worden.

Een Arduino-board is gemaakt om op een voordelige manier een elektronica-project aan te sturen. De microcontroller op het board is hier dan ook op geselecteerd. Ze worden dan ook gebruikt voor specifieke doeleinden. Ze zijn ontworpen om één of een beperkt aantal taken uit te voeren. Ze worden gebruikt in automatisering en in diverse apparaten zoals elektrische gereedschappen, afstandsbedieningen,...

De Arduino bestaat uit een aantal ingangen en uitgangen, ook wel I/O's genoemd, I/O staat voor Input/Output. Op de input wordt een sensor aangesloten en op de output een actor. Deze mag maar een maximaal verbruik van 40 mA per aansluiting hebben. De sensor geeft de Arduino een reden om iets te doen. De actor voert vervolgens de daadwerkelijke actie uit. De software bepaalt tussen deze beide stappen in wat er moet gebeuren.



Arduino is een open-source-systeem. Dit betekent dat alle ontwerpen van de diverse boards door iedereen te bekijken zijn. Zo kan door alle bezoekers een eigen Arduino-board worden gemaakt. Het grote voordeel van dit soort open-source-initiatieven is dat veel gebruikers hun kennis en creativiteit in kunnen brengen. Er ontstaat op die manier al snel een grote groep mensen die samen het originele idee kunnen verbeteren.

De Arduino kan worden geprogrammeerd door middel van de Arduino IDE. Deze software maakt het gemakkelijk om een eigen code te schrijven en die te uploaden naar een Arduino. Een programma waarmee wordt verteld wat het Arduino-board moet doen, heet een 'sketch'. De Arduino IDE is open source en kan gratis gedownload worden op de site van Arduino.

De meest eenvoudige en tegelijk ook de populairste Arduino is de Arduino Uno. Deze gebruik ik dan ook als basis voor het elektronisch gedeelte van mijn eindwerk. Ik gebruik deze omdat we deze vorig schooljaar moesten aankopen voor het vak programmeren.

De Arduino Mega is een grotere Arduino waarvan twee versies zijn. Deze twee hebben een programmeerbaar geheugen van 128 / 256kB in plaats van 32 kB bij de Uno. Ook hebben de twee Arduino Mega 70 programmeerbare aansluitingen (54 digitaal + 16 analoog), tegenover 20 (14 digitaal + 6 analoog) bij de Uno.

De Arduino Nano is dan weer een kleinere versie. Deze heeft dan ook kleine afmetingen en hij mist een adapter-plug. De communicatie met de pc gaat dan ook met USB mini-B. Men kan de Nano op een breadboard plaatsen, maar door de breadboardpinnen is het minder eenvoudig om shields te gebruiken. Er is ook een adapterboard of een bandkabel als verbinding nodig.

4.2 SEN-10245

De SEN-10245 is een load cell of met andere woorden een belastingssensor. Dit is een sensor die ons helpt fysische parameters om te zetten naar meetbare en bruikbare waarden. Deze sensor kan tot ongeveer 50 kg dragen. In mijn geval ga ik de belastingssensoren gebruiken om de massa van het melk te bepalen. Deze meetbare waarde kan een verschil zijn in spanning, stroom of frequentie. Dit hangt af van de soort belastingssensor. Ik gebruik een belastingssensor die de weerstandswaarde zal veranderen. Dit zal op zijn beurt zorgen voor een verandering in spanning wanneer er een spanning wordt aangelegd aan de belastingssensor.

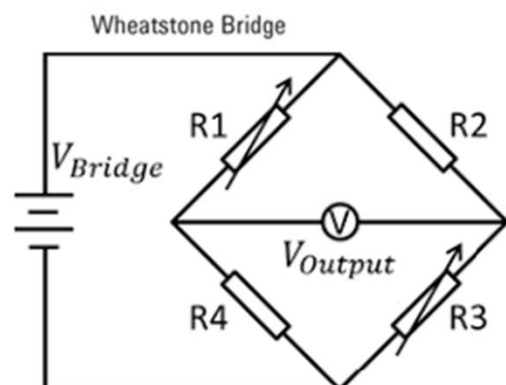
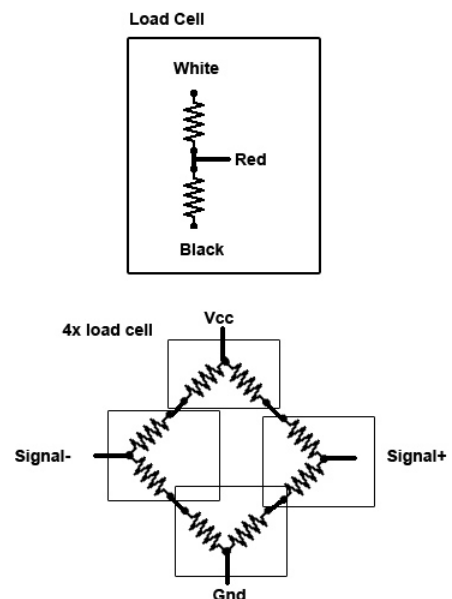
Deze belastingssensor wordt ook rekstrookje (strain gauge) genoemd. Een belastingssensor is opgebouwd uit een elastisch element waaraan rekstrookjes vastgemaakt zijn, vandaar de naam. Dit element is de weerstand die zich tussen de rode en de zwarte draad bevindt. De weerstand tussen de witte en de rode draad blijft constant. Deze weerstanden hebben allebei een waarde van 1000 ohm. Wanneer er een lading of massa op de belastingssensor rust zal het elastische frame buigen. Dit zorgt voor een compressie op de rekstrookjes. Hierdoor wordt de weerstand kleiner en vervolgens wordt de spanning ook kleiner.

De belastingssensor die ik gebruik is dezelfde die wordt aangetroffen in een digitale weegschaal. Men heeft dus met andere woorden vier rekstrookjes nodig, op elke hoek een, om de sensoren te laten werken. De vier rekstrookjes zijn geconfigureerd in een Wheatstone-brug. Er wordt een spanning aangesloten op de Vcc en het verschil in spanning wordt gemeten tussen Signal- en Signal+.

Wanneer er geen lading of massa rust op de belastingssensor zal de ingangsspanning bijna gelijk zijn aan de uitgangsspanning. Wanneer er wel een massa rust op de belastingssensor zal er een verschil optreden in weerstand in één of meerdere van de belastingssensoren. Dit resulteert in een verandering van de uitgangsspanning.

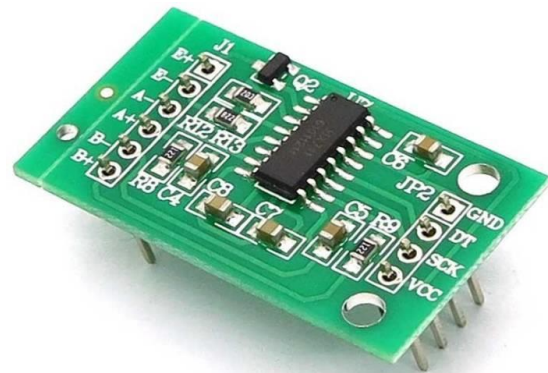
Deze verandering is vaak erg klein, hier mag gedacht worden in het bereik van 20mV bij een maximale lading van de cel. Via de HX711 zal dit in mijn geval versterkt worden en omgevormd naar een digitale waarde. Deze belastingssensoren zijn al tientallen jaren in gebruik en kunnen zeer nauwkeurige metingen bieden. Ze vergen wel vervelende stappen tijdens het productieproces.

4x Load Cell / Weight Scale Schematic



4.3 HX711 ADC

Deze 24-bit ADC is gemaakt voor gewichtsmeting en industriële besturingstoepassingen die direct communiceren met een brugsensor. De afkorting ADC staat voor 'Analogue to Digital Converter'. Een analoog-naar-digitaal omzetter converteert dus een analoog signaal naar een digitaal signaal.



De resolutie van de HX711 geeft het aantal discrete waarden aan dat de versterker kan produceren over het bereik van analoge waarden. Dit betekent dat de resolutie van de omzetter 24 bits is. Deze kan een analoge invoer coderen naar een op 16.777.216 (2^{24}) verschillende niveaus. De waarden vertegenwoordigen de bereiken van 0 tot 16.777.215. Dit wordt nog meer verduidelijkt in de volgende alinea's.

Resolutie kan ook elektrisch worden gedefinieerd en uitgedrukt in volt. De verandering in spanning die nodig is om een verandering in het outputcodeniveau te garanderen. De resolutie van de ADC is gelijk aan die verandering in spanning. De spanningsresolutie (Q) van een ADC is gelijk aan het totale spanningsmeetbereik gedeeld door het aantal intervallen:

$$Q = \frac{E}{N} \quad \text{met} \quad N = 2^M$$

Waarbij M de resolutie van de ADC is in bits en E de aangesloten spanning is. Dus:

$$Q = \frac{5V}{16.777.216} = 2.98 * 10^{-7} V$$

De ADC rapporteert een waarde die hij meet. Dit betekent dat de ADC aanneemt dat 5V 16.777.215 is en dat waardes lager dan 5V een verhouding tussen 5V en 16.777.215 zal zijn.

$$\frac{\text{resolutie van de adc}}{\text{systeems spanning}} = \frac{\text{ADC gelezen waarde}}{\text{analoge spanning gemeten}}$$

Analoge naar digitale omzettingen zijn afhankelijk van de systeems spanning. Omdat we de 24-bit ADC van de HX711 op een 5V-systeem gebruiken, kunnen we deze vergelijking enigszins vereenvoudigen:

$$\frac{16.777.215}{5,00 V} = \frac{\text{ADC gelezen waarde}}{\text{analoge spanning gemeten}}$$

We verduidelijken dit even met een voorbeeld. Als de analoge spanning 3,16 V is, wat zal dan de gerapporteerde waarde zijn? Dat zou 10.603.200 moeten zijn.

$$\frac{16.777.215}{5,0 V} = \frac{x}{3,15 V} \Rightarrow \frac{16.777.215}{5,00 V} * 3,15 V = x$$

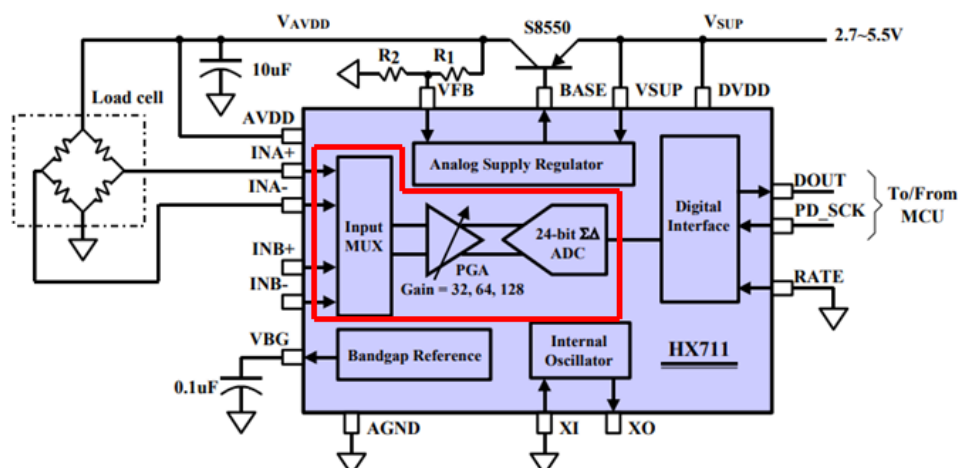
$$x = 10.603.200$$

De HX711 heeft een versterking van 32 op kanaal B. Dit is een vaste waarde. Kanaal A is gemaakt om direct te communiceren met een belastingssensor. Deze pin heeft de mogelijkheid tot een versterking van 64 of 128. Dit is nodig om de kleine waarden en kleine verschillen in te lezen. De versterking van 128 of 64 komen overeen met een volledige differentiële ingangsspanning van respectievelijk $\pm 20\text{mV}$ of $\pm 40\text{mV}$, wanneer een 5V-voeding is aangesloten op de analoge voedingspin.

Er is geen programmering nodig voor de interne registers. Alle bedieningselementen op de HX711 bevinden zich op de pinnen.

Pin PD_SCK en DOUT worden gebruikt voor het sturen van data. Wanneer de uitvoergegevens van de HX711 nog niet klaar zijn om te sturen, zal de pin DOUT hoog zijn en de seriële klokinvoer PD_SCK zal dan laag zijn. Wanneer DOUT ook laag is, geeft dit aan dat de gegevens klaar zijn om te sturen. Door 25,26 of 27 positieve klokpulsen te sturen aan de SCK pin kunnen de data doorgegeven worden van de HX711 naar, in mijn geval, Arduino Uno.

Hieronder in het schema van de HX711 zien we de belangrijkste onderdelen aangeduid. Hier zien we dat de analoge ingangspinnen naar een MUX gaan. De MUX zal de waarden van de aangesloten pinnen, of met andere woorden het gekozen kanaal, doorsturen. De gekozen kanalen zullen naar een PGA gaan. Dit is een programmable gain amplifier. Uit dit blokdiagram valt niet af te leiden hoe de versterker precies werkt. Wat wel zeker is, is dat in deze component kan worden ingesteld hoeveel de gain is. Hierna wordt er naar een 24-bit adc blokje gegaan. Hier gaat binair gezocht worden naar de juiste waarde die overeenkomt met de spanning van de analoge pin.



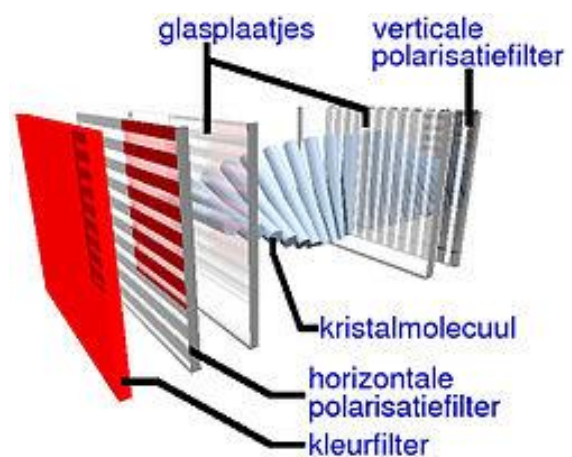
4.4 I²C LCD Display

De I²C 1602 LCD-module is een LCD-scherm van 2 regels bij 16 kolommen, deze is gekoppeld aan een I²C bus omzetter. De I²C-interface vereist slechts 2 dataverbindingen, +5 VDC en GND om te werken.

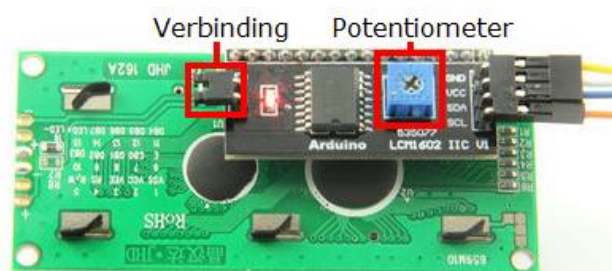
4.4.1 LCD

De afkorting LCD staat voor Liquid Crystal Display, oftewel vloeibare kristallen beeldscherm. De lcd-cel bestaat uit twee glasplaten die voorzien zijn van elektroden van ITO (Indiumtinoxide). Daartussenin zit een laagje vloeibaar kristal. Aan de buitenzijden van de cel zitten twee polarisatiefilters geplakt.

De moleculen hebben van nature een gedraaide structuur. Door op de onderste glasplaat verticale ITO-banen en op de bovenste plaat horizontale banen te etsen krijg je een raster van ITO-sporen waarmee je op elk 'kruispunt' een spanningsverschil kan opleggen. Door deze spanning kan de gedraaide structuur worden beïnvloed en zodoende kan de hoeveelheid doorgelaten licht worden geregeld. Nu kunnen pixels worden gecreëerd die elk afzonderlijk aan of uit kunnen worden gezet. Dit wordt aangestuurd door een chip, die vaak op de onderste glasplaat is gezet.



Er zit een verbinding achteraan op het bord. Als je deze verbinding weghaalt, is de achtergrondverlichting altijd uit. Wanneer men dit deeltje verliest kan men het lcd-scherm niet meer laten werken. Het contrast van het scherm kan men regelen door de potentiometer op het bord aan te passen.



De vloeibare kristallen zijn giftig. Als een lcd-scherm stukvalt, kan men het beste handschoenen gebruiken bij het opruimen.

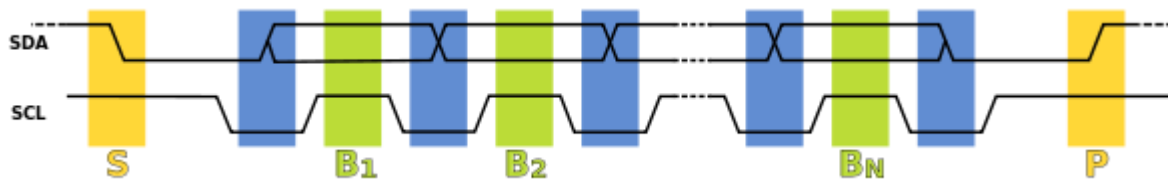
4.4.2 I²C

I²C, Inter-Integrated Circuit, is een seriële bus ontwikkeld voor datacommunicatie tussen microprocessoren en andere ICs.

Het werkt doormiddel van 2 draadjes:

- ✓ SDA : datalijn (serial data)
- ✓ SCL : kloklijn (serial clock)

De werking van I²C dataoverdracht:



Beide lijnen zijn standaard hoog. Wanneer de datalijn verandert, telt dit als startbit(S) en begint de dataoverdracht. Daarna stuurt de microprocessor een controlebyte, hierin staat het adres van het apparaat dat hij wil aanspreken. In mijn geval is dat het adres van mijn LCD. De datalijn gaat enkel veranderen als de kloklijn laag is en wordt ingelezen wanneer de kloklijn hoog is. Hierdoor kunnen onnauwkeurigheden vermeden worden. Wanneer de dataoverdracht compleet is, wordt de kloklijn terug hoog en wordt daarna de datalijn hoog, dit dient als stopbit(P). Ten laatste, stuurt de ontvanger een 'bevestigende' bit terug, om te laten weten of de data wel of niet correct is aangekomen.

Om te kunnen communiceren heeft I²C één master nodig en minimaal één slave. Dit is bij mij de Arduino en de LCD. De master heeft de controle over de I²C-bus en genereert het kloksignaal, startbit en stopbit. De slaves communiceren alleen nadat de master daartoe een verzoek stuurt.

Ik gebruik I²C omdat dit systeem de bedrading zeer eenvoudig maakt door slechts twee signaalleidingen. Deze zat tenslotte ook bij de LCD in het standaard pakket dat ik vorig schooljaar hebben moeten aankopen.

4.5 RFID

RFID, radiofrequentie-identificatie, gebruikt elektromagnetische velden om gegevens over korte afstanden over te brengen. RFID is handig om objecten te identificeren of volgen. Ik gebruik het RFID-systeem voor het herkennen van verschillende koeien. Zo heeft elke koe een verschillende RFID tag en dus een andere identificatie.

Voor RFID zijn twee essentiële onderdelen nodig:

- ✓ RFID reader
- ✓ RFID tag

De reader zendt en ontvangt radiogolven, in het geval van mijn eindwerk aan 13.56MHz, om de tags te identificeren. Een RFID tag wordt bevestigd, met de RFID tag houder, aan de halsband van de koe. Elke RFID tag heeft een unieke identificatie. Zo kan de RFID reader onderscheid maken tussen verschillende koeien.



RFID tags komen in drie vormen voor: Passief, actief en semi-actief.

Een actieve tag heeft een batterij en stuurt op een bepaald tijdsinterval zijn identificatiesignaal dat wordt opgevangen door een RFID reader. Ze kunnen een signaal over een grotere afstand uitzenden. Dit is in mijn geval niet nodig omdat ik toch dicht genoeg bij de koe sta met het melken.

Semi-actieve tags hebben een kleinere batterij maar zenden alleen als antwoord op een ontvangen signaal dus in de nabijheid van een reader.

Ik gebruik de passieve tag. Dit is de goedkoopste keuze, dit doordat de tags geen eigen energiebron hebben. Een passieve tag haalt zijn stroom uit de radiogolven die uitgezonden worden door de RFID reader. De tag voedt zijn antenne met deze stroom en stuurt zijn identificatie naar de reader. Hierdoor gaat het antwoordsignaal niet over een grote afstand.

RFID wordt al gebruikt bij de landbouwers voor het identificeren van koeien. Zo bestaan er oormerken die voorzien zijn van een passieve RFID tag. Deze zijn ontworpen voor het tellen, identificeren, volgen en beheren van vee, met name grootvee zoals koeien of runderen. Deze oormerken hebben een werking frequentie van 860 MHz tot 960 MHz. Deze gebruik ik niet omdat de RFID reader (RC522), die ik wel gebruik, maar een werking frequentie van 13.56MHz heeft. Ik gebruik dan ook de bijhorende RFID tags, zo is er voor elke koe een unieke RFID tag. Deze RFID tag hang ik via een zelfgemaakt doosje (zie hoofdstuk behuizing) aan de halsband van de koe.

4.5.1 SPI

De microcontroller en RFID reader gebruiken SPI voor communicatie. SPI, Serial Peripheral Interface, is een manier van communiceren tussen minstens een master en slave. SPI dient dus in grote lijnen voor dezelfde doeleindes als I²C, maar werkt op een andere manier.

Het werkt doormiddel van 4 draadjes:

- ✓ SCLK : De kloklijn, ingesteld door de master.
- ✓ MOSI : Master Out Slave In, data van de master naar de slave.
- ✓ MISO : Master In Slave Out, data van de slave naar de master.
- ✓ SS : Slave Select, wordt laag wanneer de slave aangesproken wordt (elke slave heeft een aparte slave select pin nodig).

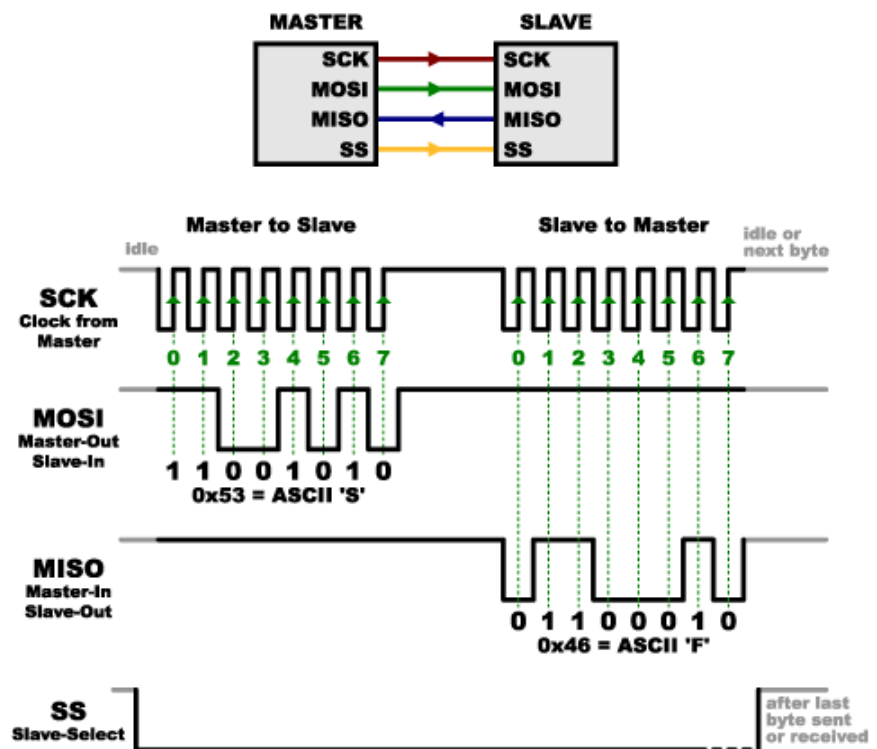
Eerst wordt de slave select pin laag, om de slave te verwittigen dat er data op komt is.

Vervolgens worden er synchroon met de kloklijn MOSI-data verstuurd. Wanneer dat gedaan is blijft de kloklijn heel even hoog. Daarna worden er MISO-data verstuurd.

Wanneer de dataoverdracht gedaan is, wordt de slave select pin terug hoog.

Als er maar 1 chip (slave) is, kan men

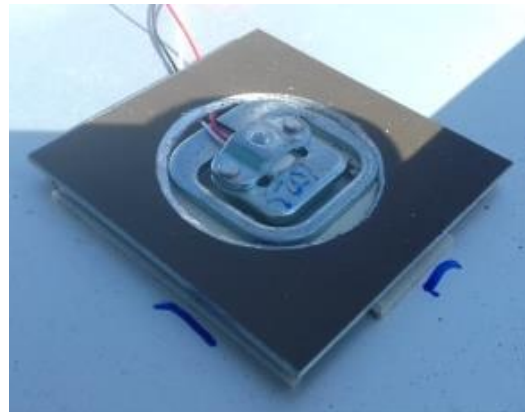
deze lijn permanent op laag houden. Het is mogelijk dat de chip pas werkt wanneer hij een edge (van hoog naar laag) detecteert. In dit geval mag men de lijn niet permanent op laag houden.



5 Behuizing

5.1 Weegschaal

Om de hoeveelheid melk in de melkemmer te weten te komen gebruik ik load cells. Deze plaats ik achteraan aan de minimelker op een grote aluminium plaat. Rond de load cells plaats ik telkens een vierkant plaatje met een zijde van ongeveer 65mm. Deze plaatjes hebben een holte met als diameter 40mm, dit zodat de load cell er precies in past. Onder dit plaatje liggen rechthoekige plaatjes waarop de zijkanten van de load cell steunen. Deze plaatjes houden enkel de zijkanten tegen zodat het midden van de load cell, waarop het een gewicht meet, de vrije ruimte heeft om te bewegen. Wanneer we deze plaatjes er niet onderleggen kan het midden van de load cell niet bewegen en dus ook niet meten. Deze plaatjes zijn allemaal gemaakt uit aluminium. Onder de grote aluminiumplaat is een grote multiplex plaat bevestigd voor de stevigheid. Rond deze platen zijn er drie L-profielen geplaatst zodat de melkemmer niet van de weegschaal kan schuiven. Dit zijn er maar drie omdat aan de vierde kant de vochtvanger staat.



De melkemmer plaatsen we niet zomaar op de load cells, maar plaatsen we op een extra plaat die vervolgens op de load cells rust. Deze plaat bestaat ook uit een bovenkant van aluminium en een stevige onderkant van multiplex. Deze is ook uitgerust met drie L-profielen langs de zijkanten. Bij deze plaat was er nog te veel speling tussen de plaat zelf en de vochtvanger. Dit heb ik opgelost door een extra balkje te bevestigen aan de plaat zodat deze speling bijna weg is. De bovenplaat is even groot als de onderplaat daarom zit er een extra plaatje aluminium tussen de onderplaat en de L-profielen. Dit is belangrijk om er voor te zorgen dat de bovenplaat zeker op de load cells rust en vrij kan bewegen. Zo zal het extra gewicht dat bij op de load cells komt zeker gewogen worden.



De onderplaat is bevestigd aan de achterkant van de minimelker, maar is ook voorzien van een steunpoot. Dit is een holle balk die ook van aluminium is gemaakt. Het materiaal dat ik voor de weegschaal heb gebruikt is allemaal afval van een constructiebedrijf waar mijn nonkel werkt.

Aluminium is een zilverwit metaal en heeft als belangrijke eigenschap dat het zeer licht is. Daarnaast is aluminium een zacht materiaal waardoor het gemakkelijk te bewerken is zonder dat er scheuren of breuken ontstaan. Het wordt ook vaak in de constructiebouw gebruikt. Dit voor de skeletten van ramen en deuren.

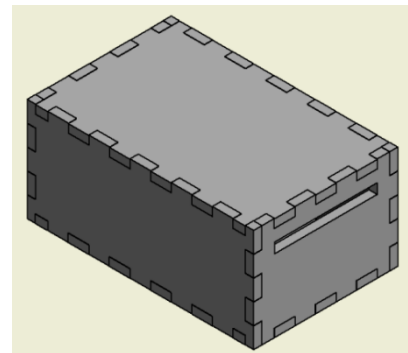
Multiplex is een plaatvormig materiaal dat is opgebouwd uit een oneven aantal houtlagen die kruiselings op elkaar verlijmd worden. De voordelen hiervan zijn:

- ✓ efficiënter gebruik van het hout: voor de binnenlagen van het multiplex worden de anders minderwaardige stukken van de boom gebruikt;
- ✓ door de gekruiste lagen is de plaat in sommige richtingen sterker dan massief hout;
- ✓ multiplex is veel sterker en lichter dan MDF, hierbij wordt ook lijm toegevoegd tijdens het produceren van het materiaal.

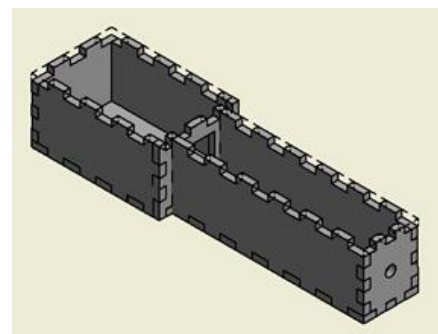
De combinatie van deze twee maakt van mijn weegschaal een sterke maar lichte constructie. Dit is positief omdat de minimelker niet te zwaar is en omdat de load cells bij het begin nog niet te zwaar zijn belast.

5.2 Identificatie koe

Voor het identificeren van de koe gebruik ik RFID. Hiervoor moet de koe een RFID tag dragen. Dit heb ik opgelost door de RFID tag in een zelfgemaakt doosje te plakken. Dit doosje is aan de zijkant voorzien van gleufjes zodat men dit doosje aan de halsband, die de koe altijd draagt, kan schuiven.



Voor de RFID reader heb ik een doosje gemaakt zodat men geen elektronica ziet. Deze is vooraan net breed genoeg om de RFID reader in te plakken. Achteraan is deze smaller gemaakt om deze makkelijker vast te houden. Aan de achterkant is ook een holte gemaakt. Deze holte dient voor de kabel die verbinding maakt tussen de RFID reader en de Arduino Uno. Hiernaast zie je een schets zonder de bovenkant zodat je ook het middenstuk kan zien, dit dient voor de stevigheid.



Deze doosjes heb ik zelf getekend in Inventor en laten uitlaseren in het FABLAB. Ik heb de delen zodanig getekend dat deze in elkaar passen met nauwelijks speling. Hiervoor moest ik dus ook rekening houden met de dikte van de laser. Hiervoor heb ik aangenomen dat de diameter van de laser 0,1mm is, omdat een medeleerling me dat aanraadde. In de bijlagen vind je de tekeningen die ik heb getekend met afmetingen.

Dit heb ik laten uitlaseren op een plaat van MDF met een dikte van 4mm. MDF staat voor Medium-Density Fibreboard en is geperst hout met een middelhoge dichtheid. MDF is zeer goed bewerkbaar en heeft een hoog breekpunt. De belangrijkste reden waarom ik hiervoor koos, is omdat het niet splintert. Dit heeft het te danken aan z'n fijne vezelstructuur.

6 Totale kostprijs

Hieronder vind je een tabel van de kostprijs van mijn eindwerk. Het meeste geld heb ik moeten spenderen aan de Arduino-set. Deze set is wel redelijk duur, maar er zit veel meer in dan ik nodig heb. Ik heb dit vorig schooljaar moeten aankopen voor school, dus ook dit was eigenlijk materiaal dat niet meer werd gebruikt. Ik heb ook tweemaal load cells moeten kopen omdat er twee kapot waren.

Onderdeel	Prijs
Arduino-set	€ 60
Minimelker lichaam	€ 25
(Kapotte) load cells + HX711	€ 11,99
Goede load cells	€ 7,13
Behuizing	€ 1,50
Verf	€ 7,14
Extra kabels	€ 0,00
Soldeersel	€ 0,00
Totaal	€ 112,76

Besluit

Dit eindwerk heeft op het eerste zicht weinig te maken met mijn richting, maar toch heeft het er meer mee te maken dan je denkt. Zo kon ik de informatie van elektriciteit gebruiken voor de elektromotor. De kennis die ik vorig schooljaar tijdens het vak programmeren heb opgedaan was zeer nuttig. Hierdoor kon ik al simpele projecten aansturen met Arduino. Ook de vaardigheden van engineering kon ik benutten, zo kon ik al vlot overweg met Inventor. In mindere mate kwam ook fysica aan bod, dit met polarisatie van het licht in een LCD-scherm.

Ik heb veel bijgeleerd tijdens dit project. Ik heb vooral veel bijgeleerd over de werking van een melkmachine. Dit hoort misschien minder bij de richting die ik volg, maar dit boeide me echt wel. Ik heb ook geleerd dat een planning maken belangrijk is, maar dat de planning volgen zeer belangrijk is. Dit is me niet altijd gelukt.

Ik ben wel blij dat ik de basis van het project heb gehaald. Zo kunnen we de melkmachine indien nodig ook thuis op het landbouwbedrijf van mijn vader gebruiken. Dit zorgt voor tijdbesparing omdat we pas afgekalfde koeien nu met de minimelker kunnen melken en we dit dus niet meer met de hand moeten doen.

Gebruikte bronnen

<https://wikimelkwinning.groenkennisnet.nl/pages/viewpage.action?pageId=1015881#Vacu%C3%BCmvoerenddeel-Top>

<http://edepot.wur.nl/283701>

<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/7ef795c134b2101aa4ba73b5a8ac09567274b37c.pdf>

<http://www.sulteq.com/pomptechniek/schottenpomp/>

<https://www.conrad.nl/info/inspiration/development-kits/arduino-voor-beginners#4>

<https://learn.sparkfun.com/tutorials/analog-to-digital-conversion/all>

<https://electronics.stackexchange.com/questions/174560/how-to-set-up-load-sensor-in-a-full-bridge-with-amplifier>

<https://www.loadstarsensors.com/what-is-a-load-cell.html>

https://www.openhacks.com/uploads/productos/i2c_lcd1602_blue_-_elecrow.pdf

<https://www.vidiled.nl/faq/hoe-werkt-een-lcd-display/>

<https://opencircuit.nl/ProductInfo/1000061/I2C-LCD-interface.pdf>

<https://randomnerdtutorials.com/security-access-using-mfrc522-rfid-reader-with-arduino/>

<https://www.wikipedia.org/>

Bijlagen

Hier vind je men deelprogramma dit is het programma zonder load cells maar met een potentiometer.

```
#include <Wire.h> // Toevoegen van de bibliotheek Wire
#include <LiquidCrystal_I2C.h> // Toevoegen van de bibliotheek
LiquidCrystal_I2C
#include <SPI.h> // Toevoegen van de bibliotheek SPI
#include <MFRC522.h> // Toevoegen van de bibliotheek MFRC522

#define I2C_ADDR 0x3F // I2C_ADDR wordt gedefinieerd als waarde 0x3F. Vind
uw adres met I2C Scanner
#define BACKLIGHT_pin 3 // BACKLIGHT_pin wordt gedefinieerd als waarde 3
#define En_pin 2 // En_pin wordt gedefinieerd als waarde 2
#define Rw_pin 1 // Rw_pin wordt gedefinieerd als waarde 1
#define Rs_pin 0 // Rs_pin wordt gedefinieerd als waarde 0
#define D4_pin 4 // D4_pin wordt gedefinieerd als waarde 4
#define D5_pin 5 // D5_pin wordt gedefinieerd als waarde 5
#define D6_pin 6 // D6_pin wordt gedefinieerd als waarde 6
#define D7_pin 7 // D7_pin wordt gedefinieerd als waarde 7
#define SS_pin 10 // SS_pin wordt gedefinieerd als waarde 10
#define RST_pin 9 // RST_pin wordt gedefinieerd als waarde 9

int potPin = A0; // Selecteer de ingangspin voor de potentiometer
int val1 = 0; // Aanmaken variable 'val1', waarde opslaan van sensor,
begin variable is 0.
int n = 0; // Aanmaken variable 'n', om later onderscheid te maken tussen
verschillende RFID-tags, begin variable is 0.

LiquidCrystal_I2C lcd(I2C_ADDR,En_pin,Rw_pin,Rs_pin,D4_pin,D5_pin,D6_pin,D7_pin);
// maak een variable van het type LiquidCrystal_I2C met de naam lcd dat verbinding
maakt met het opgegeven adres en pinnen
MFRC522 mfrc522(SS_pin, RST_pin);
// maak een variable van het type MFRC522 met de naam mfrc522 dat verbinding maakt
met de opgegeven pinnen

void setup()
{
    lcd.begin(16,2); // Instellen van LCD-scherm
    afmetingen. 16 kolommen en 2 rijen.
    lcd.setBacklightPin(BACKLIGHT_pin,POSITIVE); // Stelt de
    achtergrondverlichting in (staat toe dat deze wordt ingeschakeld)
    lcd.setBacklight(HIGH); // Zet de
    achtergrondverlichting aan
    lcd.home(); // Plaatst de cursor op de
    "home" -positie (linkerbovenhoek van het LCD)

    SPI.begin(); // Beginnen SPI bus //MFRC522-hardware gebruikt SPI-
    protocol
    mfrc522.PCD_Init(); // Beginnen MFRC522 //Beginnen MFRC522-hardware

    lcd.setCursor(16,0);
    lcd.print("Klaar voor scan"); // Drukt de tekst af op het LCD-scherm
    delay(1000); // Wacht 1 seconden voor de volgende stap
    for (int i=0; i<16; i++){ // Maak i=0, zolang i<16 volg deze 'for'-
    lus, na elke herhaling v.d. lus neemt i met 1 toe
        lcd.scrollDisplayLeft(); // Scrol één positie naar links
```

```

    delay(400);} // Wacht 0.4 seconden voor de volgende stap
    delay(750);} // Wacht 0.75 seconden voor de volgende stap
    lcd.clear(); // Wist het lcd-scherm
    lcd.setCursor (0,1); // Volgende tekst die op het LCD-scherm
verschijnt begint op de 1ste kolom en de 2de rij
    lcd.print("Klaar voor scan");
    delay(750); // Wacht 0.75 seconden voor de volgende stap
    lcd.clear(); // Wist het lcd-scherm
    lcd.print("Klaar voor scan"); // Drukt de tekst af op het LCD-scherm
}

void loop()
{ if ( n == 0){
    lcd.clear(); // Wist het lcd-scherm
    lcd.print("Klaar voor scan"); // Drukt de tekst af op het LCD-scherm

    if ( ! mfrc522.PICC_IsNewCardPresent()) // Zoek naar nieuwe kaarten
    {
        return;
    }

    if ( ! mfrc522.PICC_ReadCardSerial()) // Selecteer een van de kaarten
    {
        return;
    }

    String content= ""; // Maak een variable van het
type String met de naam content
    for (byte i = 0; i < mfrc522.uid.size; i++)
    {
        content.concat(String(mfrc522.uid.uidByte[i] < 0x10 ? " 0" : " "));
        content.concat(String(mfrc522.uid.uidByte[i], HEX));
    }

    content.toUpperCase();
    if (content.substring(1) == "A5 E2 55 D3") // Voor de RFID-tag met A5 E2
55 D3 als code: volg deze lus
    {
        lcd.clear(); // Wist het lcd-scherm
        lcd.print("Blauw ding"); // Drukt de tekst af op het LCD-scherm
        delay(2000); // Wacht 2 seconden voor de volgende stap
        n = 1;
    }
    else {
        if (content.substring (1) == "FA 48 08 85") // Voor de RFID-tag met
FA 48 08 85 als code: volg deze lus
        {
            lcd.clear(); // Wist het lcd-scherm
            lcd.print("Witte kaart"); // Drukt de tekst af op het LCD-scherm
            delay(2000); // Wacht 2 seconden voor de volgende stap
            n = 2;
        }
        else {
            if (content.substring (1) == "5D 30 C2 21") // Voor de RFID-tag
met 5D 30 C2 21 als code: volg deze lus
            {
                lcd.clear(); // Wist het lcd-scherm
                lcd.print("Leerlingenkaart"); // Drukt de tekst af op het LCD-scherm
            }
        }
    }
}

```



```

        delay(2000); // Wacht 2 seconden voor de volgende
stap
        n = 3;
    }
    else {
        if (content.substring (1) == "CD 96 F9 EA") // Voor de RFID-tag
met CD 96 F9 EA als code: volg deze lus
        {
            lcd.clear(); // Wist het lcd-scherm
            lcd.print("Kaart m. Wyns"); // Drukt de tekst af op het LCD-
scherm
            delay(2000); // Wacht 2 seconden voor de volgende
stap
            n = 4;
        }
        else { // Voor RFID-tags met
een andere code als bovenstaande: volg deze lus
            lcd.clear(); // Wist
het lcd-scherm
            lcd.print("Niet gekend"); // Drukt
de tekst af op het LCD-scherm
            lcd.setCursor(0, 1); //
Volgende tekst begint op de 1ste kolom en de 2de rij
            for (byte i = 0; i < mfrc522.uid.size; i++){
                lcd.print(mfrc522.uid.uidByte[i] < 0x10 ? " 0" : " ");
                lcd.print(mfrc522.uid.uidByte[i], HEX);
            }
            delay(2000); // Wacht 2
seconden voor de volgende stap
            n = 5;
        } //Einde else van "Kaart m. Wyns"
    } //Einde else van "Leerlingenkaart"
} //Einde else van "Witte kaart"
} //Einde else van "Blauw ding"
}

else{
    val1 = analogRead(potPin); // Leest de waarde van de opgegeven analoge pin
en slaagt deze op bij val1
    lcd.setCursor (0,1); // Volgende tekst die op het LCD-scherm
verschijnt begint op de 1ste kolom en de 2de rij
    lcd.print("Pot:"); // Drukt de tekst af op het LCD-scherm
    lcd.setCursor (4,1); // Volgende tekst die op het LCD-scherm
verschijnt begint op de 5de kolom en de 2de rij
    lcd.print(val1); // Drukt de waarde van 'val1' af op het LCD-
scherm
}
} //Einde van void loop

```

Hieronder vind je het programma, I2C Scanner, waarmee je het adres van de I²C bus kunt vinden.

```
#include <Wire.h>

void setup()
{
    Wire.begin();

    Serial.begin(9600);
    while (!Serial);
    Serial.println("\nI2C Scanner");
}

void loop()
{
    byte error, address;
    int nDevices;

    Serial.println("Scanning...");

    nDevices = 0;
    for(address = 1; address < 127; address++ )
    {
        Wire.beginTransmission(address);
        error = Wire.endTransmission();

        if (error == 0)
        {
            Serial.print("I2C device found at address 0x");
            if (address<16)
                Serial.print("0");
            Serial.print(address,HEX);
            Serial.println(" !");

            nDevices++;
        }
        else if (error==4)
        {
            Serial.print("Unknown error at address 0x");
            if (address<16)
                Serial.print("0");
            Serial.println(address,HEX);
        }
    }
    if (nDevices == 0)
        Serial.println("No I2C devices found\n");
    else
        Serial.println("done\n");

    delay(5000);
}
```

Dit is het programma waarmee ik de load cells aanstuur.

```
#include "HX711.h"
#define calibration_factor 22000 //Waarde verkregen met programma kalibratiefactor
#define DOUT 3
#define CLK 2
HX711 scale(DOUT, CLK);

void setup () {
  Serial.begin (9600);
  Serial.println ("HX711 schaal demo");
  scale.set_scale (calibration_factor);
  scale.tare (); // Reset de schaal naar 0
  Serial.println ( "Readings:");
}
void loop () {

  Serial.print ("Gewicht:");
  Serial.print (scale.get_units (), 1);
  Serial.print ("kg");
  Serial.println ();
  delay(500);
}
```

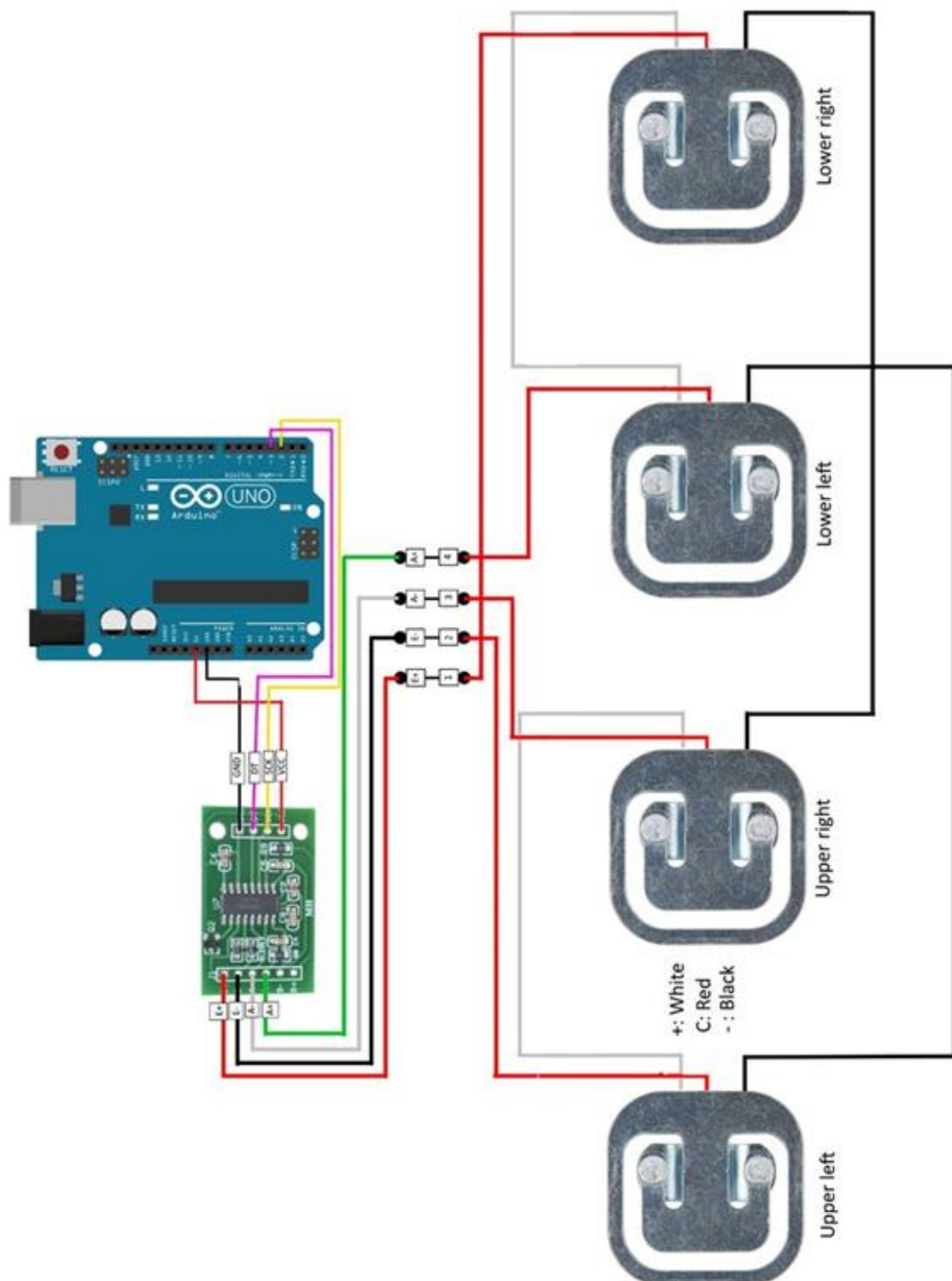
Hieronder vind je het programma, kalibratiefactor, waarmee je de kalibratiefactor van de load cells kunt vinden.

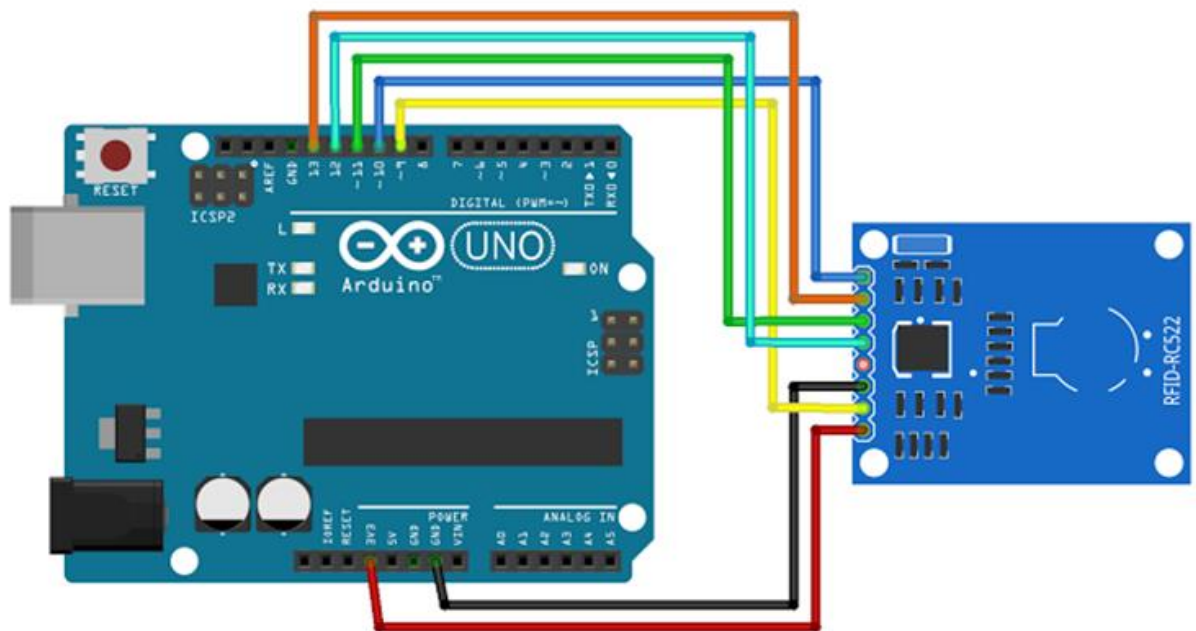
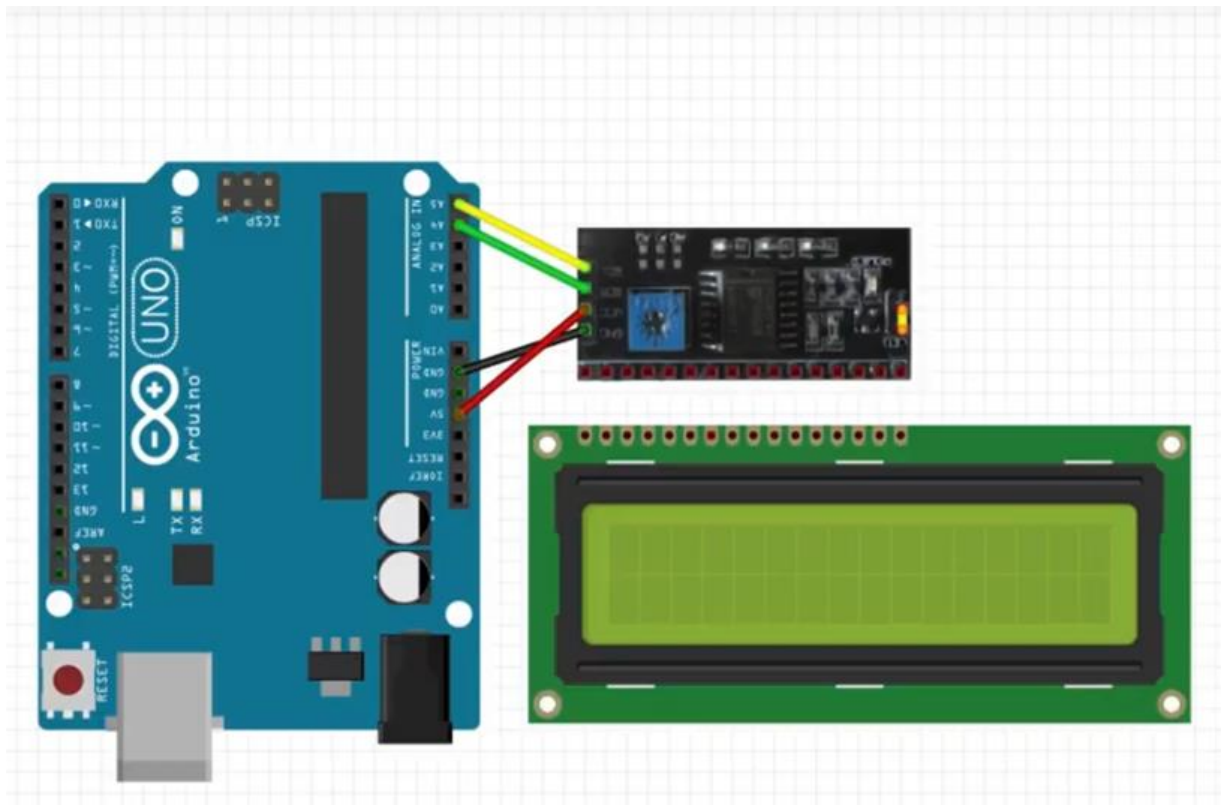
```
#include "HX711.h"
#define DOUT 3
#define CLK 2
HX711 scale(DOUT, CLK);
float calibration_factor = 1200;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("HX711-kalibratieschets");
  Serial.println("Verwijder alle gewicht van schaal");
  Serial.println("Nadat de metingen beginnen, plaatst u bekend gewicht op schaal");
  Serial.println("Druk op + of a om de kalibratiefactor te verhogen");
  Serial.println("Druk op - of op z om de kalibratiefactor te verlagen");
  scale.set_scale();
  scale.tare(); // Stel de schaal opnieuw in op 0
  long zero_factor = scale.read_average(); // Krijg een basislijnwaarde
  Serial.print("Zero factor: "); // Dit kan worden gebruikt om de noodzaak om de weegschaal tarra te verwijderen. Nuttig in projecten op permanente schaal.
  Serial.println(zero_factor);
}

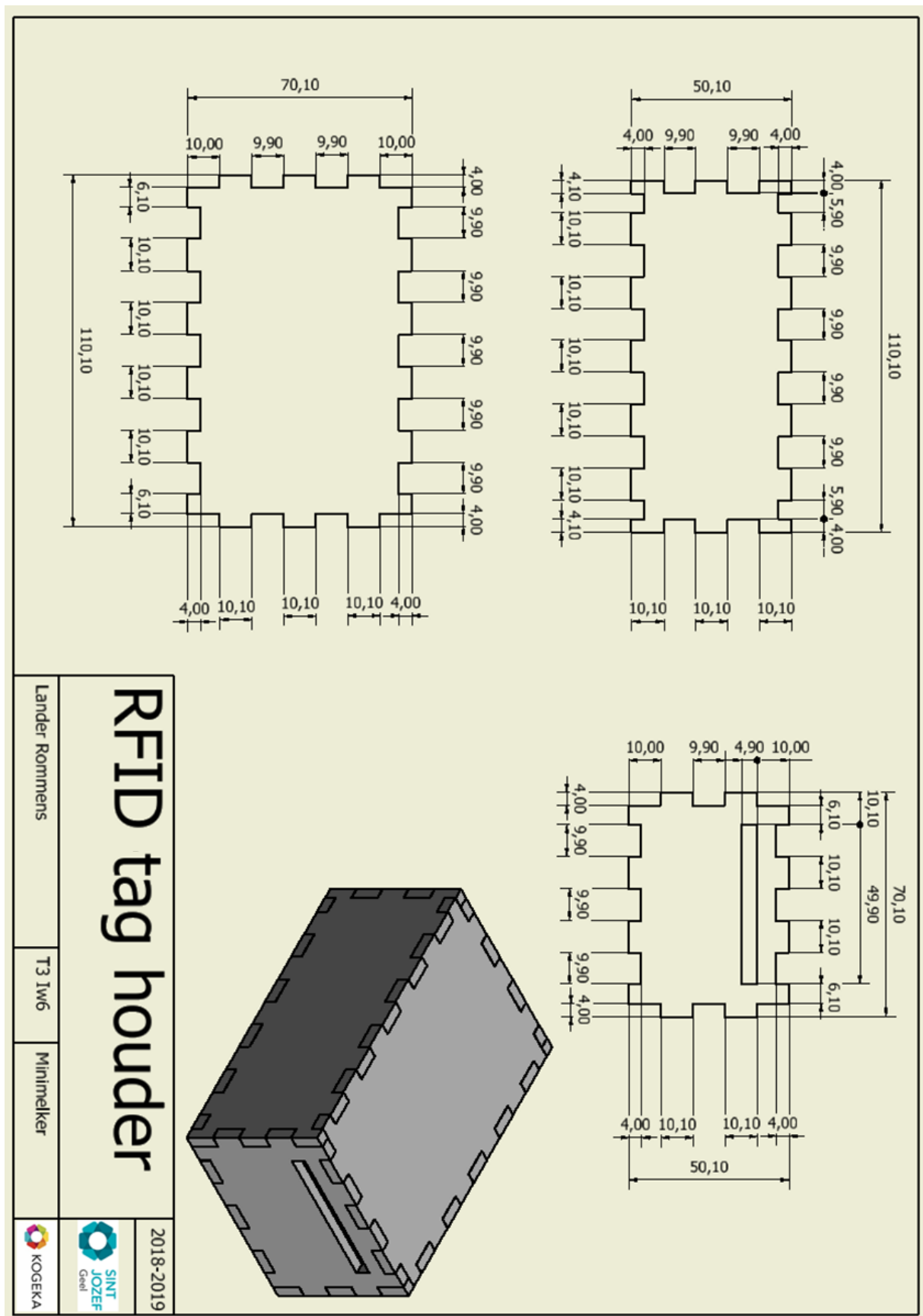
void loop() {
  scale.set_scale(calibration_factor); // Pas deze kalibratiefactor aan
  Serial.print("Reading: ");
  Serial.print(scale.get_units(), 1);
  Serial.print(" kg");
  Serial.print(" calibration_factor: ");
  Serial.print(calibration_factor);
  Serial.println();
  delay(500);
  if(Serial.available())
  {
    char temp = Serial.read();
    if(temp == '+' || temp == 'a')
      calibration_factor += 100;
    else if(temp == '-' || temp == 'z')
      calibration_factor -= 100;
  }
}
```

Hieronder vind je de aansluitingen van alle elektronische onderdelen.





Hieronder vind je de tekeningen van Inventor.



De delen op onderstaande tekening zijn dubbel nodig in het gehele doosje.

