

Lisdodde en gele lis, waterzuiveraar en eiwitbron?

Onderzoek naar het inzetten van de lisdodde en gele lis als zuiveraar van stikstofrijk water en naar de hoeveelheid eiwitten die door deze zuivering in de wortelstokken van de lisdodde zitten

Holm, N.
Leeuwarden, 2018

Lisdodde en gele lis, waterzuiveraar en eiwitbron?

Onderzoek naar het inzetten van de lisdodde en gele lis als zuiveraar van stikstofrijk water en naar de hoeveelheid eiwitten die door deze zuivering in de wortelstokken van de lisdodde zitten

In het kader van de afstudeeropdracht voor de opleiding Milieukunde
Hogeschool Van Hall Larenstein University of Applied Sciences

Auteur:	Nicole Holm
Contact:	nicole.holm@hvhl.nl
Studentnummer:	000005506
Begeleidende docenten:	Geert Truijen & Jasper van Belle
Opdrachtgevers:	Eric de Bruin & Tom Wijers

Leeuwarden, juni 2018

Voorwoord

Dit rapport is geschreven als afstudeeropdracht voor de opleiding Milieukunde. Deze opleiding wordt gevolgd op Van Hall Larenstein te Leeuwarden. De opdrachtgevers van het onderzoek zijn Eric de Bruin van het lectoraat 'Biobased proteins' en Tom Wijers van het Applied Research Centre op Van Hall Larenstein. Eric wil ik bedanken voor het mogelijk maken van mijn afstudeeropdracht en het op weg helpen wat betreft kennis en materialen. Tom wil ik bedanken voor de begeleiding en feedback in de laatste fase van de onderzoeksperiode. Met laboratorium gerelateerde zaken hebben Tom en enkele andere onderzoekers van het Applied Research Centre mij op weg geholpen. Hierbij valt te denken aan het regelen van een sleutel voor het laboratorium tot aan het uitleggen van de stikstof-Kjeldahl metingen. Hen wil ik daarvoor bedanken. Mijn begeleidende docenten waren Geert Truijen en Jasper van Belle. Hen wil ik bedanken voor de frisse kijk op het onderzoek, hun kennis die ze gedeeld hebben en de feedback die ze op dit rapport hebben gegeven.

Nicole Holm

Leeuwarden, juni 2018

Samenvatting

Lozen op het oppervlaktewater en de wortelstok van de lisdodde als veevoer, dat is wat een kaasfabriek in het noorden van Nederland wil. Dit onderzoek levert een bijdrage aan het grotere onderzoek of deze wensen haalbaar zijn. In het effluentwater zit een te hoog stikstofgehalte, waardoor de kaasfabriek dit water niet op het oppervlaktewater mag lozen. Het effluentwater van de kaasfabriek wordt nu eerst micro-gefiltreerd, vervolgens gaat het door een Reverse Osmose filter (RO filter) en het wordt daarna op het riool geloosd. Een aquaponics systeem zou wellicht de uitkomst bieden voor de verwijdering van stikstof. De kaasfabriek zou deze dan, in de genoemde volgorde, na het RO filter willen plaatsen. Naast dat dit onderzoek voor de kaasfabriek relevant is, is dit onderzoek een pilot voor een groter onderzoek dat lectoraten van het Van Hall Larenstein gaan uitvoeren. In dit onderzoek is gekeken of het mogelijk is om stikstofrijk water door middel van de lisdodde en gele lis in het aquaponics systeem te zuiveren. Dit was het eerste doel van het onderzoek. Qua tijd en geld is het niet haalbaar om gebruik te maken van het effluentwater, maar van leidingwater dat verrijkt is met stikstof. Beide planten, lisdodde en gele lis, brengen voordelen met zich mee. De lisdodde is niet alleen ingezet voor de verwijdering van stikstof, maar van de lisdodde is ook het eiwitgehalte van de wortelstok bepaald. Het eiwitgehalte speelt een belangrijke rol in de keuze om de wortelstokken in te zetten als krachtvoer. Dit heeft te maken met het tweede doel: onderzoeken wat de stikstofverwijdering doet met het eiwitgehalte in de wortelstokken van de lisdodde. De hoofdvraag komt voort uit beide doelen en luidt als volgt: 'Is het mogelijk om stikstofrijk water te zuiveren met behulp van de lisdodde en gele lis in het aquaponics systeem en hoeveel eiwitten zitten door de zuivering in de wortelstokken van de lisdodde?'

Allereerst is gekeken naar hoe het beschikbare aquaponics systeem ingericht kan worden om maximale zuivering van het water te kunnen bereiken. Dit is gedaan door boeken en digitale bronnen te raadplegen en door een interview te houden. Vervolgens is onderzocht hoeveel stikstof door de lisdodde en gele lis wordt verwijderd. Dit is onderzocht door experimenten uit te voeren omtrent de waterkwaliteit, door de resultaten te analyseren en door gebruik te maken van de eerder gevonden gegevens. De parameters waarop is getest, zijn de chemische parameters stikstoftotaal en fosfortotaal en de fysisch-chemische parameters zuurgraad, temperatuur, EGV en zuurstof. Deze zijn in vijf achtereenvolgende weken in het voorjaar gemeten. In dit jaargetijde zitten de planten in de groeifase, waardoor veel nutriëntentransport plaatsvindt. Als laatste is onderzocht tot welk eiwitgehalte de stikstofverwijdering door toedoen van de lisdodde leidt. Hiervoor zijn stikstof-Kjeldahl metingen gebruikt.

Qua oppervlak is het systeem ongeveer een vierkante meter. Bij de inrichting ervan is gebruik gemaakt van: hydrocultuurkorrels, zeven lisdoddeplanten, zeven gele lis planten, leidingwater met een stikstofbron (AdBlue), waterpomp, lichtbak met tijd klok en een tussenschot. Het tussenschot stond in het midden van het systeem en leidde het water langs de wortels van de planten. De opstelling stond in een grote ruimte waar de temperatuur ongeveer 17 °C was en waar geen direct zonlicht bij kon komen.

In het gebruikte aquaponics systeem hebben drie verschillende processen van waterzuivering plaatsgevonden: fysisch-chemische processen, biologische processen en zuivering door planten. Om te bepalen in welke mate bepaalde processen aan de stikstofverwijdering zouden deelnemen, zijn referentie-emmers neergezet: één emmer met hydrocultuurkorrels, één emmer met water, één emmer met een lisdoddeplant en één emmer met een gele lis plant. De biologische en fysisch-chemische processen zijn niet van elkaar gescheiden gebleven. Hierdoor zijn geen exacte percentages van stikstofverwijdering aan deze processen gekoppeld. Verwacht wordt dat de fysisch-

chemische processen een grotere rol hebben gespeeld.

De verhoudingen van stikstofverwijdering door processen/planten in de referentie-emmers zijn omgerekend naar wat het zou zijn in het aquaponics systeem. In het aquaponics systeem is 48,2% van het stikstoftotaal verwijderd. De fysisch-chemische parameters maakten stikstofverwijdering door de processen/planten mogelijk. Ook waren stikstof en fosfor in voldoende mate aanwezig voor de planten om te kunnen groeien. De planten hebben voor een klein deel aan de stikstofverwijdering bijgedragen; de lisdodde verwijderde ongeveer 0,9% en de gele lis ongeveer 5,8%.

Het verhogen van deze percentages levert een bijdrage aan de duurzaamheid. Wanneer de nutriëntenbalans optimaal wordt, zal een grotere stikstofopname plaatsvinden. De planten zullen beter gaan groeien wat de biodiversiteit ten goede komt. Kijkend naar de drie P's van duurzaamheid, heeft dit betrekking tot het Planet aspect. De kans op een betere oogst wordt dan groter: Profit. Vervolgens kunnen de werkomstandigheden voor de mens aangenamer worden: People. Voor het handhaven van een betere nutriëntenbalans zal eerst nader onderzoek gedaan moeten worden.

De eiwitconcentraties in de wortelstokken van de lisdodde zijn ten gevolge van de stikstofverwijdering naar verwachting niet verhoogd. Door weinig resultaten kan geen duidelijke uitspraak worden gedaan over het verloop van het eiwitgehalte. Aan het begin van het experiment zat het eiwitgehalte rond 14% en aan het eind tussen 5% en 14%. Verwacht wordt dat het nutriëntentransport uit de wortelstokken naar de bladeren groter was dan de wortelstokken uit het water hebben opgenomen.

Aangetoond is dat de lisdodde en gele lis in een aquaponics systeem kunnen groeien en dat ze een kleine bijdrage leveren aan de stikstofverwijdering. Daarnaast is aangetoond dat het eiwitgehalte door de zuivering in dit jaargetijde niet sterk is veranderd. De kaasfabriek heeft te maken met effluentwater van een andere waterkwaliteit. Om deze reden wordt aanbevolen met dit water nader onderzoek te doen over in welke mate stikstofverwijdering door de planten dan een rol speelt. Als duidelijk is dat planten op dit water kunnen groeien en dat stikstofverwijdering plaatsvindt, kunnen andere onderzoeken omtrent optimalisatie worden gedaan. Ook wordt aanbevolen te onderzoeken of het duurzamer is het aquaponics systeem voor het RO filter te plaatsen in plaats van erna.

Summary

Discharging effluent water on the surface water and using the rhizome of cattail as fodder, these are wishes of a cheese factory in the north of the Netherlands. This research is part of a bigger research into the feasibility of the wishes. The effluent water is rich in nitrogen. Therefore, the factory is not allowed to discharge the water on surface water. At this moment the water is filtered, after that it is gone through a reverse osmosis membrane (RO membrane) and then it discharged on the sewage. An aquaponics system may be the solution for the reduction of nitrogen. In the order mentioned, the cheese factory wants to have this system in place after the RO membrane. Next to the fact that this research is relevant for the cheese factory, it is also a pilot for professors at Van Hall Larenstein who will do bigger research.

This research is about the possibility to purify water full of nitrogen by using cattail and yellow flag in an aquaponics system. This was the first purpose of the research. There was not enough time and money to use effluent water from the cheese factory. Therefore, tap water which is enriched with nitrogen is used. Both plants, cattail and yellow flag, have their own advantages. Cattail is not only to purify water, but also to determine the amount of proteins in the rhizome. The amount of proteins is a major player in the choice for using the rhizome as fodder. This has to do with the second purpose: to investigate what the influence of reducing the level of nitrogen is on the amount of proteins in the rhizomes of cattail. The research question is based on the purposes: 'Is it possible to purify water which has a high concentration of nitrogen, by using cattail and yellow flag in an aquaponics system and through purifying, how much proteins will be in the rhizomes of the cattail?'

At first was investigated how the aquaponics system could be organized to maximize the water purification. Books and digital resources were used for this and an interview was held. After that, the amount of nitrogen was investigated that was uptaken by cattail and yellow flag. For this, experiments were done about water quality, results were analysed and information was used that is found at an earlier moment. Chemical parameters that were tested are: total-nitrogen and total-phosphorus. Physico-chemical parameters that were tested are: acidity, temperature, electrical conductivity (EC) and oxygen. The measurements were done in five consecutive weeks in springtime. At that time of the year, the plants are in the growth phase what causes transport of nutrients. After all, the amount of proteins was investigated in the rhizome of cattail due to the uptake of nitrogen. For this, nitrogen-Kjeldahl measurements have been done.

The surface of the aquaponics system is approximately a square meter. For organizing, the following materials were used: hydroculture balls, seven plants of cattail and yellow flag, tap water, source of nitrogen (AdBlue), water pump, headlight with timer and a partition. The partition was located in the middle of the system and it led the water along the roots of the plants. The test setup was in a big area with a temperature around 17 °C and without direct sunlight.

In the aquaponics system three different processes of water treatment took place: physico-chemical processes, biological processes and the uptake by plants. To determine the extent to which processes took place in the reduction of the level of nitrogen, reference buckets have been used: one bucket with hydroculture balls, one bucket with water alone, one bucket with a cattail and one bucket with a yellow flag. The biological and physico-chemical processes could not be separated. However, it is assumed that physico-chemical processes play a more important role than biological processes. The ratios of nitrogen removal by processes/plants in the reference buckets have been converted to what it would be in the aquaponics system. In the system 48.2% of the total amount of nitrogen is removed. The physico-chemical parameters made it possible to reduce the level of nitrogen by processes/plants. The amount of nitrogen and phosphorus was high enough for the growth of plants

as well. The plants still played a small part in reducing the nitrogen level: cattail removed approximately 0.9% and yellow flag approximately 5.8%.

Increasing the percentages contributes to sustainability. When the nutrient balance will be optimized, a higher uptake of nitrogen will take place. Due to this, the plants will grow better and this is good for biodiversity. Looking at the three P's of sustainability, this is about the Planet aspect. The chance of a better harvest is getting bigger (Profit) and the working conditions for human beings could be more pleasant (People). For maintaining a better balance of nutrients, more research is needed.

The expectation is that protein concentrations in the rhizomes of the cattail, as a result of the uptake of nitrogen, were not increased. Because of less results, it was not possible to make a statement about the progress of the protein levels. At the beginning of the experiment the protein level was around 14% and at the end of the experiment it was between 5% and 14%. It is assumed that the transport of nutrients from the rhizomes to the leaves was greater than the uptake of nitrogen from the water.

Firstly, it is shown that cattail and yellow flag are able to grow in an aquaponics system. Secondly, it is shown that the reduction of the nitrogen level by plants is small. Furthermore, it is shown that the protein level has not changed much in this time of the year. The cheese factory has effluent water with another quality than the water used in this research. For this reason, it is recommended to do more research into the amount of nitrogen reduction by plants in that kind of water. If it is clear that plants are able to grow in that water and reduction of nitrogen takes place, more researches into optimizing can be done. Besides, it is recommended to investigate the question if it is more sustainable to move the aquaponics system before the RO membrane instead of behind.

Inhoud

1.	Inleiding	1
1.1	Achtergrondinformatie en aanleiding	1
1.2	Doelstelling en probleemstelling.....	3
1.3	Leeswijzer	4
2.	Methode van het onderzoek.....	5
2.1	Deskresearch	6
2.2	Fieldresearch	6
3.	Inrichting aquaponics systeem.....	7
3.1	De werking van een aquaponics systeem	7
3.2	Stikstofkringloop.....	8
3.3	Stikstofverwijdering.....	10
3.4	Optimale groeicondities lisdodde en gele lis	10
3.5	Aquaponics systeem in dit onderzoek.....	12
3.6	Verbeteringen voor de inrichting van het systeem.....	16
3.7	Deelconclusie hoe maximale zuivering kan worden bereikt.....	17
4.	Stikstofverwijdering door lisdodde en gele lis	18
4.1	Methode experimenten stikstofverwijdering	18
4.2	Resultaten experimenten stikstofverwijdering	19
4.3	Analyse van de resultaten	25
4.3.1	Stikstofverwijdering in de referentie-emmers	25
4.3.2	Stikstofverwijdering in het aquaponics systeem.....	35
4.4	Deelconclusie stikstofverwijdering.....	38
5.	Eiwitgehalte in de wortelstok van de lisdodde	40
5.1	Methode experiment N-Kjeldahl.....	40
5.2	Resultaten eiwitgehalten	41
5.3	Analyse van de resultaten	41
5.4	Deelconclusie eiwit in lisdodde	42
6.	Discussie	43
6.1	Aandachtspunten bij het onderzoek	43
6.2	Relevantie.....	46
7.	Conclusie	47
8.	Aanbevelingen	48
	Bibliografie	50
	Bijlagen	i

Begrippenlijst

AdBlue:	Een vloeistof dat voor 67,5% uit demiwater bestaat en voor 32,5% uit ureum (Yara.com, 2017) (Bruin, 2018a).
Ammonium strippen:	Ammonium wordt in een basisch milieu omgezet naar ammoniakgas, doordat te weinig waterstofionen aanwezig zijn. Ammoniakgas vervliegt vervolgens (Truijen, 2018).
Aquaponics systeem:	Komt van 'hydroponics' en 'aquaculture'. Hydroponics is het kweken van gewassen op water (Dutch Hydroponics Solution, 2017). Aquacultuur is het kweken van waterorganismen, bijvoorbeeld vissen (Wageningen UR, 2018). In een aquaponics systeem staan dus gewassen die leven op de uitwerpselen van de vissen die daarin gekweekt worden.
Biofilm:	De laag micro-organismen omgeven door slijm en uitwerpselen op onder andere planten. (Truijen, 2015) (Lenntech, 2016)
Effluentwater:	Het productwater van een systeem/fabriek (Lenntech, 2018b)
EGV/EC:	Elektrisch Geleidend Vermogen, de maat voor het zoutgehalte van het water (Stuyt, et al., 2013).
Eutrofiëring:	Het voedselrijk worden van het water (Jaarsma, Klinge, & Lamers, 2008).
Nutriënten:	Voedingsstoffen.
Reverse osmose filter:	Een membraan dat opgeloste vaste stoffen, organische stoffen, zeer kleine zwevende deeltjes en micro-organismen uit het water haalt. Het is semipermeabel wat inhoudt dat het water zelf wel wordt doorgelaten. (MilieuFocus.nl, 2008)
Stikstof-Kjeldahl/ N_{KJ} :	Som van organisch gebonden stikstof en stikstof-ammonium: $N_{KJ} = N_{org} + N-NH_4$ (Truijen, 2015).
Stikstof-totaal:	De som van stikstof-Kjeldahl en stikstofoxiden: $N_{tot} = N_{KJ} + N-NO_3 + N-NO_2 + ... (N-NO_x)$ (Truijen, College waterzuivering, 2015).

1. Inleiding

Schoon effluentwater, dat is wat een kaasfabriek in het noorden van Nederland wil, niet meer lozen op het riool maar op het oppervlakte water. Daarnaast is de wens krachtvoer voor vee te maken van de wortelstokken van de lisdodde. Dit zijn twee grote wensen. In dit hoofdstuk zal worden uitgelegd welke bijdrage dit onderzoek levert aan de mogelijkheden voor de kaasfabriek. In de eerste paragraaf wordt achtergrondinformatie en de aanleiding van het onderzoek gegeven. Paragraaf 1.2 gaat in op de doelstelling en probleemstelling. In de laatste paragraaf, paragraaf 1.3, wordt een leeswijzer van dit rapport gegeven.

De duurzaamheid komt in verschillende hoofdstukken aan bod. Dit wordt uitgedrukt in de drie P's: People, Planet en Profit. Bij People kan gedacht worden aan goede werkomstandigheden voor het personeel. Bij Planet gaat het over de duurzaamheid voor het milieu. Profit gaat over de economische voordelen voor een bedrijf of persoon, in dit geval de kaasfabriek. (Veld, et al., 2018)

1.1 Achtergrondinformatie en aanleiding

Probleem: stikstofrijk effluentwater

Het afvalwater van een kaasfabriek in het noorden van Nederland mag niet geloosd worden op het oppervlaktewater. Het stikstofgehalte in het effluent kan tot minimaal acht maal hoger liggen dan de norm voor het oppervlaktewater (Offreins, 2018). Wanneer dit water wel op het oppervlak wordt geloosd, ontstaat zeer waarschijnlijk eutrofiëring. Dit brengt algengroei met zich mee, wat leidt tot een afname van licht in het water. De rijkdom aan planten en dieren neemt vervolgens af. (Jaarsma, Klinge, & Lamers, 2008) De stikstofnorm voor de omgeving wordt geschat op 7 mg/l, terwijl de hoogst gemeten concentratie in het effluent op 55,6 mg/l ligt, zie bijlage I (Offreins, 2018). Daarom wordt dit water nu op het riool geloosd, het gaat om ongeveer 600.000 l per week (Bruin, 2018b).

De kaasfabriek wil dat hun effluentwater beter wordt gezuiverd, zodat dit geloosd mag worden op het oppervlaktewater. Momenteel vindt eerst microfiltratie plaats, vervolgens gaat het water door een reverse osmose filter en daarna wordt het water op het riool geloosd. (Bruin, 2018b) Een reverse osmose filter (RO filter) is een membraan dat opgeloste vaste stoffen, organische stoffen, zeer kleine zwevende deeltjes en micro-organismen uit het water haalt. Het membraan is semipermeabel wat inhoudt dat het water zelf wel wordt doorgelaten. (MilieuFocus.nl, 2008) In het effluentwater van de kaasfabriek zit veel stikstof, waarschijnlijk in de vorm van stikstof-ammonium. Dit gaat wel door het RO filter heen, omdat dit een klein en ongeladen molecuul is. (Offreins, 2018) De kaasfabriek zou de route van het effluentwater als volgt willen hebben: microfiltratie – reverse osmose filter – aquaponics systeem – lozen op het oppervlaktewater.

De term 'aquaponics' komt van de woorden 'hydroponics' en 'aquaculture'. Hydroponics is het kweken van gewassen op water (Dutch Hydroponics Solution, 2017). Bij aquacultuur worden waterorganismen als bijvoorbeeld vissen gekweekt (Wageningen UR, 2018). In een aquaponics systeem staan dus gewassen die leven op de uitwerpselen van de vissen die daarin gekweekt worden. Dit systeem heeft geen verbinding met oppervlaktewater en kan gebruikt worden om water te zuiveren. In andere landen wordt een aquaponics systeem al ingezet als waterzuiveringssysteem. (Estim, Saufie, & Mustafa, 2018) (Grab & Junge, 2009). Daarom zou dit voor de kaasfabriek mogelijk ook een geschikt systeem kunnen zijn.

Het gebruik van een aquaponics systeem heeft verschillende voordelen. Wanneer het effluentwater gezuiverd wordt tot nutriëntenconcentraties die onder de norm liggen, dan kan dit bijdragen aan het Planet aspect van duurzaamheid. Immers, het water wordt op een natuurvriendelijke manier met onder andere planten gezuiverd en mag op het oppervlaktewater worden geloosd. Door het gebruik

van planten kan de biodiversiteit worden bevorderd (Laven, sd). De rol van de rioolwaterzuiveringsinstallatie wordt dan overgeslagen. Dit scheelt de kaasfabriek in kosten voor het lozen op het riool en dit draagt bij aan het Profit aspect van de duurzaamheid (Bruin, 2018b). De aanschaf van een aquaponics systeem kost echter wel geld, maar daarentegen kunnen planten die hierin groeien voor oogst zorgen dat voor andere doelen kan worden gebruikt. Bij duurzaamheid op het gebied van People kan gedacht worden aan het leveren van werk aan mensen die dergelijke systeem installeren. Dit heeft ook raakvlakken met Profit (Veld, et al., 2018).

Planten in het systeem met hun functies

In een aquaponics systeem zijn onder andere planten nodig die in een waterrijke omgeving kunnen groeien. Naast planten maken micro-organismen deel uit van het zuiveringsproces. Het is goed om een vochtige omgeving in het systeem te creëren om een gunstige omgeving voor bepaalde micro-organismen te krijgen. (Wageningen UR, 2001) De lisdodde en gele lis zijn moerasplanten waarvan men weet dat zij een bijdrage leveren aan de waterzuivering. Ze nemen namelijk nutriënten uit het water op en dragen bij aan groeioppervlak voor micro-organismen. Beide planten worden al ingezet als waterzuiveraars. (Geurts, Fritz, Lamers, Grootjans, & Joosten, 2017) (Keizer-Vlek, Verdonschot, Verdonschot, & Dekkers, 2013b) (Alterra, 2017)

Naast dat de lisdodde en gele lis een bijdrage leveren aan de zuivering, kunnen deze planten ook voor andere doeleinden worden ingezet. Dit maakt het telen van lisdodde en gele lis economisch aantrekkelijker: Profit. Van de lisdoddeplant kunnen de delen die bovenwater zitten worden gebruikt voor de productie van bio-laminaat. De bladeren worden wel gebruikt voor isolatiemateriaal. Vroeger werden de wortels van de lisdodde gegeten, omdat er veel zetmeel in zit. Daarnaast bevat de lisdodde eiwitten die zowel voor de mens als voor het vee ingezet kunnen worden als voedsel. (Duursen & Nieuwenhuijs, 2016) Het stikstof dat de plant uit de bodem en het water opneemt, wordt omgezet naar deze vorm (Geurts, Fritz, Lamers, Grootjans, & Joosten, 2017). Elk organisme heeft eiwitten nodig voor de bouw van het lichaam. Elke cel bestaat uit eiwitten en deze bestaan weer uit aminozuren. Enkele van de 22 aminozuren die de mens of het vee nodig heeft, kan het lichaam zelf aanmaken. De andere moeten via voedsel in het lichaam terecht komen, de essentiële aminozuren. (Voedingscentrum.nl, sd) Lisdodde bevat de aminozuren fenylalanine, alanine en tryptofaan. De eerstgenoemde bevindt zich in de stengel en bloem van de lisdodde. De andere twee bevinden zich in de wortelstok. (Duursen & Nieuwenhuijs, 2016) Fenylalanine en tryptofaan zijn essentiële aminozuren voor de mens (Voedingscentrum.nl, sd). Voor melkvee zijn andere aminozuren essentieel: methionine en lysine (Schooten, 2017). Deze moet het vee dus op een andere manier dan via de lisdodde verkrijgen.

De gele lis kan niet als voedsel worden ingezet, omdat deze plant in zijn geheel giftig is (Poot, 2018). In het aquaponics systeem zou deze plant vooral dienen als zuiveraar en als vergroter van de biodiversiteit. Als voor de kaasfabriek een aquaponics systeem ontworpen wordt dat 600.000 l per week aan kan, dan zullen veel planten nodig zijn. Biodiversiteit is dan belangrijk om het systeem minder kwetsbaar te maken. Bij kwetsbaarheid kan gedacht worden aan onder andere ziekteverwekkers. (Laven, sd)

Circulaire stroom van eiwitten

Voor de kaasfabriek zou het ideaal zijn als de lisdodde uit het aquaponics systeem kan worden ingezet als veevoer. Hierbij zou een circulaire stroom van eiwitten zijn wat bijdraagt aan de duurzaamheid van het bedrijf. Er vindt dan bijvoorbeeld verduurzaming plaats op het Planet aspect, doordat minder krachtvoer uit andere delen van het land aangevoerd hoeft te worden. Dit scheelt naast uitstoot van gasen ook in brandstofkosten en aanschafkosten van krachtvoer: Profit. De circulaire stroom van eiwitten begint bij de koeien die eten en vervolgens melk produceren. Van

deze melk wordt kaas gemaakt. De voeding van de koe heeft invloed op de kwaliteit van de kaas. Op het effluentwater van de kaasfabriek groeit de lisdodde die het nutriënt stikstof omzet in eiwit. De lisdodde waarin de eiwitten zitten zou vervolgens in krachtvoer verwerkt kunnen worden dat de koeien naast het gras nuttigen. (Bruin, 2018b) Krachtvoer verbetert de gezondheid van de koe en draagt bij aan de melkproductie (Moesker, 2017). Het mooiste zou zijn dat de wortels van de lisdodde ingezet kunnen worden als krachtvoer. De andere delen van de lisdodde hebben al marktkansen (Duursen & Nieuwenhuijs, 2016).

Haalbaarheid van waterzuivering en veevoer

Een grote wens van de kaasfabriek is om te achterhalen of hun effluentwater kan worden gezuiverd door het gebruik van een aquaponics systeem. De eerste stap hierin is het onderzoeken of zuivering van dit water met een dergelijk systeem haalbaar is. De stappen die hierop volgen gaan over het eventueel optimaliseren van de zuivering. (Bruin, 2018b)

Een andere wens van de kaasfabriek is het onderzoeken of de wortelstokken van de lisdodde als veevoer kunnen worden ingezet. Om deze vraag te beantwoorden, moeten ook meerdere stappen worden gezet. (Bruin, 2018b)

Dit onderzoek zal een bijdrage leveren aan de wensen van de kaasfabriek. Onderzocht gaat worden in welke mate stikstofrijk water wordt gezuiverd door middel van een aquaponics systeem. Het aquaponics systeem van ongeveer een vierkante meter dat beschikbaar is op Van Hall Larenstein wordt hiervoor gebruikt. Daarnaast zal het eiwitgehalte in de wortelstokken van de lisdodde gemeten worden. Het bepalen van de hoeveelheid eiwitten levert een bijdrage aan de tweede wens van de kaasfabriek.

Vooronderzoek voor lectoraten

Naast dat dit onderzoek een bijdrage levert aan de wensen van de kaasfabriek is het interessant voor lectoren van hogeschool Van Hall Larenstein. De opdracht wordt uitgevoerd binnen het Applied Research Centre op de hogeschool. De lectoren uit de lectoraten 'Biobased protein products' en 'Sustainable water systems' gaan onderzoeken of de lisdodde kan groeien op een kunstmatig geconstrueerd moeras, in eerste instantie een aquaponics systeem, om de waterkwaliteit te verbeteren. Hun doel is om het laatste stikstof en eventueel aanwezige zware metalen uit effluentwater te zuiveren voordat het geloosd wordt op het oppervlaktewater. Het verbeteren van de waterkwaliteit is het belangrijkste doel van de lectoraten. Op de tweede plaats staat het achterhalen van waar het stikstof in de lisdodde blijft. Hun interesse gaat uit naar de wortelstokken van de lisdodde die mogelijk als krachtvoer voor vee kunnen worden gebruikt. (Bruin, 2018b)

Het onderzoek waar dit rapport over gaat, is een pilotonderzoek voor de lectoraten. Een voordeel van het uitproberen van waterzuivering door de lisdodde en gele lis op kleine schaal in een aquaponics systeem is dat na evaluatie hiervan aanpassingen gebracht kunnen worden aan het plan voor uitvoering op grote schaal. Dit kan te zijner tijd in tijd en geld schelen. Een onderzoek naar de groei van lisdodde en gele lis in een aquaponics systeem waarbij de stikstofverwijdering onderzocht wordt, is niet eerder gedaan.

1.2 Doelstelling en probleemstelling

Het doel van het project is onderzoeken of het mogelijk is om stikstofrijk water door middel van de lisdodde en gele lis in het aquaponics systeem te zuiveren. Daarnaast is het doel om te onderzoeken wat de stikstofverwijdering doet met het eiwitgehalte in de wortelstokken van de lisdodde. Om beide doelen te behalen, zal zowel deskresearch als fieldresearch plaats vinden.

Uit deze doelstelling komt de volgende hoofdvraag: 'Is het mogelijk om stikstofrijk water te zuiveren met behulp van de lisdodde en gele lis in het aquaponics systeem en hoeveel eiwitten zitten door de zuivering in de wortelstokken van de lisdodde?'

Om deze hoofdvraag te kunnen beantwoorden, moet eerst onderzoek worden gedaan naar vragen als bijvoorbeeld 'onder welke condities moeten de planten leven?', 'hoe vindt zuivering plaats?' en 'hoe ziet het beschikbare aquaponics systeem eruit?'. Deze en nog andere vragen worden met deelvraag 1 beantwoord. Vervolgens kunnen experimenten ingezet worden voor stikstofverwijdering door de lisdodde en gele lis. Als laatste zal onderzoek gedaan worden naar wat de invloed van de zuivering van stikstofrijk water is op het eiwitgehalte in de wortelstokken van de lisdodde. De deelvragen die opgesteld zijn, zijn de volgende:

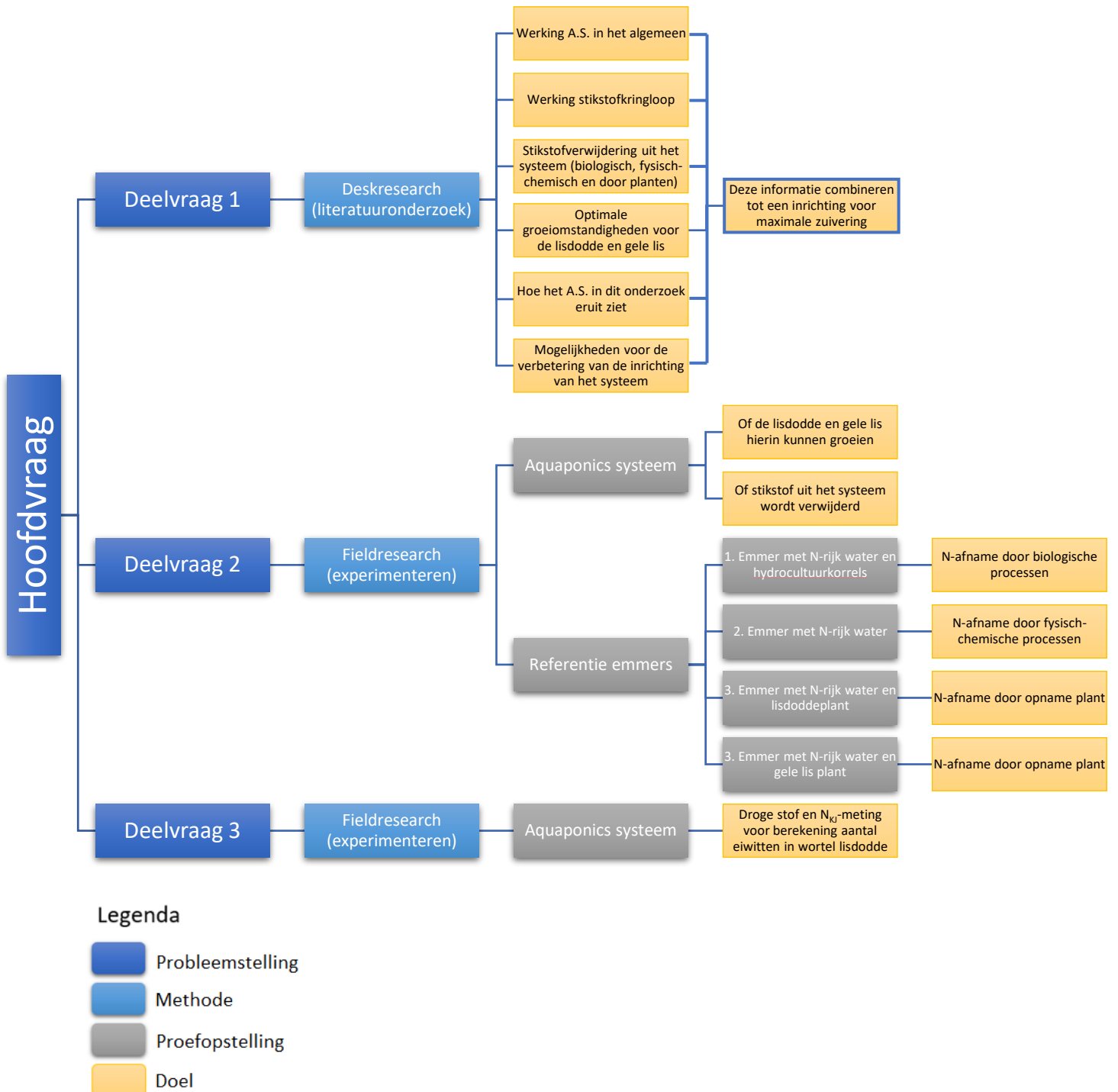
1. Hoe moet het beschikbare aquaponics systeem ingericht worden om maximale zuivering van stikstofrijk water te kunnen bereiken?
2. Hoeveel stikstofverwijdering vindt in het aquaponics systeem plaats door de lisdodde en gele lis?
3. Tot welk eiwitgehalte in de wortelstokken van de lisdodde leidt dit?

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de methode beschreven over hoe tot een antwoord op de deelvragen en uiteindelijk de hoofdvraag wordt gekomen. Hoofdstuk 3 geeft een antwoord op de eerste deelvraag. Niet alleen de zichtbare invulling van het systeem wordt besproken, maar ook de onzichtbare invulling. Dit betekent dat naast de dikte van de laag hydrocultuurkorrels en de hoeveelheid planten in het systeem bijvoorbeeld ook wordt besproken wat een ideale zuurgraad is en welke nutriënten de planten nodig hebben. In het hoofdstuk erna, hoofdstuk 4, wordt ingegaan op de waterkwaliteit en de stikstofverwijdering door de lisdodde en gele lis. Dit is ter beantwoording van de tweede deelvraag. Dit hoofdstuk gaat een stap verder dan hoofdstuk 3. Het systeem is namelijk al ingericht en wordt gebruikt. In hoofdstuk 5 gaat het over de beantwoording van de derde deelvraag; het eiwitgehalte wordt hierin besproken. Hoofdstuk 3 en 4 ligt hieraan ten grondslag. In de discussie in hoofdstuk 6 worden aandachtspunten besproken en komt de relevantie aan bod. Het antwoord op de hoofdvraag is in de conclusie te vinden, dit is hoofdstuk 7. De aanbevelingen staan in hoofdstuk 8. Vervolgens komen nog de bibliografie en bijlagen.

2. Methode van het onderzoek

In dit hoofdstuk staat de methode van hoe het doel van het onderzoek wordt behaald. Er wordt zowel deskresearch als fieldresearch gedaan. In onderstaand schema is weergegeven hoe het onderzoek is opgebouwd.



Figuur 2.1: Opbouw van het onderzoek; A.S. = aquaponics systeem

2.1 Deskresearch

De beantwoording van deelvraag 1 bestaat uit het doen van literatuuronderzoek. Door rapporten, websites, boeken en aantekeningen van lessen tijdens de opleiding Milieukunde te raadplegen wordt informatie verzameld. Daarnaast wordt een bezoek gebracht aan Bauke Hegeman. Bauke heeft meerdere aquaponics systemen en door de jaren heen heeft hij hierover veel kennis opgedaan. De informatie die wordt verzameld, gaat over de zes gele vakken uit figuur 2.1. Eventueel zou voor het vakje 'optimale groeiomstandigheden voor de lisdodde en gele lis' het programma SynBioSys gebruikt kunnen worden. Dit programma geeft echter niet de optimale groeiomstandigheden aan, maar de groeiomstandigheden waarin de planten het meest worden gevonden.

Voor de analyse van de resultaten die bij deelvraag 2 en 3 horen, wordt gebruik gemaakt van informatie uit de beantwoording van deelvraag 1. Daarnaast zullen aanvullende (internet)bronnen worden gebruikt. Om een duidelijke methode voor de experimenten van deelvraag 3 te kunnen beschrijven, worden ook collega's van het Applied Research Centre gevraagd.

Bij het gebruik van literatuur zal gelet worden op de betrouwbaarheid en geloofwaardigheid van de bronnen. De betrouwbaarheid gaat in op de afkomst van informatie, 'wie is de auteur?'. De geloofwaardigheid gaat in op het doel van de auteur. Wanneer dit het verkopen van een product is, zal de site hoogstwaarschijnlijk alleen positieve informatie verschaffen. In dit geval zullen andere bronnen ter ondersteuning worden gezocht.

2.2 Fieldresearch

Bij de beantwoording van deelvraag 2 en 3 wordt gebruik gemaakt van fieldresearch. Bij de beantwoording van deze vragen wordt namelijk opzoek gegaan naar nieuwe, ontbrekende gegevens. De vorm van fieldresearch die gebruikt gaat worden, is 'experimenteren'. (HAN, 2014) Voor deelvraag 2 is een kwalitatieve onderzoeksmethode nodig. Het gaat om de waarneming van planten en om de kwaliteit van het water. Omdat het bij deelvraag 3 om de hoeveelheid eiwitten gaat, is sprake van een kwantitatieve onderzoeksmethode. (Allesovermarktonderzoek, 2015)

Voor deelvraag 2 zijn twee proefopstellingen gebruikt om informatie te verkrijgen voor de beantwoording van de deelvraag. Deze zijn in de grijze vakken in figuur 2.1 weergegeven. De bijbehorende gele vakken in hetzelfde figuur geven aan wat met het experiment wordt onderzocht. De eerste proefopstelling is het aquaponics systeem en de tweede proefopstelling zijn de referentiemmers. In hoofdstuk 4 wordt verder ingegaan op de methode van de experimenten.

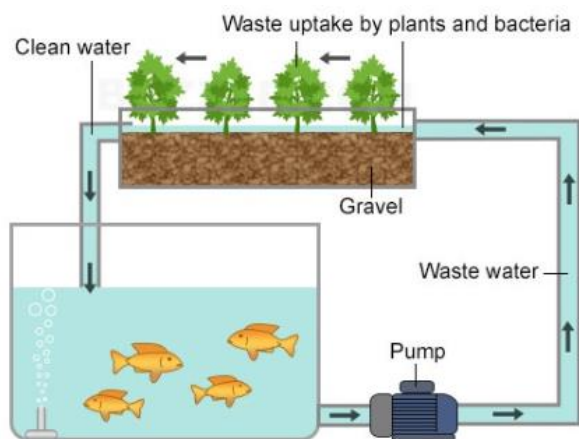
Voor de derde deelvraag worden droge stof en stikstof-Kjeldahl metingen uitgevoerd. Hiervoor worden monsters genomen van een wortelstok uit het aquaponics systeem. In hoofdstuk 5 staat de methode tot het komen van een antwoord op deelvraag 3.

3. Inrichting aquaponics systeem

In de methode is beschreven dat eerst deskresearch plaats vindt. Dit hoofdstuk beantwoord deelvraag 1 op deze manier. Deelvraag 1 is: 'Hoe moet het beschikbare aquaponics systeem ingericht worden om maximale zuivering van stikstofrijk water te kunnen bereiken?'. Om deze vraag te beantwoorden wordt eerst in gegaan op hoe een aquaponics systeem werkt. Vervolgens komt de stikstofkringloop aan bod. Met deze twee paragrafen wordt algemene informatie beschreven wat vervolgens nodig is om verder op de deelvraag in te gaan. In paragraaf 3.3 worden manieren van stikstofverwijdering uitgelegd. Paragraaf 3.4 gaat over optimale groeiomstandigheden van de lisdodde en gele lis. Wanneer de planten namelijk optimaal kunnen groeien, zal de stikstofverwijdering op deze manier vergroten (Nouta, 2016). In paragraaf 3.5 wordt het aquaponics systeem in dit onderzoek beschreven. Vervolgens worden in paragraaf 3.6 mogelijkheden gegeven om de inrichting van het systeem te verbeteren. Tot slot wordt in paragraaf 3.7 met de opgedane informatie een antwoord gegeven op de deelvraag.

3.1 De werking van een aquaponics systeem

Aan de hand van onderstaande afbeelding wordt uitgelegd hoe een aquaponics systeem werkt. De kennis over de werking van een aquaponics systeem is opgedaan tijdens het bezoek aan Bauke Hegeman. Het interview is te vinden in bijlage V. Informatie in de alinea op de volgende bladzijde is ook opgedaan door verschillende afbeeldingen van aquaponics systemen te bekijken op het internet.



Figuur 3.1: Voorbeeld van een aquaponics systeem (Gardenerdy.com, 2018)

Als eerst is een pomp nodig die het water van onder uit de bak naar de bovenste bak pompt. In de bovenste bak legt het water een baan af om vervolgens via de afvoer weer in de onderste bak te komen. In de onderste bak worden over het algemeen genomen vissen gekweekt. De uitwerpselen van vissen zijn dan een voedingsbron voor micro-organismen en planten. De vissen worden bijgevoerd. Dit is in principe de enige toegevoegde nutriëntenbron als het een volwassen systeem is. In de eerste jaren moet het systeem wel bemest worden met micro-organismen en met nutriënten voor planten. Het kan wel vier jaar duren voordat het systeem volwassen is en niet meer bemest hoeft te worden. Bemesting kan gedaan worden door bijvoorbeeld afgevallen bladeren terug in het systeem te stoppen. Wormen en andere beestjes zijn belangrijk om dit grote afval om te zetten naar kleine voedingsstoffen voor micro-organismen. (Hegeman, 2018a) In dit onderzoek wordt geen gebruik gemaakt van vissen. De reden hiervoor wordt genoemd in 'Soort water' in paragraaf 3.5. Het draait in dit onderzoek vooral om de bovenste bak waarin de planten staan. In deze bak zal naar verwachting de meeste stikstofverwijdering plaatsvinden.

Een aquaponics systeem kan op verschillende manieren worden gebouwd. Bepaalde systemen hebben wel luchttoevoer, zoals op de afbeelding hierboven is te zien. Andere systemen hebben dit niet, omdat de waterafvoer uit de bovenste bak voor voldoende zuurstof in het water zorgt. Ook bestaan verschillen over welk medium in de bovenste bak wordt gelegd waarop de planten kunnen groeien. Media die gebruikt worden, zijn onder andere: grind, gravel en hydrocultuurkorrels. Ook kan ervoor worden gekozen om alleen water in het systeem te hebben. Wat de redenen zijn voor het gebruik van een genoemd medium is niet onderzocht. De voordelen van het gebruik van hydrocultuurkorrels staan in bijlage V op bladzijde xl.

3.2 Stikstofkringloop

De stikstofkringloop is in het aquaponics systeem een belangrijk proces om de planten van stikstof te voorzien. Vele andere kringlopen van nutriënten spelen ook een rol. Deze worden hier echter niet beschreven, omdat dit onderzoek vooral ingaat op het nutriënt stikstof. Voor dit onderzoek is een gedeelte van de stikstofkringloop relevant. Dit wordt hieronder beschreven.

In het effluentwater van de kaasfabriek zit veel stikstof in de vorm van stikstof-ammonium (Offreins, 2018). In dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van stikstof dat in de vorm van ureum aan het water wordt toegevoegd, zie ook 'Soort water' in paragraaf 3.5. De omzetting van ureum naar ammoniak vindt plaats door het enzym urease, *Urea amidohydrolase*, volgens de volgende reactievergelijking (Bergonzi, Berti, & Imbasciati, 1979) (MLDS, 2018):

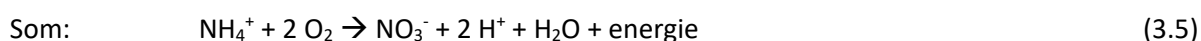
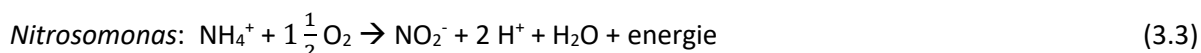


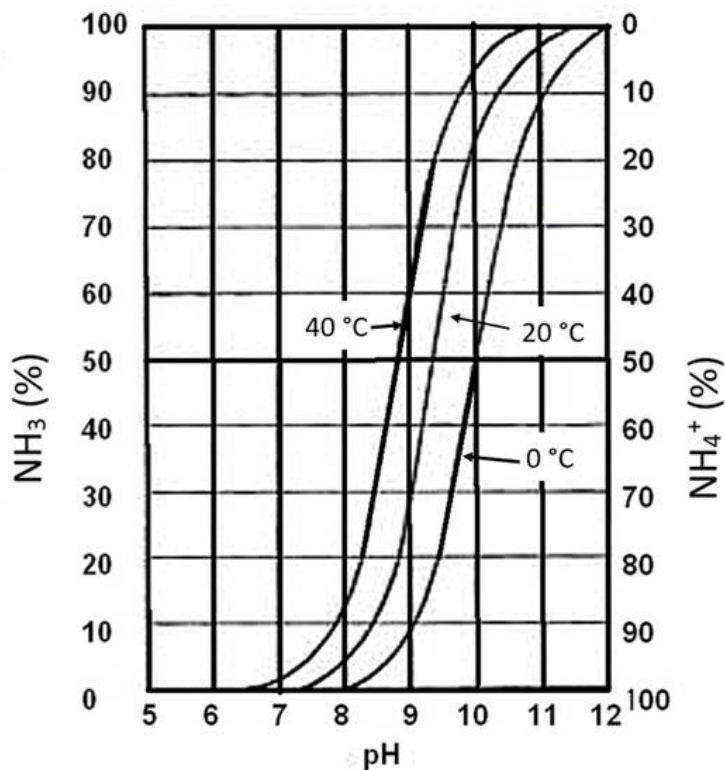
Ammoniak reageert met water naar ammonium. Water treedt hierbij op als zuur. (Zegers, 2016) De volgende reactie treedt op:



De reactie kan beide kanten op plaats vinden. Het licht aan de zuurgraad van de oplossing welke kant de reactie op plaats vindt. Wanneer de zuurgraad van de oplossing hoog is, zullen weinig waterstofionen aanwezig zijn. De omzetting van ammonium naar ammoniak is dan hoog, waardoor ammoniak vervliegt. Andersom is het zo dat wanneer de zuurgraad laag is, veel waterstofionen beschikbaar zijn en dat veel ammonium gevormd wordt. (Zegers, 2016) Bij een temperatuur van 20 °C en een zuurgraad van 7 is bijna alleen ammonium aanwezig. Bij een hogere pH en temperatuur verschuift het evenwicht naar links en zal het gehalte ammonium steeds lager worden. (STOWA, 1993) (Halling-Sorensen & Jorgensen, 1993) Dit is ook in figuur 3.2 te zien.

De omzetting van organisch gebonden stikstof naar ammonium wordt ammonificatie genoemd. Ammonium wordt omgezet naar nitriet en nitriet vervolgens naar nitraat. Dit proces wordt nitrificatie genoemd. De twee bacteriën die deze omzettingen doen, zijn *Nitrosomonas* en *Nitrobacter*. Hieronder staan de reactievergelijkingen die bij het nitrificatieproces horen (Truijen, 2015) (STOWA, 1993):





Figuur 3.2: Verloop van de verhoudingen ammonium en ammoniak bij de zuurgraad en temperatuur (Dublein, et al., 2008)

Om deze reacties te laten verlopen, moeten dus de bacteriën, het zuurstof en het ammonium aanwezig zijn. (Truijen, 2015) (STOWA, 1993) Daarnaast moet de temperatuur tussen de 5 °C en 30 °C liggen. Over de zuurgraad kan gezegd worden dat bij een pH tussen de 7,2 en 8,5 de groei van nitrificerende bacteriën constant is en dat bij een hogere pH de groeisnelheid weer afneemt. (STOWA, 1993)

Het nitrificatieproces vindt vooral in de bovenste bak van het aquaponics systeem plaats wanneer gebruik wordt gemaakt van een medium. Een medium zorgt namelijk voor grote oppervlakten waar micro-organismen zich aan kunnen hechten. (Hegeman, 2018a) Planten nemen stikstof op in de vorm van nitraat, het eindproduct van het nitrificatieproces (Truijen, 2015).

Denitrificatie vindt na nitrificatie plaats. Hiervoor is een anoxische zone nodig. De denitrificerende bacteriën hebben een organische koolstofbron nodig om hun energie te verkrijgen. (Truijen, 2015) Denitrificatie verloopt volgens de volgende reactie (STOWA, 1993):



Dit proces verloopt tussen een temperatuur van 5 °C en 40 °C en tussen een pH van 6 en 8. De optimale pH-waarde ligt tussen 7 en 7,5. Naast denitrificeerders, een koolstofbron, een anoxische zone en een goede temperatuur en zuurgraad zijn uiteraard ook nitraatmoleculen en waterstofionen nodig. (Truijen, 2015) (STOWA, 1993) Denitrificatie vindt op die plaatsen in het aquaponics systeem plaats, waar de vereisten voor het proces aanwezig zijn.

De eindproducten van denitrificatie zijn water, zuurstof en stikstofgas. Stikstofgas zal de lucht in gaan. Op deze manier is het stikstof uit het water verwijderd. (Truijen, 2015)

Door de opname van nutriënten, waaronder stikstof in de vorm van nitraat, groeit de plant. Afhankelijk van welke soort plant het is, kunnen na een bepaalde tijd delen van planten voor eetbare of niet-eetbare materialen als bijvoorbeeld meststoffen worden ingezet. (Duursen & Nieuwenhuijs, 2016)

3.3 Stikstofverwijdering

De verwijdering van stikstof in het aquaponics systeem kan op verschillende manieren plaatsvinden. Allereerst is de biologische stikstofverwijdering aanwezig. Dit is stikstofverwijdering door de activiteit van micro-organismen. Ammonificatie, nitrificatie en denitrificatie vallen hieronder. Door deze omzettingsprocessen neemt de biomassa van de micro-organismen toe. (EnvAqua, 2015) Naast de biologische stikstofverwijdering is de fysisch-chemische stikstofverwijdering aanwezig. Bij deze vorm van stikstofverwijdering vindt omzetting van stoffen plaats zonder dat daar organismen aan te pas komen. Het strippen van ammonium valt hieronder, dit staat in zowel bijlage IIa onder het kopje 'Vervangende methode van aquaponics systeem' op bladzijde ix als in de begrippenlijst uitgelegd. Adsorptie, sedimentatie en filtratie zijn ook vormen van fysisch-chemische stikstofverwijdering, maar hier wordt in dit rapport minder aandacht aan besteed (Mels, et al., 2002). Mogelijk vindt stikstofverwijdering in het aquaponics systeem ook door sedimentatie plaats. Dit kan doordat stikstof reacties aangaat met andere stoffen die in het systeem zaten voordat het huidige stikstofrijke water in het systeem kwam. Deze stoffen zijn bij het doorspoelen van het systeem dan niet volledig weggespoeld, zie ook 'Voedingsstoffen in het systeem' in paragraaf 3.5.

Planten nemen ook deel aan de stikstofverwijdering. Zij nemen stikstof op in de vorm van nitraat. Stikstof is een belangrijke voedingsstof voor planten, dit komt in paragraaf 3.4 verder aan bod. Voor groei gebruikt ieder organisme stikstof. In DNA, een nucleïnezuur, en eiwitten, bestaand uit aminozuren, zit stikstof opgeslagen. Voor planten geldt dat voor de productie van chlorofyl ook stikstof nodig is. (NutriNorm, 2013) Ook de micro-organismen die nutriënten beschikbaar maken voor planten hebben stikstof nodig (Van den Berg & Keizer, 2016).

Naast dat planten zelf stikstof opnemen, bevorderen zij de stikstofverwijdering door micro-organismen. Planten bieden namelijk oppervlakte voor micro-organismen. De laag micro-organismen op planten wordt een biofilm genoemd. (Truijen, 2015)

3.4 Optimale groeiomstandigheden lisdodde en gele lis

Optimale groeiomstandigheden dragen bij aan de duurzaamheid. Processen vinden efficiënter plaats, waardoor op elk terrein van duurzaamheid een bijdrage kan worden geleverd (Veld, et al., 2018). Door goede abiotische factoren zullen planten beter groeien (Planet); vindt meer fotosynthese/zuurstofproductie plaats wat de werkomstandigheden kan bevorderen (People) en kan uiteindelijk een grotere opbrengst behaald worden (Profit). In de tekst in deze paragraaf worden abiotische factoren en voedingsstoffen besproken die de lisdodde en gele lis nodig hebben.

Abiotische factoren

Licht en temperatuur

Zowel de lisdodde als gele lis prefereren een groeilocatie in direct zonlicht, de gele lis daarbij met lichte schaduw (Moorsel, 2014) (Nie, et al., 2017). Wat temperatuur betreft kan de gele lis veel hebben. Deze soort komt in heel Europa tot aan de poolcirkel voor. (Flora van Nederland, 2013) Ook in Noord-Amerika, Japan, Zuid-Australië en Nieuw-Zeeland komt de gele lis voor (Dijkstra, 2018). Zowel de grote als de kleine lisdodde leven in gematigde zones. Nederland valt hier middenin. In Nederland zijn zowel de lisdodde als de gele lis algemene soorten (Eggelte, 2014). (Moorsel, 2015a) (Moorsel, 2015b)

Het jaargemiddelde van de temperatuur in Nederland ligt rond de 9 °C à 10 °C met gemiddelde

uitlopers naar -3 °C en 20 °C (KNMI, 2018). Dit valt binnen de gematigde zone. Een gematigd klimaat heeft frisse en vochtige zomers en zachte en regenachtige winters vergeleken met andere delen op de wereld. (die Keure, sd)

Vocht

Volgens het programma SynBioSys groeien de meeste lisdodde planten op natte bodems. De gele lis groeit het meest op vochtige tot natte bodems. (Alterra, 2017) De worteldiepte van de gele lis rijkt tot maximaal 50 cm onder het maaiveld (Moorsel, 2014). De gele lis, grote en kleine lisdodde groeien in ondiep stilstaand of zwak stromend water. Hierbij valt te denken aan sloten en plassen. (Moorsel, 2015a) (Moorsel, 2015b) (Moorsel, 2014) Een onderzoeker van de universiteit uit München concludeert dat de biomassaopbrengst van de grote lisdodde hoger is bij lage tot medium waterstanden. (Heinz, 2011) De lisdodde is echter wel in staat om te leven op continu vochtige bodems zonder stilstaand water. De grote lisdodde prefereert een fluctuerend waterpeil boven een vast waterpeil. De kleine lisdodde is meer tolerant voor vaste waterpeilen. (Nie, et al., 2017)

Zuurgraad

In het rapport van Reinder Nouta over het onderzoek naar het effect van stikstofrijk water op biomassaproductie schrijft hij dat bij een pH lager dan 5 de groei van de lisdodde en riet kan verminderen. Dit heeft met de omzetting van ammonium te maken wat dan in mindere mate plaats vindt. Stikstofrijk oppervlaktewater van 14,7 mg/l had een positieve invloed op de groei van lisdodde. (Nouta, 2016) In paragraaf 3.2 is beschreven dat de optimale pH voor nitrificatie en denitrificatie rond de 7 ligt.

De kleine lisdodde staat het meest in zwak zure tot licht kalkhoudende omstandigheden en de grote lisdodde in matig zure tot licht kalkhoudende omstandigheden (Moorsel, 2015a) (Moorsel, 2015b). Volgens het programma SynBioSys komt de gele lis onder dezelfde zuurgraad voor als de lisdodden. (Alterra, 2017)

Zoutgehalte

Het chloridegehalte van zoetwater ligt lager dan 300 mg/l. Tussen 300 en 1.000 mg/l is er sprake van licht brak water. Tussen 1.000 en 5.000 mg/l heet het brak en tussen 5.000 en 10.000 mg/l heet het brak-zout. Boven de 10.000 mg/l spreekt men van zoutwater. Zeewater heeft een chloridegehalte van rond de 18.000 mg/l. (Wamelink & Runhaar, 2000) De multimeter die tijdens de metingen wordt gebruikt, meet niet het chloridegehalte, maar het Elektrisch Geleidend Vermogen (EGV). Deze waarden kunnen naar elkaar omgerekend worden volgens de volgende formule: $Cl^- (mg/l) = 151 * EGV^{1,31}$ met het EGV in mS/cm. Deze formule kan omgebouwd worden naar de formule $EGV (\mu S/cm) = \sqrt[1,31]{Cl/151} \times 1000$ (Stuyt, et al., 2013). Onderstaande tabel kan dan worden verkregen.

Tabel 3.1: Behorend EGV bij chloridegehalten

Naam	Chloridegehalte (mg/l)	EGV (μS/cm)
Zoet	<300	<1.689
Licht brak	300-1.000	1.689-4.234
Brak	1.000-5.000	4.234-14.464
Brak-zout	5.000-10.000	14.464-24.552
Zout	>10.000	>24.552

Volgens SynBioSys verdragen de lisdodde en gele lis geen zoutwater (Alterra, 2017). De kleine lisdodde kan wel groeien op licht brakke gronden. De grote lisdodde kan hier minder goed tegen.

(Nie, et al., 2017) (Moorsel, 2015b) Dat planten wel of geen zout verdragen, heeft te maken met de osmotische waarde van planten. Bij een hoog EGV zullen plantencellen veel water opnemen om de concentratie van stoffen in de cel gelijk te maken als de concentratie van stoffen buiten de cel. Dit kan een hoeveelheid water betreffen dat hoger is dan de cellen aankunnen. (De Boer, 2002)

Zuurstof

Voor de verbranding van organische stoffen hebben planten net als mensen zuurstof nodig. Door dit proces komt energie vrij. (J.R.Smeenk, sd) Lisdodde en gele lis hebben dus ook zuurstof nodig. Hoeveel zuurstof deze planten werkelijk nodig hebben en verbruiken, is niet exact bekend.

Voedingsstoffen

Voedingsstoffen voor planten kunnen onderverdeeld worden in macro- en micronutriënten.

Macronutriënten zijn voedingsstoffen die planten in grote mate nodig hebben. Daarnaast hebben planten nog andere voedingsstoffen nodig. Dit zijn de micronutriënten, ook wel spoorelementen genoemd. Macronutriënten die (water)planten nodig hebben, zijn stikstof (N), fosfor (P), zwavel (S), Kalium (K), calcium (Ca) en magnesium (mg). Een plant kan stikstof in de vorm van nitraat opnemen, fosfor in de vorm van fosfaat en zwavel in de vorm van sulfaat. Naast de zes macronutriënten zijn er nog acht belangrijke micronutriënten: boor (B), koper (Cu), mangaan (Mn), kobalt (Co), silicium (Si), zink (Zn), ijzer (Fe) en molybdeen (Mo). (Verhoeven, sd) (Bodemacademie, sd) Naast deze nutriënten hebben de gele lis en lisdodde ook zuurstof (O), koolstof (C) en waterstof (H) nodig. Deze drie stoffen samen met N, P en S vormen de zes stoffen waar alle organismen uit bestaan (Wolchover, 2011).

De gele lis groeit in stikstofrijk water en heeft de voorkeur aan voedselrijke oevers (Moorsel, Gele lis, 2014). De lisdodde heeft ook veel stikstof nodig. Deze groeit namelijk in gebieden waar het matig rijk tot rijk is aan voedingsstoffen (Nie, et al., 2017). Voor de lisdodde zijn verschillende N:P-verhoudingen bekend. In het onderzoek 'Paludicultuur houdt de polder schoon' zijn verhoudingen aangetroffen van 5 : 1 tot 8 : 1, deze verhoudingen zijn in gewicht per volume. Dit houdt in dat deze plant kan groeien bij een stikstofgehalte dat vijf tot acht maal hoger ligt dan het fosforgehalte. In dit geval was stikstof de limiterende factor en bepaalde deze stof de opname van andere stoffen (Geurts, Fritz, Lamers, Grootjans, & Joosten, 2017). In een ander onderzoek zijn N:P-verhoudingen in de lisdodde aangetroffen tussen 44 : 1 tot 18 : 1 bij fosforrijke bodems en 10 : 1 tot 8 : 1 bij fosforarme bodems (Reddy, O'Connor, & Schelske, 1999).

Naast stikstof of fosfor kan kalium ook een limiterende factor zijn. Wanneer het stikstofgehalte twee maal hoger is dan het kalium gehalte, dan belemmert stikstof de groei van de lisdodde. (Geurts, Fritz, Lamers, Grootjans, & Joosten, 2017)

In het onderzoek 'Floatlands veelbelovend als waterzuiveraar in stadswateren' werd een N:P-verhouding van 16 : 1 aangehouden (Keizer-Vlek, Verdonschot, Verdonschot, & Dekkers, 2013a). Het stikstofgehalte was 4 mg/l en het fosforgehalte was 0,25 mg/l. De gele lis zuiverde in dit water 74% van het stikstoftotaal. De biomassa van de plant was verdriedubbeld. Echter, de biomassa was vooral in de bladeren toegenomen en niet in de wortels. Dit experiment is uitgevoerd vanaf eind mei tot en met eind augustus en betreft ongeveer twaalf à dertien weken. De planten stonden elk apart in een speciekuip dat met 70 l grondwater was gevuld. (Keizer-Vlek, Verdonschot, Verdonschot, & Dekkers, 2013a)

3.5 Aquaponics systeem in dit onderzoek

Het aquaponics systeem dat in dit onderzoek is gebruikt, was beschikbaar op Van Hall Larenstein. In grote lijnen is de opbouw van dit systeem hetzelfde gebleven om het onderzoek af te kunnen bakenen. De onveranderde delen van het systeem dragen bij aan de randvoorwaarden voor de rest van het onderzoek, dit zijn:

- Het gebruik van hydrocultuurkorrels;
- Het systeem staat in het midden van het WAC ($\pm 17^\circ\text{C}$);
- Het gebruik van de beschikbare pomp.

Andere randvoorwaarden voor de invulling van het onderzoek, zijn:

- pH, EGV, O_2 , T ($^\circ\text{C}$), N-totaal en P-totaal meten;
- Stikstof en fosfor meten met de Hach Lange methode;
- AdBlue gebruiken voor het verhogen van het stikstofgehalte;
- HCl-25%-oplossing gebruiken voor het omlaag brengen van de pH.

In tabel 3.2 staan algemene gegevens van het systeem. Hiermee zijn enkele berekeningen gedaan.

Tabel 3.2: Gegevens aquaponics systeem

Grootheid	Afmeting
Lengte bak boven (cm)	112
Breedte bak boven (cm)	95
Lengte bak beneden (cm)	112
Breedte bak beneden (cm)	95
Oppervlakte bak (cm^2)*	10.640
Vermogen pomp (l/h)	1500
Dikte teeltbed (cm)	23
Diameter hydrokorrels (mm)	8-16 (gem. 12)

*Oppervlakte bak = lengte x breedte = $10.640 \text{ cm}^2 \approx 1,06 \text{ m}^2$

Op foto 3.1 op de volgende bladzijde is het gebruikte aquaponics systeem te zien. In de afbakening van bijlage IIa wordt gedetailleerd uitgelegd waarom het systeem er zo uit is komen te zien. In deze paragraaf komt verder aan bod wat voor water in het systeem zit; wat de waterstand en de doorstroomsnelheid is; welke voedingsstoffen in het systeem zitten en hoe het teeltbed is ingedeeld.

Soort water

In het onderzoek wordt geen effluentwater van de kaasfabriek gebruikt, maar leidingwater met een bepaalde hoeveelheid AdBlue. AdBlue wordt ingezet om een hoge stikstofconcentratie na te bootsen. Het effluentwater van de kaasfabriek heeft namelijk ook een hoog stikstofgehalte, zie bijlage I (Offreins, 2018). Qua tijd en geld was het niet haalbaar het effluentwater naar de onderzoekslocatie te brengen. Omdat het effluentwater van de kaasfabriek niet puur H_2O met ureum is en omdat de exacte waterkwaliteit niet bekend is, wordt in dit onderzoek gebruik gemaakt van leidingwater in plaats van ander water. Leidingwater is de eenvoudigste en goedkoopste oplossing: Profit. (Bruin, 2018b) In puur water zouden de planten in het systeem niet kunnen leven. Dit heeft te maken met osmose, zie ook paragraaf 3.4 'Zoutgehalte'.

Wanneer effluentwater in dit onderzoek zou worden gebruikt, dan kunnen verschillende factoren een rol spelen bij het wel of niet slagen van de stikstofverwijdering. Wanneer de stikstofverwijdering niet in gewenste mate plaatsvindt, dan is het met effluentwater moeilijk om te achterhalen wat de betreffende factor is die verbeterd moet worden. Door gebruik te maken van leidingwater met AdBlue is het aantal factoren verminderd.

In het systeem zitten geen vissen. De rol die de vissen hebben, wordt ingevuld met AdBlue. Waar anders de vissen voor ureum in het water zorgen, zorgt AdBlue daar nu voor. AdBlue is een vloeistof dat voor 67,5% uit demiwater bestaat en voor 32,5% uit ureum (Yara.com, 2017) (Bruin, 2018a). In

het effluentwater van de kaasfabriek zit stikstof in de vorm van ammonium, maar in dit onderzoek wordt stikstof in de vorm van ureum toegevoegd. Deze keus is gemaakt door Eric de Bruin, opdrachtgever van dit onderzoek. Ureum kan naar ammonium omgezet worden, zie reactievergelijking 3.1 en 3.2.

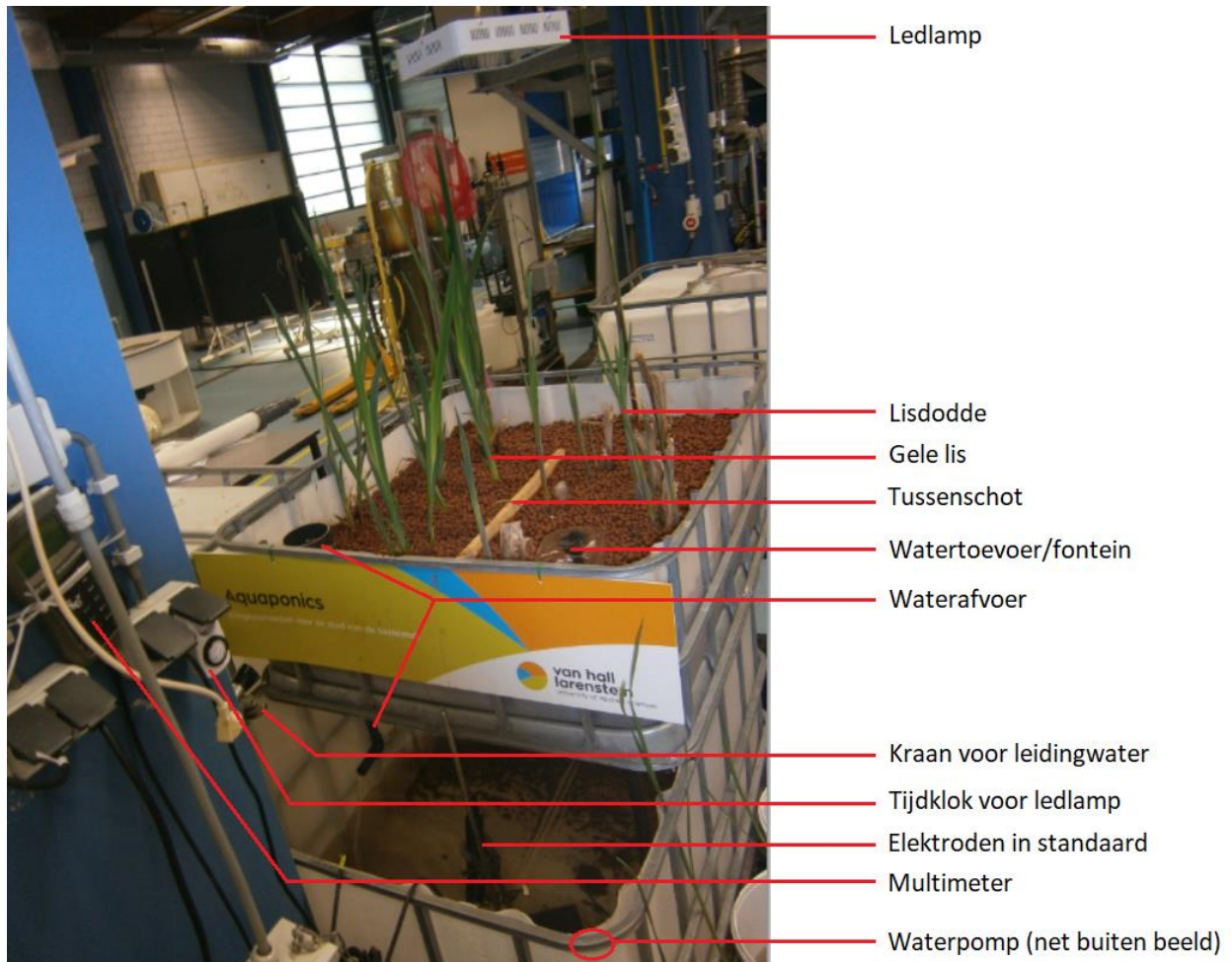


Foto 3.1: Aquaponics systeem in dit onderzoek

Waterstand en doorstromingsnelheid

In de tabel hieronder staan waterstanden in de bovenste bak van het aquaponics systeem. De waterstand wordt gebruikt om het volume water in de bovenste bak van het systeem te bepalen.

Tabel 3.3: Waterstand in de bovenste bak van het aquaponics systeem

	Meting 1 (cm)	Meting 2 (cm)	Gemiddeld (cm)
Laagste waterstand bovenste bak	18,0	18,3	18,2
Hoogste waterstand bovenste bak	20,5	21	20,8

Het volume water in de bovenste bak van het aquaponics systeem is berekend aan de hand van de gegevens in de emmer met hydrocultuurkorrels, zie tabel 3.4.

Tabel 3.4: Volume water in de emmer met hydrocultuurkorrels en in de bovenste bak van het aquaponics systeem

	Opp. (cm ²)	Waterdiepte (cm)	Volume water (cm ³)	Volume water (l)
Emmer met hydrocultuurkorrels	624,6	10	6246	2,5
Bovenste bak aquaponics systeem	10.640	20,8	221.300	89

Als in de bovenste bak 89 l water zit, dan zit in de onderste bak $250 - 89 = 161$ l water. De verhouding van het aantal liter water in de onderste bak tot het aantal liter water in de bovenste bak komt daarbij op $161 : 89 = 1,8 : 1$. In de loop der tijd kan verdamping plaatsvinden en de verhouding verschuiven naar rechts.

De pomp heeft het vermogen om 1500 l water per uur te pompen. Dit houdt in dat $89 / 1500 = 0,059$ uur nodig is om het water in de bovenste bak te verversen. 0,059 uur komt overeen met 3,5 minuten.

Voedingsstoffen in het systeem

Meststoffen anders dan dode plantendelen uit het systeem zijn niet toegevoegd. Dit heeft te maken met dat niet alle nutriënten in het systeem zijn gemeten, zie ook de afbakening in bijlage II d. Om deze reden is het onbekend welke stoffen toegevoegd hadden kunnen worden. De hydrocultuurkorrels die in het aquaponics systeem zitten, zaten voor een deel al in het systeem. Voordat leidingwater met AdBlue in het systeem is gekomen, heeft ander water in het systeem gezeten. In die tijd heeft wel bemesting plaatsgevonden. Doordat hydrocultuurkorrels poreus zijn, ze niet vervangen zijn door nieuwe korrels en het systeem slechts twee uren heeft doorgespoeld, is de kans groot dat de hydrocultuurkorrels nog enkele voedingsstoffen bevatten. Deze voedingsstoffen komen in het leidingwater met AdBlue en vervolgens kunnen ze beschikbaar zijn voor de planten.

Indeling teeltbed

In het systeem is een tussenschot geplaatst die bijna helemaal tot de bodem van het systeem reikt. Deze leidt het water langs de plantenwortels. De kans wordt dan groter dat planten stikstof uit het water halen. Op foto 3.2 is te zien waar de planten zijn gepoot. Links van het tussenschot staat de lisdodde en rechts van het tussenschot staat de gele lis. Het water komt linksboven via de fontein binnen, stroomt om het tussen schot heen en vervolgens gaat het rechtsboven door de afvoer naar de bak eronder. De planten zijn zo neergezet dat het water te allen tijde een wortel tegenkomt, zie ook bijlage II a 'Afmetingen tussenschot' op bladzijde x.

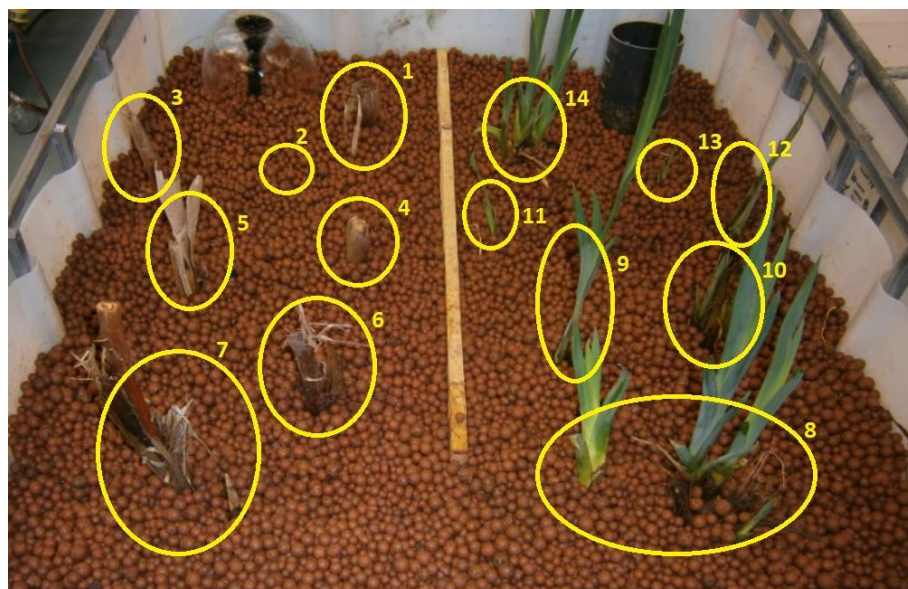


Foto 3.2: Indeling teeltbed met lisdodde (links) en gele lis (rechts)

3.6 Verbeteringen voor de inrichting van het systeem

In deze paragraaf wordt gekeken naar de ideale inrichting van het systeem rekening houdend met de randvoorwaarden uit paragraaf 3.5. Het systeem is ideaal als maximale zuivering kan plaatsvinden en als de planten ideale groeiomstandigheden hebben. Tot de inrichting wordt niet alleen het zichtbare gedeelte van het systeem gerekend, maar ook de onzichtbare delen: pH, temperatuur, EGV, zuurstof en nutriënten.

Voor tabel 3.5 zijn gegevens uit de voorgaande paragrafen en uit het interview met Bauke Hegeman gebruikt. Wanneer 'ongeveer' is ingevuld, is het onduidelijk wat de ideale waarde is. Wanneer 'onbekend' is ingevuld, ontbreken er gegevens. Wanneer de onbekende waarden nader worden onderzocht, kan een beter beeld worden verkregen waarop het systeem kan worden verbeterd.

Tabel 3.5: Vergelijking van de inrichting van het huidig systeem met ideale omstandigheden

	Ideaal	Huidig	Voldoet
Temperatuur (°C)	Tussen -3 en 20	± 17	Ja
EGV (µS/cm)	<1.689	200-1500*	Ja
pH	>5	6,5-8,7*	Ja
Licht	Direct zonlicht/ lichte schaduw	Rood met blauw licht	Ja
Dikte teeltbed (cm)	30 (niet wetenschappelijk onderzocht)	23	Ongeveer
Medium	Niet onderzocht	hydrocultuurkorrels	Onbekend
Waterstand	Vochtig tot nat	Vochtig tot nat	Ja
Voedingsstoffen	Macro- en micronutriënten	N, P, verder onbekend	Onbekend
Aantal planten	Ligt aan hoe lang de planten al in het systeem staan; voldoende groeiruimte	7 lisdodde + 7 gele lis	Ja
Tussenschot	Tot aan bodem, verder niet onderzocht	± 85 x 20 cm; van hout	Nee
Verblijftijd	Niet onderzocht	± 3,5 min.	Onbekend

*Deze waarden komen uit de resultaten, zie bijlage IIIa.

Wat betreft de zuurgraad, voor de groei van de lisdodde en gele lis is deze goed. Wanneer het niet geprefereerd wordt om stikstof te laten vervliegen door het strippen van ammonium, wordt aanbevolen de zuurgraad verder omlaag te brengen naar een blijvende pH van 7. Daarbij moet wel rekening worden gehouden met het EGV, aangezien de planten in zoetwater leven. De relatie tussen het EGV en pH staat uitgelegd in de afbakening van bijlage IIc op bladzijde xviii. De zuurgraad van het water kan ook omlaag worden gebracht met CO₂. Hoe deze methode werkt, is niet onderzocht. Bij het gebruik van CO₂ in plaats van een zoutzuuroplossing wordt het EGV naar verwachting niet negatief beïnvloed. Het EGV is voor de planten net laag genoeg.

Zowel de lisdodde als gele lis groeien onder zonnige omstandigheden. De zon bestaat uit wit licht, een combinatie van alle zichtbare kleuren. Hierin zit ook rood en blauw licht. Rood licht bevordert de groei, bloei en kleur van de plant en bevordert de aanmaak van chlorofyl. Blauw licht bevordert eveneens de groei, bloei en de aanmaak van chlorofyl (LTO Groeiservice, 2006). De lichtbak die nu boven het systeem hangt, is daarom ideaal voor de planten. De lichte schaduw voor de gele lis wordt alleen niet waar gemaakt. In hoeverre dit hinderlijk is voor deze plant, is niet bekend. De ideale

tijdsduur van het zonlicht op de planten in de natuur is ook niet onderzocht. De lichtbak staat twaalf uur aan en twaalf uur uit.

Het tussenschot voldoet niet geheel aan de ideale afmetingen. Het tussenschot wat nu in het systeem staat is niet op maat gemaakt, waardoor water er aan de onderkant en zijkant langs kan stromen. De bulk water wordt echter wel omgeleid. Wanneer het tussenschot op maat zou zijn, dan zou meer water langs de plantenwortels stromen. Dit kan invloed hebben op de mate van stikstofverwijdering.

De verblijftijd van het water wordt bepaald door het vermogen van de pomp en de hoeveelheid water in het systeem. De pomp laat een bepaalde hoeveelheid water per tijdseenheid in het systeem. De verblijftijd kan invloed hebben op de manier van zuiveren. Het zou bijvoorbeeld kunnen zijn dat wanneer het water langzamer stroomt, de planten meer stikstof op kunnen nemen. Over de verblijftijd kunnen nog veel onderzoeken worden gedaan voor optimalisatie van het systeem.

Woensdag 18 april heeft Bauke Hegeman het aquaponics systeem bezocht dat in dit onderzoek is gebruikt. Hij als kenner gaf aan dat voor een grote fluctuatie in waterstand de afvoer beter vacuüm moet gaan zuigen. Dit kan worden bereikt door het buisje dat op de afvoer staat plat af te zagen en de PVC buis die daar overheen komt aan de bovenkant luchtdicht af te sluiten. Dit beide was in het huidige systeem niet het geval. (Hegeman, 2018b) Of een grote fluctuatie van waterstand ten goede komt van de groei van de lisdodde en gele lis is niet onderzocht.

Wanneer het systeem geoptimaliseerd wordt, zal het systeem efficiënter en daardoor duurzamer gaan werken. Aan het begin van paragraaf 3.4 zijn voordelen voor People, Planet en Profit genoemd.

3.7 Deelconclusie hoe maximale zuivering kan worden bereikt

Doordat verschillende onderwerpen in dit hoofdstuk zijn behandeld, kan een antwoord worden gegeven op de eerste deelvraag: 'Hoe moet het beschikbare aquaponics systeem ingericht worden om maximale zuivering van stikstofrijk water te kunnen bereiken?'.

Stikstofverwijdering vindt plaats op drie manieren: door micro-organismen (biologische processen), door fysisch-chemische processen en door opname door planten. Voor maximale zuivering moeten de condities goed zijn voor deze zuiveringsmethoden. Het systeem met de inrichting zoals deze voor het onderzoek is gebruikt, voldoet voor een deel aan de ideale omstandigheden voor de plantengroei en waterzuivering. Voor de lisdodde en gele lis is de osmotische waarde, de zuurgraad, de temperatuur, het licht en de waterstand goed. Het nutriëntgehalte is onbekend. Voor biologische stikstofverwijdering en fysisch-chemische stikstofverwijdering (ammonium strippen) zijn de pH en temperatuur voor zover bekend ook geschikt. Voor micro-organismen is het voordelig dat in het aquaponics systeem gebruik is gemaakt van een medium, hydrocultuurkorrels.

Wanneer het huidige systeem wordt verbeterd, dan zal dit bijdragen aan de efficiëntie. Dit betreft duurzaamheid op het gebied van People, Planet en Profit. Verbeteringen kunnen plaatsvinden op onder andere het tussenschot. Daarnaast zijn nog factoren waarop geen onderzoek is uitgevoerd en die mogelijk verbeterd kunnen worden.

Het volgende hoofdstuk gaat in op stikstofverwijdering door de lisdodde en gele lis. Hierbij komen onder andere de nutriëntconcentraties van stikstof en fosfor in het systeem aan bod. Er zal dan worden gekeken of stikstof en fosfor in voldoende mate aanwezig zijn of dat de concentraties geoptimaliseerd kunnen worden voor een betere stikstofverwijdering.

4. Stikstofverwijdering door lisdodde en gele lis

In het vorige hoofdstuk is aan bod gekomen op welke manieren stikstofverwijdering plaats kan vinden en wat de optimale groeiomstandigheden zijn voor de lisdodde en gele lis. In dit hoofdstuk wordt hier verder op ingegaan. De deelvraag die wordt beantwoord, is deelvraag 2: 'Hoeveel stikstofverwijdering vindt in het aquaponics systeem plaats door de lisdodde en gele lis?' Om deze vraag te beantwoorden, worden experimenten uitgevoerd. Er zal onderzocht worden welke processen van stikstofverwijdering in het systeem plaatsvinden en in welke mate. In paragraaf 4.1 wordt de methode van de experimenten besproken. In paragraaf 4.2 worden de resultaten weergegeven. In paragraaf 4.3 wordt op de resultaten ingegaan door ze te analyseren. Als laatste wordt in paragraaf 4.4 in het kort een antwoord gegeven op de deelvraag.

4.1 Methode experimenten stikstofverwijdering

Voor de beantwoording van de deelvraag worden twee proefopstellingen gebruikt en worden meerdere metingen verricht. Als eerst wordt het aquaponics systeem gebruikt. Met dit systeem wordt gekeken of de lisdodde en gele lis onder dergelijke omstandigheden kunnen groeien en of stikstofverwijdering plaatsvindt. De andere proefopstelling is met emmers. Met deze emmers, de referentie-emmers, wordt gekeken op welke manier stikstofverwijdering plaatsvindt. Het stikstofgehalte kan op drie manieren worden verlaagd: omzetting door bacteriën, de biologische processen; door fysisch-chemische processen en door de opname door planten, zie ook paragraaf 3.3. Om te kunnen achterhalen in welke mate deze processen de stikstofverwijdering in het aquaponics systeem beïnvloeden, worden deze afzonderlijk van elkaar gemeten. De referenties met hun doelen gaan er als volgt uit komen te zien:

1. Emmer met stikstofrijk water + hydrocultuurkorrels uit aquaponics systeem → stikstofafname door biologische processen (opname door micro-organismen) toetsen
2. Emmer met stikstofrijk water → stikstofafname door fysisch-chemische processen (vervluchtiging van stikstof) toetsen
3. Emmers met stikstofrijk water + plant (lisdodde of gele lis) → stikstofafname door opname plant toetsen

De referentie bestaat dus uit vier emmers. Deze komen onder dezelfde omstandigheden naast elkaar te staan in het Water Applicatie Centrum (WAC).



Foto 4.1: Proefopstelling referentie-emmers

De waterkwaliteitsmetingen die worden gedaan zijn fysisch-chemische en chemische waterkwaliteitsmetingen. De fysisch-chemische parameters zijn: pH, EGV, temperatuur en O₂. De

chemische parameters zijn stikstof en fosfor. De parameters hebben invloed op elkaar en hebben allemaal te maken met in welke mate stikstofverwijdering plaatsvindt.

Om de experimenten te kunnen doen, zullen eerst de proefopstellingen worden gemaakt. In bijlage IIa staat hoe dit wordt gedaan voor het aquaponics systeem. In bijlage IIb staat dit uitgelegd voor de referentie-emmers. De proefopstelling van de referentie-emmers is op foto 4.1 te zien. In de bijlagen staat ook het verdere verloop van de uitvoering van de experimenten beschreven. De specifieke uitvoering van de fysisch-chemische en chemische experimenten staat uitgelegd in de bijlagen IIc en IId. Hierin staat hoe vaak een meting wordt uitgevoerd, wat de benodigde materialen hiervoor zijn en hoe de resultaten worden verkregen.

Elk van deze bijlage is ingericht in de vorm van 'benodigdheden' – 'methode' – 'afbakening'. De afbakening is nodig, omdat dit onderzoek binnen een bepaalde tijdsperiode wordt uitgevoerd.

De metingen zullen op meerdere dagen worden uitgevoerd, in totaal vijf weken achter elkaar: in de eerste week een nulmeting en vervolgens vier weken achter elkaar vervolgmetingen. De nulmeting is van belang om bij te kunnen houden of veranderingen plaatsvinden. Op de dagen van het uitvoeren van de metingen zullen ook foto's van het aquaponics systeem/emmers worden gemaakt. Deze foto's kunnen later ter ondersteuning van de resultaten worden gebruikt. De waterstand en het volume water worden bijgehouden om de verdamping te kunnen berekenen. De verdamping heeft invloed op de stikstof- en fosforconcentratie. Alle metingen zullen in het chemisch laboratorium in het WAC worden gedaan.

Door de resultaten in tabellen en grafieken weer te geven, kunnen de resultaten worden geanalyseerd. Door het maken van verschillende berekeningen kan vervolgens een beeld worden gegeven van welk proces of welke plant de meeste stikstof heeft verwijderd.

4.2 Resultaten experimenten stikstofverwijdering

Gedurende de onderzoeksperiode zijn vele resultaten verkregen. In dit hoofdstuk staan de belangrijkste resultaten voor de beantwoording van de tweede deelvraag. In bijlage IIIa staan de uitgebreidere tabellen met resultaten. In deze paragraaf worden eerst de resultaten van de waterstand en het volume water weergegeven. Daarna worden de resultaten van de chemische en fysisch-chemische metingen weergegeven. Er wordt verschillende keren over 'dagen' gesproken. In de tabel hieronder staat welke dag met welke datum overeenkomt.

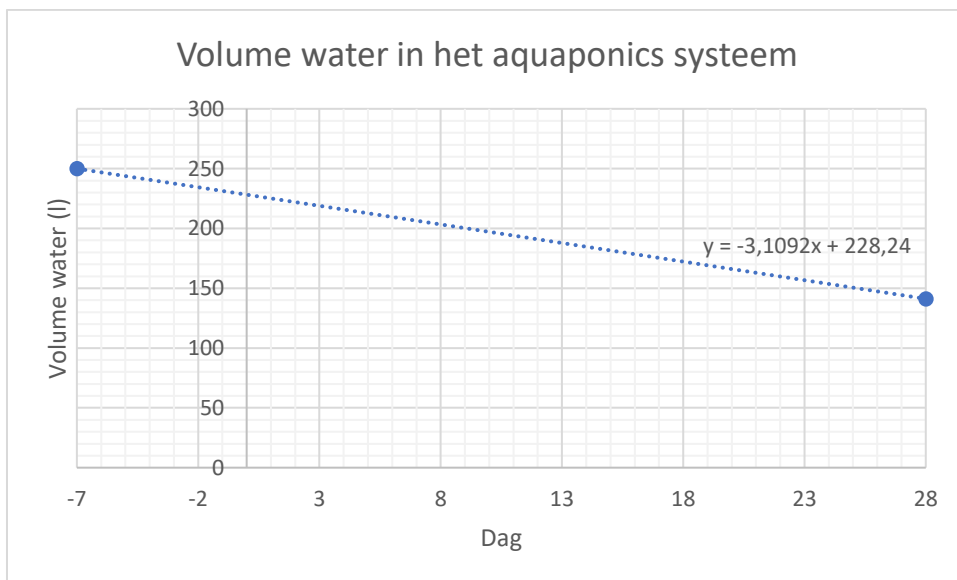
Tabel 4.1: Dagen en data van handelingen; waterkwaliteitsmeting = N-totaal, P-totaal, pH, T, EGV en O₂

Dag	Aquaponics systeem		Referentie-emmers	
	Datum	Handeling	Datum	Handeling
-7	13-3-2018	Inlaat van 250 l water		
0	20-3-2018	0-meting P, pH, T, EGV en O ₂	22-3-2018	Opbouw proefopstelling + 0-meting pH, T, EGV en O ₂ + bepaling volume water
2	22-3-2018	0-meting N		
7	27-3-2018	Waterkwaliteitsmeting 1	29-3-2018	Waterkwaliteitsmeting 1
14	3-4-2018	Waterkwaliteitsmeting 2	5-4-2018	Waterkwaliteitsmeting 2
21	10-4-2018	Waterkwaliteitsmeting 3	12-4-2018	Waterkwaliteitsmeting 3
28	17-4-2018	Waterkwaliteitsmeting 4 + bepaling volume water	19-4-2018	Waterkwaliteitsmeting 4 + bepaling volume water

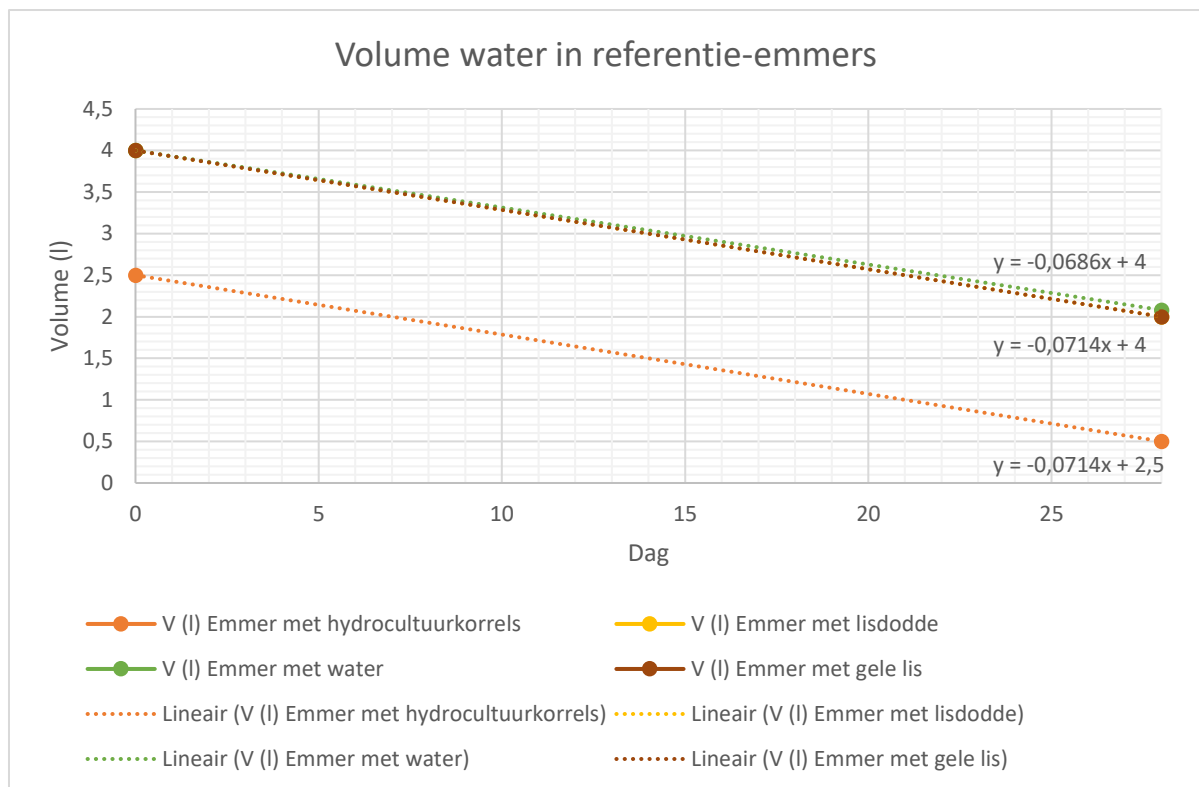
Waterstand en volume water

Gedurende de onderzoeksperiode is water verdampt. Daardoor komt in verhouding een steeds hogere concentratie nutriënten in het systeem. De verdamping is niet in elke emmer gelijk en de verdamping is in het aquaponics systeem groter. Om de vracht van stikstof en fosfor in het aquaponics systeem en de emmers met elkaar te kunnen vergelijken, is het volume water nodig. Het volume is in de figuren 4.1 en 4.2 weergegeven.

Van zowel het aquaponics systeem als van de emmers was het begin- en eindvolume bekend. Er is uitgegaan van een lineair verloop. Dit houdt in dat in elke week eenzelfde hoeveelheid water verdampt zou zijn. In het aquaponics systeem is het begin- en eindvolume water bepaald aan de hand van de waterstand en de oppervlakte. De waterstand was op dag -7 25,5 cm en op dag 28 14,4 cm. Aangezien de waterpomp ook ruimte inneemt en de bak stompe hoeken heeft, wordt het beginvolume water geschat op 250 l. Het volume water in de emmers is bepaald aan de hand van bekersglazen.



Figuur 4.1: Volume water in het aquaponics systeem ten gevolge van verdamping



Figuur 4.2: Volume water in de referentie-emmers ten gevolge van verdamping; V = Volume. De bruine en gele lijn geven dezelfde volumes weer, waardoor de gele lijn niet zichtbaar is.

(Fysisch-)chemische resultaten

Met de gemeten waarden van N-totaal en P-totaal en met het volume water kan de vracht van de stoffen worden berekend. In tabel 4.2 en tabel 4.3 staan hiervan de resultaten. Van slechts twee dagen zijn resultaten van P-metingen in de referentie-emmers bekend, zie ook 'Aantal P-metingen' in de afbakening van bijlage IId. Bij de rendementen in tabel 4.2 staan meerdere keren negatieve getallen. De stikstof-/fosforconcentratie is in deze gevallen toegenomen. Dit kan onder andere verdamping van water als oorzaak hebben, zie ook 'Waterstand en volume water' op de vorige bladzijde.

Tabel 4.2: Gegevens voor het bepalen van de stikstof- en fosfortotaalvracht;

Opstelling	Aquaponics systeem	Emmer water	Emmer hydrocultuurkorrels	Emmer lisdodde	Emmer gele lis
Volume (l)					
Dag 0	228,2	4	2,5	4	4
Dag 2	222	X	X	X	X
Dag 7	206,5	3,5	2	3,5	3,5
Dag 14	184,7	3	1,5	3	3
Dag 21	162,9	2,6	1	2,5	2,5
Dag 28	141,2	2,1	0,5	2	2
[N] (mg/l)					
Dag 0	X	27,45	27,45	27,45	27,45

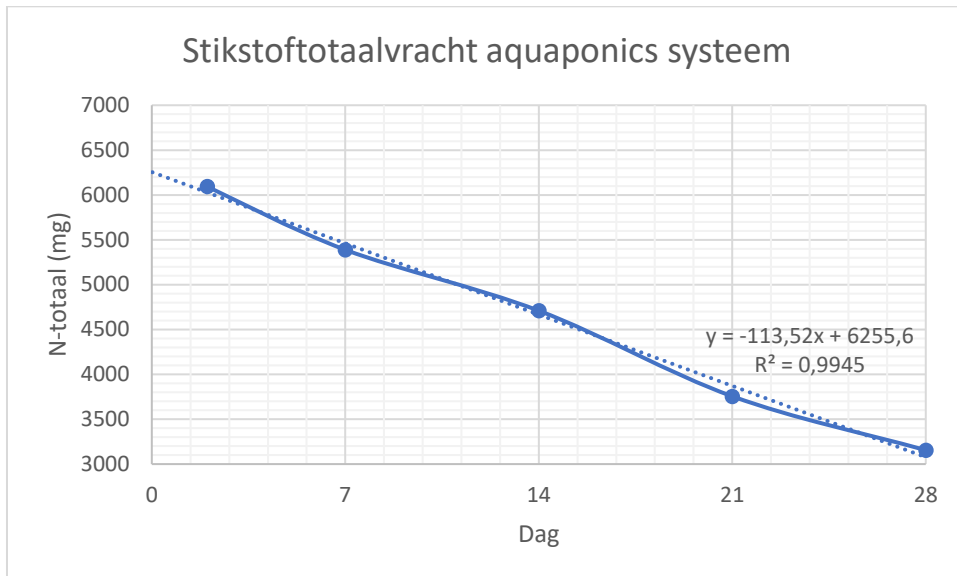
Dag 2	27,45	X	X	X	X
Dag 7	26,10	31,30	30,15	28,55	22,85
Dag 14	25,50	33,70	31,20	28,10	16,60
Dag 21	23,05	35,75	37,00	30,80	11,10
Dag 28	22,35	38,30	37,30	33,90	5,79
Rendement (%) N-verwijdering	18,6	-39,5	-35,9	-23,5	78,9
[P] (mg/l)					
Dag 0	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08
Dag 2	X	X	X	X	X
Dag 7	2,19	X	X	X	X
Dag 14	2,08	X	X	X	X
Dag 21	1,87	X	X	X	X
Dag 28	1,88	1,04	4,89	1,28	0,46
Rendement (%) P-verwijdering	9,6	50,0	-135,1	38,5	77,9

Tabel 4.3: Stikstof- en fosfortotaalvrucht; de vrucht is berekend aan de hand van de niet-afgeronde getallen uit bijlage IIIa

Opstelling	Aquaponics systeem	Emmer water	Emmer hydrocultuurkorrels	Emmer lisdodde	Emmer gele lis
N_{vrucht} (mg)					
Dag 0	X	109,8	68,6	109,8	109,8
Dag 2	6094,4	X	X	X	X
Dag 7	5388,9	110,2	60,3	99,9	80,0
Dag 14	4710,1	102,5	46,8	84,3	49,8
Dag 21	3755,8	91,5	37,0	77,0	27,8
Dag 28	3155,3	79,7	18,7	67,8	11,6
% afname	48,2	27,4	72,8	38,3	89,5
P_{vrucht} (mg)					
Dag 0	473,6	8,3	5,2	8,3	8,3
Dag 2	X	X	X	X	X
Dag 7	452,2	X	X	X	X
Dag 14	384,2	X	X	X	X
Dag 21	303,9	X	X	X	X
Dag 28	264,7	2,2	2,4	2,6	0,9
% afname	44,1	74,0	52,9	69,2	88,9

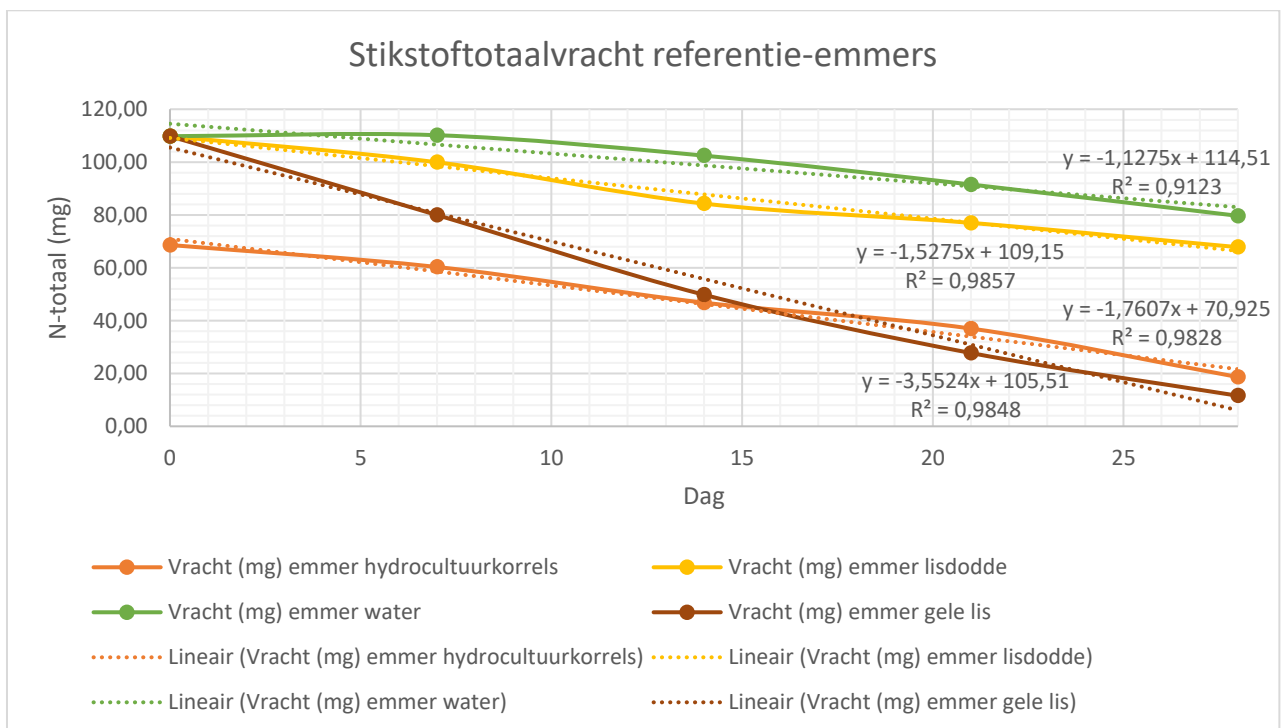
In figuur 4.3 is het verloop van de stikstofvrucht in het aquaponics systeem te zien. Kijkend naar de lijn in de grafiek is er sprake van een lineaire afname van stikstof. De R^2 in de grafiek geeft namelijk aan dat 99,45% van de y-waarden wordt verklaard door de x-waarden. Vaak wordt het percentage

van 95% aangehouden om te kunnen zeggen of de y-waarden door de x-waarden worden verklaard. (Hilbrants & Vries, 2012) Uit de richtingscoëfficiënt van de grafiek blijkt dat het stikstofgehalte gemiddeld elke dag met 113,52 mg afneemt.



Figuur 4.3: Verloop van de stikstoftotaalvracht in het aquaponics systeem

In figuur 4.4 is het verloop van de stikstoftotaalvracht in de referentie-emmers te zien. Bij drie referentie-emmers is te zeggen dat de stikstofconcentratie lineair afloopt, de R^2 is groter dan 95%. In de referentie-emmer met water wordt 91,23% van de y-waarden verklaard door de x-waarden. Omdat de andere referentie-emmers een lineaire afloop hebben, wordt dit ook aangenomen voor de emmer met water.



Figuur 4.4: Verloop van stikstoftotaalvracht in de referentie-emmers.

Bij de referentie-emmers is de beginconcentratie van stikstof en fosfor gelijk aan die van het aquaponics systeem. De referentie-emmers zijn namelijk gemaakt vlak nadat de concentraties in het aquaponics systeem waren gemeten. De vracht verschilt op dag 0 echter wel, doordat het volume water verschilt.

Uit de richtingscoëfficiënten van de lijnen blijkt dat in de emmer met gele lis per dag de meeste stikstof is verwijderd, namelijk 3,55 mg.

In tabel 4.4 zijn de percentages van stikstofverwijdering overzichtelijk weergegeven. Na de emmer met gele lis is in de emmer met hydrocultuurkorrels de meeste stikstof verwijderd. In de emmer met water is de minste stikstof verwijderd.

Tabel 4.4: Percentage stikstofverwijdering

	N-verwijdering (%)
Aquaponics systeem	48,2
Emmer met hydrocultuurkorrels	72,8
Emmer met water	27,4
Emmer met lisdodde	38,3
Emmer met gele lis	89,5

Naast de chemische metingen zijn fysisch-chemische metingen gedaan: pH, temperatuur, EGV en zuurstof. In tabel 4.5 staan de resultaten. De uitgebreide resultaten zijn in bijlage IIIa weergegeven. In deze bijlage staan ook enkele grafieken van 24-uursmetingen waarin fysisch-chemische resultaten van het aquaponics systeem afgelezen kunnen worden.

Bij elk proces van stikstofverwijdering is de zuurgraad belangrijk. Het strippen van ammonium vindt bijvoorbeeld plaats bij een pH boven de 7 als de temperatuur 20 °C is, zie figuur 3.2 op bladzijde 9. Gedurende de onderzoeksperiode is op verschillende tijdstippen zoutzuuroplossing toegevoegd om het ammonium strippen te verminderen. Dit heeft als resultaat dat de pH niet constant is. Het grootste gedeelte van de tijd zat de pH tussen de 7 en 8,5.

Tabel 4.5: Fysisch-chemische resultaten in het aquaponics systeem en in de referentie-emmers

	pH	T (°C)	EGV (μS/cm)	Gemiddeld O ₂ (mg/l)
Aquaponics systeem	7-8,5	± 17	750 – 1200	7,44
Emmer met hydrocultuurkorrels	7-8,5	16,6 – 20,4	400 – 2100	6,79
Emmer met water	7-8,5	16,6 – 20,9	400 – 1500	9,34
Emmer met lisdodde	7-8,5	16,6 – 20,8	400 – 1500	7,91
Emmer met gele lis	7-8,5	16,6 – 20,7	400 – 1500	6,91

De gemiddelde zuurstofconcentraties zullen worden gebruikt bij de analyse van fysisch-chemische factoren op biologische processen. Omdat de zuurstofgehalten in het systeem en de emmers redelijk in de buurt van elkaar liggen, is het eenvoudiger om met gemiddelden te werken. Hierdoor kunnen

de emmers en het aquaponics systeem met elkaar worden vergeleken. Bij de emmer met water is het opvallend dat bij de laatste meting een zuurstofgehalte van 11 mg/l is gemeten. De temperatuur lag namelijk boven de 20 °C. Bij deze temperatuur kan maximaal 9,5 mg/l zuurstof in het water worden opgelost (Lenntech, 2018c). Als gevolg is het gemiddelde zuurstofgehalte in deze emmer hoger dan in de andere emmers.

Door het toedienen van HCl-25%-oplossing op verschillende dagen, schommelt de pH heen en weer. Een verlaging van de zuurgraad en een verhoging van het EGV is het gevolg van handmatige toediening van zoutzuuroplossing. Doordat water verdampt, kan de pH ook veranderen en het EGV toenemen. De relatie tussen het toedienen van zoutzuuroplossing en de EGV is genoemd in bijlage IIc op bladzijde xviii. Waardoor de pH weer toeneemt, is niet onderzocht. Het zou te maken kunnen hebben met de andere nutriënten die aanwezig zijn en met bacteriële activiteit. In bijlage IIIa staan tabellen met het verloop van de pH in de referentie-emmers gedurende de tijd.

Het EGV is in de loop der tijd in alle emmers gestegen. In de emmer met hydrocultuurkorrels zat het EGV op dag 28 rond 2100 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Deze waarde valt niet meer in de klasse 'zoetwater', maar in de klasse 'licht brakwater'.

4.3 Analyse van de resultaten

Voor de analyse van de resultaten zijn de resultaten uit paragraaf 4.2 en bijlage IIIa gebruikt.

Daarnaast zijn literatuurgegevens uit hoofdstuk 3 gebruikt. Deze paragraaf is onderverdeeld in twee sub-paragrafen: 4.3.1 en 4.3.2. In de eerste sub-paragraaf worden de resultaten van de emmers geanalyseerd en in de tweede de resultaten van het aquaponics systeem. Allereerst zal in beide sub-paragrafen het aandeel van de processen/planten in de stikstofverwijdering worden beschreven. Vervolgens wordt de invloed van chemische factoren op de stikstofopname door planten besproken. Daarna wordt de invloed van fysisch-chemische factoren op de stikstofopname door planten en op fysisch-chemische en biologische processen besproken. In sub-paragraaf 4.3.1 worden dan nog de verhoudingen van processen ten opzichte van elkaar besproken. Beide sub-paragrafen eindigen met een conclusie over stikstofverwijdering door processen en planten.

4.3.1 Stikstofverwijdering in de referentie-emmers

Aandeel van processen/planten in stikstofverwijdering

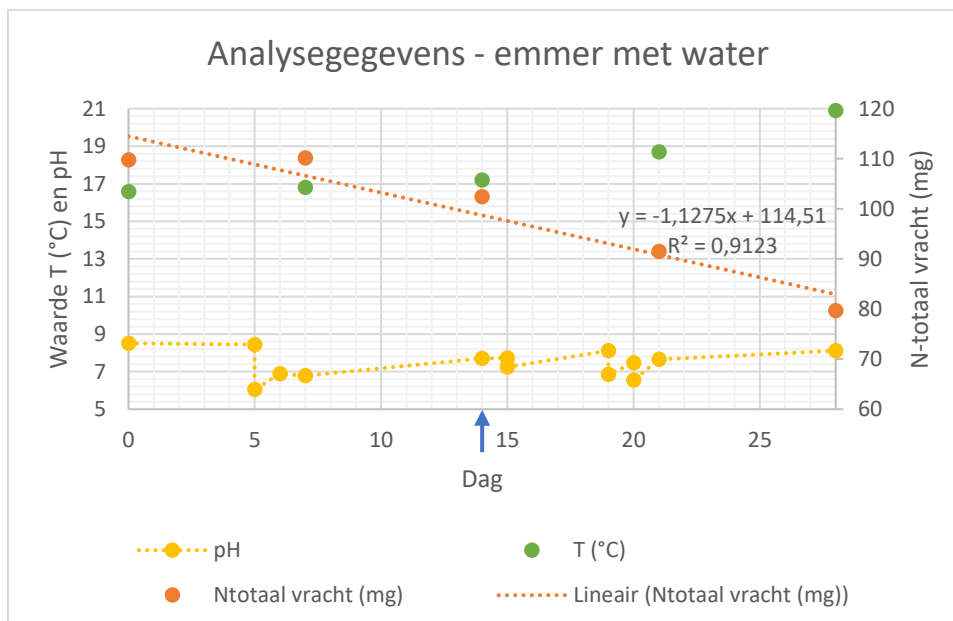
Fysisch-chemische versus biologische stikstofverwijdering

In de emmer met water is de minste stikstof verwijderd. Met deze emmer was het doel te kijken of fysisch-chemische stikstofverwijdering plaatsvindt in de vorm van vervluchtiging naar de lucht. In deze emmer is een slijmerige laag van micro-organismen (biofilm) ontstaan, dit is op de foto's 4.2 en 4.3 op bladzijde 28 te zien. De stikstof die is verwijderd, kan daarom niet geheel toegeschreven worden aan fysisch-chemische processen.

In de emmer met hydrocultuurkorrels is daarentegen wel veel stikstof verwijderd. Deze emmer had als doel om biologische zuivering aan te tonen. Door het grote oppervlak biedt het voor de micro-organismen veel groeiruimte. Echter, in deze emmer is het waarschijnlijk dat stikstof ook is verwijderd door fysisch-chemische processen. Het oppervlak van hydrocultuurkorrels is zeer groot. Door capillaire werking wordt het stikstofrijke water omhoog getrokken. Hierdoor kan zowel veel water als veel stikstof de lucht in vervliegen. Op de volgende twee bladzijden volgen uitspraken die gedaan kunnen worden over biologische en fysisch-chemische processen. Voor deze uitspraken zijn de resultaten gebruikt. Ter ondersteuning zijn figuren weergegeven. De pH-waarden zijn verbonden met stippellijnen. Dit is om een beeld te krijgen van het verloop van de pH. Het zou kunnen zijn dat de pH tussen de punten niet in een rechte lijn verloopt, maar in een kromme lijn. Hier is verder geen onderzoek naar gedaan.

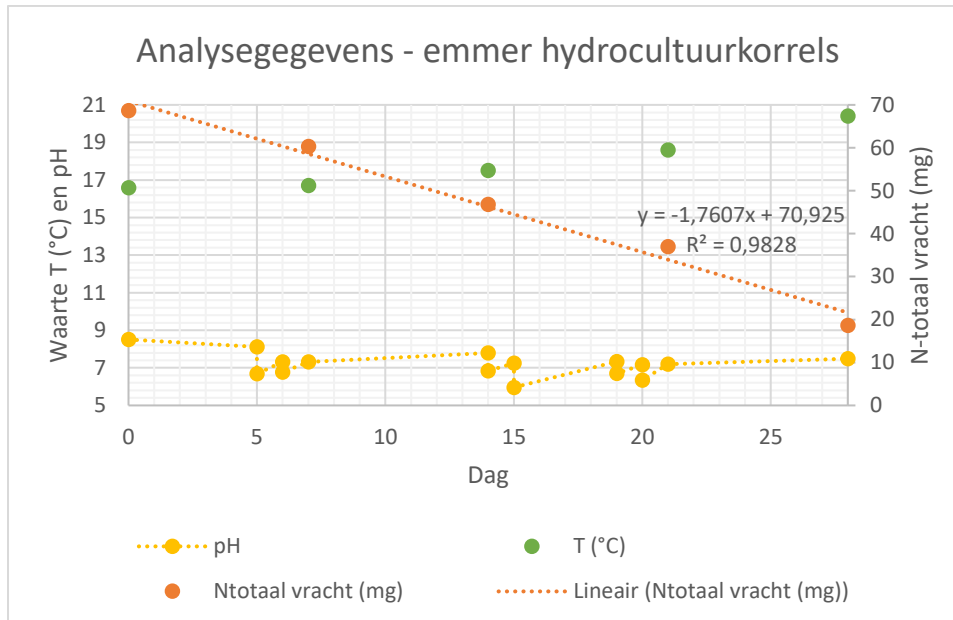
Alleen op de meetdagen is gekeken of een biofilm aanwezig was. Het kan dus goed zijn dat de biofilm al enkele dagen eerder zichtbaar aanwezig was.

- Het verloop van de pH en de temperatuur komt in de emmers redelijk overeen. De temperatuur was gunstig voor zowel het strippen van ammonium als voor de micro-organismen. De invloed van pH en temperatuur op ammonium strippen is te zien in figuur 3.2 op bladzijde 9.
- Bacteriën groeien onder optimale omstandigheden exponentieel (Voedingscentrum, 2018). Er is geen duidelijke exponentiële afname van stikstof waargenomen. Dit kan te maken hebben met dat het onderzoek in een korte tijd is uitgevoerd en dat de aangroei van biofilm nog in volle gang was.
- Emmer met water; de fysisch-chemische resultaten zijn in figuur 4.5 tegen elkaar uitgezet:
 - ➔ In de eerste week is geen afname van stikstof gemeten. De oorzaak hiervan is onbekend. Het zou inhouden dat geen biologische processen en geen fysisch-chemische processen hebben plaatsgevonden. De pH was echter rond de 8,5 wat gunstig is voor het strippen van ammonium, zie ook figuur 3.2 op bladzijde 9. In de andere emmers waren de omstandigheden ongeveer gelijk aan de omstandigheden in deze emmer, maar in de andere emmers is wel stikstof verwijderd. Het verschil met de andere emmers is dat in de emmer met water geen hydrocultuurkorrels of planten zaten. Hydrocultuurkorrels zorgen voor een groot groei-oppervlak voor micro-organismen. Dit zou een reden kunnen zijn dat in de emmer met hydrocultuurkorrels wel stikstof is verwijderd in de eerste week. In de emmers met planten zou stikstof verwijderd kunnen zijn doordat planten stikstof opgenomen hebben.
 - ➔ Tussen dag 7 en 14 is het stikstofgehalte wel afgenomen, terwijl de pH niet zo gunstig was voor het strippen van ammonium als de week ervoor. De pH lag tussen de 6,7 en 7,7. Mogelijk spelen micro-organismen een rol in de stikstofverwijdering. De biofilm kan eerder zichtbaar geweest zijn dan op dag 14.
 - ➔ Tussen dag 14 en 21 is het stikstof iets sterker afgenomen dan in de week ervoor. De temperatuur was gemiddeld hoger en er was een zichtbare biofilm aanwezig.



Figuur 4.5: pH, temperatuur en stikstoftotaalvracht van de emmer met water; de blauwe pijl geeft de dag aan waarop een zichtbare biofilm aanwezig was

- ➔ In de laatste week is de pH voortdurend boven de 7,6 gebleven, was de temperatuur hoger en was de biofilm groter. Echter, in deze week is niet veel meer stikstof afgenomen dan in de week ervoor.
- Emmer met hydrocultuurkorrels; de fysisch-chemische resultaten zijn in figuur 4.6 tegen elkaar uitgezet:



Figuur 4.6: pH, temperatuur en stikstoftotaalvracht van de emmer met hydrocultuurkorrels

- ➔ In de tweede week was de pH lager en de temperatuur hoger dan in de eerste week, maar in de tweede week is wel meer stikstof verwijderd. Stikstofverwijdering door micro-organismen kan hier onder andere een rol in spelen.
- ➔ In de derde week, tussen dag 14 en 21, lag een groot deel van de tijd de pH onder de 7, toch heeft stikstofverwijdering plaatsgevonden. Dit kan onder andere door micro-organismen zijn gebeurd. Dat in deze week het stikstofgehalte minder snel is afgenomen, kan ook wijzen op het feit dat in de andere weken het strippen van ammonium in hogere mate plaatsvond.
- ➔ In de laatste week is de meeste stikstof afgenomen. De pH was niet heel hoog, tussen de 7,2 en 7,5, maar de temperatuur is wel toegenomen. Dit draagt ook bij aan het strippen van ammonium, zie figuur 3.2 op bladzijde 9. Ook wordt verwacht dat het aantal micro-organismen toegenomen is en dat dit invloed heeft gehad op de stikstofafname.

In bovenstaande uitspraken zitten enkele tegenstrijdigheden. Als de pH bijvoorbeeld gunstig was voor het strippen van ammonium en gunstiger was dan de week ervoor, kon toch een lagere stikstofverwijdering hebben plaatsgevonden.

Naast dat stikstof door het strippen van ammonium en door micro-organismen is verwijderd, kan het ook door andere processen zijn verwijderd. Hierbij valt te denken aan adsorptie en sedimentatie. Voordat metingen zijn verricht, is een poging gedaan om het water te mengen met een bekersglas. In de emmer met hydrocultuurkorrels kon dit niet met een bekersglas, maar daarin is het water gemengd door de emmer te schudden. Het kan voorgekomen zijn dat het water niet goed genoeg was gemengd. Voordat de metingen verricht zijn, is het water niet met een membraan gefiltreerd. Hierdoor kunnen ook enkele afwijkende waarden zijn gemeten.

Het valt niet met duidelijkheid te zeggen welk proces, fysisch-chemisch of biologisch, het meest heeft plaatsgevonden. De verwachting is dat fysisch-chemische processen een grotere stikstofverwijdering voor hun rekening hebben. Er is namelijk geen exponentiële afname van stikstof waargenomen, de bacteriën zaten nog in de groeifase. De pH was niet altijd gunstig voor het strippen van ammonium, maar de fysisch-chemische processen adsorptie en sedimentatie hebben ook plaats kunnen vinden.

Om een duidelijke uitspraak te kunnen doen over welk proces in hogere mate plaatsvindt, zijn meer resultaten nodig en ook meer/andere proefopstellingen. In de emmer met hydrocultuurkorrels hebben naar verwachting beide processen in een hogere mate plaatsgevonden dan in de emmer met water, omdat een grotere oppervlakte blootgesteld is aan de lucht.



Foto 4.2: Micro-organismen in emmer met water, 22 maart 2018

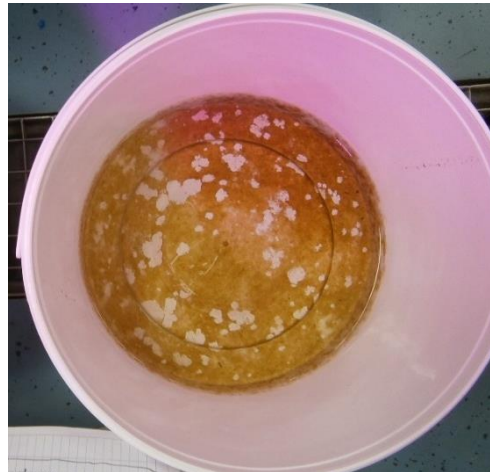
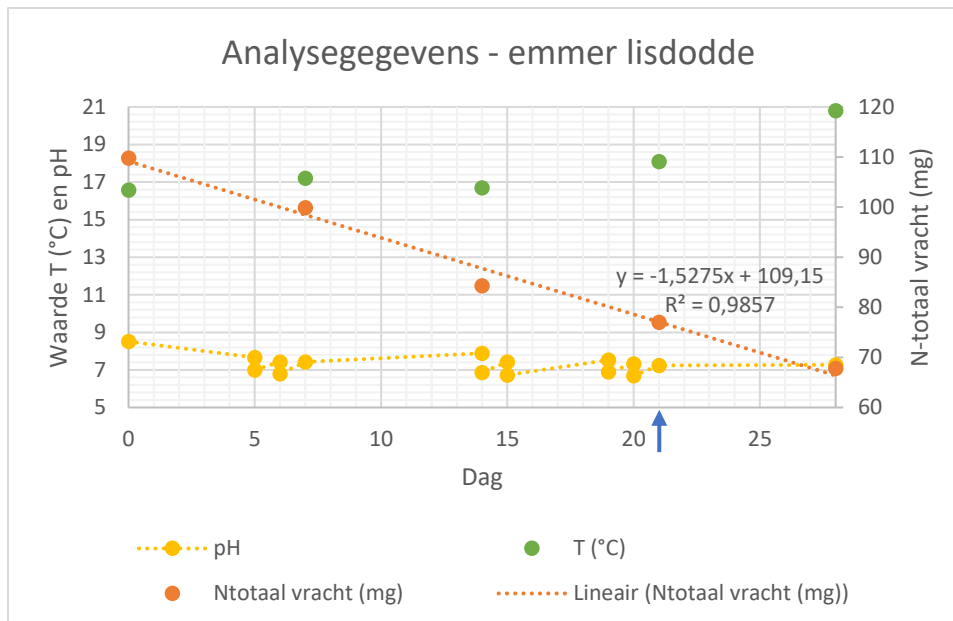


Foto 4.3: Micro-organismen in emmer met water, 19 april 2018

Stikstofverwijdering in de emmers met planten

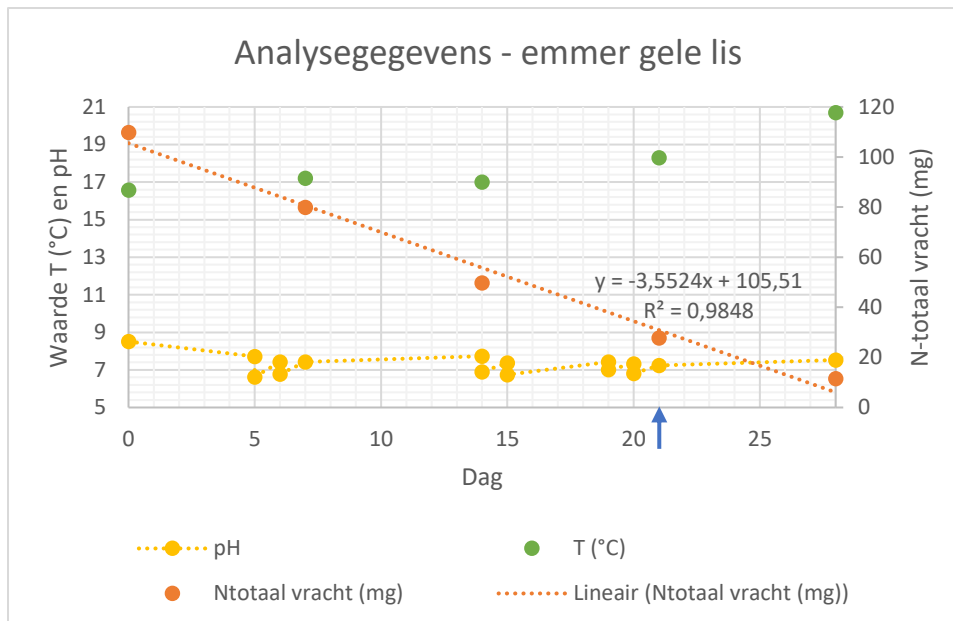
In de emmers met planten heeft ook biologische en fysisch-chemische stikstofverwijdering plaats kunnen vinden. Hieronder en op de volgende bladzijde volgen uitspraken die gedaan kunnen worden over de processen in de emmers met planten. Voor deze uitspraken zijn de resultaten gebruikt. Ter ondersteuning zijn figuren weergegeven. Alleen op de meetdagen is gekeken of een biofilm aanwezig was. Het kan dus goed zijn dat de biofilm al enkele dagen eerder zichtbaar aanwezig was.

- Het verloop van de pH en de temperatuur komt in de emmers redelijk overeen. De temperatuur was gunstig voor zowel het strippen van ammonium als voor de micro-organismen. De invloed van pH en temperatuur op ammonium strippen is te zien in figuur 3.2 op bladzijde 9.
- Bacteriën groeien onder optimale omstandigheden exponentieel (Voedingscentrum, 2018). Er is geen exponentiële afname van stikstof waargenomen. Dit kan te maken hebben met dat het onderzoek in een korte tijd is uitgevoerd en dat de aangroei van biofilm nog in volle gang was.
- Door de groei van planten zou de opname van nutriënten exponentieel toe moeten nemen (Nie, et al., 2017). Er is geen exponentiële afname van stikstof waargenomen.
- Emmer met lisdodde; de fysisch-chemische resultaten zijn in figuur 4.7 tegen elkaar uitgezet:



Figuur 4.7: pH, temperatuur en stikstoftotaalvrucht van de emmer met lisdodde; de blauwe pijl geeft de dag aan waarop een zichtbare biofilm aanwezig was

- ➔ Vanaf dag 21 was een zichtbare biofilm aanwezig. Het stikstofgehalte is daarna iets sterker afgenomen, maar tussen dag 7 en 14 vond ook een sterke afname van stikstof plaats.
- ➔ Tussen dag 7 en 14 is een sterkere afname van stikstof waargenomen dan in de week ervoor, terwijl de pH in de eerste week gunstiger was voor het strippen van ammonium.
- ➔ Tussen dag 14 en 21 is het stikstofgehalte minder snel afgenomen dan in de week ervoor, de pH was lager wat een oorzaak zou kunnen zijn. Echter, de temperatuur was hoger.
- ➔ In de laatste week was de pH constant, maar lager dan in de week tussen dag 7 en 14. Het stikstofgehalte is hier ook naar: er is meer stikstof afgenomen tussen dag 7 en 14 april. De temperatuur was in de laatste week echter wel enkele graden hoger.
- Emmer met gele lis; de fysisch-chemische resultaten zijn in figuur 4.8 tegen elkaar uitgezet:
 - ➔ Vanaf dag 21 was een zichtbare biofilm aanwezig. Bij het stikstofgehalte is niets opvallends, eerder ging het stikstofgehalte sterker omlaag.
 - ➔ Op het moment dat de pH gunstig was voor het strippen van ammonium, is ook veel stikstof verdwenen. Dit was vooral in de eerste twee weken het geval. De temperatuur was echter in de laatste weken het gunstigst.



Figuur 4.8: pH, temperatuur en stikstoftotaalvrucht van de emmer met gele lis; de blauwe pijl geeft de dag aan waarop een zichtbare biofilm aanwezig was

Ook in deze emmers is het met behulp van de resultaten moeilijk te zeggen welk proces het meest heeft plaatsgevonden. Hiervoor is meer onderzoek nodig. Opvallend is wel dat in de emmer met gele lis meer stikstof is verwijderd dan in de emmer met lisdodde, zie ook onder het kopje 'Invloed van chemische factoren op stikstofopname door planten' op bladzijde 31. Bij deze emmers geldt ook dat tegenstrijdigheden waargenomen zijn; dat het water voor de metingen was gemengd, maar dat dit niet voldoende had kunnen zijn en dat het water voor de metingen niet was gefiltreerd.

Wat het aandeel van fysisch-chemische en biologische processen betreft, kunnen de emmers met planten vergeleken worden met de emmer met water. De processen spelen een kleine rol in de stikstofverwijdering. Wanneer het percentage stikstofverwijdering in de emmer met water van het percentage in de emmers met planten wordt afgetrokken, dan zou een aanname gemaakt kunnen worden van het percentage stikstof dat door planten is opgenomen, zie tabel 4.6.

Tabel 4.6: Aanname stikstofopname door planten

	N-verwijdering in emmer met plant (%)	N-verwijdering in emmer met water (%)	N-opname door plant (%)
Lisdodde	38,3	27,4	10,9
Gele lis	89,5	27,4	62,1

In de emmers met planten was de biofilm niet zo duidelijk als in de emmer met water. De wortels van de planten bieden echter ook oppervlak voor de groei van micro-organismen. Voor het maken van tabel 4.6 is uit gegaan van dat de biologische en fysisch-chemische processen in de drie genoemde emmers gelijk zijn.

Dat de planten stikstof uit het water hebben opgenomen wordt verwacht op basis van de groei van de planten. Op de foto's 4.4 tot 4.6 is de groei van de lisdodde en gele lis te zien die ze tijdens het experiment doorgemaakt hebben. De planten hebben stikstof nodig voor hun groei, zie paragraaf

3.4. De planten hebben geen stikstof uit de lucht opgenomen, aangezien ze geen stikstofbindende bacteriën bevatten en geen fotochemische stikstoffixatie heeft plaatsgevonden.

Op de foto's is te zien dat de gele lis veel meer bladeren heeft dan de lisdodde. Om deze reden zou het transport van nutriënten van de wortelstok naar de bladeren in de gele lis groter geweest kunnen zijn dan in de lisdodde. Dat de gele lis meer stikstof heeft opgenomen dan de lisdodde kan hier een verband mee hebben. Het is bekend dat de gele lis veel stikstof opneemt, zie ook de alinea over 'Invloed van chemische factoren op de stikstofopname door planten' hieronder (Keizer-Vlek, Verdonschot, Verdonschot, & Dekkers, 2013a).

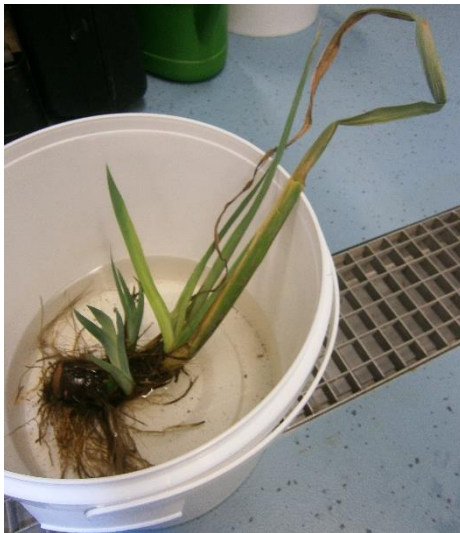


Foto 4.4: Gele lis, dag 0



Foto 4.5: Lisdodde, dag 0

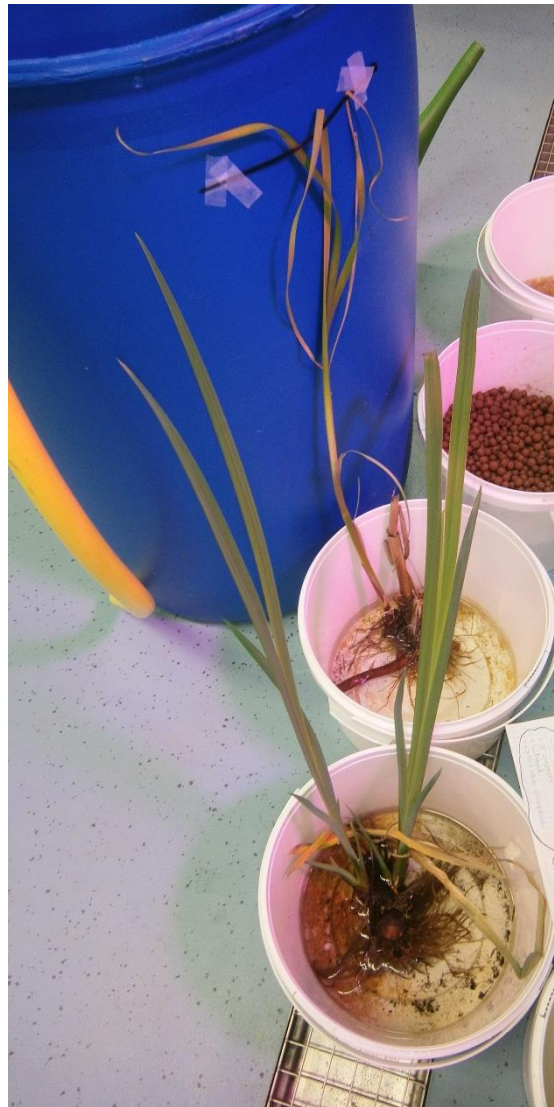


Foto 4.6: Gele lis (voor) en lisdodde (achter), dag 28

Invloed van chemische factoren op stikstofopname door planten

In tabel 4.7 is een vergelijking met een ander onderzoek opgenomen over de stikstofopname door de gele lis. In dat onderzoek werd door de kleine lisdodde minder stikstof verwijderd dan door de gele lis (Keizer-Vlek, Verdonschot, Verdonschot, & Dekkers, 2013a).

Tabel 4.7: Vergelijking hoeveelheid stikstof en fosfor in dit onderzoek met het onderzoek 'Floatlands veelbelovend als waterzuiveraar in stadswateren' (Keizer-Vlek, Verdonschot, Verdonschot, & Dekkers, 2013a)

	Verwijderd stikstof door gele lis (%)	N:P-verhouding (mg/l)
Onderzoek 'Floatlands'	74%	16:1
Dit onderzoek	62,1%	13:1

Volgens deze tabel zou meer stikstof aanwezig mogen zijn in dit onderzoek, maar zowel stikstof als fosfor waren in hoge mate aanwezig. In slootwater komt stikstof in gehalten rond 5 mg/l voor en fosfor in gehalten rond 0,2 mg/l (RIVM, 2017) (RIVM, Fosfor, 2012). De omstandigheden waarin de gele lis zich verkeerde in het onderzoek over Floatlands is niet exact bekend. Dit houdt in dat bij dat onderzoek planten gebruikt kunnen zijn waarbij het wortelstelsel vele malen groter is dan in dit onderzoek. Ook kan het zijn dat de planten al enige tijd in de opstelling stonden, waardoor ze beter waren gevestigd. Onder andere door deze redenen zou een hoog percentage verwijderd stikstof bereikt kunnen zijn. Wanneer de omstandigheden voor de gele lis in de referentie-emmer optimaal zouden zijn, dan zou het percentage van 74% wellicht dichter benaderd kunnen worden.

Een reden voor het feit dat meer stikstof is verwijderd in de emmer met de gele lis dan in de emmer met lisdodde, zou kunnen zijn dat de gele lis over het algemeen genomen meer stikstof opneemt dan de lisdodde. In de emmer met de lisdodde waren de zuurgraad, temperatuur, zuurstofgehalte en EGV gelijkwaardig met de emmer waarin de gele lis stond. De N:P-verhouding in de emmer met de lisdodde was aan het begin 13,2 : 1 en aan het eind 26,5 : 1. Kijkend naar de verhouding 26,5 : 1 dan zou de plant mogelijk meer stikstof op kunnen nemen als meer fosfor beschikbaar is. Ook in deze emmer geldt dat stikstof en fosfor in voldoende mate aanwezig waren. Mogelijk kunnen andere factoren een belemmerende rol spelen voor de opname van stikstof. Hierbij valt te denken aan nutriënten als kalium of sporennutriënten (Geurts, Fritz, Lamers, Grootjans, & Joosten, 2017). In de emmer met water is ook fosfor verdwenen, nog meer dan in de emmer met lisdodde. Wat de oorzaak hiervan is, ligt buiten dit onderzoek.

Met de genoemde N:P-verhoudingen en ideale N:P-verhoudingen zou berekend kunnen worden hoeveel stikstof door planten is opgenomen en hoeveel stikstof dan verwijderd zou zijn door andere processen. In bijlage IVa staat een voorbeeldberekening bij een ideale verhouding van 8 : 1 voor de lisdodde.

Invloed van fysisch-chemische factoren op stikstofopname door planten

Tabel 4.8: Hoedanigheid van fysisch-chemische factoren in de emmers voor planten (Nie, et al., 2017) (Nouta, 2016) (Alterra, 2017) (Hegeman, 2018a)

Parameter	Hoedanigheid
Temperatuur (°C)	Goed (± 17)
pH	Goed (>5)
EGV (µS/cm)	Goed (zoetwater)
O ₂ (mg/l)	Goed (zuurstofrijk)

De temperatuur nadert de gemiddelde temperaturen van de maanden juni, juli en augustus (KNMI, 2018). De grote en kleine lisdodde bloeien in deze maanden (Eggelte, 2014). De gele lis bloeit in de maanden mei, juni en juli (Dijkstra, 2018). De metingen zijn gedaan in maart en april. Bij een gemiddelde temperatuur van 17 °C heeft in deze maanden een groei van bladeren opgetreden. De

planten hebben in de groeifase bij de vorming van bladeren een piekopname van nutriënten (Nie, et al., 2017). De temperatuur wijst dus op een goede stikstofopname door de planten. Wat betreft het zuurstofgehalte wordt verwacht dat deze ook goed is voor de planten. Het water in de emmers was zuurstofrijk (Lenntech, 2018c). In het wild leven de lisdodde en gele lis net zo goed onder zuurstofrijke condities. Op de foto's hieronder is te zien dat de planten zuurstofwortels hebben gevormd. Dit is positief. (Hegeman, 2018b)



Foto 4.7: Zuurstofwortels lisdodde



Foto 4.8: Zuurstofwortels gele lis

Invloed van fysisch-chemische factoren op fysisch-chemische processen

In enkele grafieken in paragraaf 4.3.1 is de schommeling van de pH te zien dat het gevolg is van de toediening van zoutzuuroplossing. Na toediening van zoutzuuroplossing ging de pH omlaag. In de laatste week is geen zoutzuuroplossing toegediend. In deze week is de pH gestegen. Fysisch-chemische stikstofverwijdering in de vorm van vervluchtiging vindt plaats onder basische omstandigheden, hoe hoger de pH, hoe meer dit proces plaatsvindt. Dit staat in paragraaf 3.2 verder uitgelegd. Het verloop van de zuurgraad in de emmers komt redelijk overeen. Om deze reden kunnen wat betreft de zuurgraad geen aannames worden gemaakt over in welke emmer de meeste vervluchtiging van stikstof plaatsvindt. In alle emmers hebben fysisch-chemische processen in de vorm van ammonium strippen plaatsgevonden, omdat de temperatuur en de pH daar op de meeste tijdstippen geschikt voor waren.

Invloed van fysisch-chemische factoren op biologische processen

Planten kunnen alleen stikstof opnemen in de vorm nitraat. Dit houdt in dat ureum uit AdBlue naar nitraat moet worden omgezet. Aangezien planten stikstof hebben opgenomen, heeft omzetting wel plaatsgevonden. Urobacteriën zorgen voor de omzetting van ureum naar ammoniak. Voor deze en voor de nitrificerende bacteriën moeten de omstandigheden goed zijn om de reacties plaats te laten vinden, zie tabel 4.9.

Tabel 4.9: Hoedanigheid van fysisch-chemische factoren in de emmers voor biologische processen, zie ook paragraaf 3.2 (STOWA, 1993) (Hoek, Oldenkamp, & Jager, 1989) (Lenntech, 2018c)

Parameter	Hoedanigheid voor urobacteriën	Hoedanigheid voor nitrificeerders
Temperatuur (°C)	Goed (± 17)	Goed (± 17)
pH	Goed*	Goed ($\pm 7,2-8,5$)
EGV ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Goed (voornamelijk zoetwater)	Goed (voornamelijk zoetwater)
O ₂ (mg/l)	Goed (zuurstofrijk)	Goed (zuurstofrijk)

*Aanname, urobacteriën komen in veel verschillende oppervlaktewateren voor.

Urobacteriën kunnen zowel in aerobe als in anaerobe zones leven en komen ook in zoutwater voor (Hoek, Oldenkamp, & Jager, 1989).

In de emmer met hydrocultuurkorrels was het zuurstofgehalte over het algemeen genomen lager dan in de andere emmers. In de emmer met de gele lis lag net als in de emmer met kleikorrels het zuurstofgehalte gemiddeld lager dan 7 mg/l. In de andere twee emmers was meer zuurstof aanwezig en lag het gemiddelde zuurstofgehalte op 7,91 mg/l voor de emmer met lisdodde en op 9,34 mg/l voor de emmer met water. Dat het zuurstofgehalte in de emmer met water het hoogst was, kan te maken hebben met dat deze emmer op een rooster stond die kon bewegen. Wanneer iemand op dit rooster stond, kwam het water in beweging. Er kon dan meer zuurstofuitwisseling met de lucht plaatsvinden. Dat in de emmer met hydrocultuurkorrels minder zuurstof zat, is te verklaren doordat een groot deel van het water en hydrocultuurkorrels niet direct in contact stond met de lucht. Waarom een verschil in zuurstofgehalte zit tussen de emmer met lisdodde en emmer met gele lis is onbekend. Het kan te maken hebben met biologische processen, maar ook doordat bij de metingen het water net iets meer/minder heeft bewogen.

Verhoudingen van processen ten opzichte van elkaar

Later in dit hoofdstuk wordt bepaald op welke manier stikstofverwijdering in het aquaponics systeem waarschijnlijk het meest heeft plaatsgevonden. Daarvoor is het nodig om te achterhalen in welke mate elke manier van stikstofverwijdering heeft deelgenomen. Om dit te kunnen achterhalen is het als eerst nodig de vier referentie-emmers te koppelen tot één geheel. Het aquaponics systeem is namelijk ook één geheel. Het koppelen van de referentie-emmers tot één geheel wordt gedaan door het percentage N-verwijdering in één emmer om te rekenen naar wat het zou zijn in vier emmers. Hierbij is vanuit gegaan dat de huidige vier emmers samengevoegd worden. Dit betekent dat de concentraties stikstofverwijdering door de processen gelijk blijven; er is nog steeds dezelfde hoeveelheid water en hydrocultuurkorrels aanwezig en er is nog steeds één gele lis plant en één lisdoddeplant aanwezig. Op deze manier is het totaal percentage stikstofverwijdering van de vier emmers niet meer maximaal 400% ($4 \cdot 100\%$) maar 100% ($4 \cdot \frac{1}{4} \cdot 100\%$). In tabel 4.10 staan de uitkomsten van de omrekening. Doordat het totaalpercentage stikstofverwijdering in de emmers nu maximaal 100% kan zijn, is dit geheel één op één met het aquaponics systeem te vergelijken.

Tabel 4.10: Omrekening van stikstofverwijdering in 1 emmer naar 4 emmers

	N-verwijdering in 1 emmer (%)	N-verwijdering in volume van 4 emmers (%)*
Emmer met hydrocultuurkorrels	72,8	18,20
Emmer met water	27,4	6,85
Emmer met lisdodde	38,3	9,58 (2,73)
Emmer met gele lis	89,5	22,35 (15,50)
Totaal		56,98

*N-verwijdering (%) in volume van 4 emmers = N-verwijdering in 1 emmer (%) / 4 emmers

De biologische en fysisch-chemische processen kunnen weer worden afgetrokken van de stikstofverwijdering in de emmer met lisdodde en gele lis. De stikstofopname door de lisdodde is dan $9,58 - 6,85 = 2,73\%$ en de stikstofopname door de gele lis is dan $22,35 - 6,85 = 15,50\%$.

Conclusie stikstofverwijdering in emmers

Stikstof is verwijderd door zowel biologische en fysisch-chemische processen als door de opname

door de lisdodde en gele lis. De hydrocultuurkorrels hebben een groot aandeel gehad in de stikstofverwijdering. Daarnaast heeft de gele lis veel stikstof opgenomen. In de emmer met water is weinig stikstof verwijderd. De opname van stikstof door de lisdodde is in verhouding tot de andere processen zeer laag. De kans is aanwezig dat wanneer verschillende nutriënten in balans zijn, de lisdodde meer stikstof op gaat nemen. De groeifase van de plant en de grootte van de wortels spelen ook een zeer belangrijke rol in de opname van stikstof uit het water. Naar waarschijnlijkheid hebben fysisch-chemische processen een groter aandeel gehad in de stikstofverwijdering dan biologische processen.

Voor ammonificerende bacteriën is het zuurstofgehalte in de emmers niet optimaal, voor nitrificerende bacteriën is deze wel goed. De andere fysisch-chemische parameters zijn voor de bacteriën ook goed. De temperatuur en de pH hebben het strippen van ammonium mogelijk gemaakt. De fysisch-chemische factoren waren goed voor de groei van de planten.

4.3.2 Stikstofverwijdering in het aquaponics systeem

Aandeel van processen/planten in stikstofverwijdering

Processen ten gevolge van hydrocultuurkorrels en planten

Uit de resultaten van de emmers blijkt dat de meeste stikstofverwijdering in de emmer met de gele lis heeft plaatsgevonden. Naar verwachting ligt dit in het aquaponics anders. In dit systeem is in verhouding tot de emmers een groter volume hydrocultuurkorrels aanwezig dan gele lis planten, zie tabel 4.11.

Tabel 4.11: Verhoudingen volume korrels : aantal gele lis; d = diameter, A = oppervlak, h = hoogte teeltbed, V = volume

	d (cm)	A (cm ²)	h (cm)	V _{korrels} (l)	Aantal planten	Verhouding V _{korrels} : aantal gele lis
Emmer hydrocultuurkorrels	28,2	624,6	12	7,5	1	7,5 : 1
Aquaponics systeem	X	10.640	23	245	7	35 : 1

In het aquaponics systeem staan zeven gele lis planten en in de emmer één. De opname van stikstof door de gele lis zou in het aquaponics systeem daarom zeven maal hoger moeten zijn dan in de emmer.

Stikstofverwijdering door biologische en fysisch-chemische processen liggen ten gevolge van het gebruik van hydrocultuurkorrels 33 maal hoger (= 245 / 7,5, zie tabel 4.11).

Net als de gele lis vindt stikstofverwijdering door de lisdodde zeven maal hoger plaats dan in de emmer. In het aquaponics systeem staan immers zeven planten en in de emmer één.

Processen ten gevolge van het water

De verwachting is dat het aandeel van stikstofverwijdering door het gebruik van water in het aquaponics systeem groter is dan in de emmers. In het aquaponics systeem is in verhouding tot de diepte een groter oppervlak aanwezig dat blootgesteld wordt aan de lucht dan in de emmers. Hierdoor verdampt in verhouding meer water en vervluchtigd stikstof ook meer. In tabel 4.12 staan de gegevens voor het berekenen van de verhoudingen oppervlakte : diepte. Bij de verhoudingen is alleen het water in de onderste bak van het aquaponics systeem meegerekend.

Tabel 4.12: Gegevens voor het bepalen van verhoudingen oppervlak : diepte; voor de volumes zijn paragraaf 3.5 en 4.2 gebruikt

	A (cm ²)	Dag	V _{water} , (l)	V _{water} , (l) bovenste bak	V _{water} , (l) onderste bak	Diepte (cm)	Verhouding Oppervlak : diepte
Emmer met water	624,6	0	X	X	X	6	104 : 1
Aquaponics systeem	10.640	0	250	X	X	25,5	X
		2	222	89	133	13,6	782 : 1

Uit de verhoudingen blijkt dat het vervluchten van stikstof naar de lucht ten gevolge van het gebruik van water 7,5 maal hoger in het aquaponics systeem kan zijn dan in de emmer (= 782 / 104). Voor het gemak worden alle processen, zowel fysisch-chemisch als biologisch, met het getal 7,5 vermenigvuldigd. Het is namelijk een grote opgave om de beschikbare oppervlakte voor micro-organismen (pomp en standaard waarin de elektroden van de multimeter staan) in het aquaponics systeem te berekenen. Dit is in dit onderzoek achterwege gelaten. De verhouding van dit oppervlak ten opzichte van het beschikbare oppervlak in de emmer is daardoor niet te berekenen.

Rangorde

Om uiteindelijk te kunnen bepalen hoeveel stikstof de lisdodde en gele lis in het aquaponics systeem hebben opgenomen, is een rangorde gemaakt van welke manier van stikstofverwijdering het meest plaatsvindt. In tabel 4.13 staan de waarden waarmee is gerekend. De vermeerdering houdt in hoeveel keer meer stikstof door processen of planten wordt verwijderd in het aquaponics systeem ten opzichte van in de emmers.

Tabel 4.13: Aandeel processen in stikstofverwijdering in het aquaponics systeem, zie ook berekening 4.1; vermeerdering: hoeveel keer meer stikstof door processen of planten in het aquaponics systeem wordt verwijderd t.o.v. de emmers

	N-verwijdering in volume van 4 emmers (%)	N-verwijdering in A.S.* (%) zonder vermeerdering	Vermeerdering	N-verwijdering in A.S.* (%)
Emmer met hydrocultuurkorrels	18,20	15,40	33x	33,1
Emmer met water	6,85	5,79	7,5x	2,8
Emmer met lisdodde	9,58 (2,73)	8,10 (2,31)	7x	3,7 (0,9)
Emmer met gele lis	22,35 (15,50)	18,91 (13,11)	7x	8,6 (5,8)
Totaal	56,98	48,2		48,2

*A.S. = aquaponics systeem

Hieronder volgt een voorbeeldberekening van de laatste kolom.

$$N\text{-verwijdering in A.S. (\%)} \text{ zonder vermeerdering} = 18,20 * 48,2 / 56,98 = 15,40\%. \quad (4.1)$$

48,2 en 56,98 zijn hierin de totaal percentages.

$$\text{Vermeerdering} = 33x$$

$$15,40 * 33 = 508,2\%$$

Wanneer deze vermenigvuldiging voor elk proces gedaan wordt en als deze waarden bij elkaar opgeteld worden, dan is de som 740,7% (= 508,2 + 43,4 + 56,7 + 132,4).

*Stikstofverwijdering door het gebruik van hydrocultuurkorrels zou dan voor $508,2 / 740,7$ van 48,2% deel uitmaken van de totale stikstofverwijdering. Dit is $508,2 / 740,7 * 48,2 = 33,1\%$.*

Bij de omrekening van stikstofverwijdering bij hydrocultuurkorrels is geen rekening gehouden met de verhouding oppervlakte: diepte. Een gedeelte van de vergroting van de fysisch-chemische stikstofverwijdering in de bovenste bak van het aquaponics systeem is daardoor niet meegenomen in de berekening.

In de rij van de lisdodde en gele lis staan waarden tussen haakjes. Dit zijn de percentages van stikstofverwijdering die alleen door de planten hebben plaatsgevonden. De biologische en fysisch-chemische stikstofverwijdering is hiervan afgetrokken, zie ook tabel 4.6.

Op basis van tabel 4.13 wordt de volgende rangorde verwacht:

1. Stikstofverwijdering door biologische/fysisch-chemische processen ten gevolge van het gebruik van hydrocultuurkorrels
2. Stikstofverwijdering door de gele lis
3. Stikstofverwijdering door biologische/fysisch-chemische processen ten gevolge van het gebruik van water
4. Stikstofverwijdering door lisdodde

In de vorige sub-paragraaf is genoemd dat de verwachting is dat fysisch-chemische processen een groter aandeel spelen in de zuivering dan biologische processen. Die verwachting geldt ook bij het aquaponics systeem. De verhouding oppervlakte : diepte is groter geworden ten voordele van de fysisch-chemische processen. Wanneer dit aangenomen wordt, dan zou de volgende rangorde van kracht zijn:

1. Stikstofverwijdering door fysisch-chemische processen
2. Stikstofverwijdering door biologische processen
3. Stikstofverwijdering door de gele lis
4. Stikstofverwijdering door de lisdodde

Gedurende het jaar verschilt het aandeel van processen/planten in de verwijdering. In het winterseizoen bijvoorbeeld worden minder nutriënten opgenomen door planten dan in het groeiseizoen, zie ook bijlage IIa onder het kopje 'Aantal planten' op bladzijde x.

Invloed van (fysisch-)chemische factoren op stikstofopname door planten

De N:P-verhouding lag in het aquaponics systeem zowel bij de nulmeting als bij de eindmeting rond 12 : 1. Voor beide planten geldt dat in verhouding tot fosfor meer stikstof aanwezig mag zijn, maar beide waren voor de groei al in voldoende mate aanwezig (RIVM, 2012) (RIVM, 2017). Ook kunnen andere nutriënten een betere stikstofopname belemmeren. Wanneer de nutriënten in balans zijn, komt dit ten goede van de groei van de plant en van de waterzuivering. Dit draagt bij aan de duurzaamheid van het milieu: Planet. Wanneer de plant goed groeit, zal de oogst ook groter worden. Dit komt ten goede van de economie: Profit.

Net als in de emmers met planten is de temperatuur, de pH, het EGV en het zuurstofgehalte in het aquaponics systeem goed voor de groei van de lisdodde en gele lis. Zie ook 'Invloed van fysisch-chemische factoren op stikstofopname door planten' in paragraaf 4.3.1.

Invloed van fysisch-chemische factoren op fysisch-chemische processen

De temperatuur van het water lag rond de 17 °C en de pH rond de 7,9. Dit is vergelijkbaar met de referentie-emmers. Deze omstandigheden maken dat het strippen van ammonium mogelijk was. De pH was tijdens de meetperiode niet constant: er waren uitschieters naar 6 en 8,7. Dit is te zien in de

eerste vier grafieken van bijlage IIIa. De fysisch-chemische processen van stikstofverwijdering in de vorm van ammonium strippen waren daardoor niet constant. Hoe basischer het water is, hoe meer ammonium gestript kan worden. (Dublein, et al., 2008)

Invloed van fysisch-chemische factoren op biologische processen

Het zuurstofgehalte in de onderste bak van het aquaponics systeem zat gemiddeld op 7,44 mg/l. Dit is zuurstofrijk water (Lenntech, 2018c). Het zuurstofgehalte in de bovenste bak van het aquaponics systeem is niet gemeten. Door de aanwezigheid van veel hydrocultuurkorrels en een blijvende laag water, is de verwachting dat het zuurstofgehalte hier lager was. Dit wordt bevestigd door de resultaten van het zuurstofgehalte die op 18 april, dag 29, verkregen zijn. De grafiek met het zuurstofgehalte staat in figuur III.5 in bijlage IIIa. Door de verdamping van water kon de waterpomp niet optimaal meer werken en werd geen 1500 l water/h meer door de bovenste bak gepompt. Op 18 april rond 13.00 uur is water aan het systeem toegevoegd, waardoor de pomp weer helemaal onder water kwam te staan en het water harder ging stromen. Water dat dieper onder het oppervlak zat, werd nu ook sneller rond gepompt. De zuurstofmeter in de onderste bak heeft een zuurstofafname gemeten vanaf 13.00 uur. Dit houdt in dat meer water uit het onderste deel van de bovenste bak in de onderste bak is terecht gekomen en dat het water uit de bovenste bak zuurstofarmer was.

Urobacteriën kunnen in beide omstandigheden leven (Hoek, Oldenkamp, & Jager, 1989). Nitrificeerders groeien echter alleen in aerobe omstandigheden, zie paragraaf 3.2. Verder zijn de fysisch-chemische parameters voor zover bekend ook goed voor de urobacteriën en voor nitrificerende bacteriën. Tabel 4.9 is hier ook van toepassing. De temperatuur ligt rond de 17 °C, de pH rond de 7,9 en het EGV rond de 900 µS/cm. In de emmer met hydrocultuurkorrels was het EGV hoger en de pH iets lager. De verwachting is dat dit voor het verschil in biologische processen en de omrekening van emmer naar aquaponics systeem niet veel verschil maakt.

Conclusie stikstofverwijdering in het aquaponics systeem

Het stikstof is vooral door fysisch-chemische en biologische processen afgenomen. Ten gevolge van de hydrocultuurkorrels is dit ongeveer driekwart van de totale stikstofverwijdering. De lisdodde en gele lis hebben een klein aandeel gehad in de stikstofverwijdering, namelijk 0,9% en 5,8%. Deze opname van stikstof was in de groeifase van de planten, wat inhoudt dat de nutriëntopname nu hoger is in vergelijking tot de rest van het jaar. Het aandeel stikstofverwijdering door planten/processen verschilt gedurende het jaar.

De chemische factoren waren voldoende voor de groei van de planten. Mogelijk kan een betere nutriëntenbalans de stikstofopname door de planten verbeteren. Dit komt dan ten goede van het Planet en Profit aspect van duurzaamheid. De fysisch-chemische factoren waren zowel goed voor de groei van planten als voor de fysisch-chemische en biologische stikstofverwijdering.

4.4 Deelconclusie stikstofverwijdering

De deelvraag waarop in dit hoofdstuk een antwoord is gevonden, is: 'Hoeveel stikstofverwijdering vindt in het aquaponics systeem plaats door de lisdodde en gele lis?'. Door middel van het doen van experimenten en het analyseren van de resultaten is tot een antwoord gekomen.

Met het aquaponics systeem is aangetoond dat de lisdodde en gele lis hierin kunnen groeien. Daarnaast is waargenomen dat stikstof uit het systeem is verwijderd. Door middel van de referentiemeters is bepaald in welke mate processen/planten deelgenomen hebben aan de stikstofverwijdering.

De planten hebben zeer weinig stikstof opgenomen. De lisdodde was verantwoordelijk voor 0,9% stikstofverwijdering en de gele lis voor 5,8% van de 48,2%. Processen ten gevolge van het gebruik van hydrocultuurkorrels hebben voor de meeste stikstofverwijdering gezorgd, ongeveer driekwart van al het verwijderde stikstof. De verwachting is dat fysisch-chemische processen een groter aandeel gehad hebben in de stikstofverwijdering dan biologische processen.

Het wordt aanbevolen te onderzoeken of de stikstofverwijdering door planten kan worden verhoogd. Mogelijk kan het verbeteren van de nutriëntenbalans hierin een rol spelen. De wortelgrootte en de groeifase van de plant zullen bij nader onderzoek ook meegenomen moeten worden, omdat deze de stikstofopname door planten ook beïnvloeden. Een grotere opname van stikstof door planten komt ten goede van in ieder geval de Planet en Profit aspecten van duurzaamheid.

5. Eiwitgehalte in de wortelstok van de lisdodde

In de vorige hoofdstukken is het gegaan over de inrichting van het aquaponics systeem, over de waterkwaliteit en over stikstofverwijdering. Dit ligt ten grondslag aan dit hoofdstuk dat ingaat op de eiwitten in de wortelstokken van de lisdodde. Wanneer een acceptabel percentage eiwitten in de wortelstokken zit, dan zouden de wortelstokken na verder onderzoek wellicht gebruikt kunnen worden voor veevoer.

In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op de derde deelvraag: 'Tot welk eiwitgehalte in de wortelstokken van de lisdodde leidt stikstofverwijdering door deze plant?'. Het antwoord op deze vraag wordt gegeven door experimenten te doen en de resultaten te analyseren. In paragraaf 5.1 wordt de methode van de experimenten beschreven. In paragraaf 5.2 staan de resultaten van de experimenten. Deze resultaten worden in paragraaf 5.3 geanalyseerd. In paragraaf 5.4 wordt in het kort een antwoord gegeven op de deelvraag.

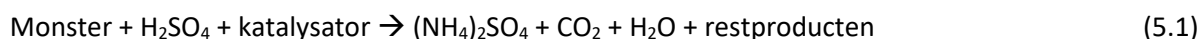
5.1 Methode experiment N-Kjeldahl

De hoeveelheid eiwitten worden berekend door stikstof-Kjeldahl te meten. Hiervoor wordt de Kjeldahl-methode gebruikt. Deze methode is niet alleen geschikt voor vloeistoffen waar eiwitten in zitten, maar ook voor vaste stoffen (Wijers, Speerstra, & Spruit, 2018). Stikstof-Kjeldahl is de som van organisch gebonden stikstof en stikstof-ammonium: $N_{KJ} = N_{org} + N-NH_4$ (Truijen, 2015). Met behulp van het experiment worden resultaten verkregen welke vervolgens geanalyseerd kunnen worden. Door deze analyse kan een antwoord op de deelvraag worden gegeven.

Om het experiment uit te voeren, is een methode opgesteld over welke stappen moeten worden gevolgd. Voor de N-Kjeldahlmetingen moeten eerst droge stof bepalingen worden gedaan. De methode hiervan staat in bijlage IIe. De methode voor de N-Kjeldahlmeting staat in bijlage IIf. Naast de methode staat ook het benodigde materiaal en de afbakening in deze bijlagen. Er staat niet in waarom bepaalde handelingen worden uitgevoerd. Dit wordt hieronder beschreven. De volgende bronnen zijn hiervoor gebruikt: Science at a Distance (Prof. J. Blamire, 2003) en ITW Reagents (ITW Reagents, 2018). De metingen worden gedaan in het chemisch laboratorium in het WAC.

Om de stikstof-Kjeldahl meting te doen, wordt allereerst het monster afgewogen. Onderzoekers die werken bij het Applied Research Centre gebruiken een monster van ongeveer 0,3 gram. Dit is in droge stof gemeten. Bij een kleiner gewicht zal het experiment minder nauwkeurig zijn. Een iets groter gewicht maakt de uitkomst nauwkeuriger. Het monster moet echter niet te zwaar wegen. Hierdoor zal het experiment langer duren en zal aan het eind meer zoutzuuroplossing moeten worden toegevoegd. (Wijers, Speerstra, & Spruit, 2018)

Zwavelzuur wordt aan het monster toegevoegd om het stikstof in eiwitten los te maken. De bindingen in de eiwitten worden verbroken en organisch stikstof wordt vrijgemaakt en omgezet in ammonium. Om de reactie sneller te laten verlopen, worden katalysatoren toegevoegd. Dit zijn het Kjeldahltablet en waterstofperoxide. Het verbreken van de bindingen gebeurt onder 420 °C. De volgende reactie vindt plaats (ITW Reagents, 2018):



Na het vrijmaken van organisch stikstof en het omzetten naar ammoniumzouten komt de destillatie. Hierbij wordt de stikstof in de vorm van ammonium gescheiden van de rest van het mengsel. Allereerst wordt natronloog toegevoegd. Hierdoor wordt de pH van het mengsel omhoog gebracht. De volgende reactie vindt plaats (ITW Reagents, 2018):



Ammoniak, NH_3 , is een gas. Dit wordt opgevangen door een waterige boorzuoroplossing met kleurindicator. De volgende reactie vindt dan plaats:



Ammoniakgas wordt omgezet naar ammonium onder een verhoogde temperatuur. Het resultaat is een bekersglasje gevuld met het product van een waterige boorzuoroplossing, ammonium en kleurindicator. Hiervan is de pH verhoogd als gevolg van reactie 5.2. Voordat ammonium met boorzuur en kleurindicator was gemengd, was de pH 3,85 (Wijers, Speerstra, & Spruit, 2018). Dit houdt in dat 0,1 M HCl-oplossing toegevoegd moet worden totdat de pH op ongeveer 3,85 staat om het eiwitgehalte te kunnen berekenen. De volgende reactie vindt plaats tijdens het titreren:



Tijdens het toevoegen van zoutzuoroplossing vindt een kleuromslag plaats van blauw naar rood. Dit vindt plaats wanneer bijna genoeg zoutzuoroplossing is toegevoegd. De kleuromslag kan plaatsvinden doordat een kleurindicator is toegevoegd. Door middel van de hoeveelheid HCl-1M-oplossing te meten, kan het eiwitgehalte worden berekend. Het berekenen van het eiwitgehalte is complex, daarom is een voorbeeldberekening opgenomen in bijlage IVb.

5.2 Resultaten eiwitgehalten

In bijlage IIIb staan de resultaten van de droge stof bepalingen van de wortelstok van de lisdodde. Deze waarden lopen uiteen van 6,64% tot 14,6%. In bijlage IIIc staat de tabel met alle resultaten die nodig zijn om het eiwitgehalte te kunnen berekenen. In tabel 5.1 staan overzichtelijk de resultaten van het eiwitgehalte.

Tabel 5.1: Eiwitgehalten in stukjes wortelstok van de lisdodde; A.S. = aquaponics systeem, d.w. = drooggewicht

Dag	Datum	Eiwitten in stukjes wortelstok uit A.S. (% van d.w.), gemiddeld	Eiwitten in stukjes wortelstok uit emmer (% van d.w.), gemiddeld
0	12-03-2018	13,77	X
37	18-04-2018	8,23	X
39	20-04-2018	10,84 ± 2,28	6,28 ± 1,17

Tijdens een N-Kjeldahl meting kunnen acht destructiebuizen tegelijk worden ingezet. Tijdens de meting was er plaats voor twee extra buizen. Hier is gebruik van gemaakt door nog twee extra monsters te laten analyseren. Dit zijn de monsters van de wortelstok uit de emmer. In het aquaponics systeem was namelijk geen grote wortelstok meer aanwezig die als monster kon dienen.

5.3 Analyse van de resultaten

Uit de N_{KJ} -metingen is gebleken dat de gemiddelde eiwitgehalten tussen de 5,11% en 13,77% in liggen. Het hoogste eiwitgehalte is gemeten in het monster van dag 0. Dit getal kan niet worden ondersteund met een duplo-meting en is daarom niet geheel betrouwbaar. Stel dat dit getal wel betrouwbaar zou zijn, dan is het opvallend dat dit getal hoger is dan de monsters van dag 37 en 39. Het is te verklaren doordat aminozuren uit de wortelstok naar de bladeren zijn getransporteerd (Wageningen UR, sd). De planten bevonden zich namelijk in de groeifase. Het transport van aminozuren naar de bladeren is dan hoger geweest dan de opname van stikstof uit het water. Dit is best mogelijk, aangezien de opname van stikstof zeer laag is gebleken. Het eiwitgehalte kan in een ander jaargetijde anders uitvallen, doordat dan minder aminozuren naar de bladeren worden

getransporteerd. Dit wordt ondersteund door het rapport 'The future of sustainable peat farming'. Hierin staat dat de biomassa en nutriëntenconcentratie in de wortelstok van de lisdodde het hoogst is vlak voor de rustperiode. (Nie, et al., 2017)

De metingen van dag 37 en dag 39 uit het aquaponics systeem zouden qua waarden redelijk overeen moeten komen, aangezien de monsters van dezelfde wortelstok zijn en de monsters op bijna hetzelfde tijdstip zijn genomen. De meting van dag 39 toont echter een hogere waarde. In de wortelstok van de lisdodde die in de emmer stond is een lager eiwitpercentage aangetroffen. Verschillen in de meetresultaten kunnen meerdere oorzaken hebben, voorbeelden hiervan zijn: er vond meer/minder nutriëntentransport plaats naar de bladeren; de plant heeft meer/minder stikstof uit het water opgenomen; in het stukje wortelstok zaten meer/minder eiwitten dan in de andere delen van de wortelstok. Wanneer meer metingen gedaan worden, kunnen hier duidelijkere uitspraken over gedaan worden.

Omdat de lisdoddeplanten die gebruikt zijn voor dit onderzoek uit dezelfde sloot komen en in het aquaponics systeem onder dezelfde omstandigheden hebben gestaan, wordt verwacht dat het eiwitgehalte in deze wortelstokken in dezelfde orde van grootte liggen. Het eiwitgehalte van deze wortelstokken zal dus rond de 6% tot 14% liggen.

5.4 Deelconclusie eiwit in lisdodde

De deelvraag die in dit hoofdstuk centraal stond, is: 'Tot welk eiwitgehalte in de wortelstokken van de lisdodde leidt stikstofverwijdering door deze plant?'. Het antwoord op deze deelvraag is gevonden met behulp van het doen van droge stof bepalingen en stikstof-Kjeldahl metingen.

Het percentage eiwitten in de wortelstokken van de lisdodde is vrij laag, tussen 8% en 14% in het aquaponics systeem en rond de 6% in de emmer. Deze cijfers zijn gebaseerd op een klein aantal metingen. Het zuiveren van stikstofrijk water door de lisdodde heeft in dit seizoen waarschijnlijk niet tot een toename van eiwitten in de wortelstokken geleidt. Een verklaring hiervoor is dat de plant in de groeifase zit en daardoor veel aminozuren van de wortelstok naar de bladeren transporteert.

Het wordt aanbevolen om meer resultaten te verkrijgen van zowel de begin- als eindmetingen in verschillende groeifases van de plant. Dan zullen duidelijkere conclusies getrokken kunnen worden over wat stikstofverwijdering door de plant doet met het eiwitgehalte in de wortelstok.

6. Discussie

Bij het onderzoek en de experimenten gelden enkele aandachtspunten. Hierbij kan gedacht worden aan stikstof dat al in het systeem aanwezig had kunnen zijn en de betrouwbaarheid van de resultaten. In paragraaf 6.1 zullen de aandachtspunten besproken worden. Deze paragraaf is onderverdeeld in de kopjes 'Aanwezig stikstof in het aquaponics systeem', 'Resultaten en de analyses' en 'Wortelstok voor commerciële doeleinden'. Paragraaf 6.2 gaat over de relevantie. Ondanks dat bij het onderzoek opmerkingen kunnen worden geplaatst, is dit onderzoek relevant voor verschillende partijen.

6.1 Aandachtspunten bij het onderzoek

Aanwezig stikstof in het aquaponics systeem

Bij de opstart van het onderzoek is AdBlue in twee etappes aan het water toegevoegd. De eerste keer is 12,5 ml AdBlue toegevoegd. De concentratie stikstof zou dan 10,08 mg/l moeten zijn, de berekening in stap 22 van bijlage IIa kan voor deze omrekening worden gebruikt. Bij deze berekening was vanuit gegaan dat 1 l AdBlue uit 201,6 g stikstof zou bestaan. Echter uit een stikstofmeting van AdBlue die een week later is gedaan, blijkt dat er minder dan 100 g stikstof in de AdBlue zat. Het resultaat van de meting was 'under measuring range, 8,10 mg/l' bij een verdunning van 5000 keer. De onderste meetgrens lag bij 20 mg/l, bij een verdunning van 5000 keer komt dit neer op $20 \cdot 5000 / 1000 = 100 \text{ g/l}$. Omdat het onder de meetgrens valt, kan de waarde 8,10 mg/l niet als betrouwbaar aangenomen worden. De pot was niet luchtdicht afgesloten en daardoor is ammonium gestript. Met nieuwe AdBlue waarvan de concentratie stikstof wel in orde was, is een week later nog 18,5 ml AdBlue toegevoegd. Deze pot was wel luchtdicht afgesloten. De concentratie stikstof in het aquaponics systeem was toen 23,95 mg/l. Ondanks dat in het oude AdBlue niet de juiste hoeveelheid stikstof zat en geen extra AdBlue is toegevoegd om dit te compenseren, is een waarde van 23,95 mgN/l gemeten. Bij deze concentratie is geen rekening gehouden met verdamping van water. Dat toch zo'n hoog stikstoftotaal is gemeten, betekent dat al stikstof in het water aanwezig was. Dit kan onder andere in de vorm van nitraat zijn dat door de poreuze hydrocultuurkorrels uit de oude opstelling is meegenomen. Ook is het mogelijk dat nog sporen van stikstof aan de wortels zaten, doordat de planten uit een sloot komen waarin stikstof zit. Het gaat om een minimaal stikstofgehalte van $10,08 - (100 / 201,6 \cdot 10,08) = 5,08 \text{ mg/l}$ wat al in het systeem aanwezig zou zijn. Wanneer het getal 8,10 mg/l wel als betrouwbaar aangenomen zou worden, dan houdt het in dat $10,08 - (40,5 / 201,6 \cdot 10,08) = 8,06 \text{ mg/l}$ stikstof al in het systeem aanwezig zou zijn ($40,5 \text{ g/l} = 8,10 \cdot 5000 / 1000$).

Omzetting van ureum naar nitraat heeft hoe dan ook plaatsgevonden. In de emmer met gele lis is in totaal 89,5% stikstof verwijderd. Hiervan zou 27,4% aan fysisch-chemische en biologische processen toegeschreven kunnen worden. Als $8,06 \text{ mg/l}$ ($= 8,06 / 27,45 \cdot 100 = 29,4\%$) nitraat in het water zou zitten voordat AdBlue werd toegevoegd, dan alsnog zou de gele lis 32,7% stikstof hebben opgenomen ($= 89,5 - 27,4 - 29,4$).

Het was de bedoeling dat de nulmeting voor het experiment op 20 maart 2018 op 25,0 mg/l stikstof zou zitten. Echter, de waarde was 23,95 mg/l en de pH was nog niet omlaag gebracht. 22 maart is de pH omlaag gebracht. In deze twee dagen is ammonium gestript, omdat de pH boven de 7 zat. De verwachting was dat te weinig stikstofmetingen gedaan konden worden met het beschikbare Hach Lange kitje en dat het beschikbare Hach Lange kitje niet de goede range zou hebben voor deze meting. Daarom is besloten eerst 5 mg/l stikstof aan het systeem toe te voegen, voordat het stikstofgehalte bij een zuurgraad van 7 werd bepaald. Op deze manier werd de kans verkleind dat de uitslag van de stikstofmeting 'under measuring range' zou zijn. Het nieuwe stikstofgehalte is door de 5 mg/l echter op de waarde 27,45 mg/l geëindigd in plaats van op de gehoopte 25 mg/l. Het was

uiteindelijk wel mogelijk een Hach Lange kitje met een lagere range aan te schaffen voor het onderzoek.

Resultaten en de analyses

Adsorptie en sedimentatie

Bij de fysisch-chemische metingen is alleen ingegaan op vervluchtiging van stikstof. Adsorptie en sedimentatie hebben ook plaats kunnen vinden. Aangezien het onbekend is welke andere stoffen in het water aanwezig waren, kan geen uitspraak worden gedaan over de mate waarin adsorptie en sedimentatie hebben plaatsgevonden. Omdat het wateroppervlak van het aquaponics systeem groot is in verhouding tot de diepte en omdat de temperatuur hoog is en de pH de meeste tijd boven de 7 zit, wordt verwacht dat van de fysisch-chemische processen vervluchtiging van stikstof het meest heeft plaatsgevonden. Filtratie heeft niet plaatsgevonden, omdat geen filter in de referentie-emmers en in het aquaponics systeem aanwezig was.

Zes planten in plaats van zeven in het aquaponics systeem

Op donderdag 12 april, dag 23, is een lisdoddeplant geheel met wortel en al uit het aquaponics systeem gehaald, omdat deze beschimmeld was en dood ging. De plant is verwijderd om verdere besmetting van het systeem te voorkomen. Het betreft plant nummer 4 van foto 3.2 op bladzijde 15. 12 april was twee dagen na de derde waterkwaliteitsmetingen. Dit houdt in dat resultaten van de waterkwaliteitsmetingen van week 4 in het aquaponics systeem gebaseerd zijn op zes lisdoddeplanten. Hier is in de berekeningen geen rekening mee gehouden. Aangezien de lisdodde in het algemeen zeer weinig stikstof heeft opgenomen, is de verwachting dat het eindresultaat niet in dergelijke mate is beïnvloedt dat het antwoord op de deelvraag niet meer klopt.

De reden voor de groei van schimmel is onbekend, de andere planten zagen er nog gezond uit.

Duplo-metingen van de referenties

Van de emmers met planten zijn een aantal metingen niet in duplo maar enkel uitgevoerd. Dit betreft de stikstofmetingen van waterkwaliteitsmetingen 2 en 3. De referentie-emmers waren bedoeld om aan te kunnen tonen in welke mate stikstof door biologische processen, fysisch-chemische processen of door planten is verwijderd. Duplo-metingen zijn dan nauwkeuriger dan enkele metingen.

In het aquaponics systeem staan de lisdodde en gele lis samen in één bak. Daarom zouden deze planten ook samen in twee referentie-emmers moeten staan. Hier was in de emmers echter geen ruimte voor. Om deze reden is gekozen om de lisdodde en gele lis uit elkaar te halen. Er is niet gekozen om twee emmers met lisdodde en twee emmers met gele lis neer te zetten, omdat dan extra metingen moeten worden gedaan. Hiervoor waren de middelen niet beschikbaar.

Omdat het doel was om aan te tonen of stikstof door planten is verwijderd, is het een bijkomstigheid dat de metingen van waterkwaliteitsmeting 0, 1 en 4 wel in duplo zijn uitgevoerd. Hierdoor zijn ook conclusies kunnen trekken uit het aandeel van de lisdodde/gele lis in de stikstofverwijdering door planten.

Om betrouwbare conclusies te kunnen trekken, zijn meer resultaten nodig. Deze kunnen onder andere verkregen worden door gebruik te maken van extra referenties. Het aquaponics systeem zou bijvoorbeeld een gelijkwaardige referentie moeten hebben en de emmers zouden ook in duplo moeten zijn.

Verschil in planten

Bij de referentie-emmers is één lisdoddeplant en één gele lis plant gebruikt. De stikstofverwijdering is ook afhankelijk van de plant. Dat slechts één plant van elke soort is gebruikt, houdt in dat niet duidelijk gezegd kan worden wat het aandeel van de plant in de stikstofverwijdering is geweest. Hiervoor moeten meer planten worden ingezet. Er zou alleen een indicatie gemaakt kunnen worden.

Hoe de plant er uitziet maakt verschil voor de stikstofverwijdering. De grootte van de plant, de hoeveelheid bladeren, de grootte van de wortels, et cetera kunnen hier een rol in spelen. In dit onderzoek zijn de bladeren en wortelstokken niet opgemeten.

Voor de referentie-emmers is zowel een grote wortelstok van de lisdodde als van de gele lis gebruikt. Beide planten hadden scheuten, maar de gele lis had meer oppervlak aan bladeren. Het verschil in de planten was al aan het begin aanwezig.

Water dat uit het systeem is gehaald

Uit het aquaponics systeem is 14,5 l water gehaald om de referentie-emmers te vullen. Met het water uit dit systeem en uit de emmers zijn ook meerdere monsterbuisjes van 45 ml gevuld. Deze getallen zijn niet meegenomen in de berekeningen van de hoeveelheid stikstof. De reden hiervoor is dat de uitkomst van het onderzoek (bijna) niet verandert. De mate waarin processen/planten deel uitmaken van de stikstofverwijdering ten opzichte van elkaar, blijft gelijk.

Grote hoeveelheid verwijderd fosfor

Opvallend is de grote hoeveelheid fosfor die is verwijderd. In de emmer met water is 74% fosfor verwijderd en in de emmer met gele lis is 88,9% fosfor verwijderd. De oorzaak van deze grote verwijdering is in dit onderzoek niet meegenomen. Mogelijk is fosfor neergeslagen in de vorm van struviet of calciumfosfaat. De zuurgraad laat dit namelijk toe: basisch. (Vink, Doesschate, & Boer, 2018) (Bals, 2008) Ook kan fosfor verwijderd zijn door micro-organismen, omdat een biofilm aanwezig was.

N-Kjeldahl meting

Het was in eerste instantie het doel om zowel de beginmeting van stikstof-Kjeldahl op dag 0 als de eindmeting op dag 37 in duplo uit te voeren. Door een verkeerde handeling tijdens het experiment is de duplo-meting verloren gegaan. Omdat uit enkele resultaten geen conclusies kunnen worden getrokken, zijn extra metingen gedaan. De extra metingen konden niet worden gedaan van het stukje wortelstok van dag 0. Hiervan was namelijk geen extra monster beschikbaar en er waren al enkele weken verstreken. Extra metingen van het stukje wortelstok van dag 37 konden wel worden gedaan. Deze extra metingen zijn op dag 39 uitgevoerd.

Bij de metingen zijn stukjes wortelstok ingezet met de aanname dat dit representatief is voor de hele wortelstok. Er zijn geen hele wortelstokken ingezet, omdat daarvoor niet genoeg wortelstokken beschikbaar waren.

Met N-Kjeldahl wordt ook het ammoniumgehalte berekend. Dit houdt in dat het percentage eiwitten niet alleen is gebaseerd op organisch stikstof, maar ook op stikstof-ammonium. Aangezien deze twee chemische parameters niet los van elkaar gemeten zijn, kan niet worden gezegd in welke mate stikstof-ammonium een rol heeft gespeeld in de eiwitresultaten. De verwachting is dat het stikstof-ammonium slechts een kleine rol heeft gespeeld. Planten nemen stikstof namelijk op in de vorm van nitraat en niet in de vorm van ammonium (Truijen, 2015).

Nauwkeurigheid van metingen

De resultaten van de metingen zijn niet geheel nauwkeurig. Dit is te zien aan het feit dat de resultaten van duplo-metingen van elkaar verschillen. De verschillen zijn niet erg groot. De verschillen in resultaten kunnen liggen aan de gebruikte apparaten of methoden (Hach Lange en N-Kjeldahl) en menselijke handelingen. Een voorbeeld van een apparaat die niet geheel nauwkeurig is, is een weegschaal. Deze was nodig voor de droge stof metingen. Ook zouden nog restanten boorzuuroplossing met ammonium in het buisje van de automatische destillatie unit hebben kunnen zitten. Een voorbeeld van een menselijke handeling waarbij een onnauwkeurigheid heeft kunnen ontstaan, is pipetteren. Gedurende de metingen is heel vaak gebruik gemaakt van een finnpipette.

Het zou voorgekomen kunnen zijn dat een keer een kleine luchtbel in de tipp is terecht gekomen. De hoeveelheid monster is dan niet meer nauwkeurig. Uiteraard is wel voor gezorgd de onnauwkeurigheden zo veel mogelijk te vermijden.

Voordat stikstof en fosfor gemeten zijn, was het water door geroerd. Het kan voorkomen dat geen goede menging is ontstaan en dat daardoor afwijkingen in resultaten zijn voorgekomen. Afwijkingen in resultaten kunnen ook voorgekomen zijn doordat de monsters niet zijn gefiltreerd. Een foutenmarge van 10% bij Hach Lange metingen (stikstof en fosfor) is al snel bereikt.

Wortelstok voor commerciële doeleinden

De marktkansen voor de wortels van de lisdodde zijn nog onbekend. (Duursen & Nieuwenhuijs, 2016) Wanneer de wortels voor commerciële doeleinden gebruikt gaan worden, betekent dit dat de plant uit het ecosysteem wordt gehaald. Het is mogelijk om elke twee jaar 50% van de wortelstokken te oogsten, maar dit is financieel niet rendabel (Beek, 2015). Voor de kaasfabriek zou de oogst van wortelstokken betekenen dat er tijdelijk minder planten zijn die het water zuiveren. Voor hen zal het dan dubbel opgaan: de kosten zijn hoog om de wortelstokken te oogsten en ze missen een bron van stikstofverwijdering. Dit is ten nadele van zowel Planet als Profit. Daarbij komt dat niet veel eiwitten in de wortelstok van de lisdodde aanwezig zijn. Op basis van de verkregen resultaten zou het voor de kaasfabriek daarom waarschijnlijk niet uitkunnen om met de huidige technieken de wortelstokken als krachtvoer in te zetten. Mogelijk wordt het financieel wel aantrekkelijk met nieuwe technieken. Of de wortelstokken ingezet mogen worden als veevoer hangt ook van veel andere factoren af. Deze factoren zullen ook onderzocht moeten worden.

6.2 Relevantie

Ondanks de genoemde aandachtspunten is dit onderzoek relevant. Nog niet eerder is onderzoek gedaan of stikstofrijk water door middel van de lisdodde en gele lis in een aquaponics systeem kan worden gezuiverd. Met dit onderzoek is aangetoond dat de lisdodde en gele lis in een aquaponics systeem kunnen groeien en dat deze planten voor een klein deel van de stikstofverwijdering hebben gezorgd. Door het gebruik van de referentie-emmers is een idee gegeven van welk proces/plant in welke mate deelneemt aan stikstofverwijdering. Door de bevindingen kunnen keuzes worden gemaakt of nader onderzoek relevant is. Nader onderzoek wordt volgens een bepaalde methode gedaan net als in dit onderzoek. Aan de hand van de huidige resultaten kan gekozen worden om juist wel of niet dezelfde methode te gaan gebruiken. Een voorbeeld hiervan is het gebruik van hydrocultuurkorrels. Deze hebben namelijk voor veel stikstofverwijdering gezorgd in de vorm van biologische en fysisch-chemische processen. De bevindingen in dit rapport kunnen ook ten grondslag liggen voor andere onderzoeken.

Medewerkers van de kaasfabriek hebben met dit onderzoek gedeeltelijk een antwoord op hun vragen. Eén van hun wensen was om het effluentwater door middel van een aquaponics systeem te zuiveren, zodat het op het oppervlaktewater mag worden geloosd. Met dit onderzoek is aangetoond dat zuivering van stikstof in een aquaponics systeem heeft plaats gevonden. Een andere wens van hun was om te onderzoeken of de wortelstokken van de lisdodde door de zuivering ingezet kunnen worden als veevoer. In dit rapport staat beschreven hoeveel eiwitten in de wortelstokken van de lisdodde zitten ten gevolge van de zuivering. Eiwitten in de wortelstokken spelen een belangrijke rol in de keuze of de wortelstokken ingezet worden als krachtvoer.

Naast dat dit onderzoek relevant is voor de medewerkers van de kaasfabriek, is dit onderzoek ook relevant voor de lectoren. Lectoren spelen een rol in de keuze voor nader onderzoek. Voor andere onderzoekers kunnen bevindingen in dit rapport ook relevant zijn.

7. Conclusie

Door middel van de antwoorden op de drie deelvragen kan een antwoord op de hoofdvraag worden gegeven. De hoofdvraag van het onderzoek was: 'Is het mogelijk om stikstofrijk water te zuiveren met behulp van de lisdodde en gele lis in het aquaponics systeem en hoeveel eiwitten zitten door de zuivering in de wortelstok van de lisdodde?'.

De eerste deelvraag was: 'Hoe moet het beschikbare aquaponics systeem ingericht worden om maximale zuivering van stikstofrijk water te kunnen bereiken?' De inrichting is afhankelijk van de manier waarop stikstofverwijdering plaatsvindt. Stikstofverwijdering vond op drie manieren plaats: fysisch-chemische verwijdering, biologische verwijdering (micro-organismen) en opname door planten. In dit onderzoek is gebruik gemaakt van een aquaponics systeem dat een vierkante meter groot is. Deze stond in een ruimte van ongeveer 17 °C, het water nam deze temperatuur aan. Het systeem is ingericht met: een tussenschot, zeven lisdodde planten, zeven gele lis planten, een waterpomp en hydrocultuurkorrels. Boven het systeem hing een lichtbak die per dag twaalf uur aan stond. In het systeem is stikstofrijk water gelaten. Dit water had het grootste gedeelte van de tijd een pH tussen de 7 en 8,5 had en was zuurstofrijk. Wat zoutgehalte betreft, viel het water in de klasse 'zoetwater'. Daar waar de planten stonden, was de waterstand rond de 19 cm.

De genoemde fysisch-chemische parameters blijken uit de beantwoording van de tweede deelvraag. Deze en de andere genoemde omstandigheden hebben alle drie de manieren van stikstofverwijdering mogelijk gemaakt.

Of deze inrichting voor maximale zuivering heeft gezorgd, zal onder andere moeten blijken uit nader onderzoek. Hieronder komt de optimalisatie van het systeem aan bod.

De tweede deelvraag sluit aan op de eerste deelvraag: 'Hoeveel stikstofverwijdering vindt in het aquaponics systeem plaats door de lisdodde en gele lis? Om dit te kunnen bepalen, zijn chemische en fysisch-chemische bepalingen gedaan. De fysisch-chemische factoren zijn hierboven genoemd en waren voor de planten goed. Stikstof en fosfor waren voor de groei van de planten ook in voldoende mate aanwezig.

In het aquaponics systeem is totaal 48,2% stikstof verwijderd. De lisdodde was verantwoordelijk voor 0,9% en de gele lis voor 5,8%. Deze getallen zijn niet exact, maar geven een indicatie. Het overige stikstof is verwijderd door fysisch-chemische en biologische processen.

Het aquaponics systeem en daarbij de omstandigheden voor de planten kunnen worden geoptimaliseerd, waardoor planten een groter aandeel in de zuivering kunnen krijgen. Optimalisatie draagt bij aan de duurzaamheid. De planten zullen beter groeien (Planet), waardoor een beter werkklimaat voor mensen kan ontstaan (People) en een grotere oogst te behalen is (Profit). Voor optimalisatie omtrent waterfluctuatie, verblijftijd en nutriëntenverhoudingen zal nader onderzoek uitgevoerd moeten worden. Wel is duidelijk dat de afmetingen van het tussenschot verbeterd kunnen worden.

De derde deelvraag was: 'Tot welk eiwitgehalte in de wortelstok van de lisdodde leidt stikstofverwijdering door deze plant?' Er heeft geen duidelijke verandering van het eiwitgehalte in de wortelstok van de lisdodde plaatsgevonden. Doordat het aantal resultaten niet hoog is, kunnen geen harde conclusies worden getrokken. Het eiwitpercentage lag aan het begin rond 14% en aan het eind rond de 6% en 14%. Een oorzaak van een mogelijke afname van het eiwitgehalte is dat transport van nutriënten heeft plaatsgevonden van de wortelstok naar de bladeren.

Kortom, het is dus mogelijk om stikstofrijk water te zuiveren met de lisdodde en gele lis in een aquaponics systeem. De hoeveelheid stikstof die door deze planten is verwijderd, is echter klein. Het eiwitgehalte in de wortelstok van de lisdodde is niet duidelijk veranderd.

8. Aanbevelingen

Omdat geen harde conclusies getrokken konden worden en omdat er een aantal aandachtspunten bij het onderzoek aanwezig zijn, wordt nader onderzoek aanbevolen. Met nader onderzoek kan beter aan de wensen van de kaasfabriek worden voldaan. Hieronder volgen verschillende aanbevelingen. Bij de eerste en de laatste aanbeveling speelt de kaasfabriek een belangrijke rol.

Gebruik van effluentwater kaasfabriek

In dit onderzoek is gebruik gemaakt van leidingwater waaraan AdBlue is toegevoegd. Bij nader onderzoek wordt aanbevolen gebruik te maken van het effluentwater van de kaasfabriek zelf. Hierdoor kan waarschijnlijk beter aan de wensen van de kaasfabriek worden voldaan. Factoren als de pH, temperatuur en EGV kunnen in dit effluentwater anders zijn, waardoor de verhoudingen van processen en planten in de stikstofverwijdering anders komen te liggen.

Naast het gebruik van het effluentwater wordt aanbevolen om te testen of de lisdodde en gele lis bij een dergelijk hoog stikstofgehalte kunnen leven. De vraag is daarbij ook wat voor invloed het stikstofgehalte heeft op de mate van zuivering door de planten.

Het is noodzakelijk te weten welke andere nutriënten in het effluentwater zitten. Deze beïnvloeden namelijk ook de groei van de planten en daardoor de stikstofverwijdering.

Om een goed beeld te krijgen van de stikstofverwijdering door planten en processen door het hele jaar heen, zal het onderzoek over een groter tijdperk met meer planten moeten worden uitgevoerd.

De groei van de planten moet dan ook meegenomen worden. Voor de kaasfabriek is dit echter van minder belangrijke waarde dan te onderzoeken of de planten wel op het effluentwater kunnen groeien. Immers, als de planten niet kunnen groeien, zullen ze geen stikstof opnemen.

Optimalisatie inrichting van het aquaponics systeem

In hoofdstuk 3 is gekeken naar hoe het huidige systeem kan worden geoptimaliseerd wat betreft inrichting. De zuivering kan ook worden verbeterd als het systeem wordt omgebouwd. Een voorbeeld hiervan is om de afvoer van het water onder water te brengen of door de onderste bak qua oppervlak kleiner te maken. Beide opties hebben als resultaat dat minder verdamping en temperatuursverandering plaatsvindt. Dit komt ten goede van de duurzaamheid van het systeem, omdat dan minder water en energie nodig is.

Optimalisatie zou ook plaats kunnen vinden op het gebied van de verblijftijd en de fluctuatie van het water. Wat daarvan de ideale waarden zijn, zal nader onderzocht moeten worden.

Bij een vervolgonderzoek is het belangrijk de groei van de plant beter te onderzoeken en mee te nemen in de analyse van de resultaten. De planten kunnen dan beter worden vergeleken en mogelijk kunnen de omstandigheden voor planten dan geoptimaliseerd worden.

Het wordt aanbevolen om te onderzoeken of het mogelijk is dat planten een grotere bijdrage leveren aan de stikstofverwijdering. Mogelijk kan het verbeteren van de nutriëntenbalans hierin een rol spelen. Een grotere opname van stikstof draagt dan bij aan de duurzaamheidsaspecten Planet en Profit. De grootte van de plant en de groeifase speelt ook een rol in de stikstofopname.

Gebruik van zuurteregelaar

In dit onderzoek is op verschillende tijdstippen handmatig HCl-25%-oplossing toegevoegd om de pH omlaag te brengen. Het omlaag brengen van de pH werd gedaan om het strippen van ammonium te verminderen. Bij vervolgonderzoek wordt aanbevolen gebruik te maken van een zuurteregelaar. Dit scheelt in tijd en de pH blijft op een constante waarde. Wellicht is het ook mogelijk om de oorzaak van de pH-stijging te achterhalen.

Meer resultaten van N-Kjaldahlmetingen

Bij de metingen zijn stukjes van een wortelstok gebruikt. Dit kunnen eindstukjes of middenstukjes

zijn. Om met zekerheid te kunnen zeggen wat het percentage eiwitten in de hele wortelstok is, zal meer onderzoek plaats moeten vinden. Het is dan verstandig om metingen te doen van meerdere wortelstokken waarbij de hele wortelstok in één keer wordt ingezet. Wanneer de wortelstok in één keer wordt ingezet, dan is het beter te zeggen wat het gemiddeld eiwitgehalte hierin is dan wanneer een klein stukje van de wortelstok wordt ingezet.

Het wordt aanbevolen om bij vervolgonderzoek zowel aan het begin als aan het eind meerdere metingen te verrichten dan in dit onderzoek gedaan is. Hier zijn dan meer wortelstokken voor nodig. Dan kan met meer zekerheid worden gezegd of het eiwitgehalte gedaald, gestegen of gelijk is gebleven. Er zal ook op de groeifases van de plant gelet moeten worden.

Eerst aquaponics systeem en dan RO filter

Het effluentwater van de kaasfabriek wordt nu eerst micro-gefiltreerd, vervolgens gaat het door een RO membraan en vervolgens wordt het geloosd op het riool. Zij willen in plaats van lozen op het riool water op het oppervlak kunnen lozen door het gebruik van een aquaponics systeem. Voor de kaasfabriek zou het op verschillende fronten voordeliger kunnen zijn om na de microfiltratie eerst het aquaponics systeem te plaatsen en daarna pas het RO filter. Op deze manier wordt het RO filter minder belast en krijgen de planten in het aquaponics systeem een grotere verscheidenheid aan nutriënten. Dit voorkomt toediening van extra nutriënten. Een lagere belasting van het RO filter en het minder hoeven toedienen van nutriënten komt vooral ten goede van het Profit aspect van duurzaamheid, de investering gaat namelijk omlaag. Wanneer minder nutriënten toegediend hoeven te worden, zal dit ook ten goede komen van het Planet aspect. De nutriënten hoeven dan namelijk niet eerst verkregen te worden.

Water dat uit een RO filter komt, is zeer schoon. De vraag is of planten wel op dit water kunnen groeien. De kans is namelijk aanwezig dat de concentratie stoffen in het water lager is dan de concentratie in de plantencellen. De planten zullen het dan niet overleven, zie ook 'Soort water' op bladzijde 13, paragraaf 3.5. In dat geval is het voor het Planet aspect voordeliger om een aquaponics systeem voor een RO filter te plaatsen.

Deze volgorde met eerst een aquaponics systeem en daarna een RO filter is echter niet wat de kaasfabriek in eerste instantie wil. Toch wordt sterk aanbevolen om te onderzoeken of dit voordeliger is. Voor experimenten is het water dan nodig dat nog niet door het filter heen is gegaan.

Bibliografie

- Allesovermarktonderzoek. (2015). *Kwantitatief onderzoek*. Opgehaald van Alles over marktonderzoek: <http://www.allesovermarktonderzoek.nl/onderzoeksmethoden/kwantitatief-onderzoek/>
- Alterra. (2017). SynBioSys: ecologie lisdodde en gele lis. Wageningen.
- Bals, E. (2008, april). *Fosfaatbemesting, een kwestie van beschikbaarheid*. Opgehaald van Groen&Golf: <http://edepot.wur.nl/108>
- Beek, L. v. (2015, maart). *Cattail Production Chain Development in Northeast Friesland*. Opgehaald van Kenniswerkplaats Noordoost Fryslân: <http://kenniswerkplaatsnoordoostfryslan.nl/uploads/files/Rapport-Better-Wetter-Lisdodde-2015.pdf>
- Bergonzi, C., Berti, G., & Imbasciati, A. (1979, december 10). *Urea assay and process and test-kit for determination of urea*. Opgehaald van Patents.google.com: <https://patents.google.com/patent/EP0031051A1/en>
- Bodemacademie. (sd). *Chemisch*. Opgehaald van Bodemacademie: <http://bodemacademie.nl/bodemkwaliteit/chemisch/>
- Bruin, E. d. (2018a, februari 21). Hoeveelheid ureum in AdBlue. Leeuwarden: Van Hall Larenstein.
- Bruin, E. d. (2018b). Gesprek met opdrachtgever. Leeuwarden: Van Hall Larenstein.
- De Boer, M. (2002). *Osmose*. Opgehaald van Science Space: <https://www.sciencespace.nl/leven-en-natuur/artikelen/2822/osmose>
- die Keure. (sd). *Kenmerken gematigd klimaat*. Opgehaald van die Keure: http://www.educatief.diekeure.be/mundoleerling/uploads/oefentoetsen/focusthema%20%20-%205de%20leerjaar/5_kenmerken_gematigd_klimaat.html
- Dijkstra, K. (2018). *Gele lis - Iris pseudacorus*. Opgehaald van Wilde planten in Nederland en België: <https://wilde-planten.nl/gele%20lis.htm>
- Dublein, D., Steinhäuser, A., Samir, K., Chen, Y., Cheng, J., & Kurt, S. (2008). *Biogas Production From Wastes*. Opgehaald van Production of Biogas: <http://productionofbiogas.blogspot.com/p/effecting-factor-2.html>
- Dutch Hydroponics Solution. (2017). *Wat is hydroponics?* Opgehaald van Dutch Hydroponics Solution: <http://hydroponic-solutions.nl/wat-is-hydroponics/>
- Duursen, J. v., & Nieuwenhuijs, A. (2016, juni 14). *Marktverkenning paludicultuur*. Opgehaald van Innovatieprogramma veen: http://www.innovatieprogrammaveen.nl/wp-content/uploads/2017/06/Marktverkenning-Paludicultuur_14-06-17.pdf
- Eggelte, H. (2014). Water- Moeras - of oeverplanten met groenige, bruinige of onduidelijke bloemen. In H. Eggelte, *Veldgids Nederlandse flora* (pp. 34, 36-37, 66-67). Zeist: KNNV Uitgeverij.
- EnvAqua. (2015, februari 16). *Biologische stikstofverwijdering*. Opgehaald van EnvAqua: <https://www.envaqua.nl/portals/biologische-stikstof-verwijdering/>

- Estim, A., Saufie, S., & Mustafa, S. (2018, februari 12). *Water quality remediation using aquaponics sub-systems as biological and mechanical filters in aquaculture*. Opgehaald van ScienceDirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214714416305335>
- Eurofins. (sd). *Ruw eiwit totaal*. Opgehaald van Eurofins Agro: <http://eurofins-agro.com/nl-nl/wiki/ruw-eiwit-totaal-0>
- Flora van Nederland. (2013, juli 30). *Gele lis*. Opgehaald van Flora van Nederland: http://www.floravannederland.nl/planten/gele_lis
- Gardenerdy.com. (2018). *The Surprising Benefits and Types of Aquaponic Systems*. Opgehaald van Gardenerdy: <https://gardenerdy.com/types-of-aquaponic-systems>
- Garver, E., Dubbe, D., & Pratt, D. (1988, Oktober). *Seasonal patterns in accumulation and partitioning of biomass and macronutrients in Typha spp.* . Opgehaald van ScienceDirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0304377088900927>
- Geurts, J., Fritz, C., Lamers, L., Grootjans, A., & Joosten, H. (2017, augustus 23). *Paludicultuur houdt de polder schoon*. Opgehaald van H2O-Online: <http://edepot.wur.nl/422465>
- Grab, A., & Junge, R. (2009). *Aquaponic Systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production*. Opgehaald van Lenntech: <https://www.lenntech.com/abstracts/2875/aquaponic-systems-nutrient-recycling-from-fish-wastewater-by-vegetable-production.html>
- Halling-Sorensen, B., & Jorgensen, S. (1993). *The Removal of Nitrogen Compounds from Wastewater*. Opgehaald van STOWA: <http://edepot.wur.nl/118746>
- HAN. (2014). *Samenvatting - boek 'Basisboek Praktijkonderzoek'*. Opgehaald van StudeerSnel.nl: https://www.studeersnel.nl/nl/document/hogeschool-van-arnhem-en-nijmegen/onderzoek-1/samenvattingen/samenvatting-boek-basisboek-praktijkonderzoek-h-1-7-13/267999/view?has_flashcards=1
- Hegeman, B. (2018a, februari 27). *Aquaponics systemen. Bezoek aan verschillende aquaponics systemen*. Nijverdal, Overijssel, Nederland.
- Hegeman, B. (2018b, april 18). *Inspectie van aquaponics systeem*. Leeuwarden: Van Hall Larenstein.
- Heinz, S. (2011). *Population biology of Typha latifolia L. and Typha angustifolia L.: establishment, growth and reproduction in a constructed wetland* . München: Technische Universität München .
- Hilbrants, W., & Vries, T. d. (2012). *Basisstatistiek*. Leeuwarden: Van Hall Larenstein.
- Hoek, J. v., Oldenkamp, S., & Jager, E. d. (1989). *Het gedrag van ureum in oppervlaktewater*. Opgehaald van Wageningen University & Research: <http://edepot.wur.nl/378147>
- ITW Reagents. (2018, januari 14). *Nitrogen Determination by Kjeldahl Method*. Opgehaald van PanReacAppliChem; ITW Reagents: https://www.itwreagents.com/uploads/20180114/A173_EN.pdf
- J.R.Smeenk. (sd). *Fotosynthese en verbranding in planten*. Opgehaald van Biologiepagina.nl: <https://biologiepagina.nl/Brugklasnieuw/Planten/fotosynthese.htm>

- Jaarsma, N., Klinge, M., & Lamers, L. (2008, maart). *Van helder naar troebel... en weer terug*. Opgehaald van STOWA: http://www.stowa.nl/Upload/publicaties2/mID_4924_cID_3914_18274180_rapport%202008%2004.pdf
- Keizer-Vlek, H., Verdonschot, P., Verdonschot, R., & Dekkers, D. (2013a, juli 30). *Floatlands veelbelovend als waterzuiveraar in stadswateren*. Opgehaald van H2OWaternetwerk: <https://www.h2owaternetwerk.nl/vakartikelen/254-hanneke-keizer-vlek-piet-verdonschot-ralf-verdonschot-dorine-dekkers-alterra>
- Keizer-Vlek, H., Verdonschot, P., Verdonschot, R., & Dekkers, D. (2013b, oktober). *Water zuiveren met drijvende planten*. Opgehaald van WaterWetenschap: <http://edepot.wur.nl/338653> of <https://www.h2owaternetwerk.nl/vakartikelen/254-hanneke-keizer-vlek-piet-verdonschot-ralf-verdonschot-dorine-dekkers-alterra>
- KNMI. (2018, april). *Gemiddelde temperatuur in Nederland per maand en jaar*. Opgehaald van Wintergek: <https://www.wintergek.nl/data/lijst-gemiddelde-temperatuur-nederland>
- Kuiper, H., Kraak, J., Meer, E. v., & Sutman, M. (2014). *Lisdodde: teelthandleiding*. Leeuwarden: Van Hall Larenstein.
- Kuyper, T. (2016). *Plantenvoedende stoffen*. Opgehaald van Wageningen University & Research: http://www.bodemenwater.wur.nl/inleidingbodem/leertekst/tekst/hoofdstuk_07/T07_05_Plantenvoeding.htm
- Laven, S. (sd). *Biodiversiteit*. Opgehaald van Wageningen University & Research: <https://www.wur.nl/nl/show-longread/Biodiversiteit-longread.htm>
- Lenntech. (2016, december 22). *Begrippenlijst - Biofilm*. Opgehaald van Ensie: <https://www.ensie.nl/lenntech/biofilm>
- Lenntech. (2018b). *Waterbegrippenlijst*. Opgehaald van Lenntech: <https://www.lenntech.nl/water-begrippenlijst.htm>
- Lenntech. (2018c). *Zuurstof in water*. Opgehaald van Lenntech: https://www.lenntech.nl/zuurstof_oplosbaarheid.htm
- LTO Groeiservice. (2006). *Kleuren: de invloed van golflengtes op het gewas*. Opgehaald van AgriHolland: <http://glastuinbouw.agriholland.nl/licht4/docs/kleurendeinvloedvangolflengtesophetgewas.pdf>
- Mels, A., Nieuwenhuijzen, A. v., Graaf, J. v., Klapwijk, A., Koning, J. d., & Rulkens, W. (2002). *Fysisch/chemische voorzuivering van afvalwater*. Opgehaald van STOWA: http://www.stowa.nl/upload/publicaties2/mid_4924_cid_3914_73061218_2001_20.pdf
- Microsoft. (2018). *STDEV.P, functie*. Opgehaald van Microsoft office support: <https://support.office.com/nl-nl/article/stdev-p-functie-6e917c05-31a0-496f-ade7-4f4e7462f285>
- MilieuFocus.nl. (2008, november 18). *Omgekeerde osmose*. Opgehaald van MilieuFocus: <http://www.milieufocus.nl/factsheets/o/omgekeerde-osmose.html>

- MLDS. (2018). *Wat is een C-13 ureum ademtest?* Opgehaald van Maag Lever Darm Stichting:
<https://www.mlds.nl/ziekten/onderzoeken/c-13-uren-ademtest/>
- Moesker, H. (2017, april 21). *Melkveevoeding*. Opgehaald van Groen Kennisnet:
<https://www.groenkennisnet.nl/nl/groenkennisnet/dossier/dossier-melkveevoeding.htm>
- Moorsel, R. v. (2014). *Gele lis*. Opgehaald van FLORON Verspreidingsatlas Vaatplanten:
<https://www.verspreidingsatlas.nl/0665#>
- Moorsel, R. v. (2015a). *Grote lisdodde*. Opgehaald van FLORON Verspreidingsatlas Vaatplanten:
<https://www.verspreidingsatlas.nl/1318#>
- Moorsel, R. v. (2015b). *Kleine lisdodde*. Opgehaald van FLORON Verspreidingsatlas Vaatplanten:
<https://www.verspreidingsatlas.nl/1317#>
- NDDF. (2018). *Gele lis*. Opgehaald van FLORON Verspreidingsatlas Vaatplanten:
<https://www.verspreidingsatlas.nl/0665>
- Nie, E. d., Mavrikis, S., Mendonca, B., Westrene, E. v., Leeuw, M. d., & Nurfitri, I. (2017). *The future of sustainable peat farming*. Wageningen: Gemeente Amsterdam; AMS instituut.
- Nouta, R. (2016). *Paludicultuur; natte, duurzame vorm van conventionele landbouw?* Leeuwarden: Van Hall Larenstein.
- NutriNorm. (2013). *Waarom heeft een plant stikstof nodig*. Opgehaald van NutriNorm:
<https://www.nutrinorm.nl/nl-nl/Paginas/Hoofdelementen-Waarom-heeft-een-plant-stikstof-nodig.aspx#.WtSicExulOR>
- NVON-commissie. (2008). *BINAS*. Groningen/Houten: Noordhoff Uitgevers.
- Offreins, B. (2018, februari 15). Telefoongesprek over effluentwater kaasfabriek. Leeuwarden.
- Poot, L. (2018). *Gele lis*. Opgehaald van Wilde bloemen in Nederland:
<http://www.wildebloemen.info/pages%20bloemen/G/gele%20lis.php>
- Prof. J. Blamire. (2003). *Kjeldahl Method*. Opgehaald van Science @ a Distance:
http://www.brooklyn.cuny.edu/bc/ahp/SDKC/Chem/SD_KjeldahlMethod.html
- Reddy, K., O'Connor, G., & Schelske, C. (1999). *Phosphorus Biogeochemistry in subtropical ecosystems*. Opgehaald van books.google.com:
<https://books.google.nl/books?id=FX64Ebx38ysC&pg=PA285&lpg=PA285&dq=N:P+cattail&source=bl&ots=epkAfdAYS&sig=qZyLnAwilhgBJ2kjMmlu9iokHfA&hl=nl&sa=X&ved=0ahUKEwjS47yOicTbAhXJmLQKHSIOB94Q6AEINjAC#v=onepage&q=N%3AP%20cattail&f=false>
- RIVM. (2012, maart 14). *Fosfor*. Opgehaald van Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu:
https://www.rivm.nl/Onderwerpen/L/Landelijk_Meetnet_effecten_Mestbeleid/Resultaten/Factoren_van_invloed/Bedrijfstype/Fosfor
- RIVM. (2017, augustus 31). *Stikstof in slootwater*. Opgehaald van Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu:
https://www.rivm.nl/Onderwerpen/L/Landelijk_Meetnet_effecten_Mestbeleid/Resultaten/Trends_in_de_nutrientconcentraties/Stikstof_in_slootwater
- ROTH. (2016, juli 12). *Veiligheidsinformatieblad Ureum*. Opgehaald van ROTH:
https://www.carlroth.com/downloads/sdb/nl/2/SDB_2317_NL_NL.pdf

- Schooten, H. v. (2017, december). *Handboek snijmaïs*. Opgehaald van Wageningen University & Research: https://www.wur.nl/upload_mm/d/5/7/1fc44552-1a66-40fc-8f31-ee6f7c0c88bd_Voeding.pdf
- STOWA. (1993, augustus 7). *Handboek stikstofverwijdering*. Opgehaald van STOWA: http://www.stowa.nl/publicaties/publicaties/handboek_stikstofverwijdering
- Stuyt, L., Bakel, P. v., Delsman, J., Massop, H., Kselik, R., Paulissen, M., . . . Schipper, P. (2013). *Zoetwatervoorziening in het Hoogheemraadschap van Rijnland*. Opgehaald van Wageningen University & Research: <http://edepot.wur.nl/265212>
- Truijen, G. (2015, maart). College waterzuivering. Leeuwarden, Nederland: Van Hall Larenstein.
- Truijen, G. (2018, maart 13). Gesprek met begeleidend docent. Leeuwarden: Van Hall Larenstein.
- Tuinadvies.nl. (sd). *Inleiding tot hydrocultuur*. Opgehaald van Tuinadvies.nl: https://www.tuinadvies.nl/artikels/wat_is_hydrocultuur
- Van Belle, J. (2018, maart 9). Gesprek met begeleidend docent. *Hoeveelheid planten*. Leeuwarden: Van Hall Larenstein.
- Van den Berg, M., & Keizer, M. (2016). *Mineralisatie immobilisatie*. Opgehaald van Wageningen University & Research: http://www.bodemenwater.wur.nl/inleidingbodem/leertekst/tekst/hoofdstuk_05/05.04.04_Mineralisatie_immobilisatie.htm
- Veld, C. i., Gubbels, E., Rorink, F., Schop, G. J., Berg, J. v., Petkovski, K., . . . Vermoolen, M. (2018). *People planet profit*. Opgehaald van Managementmodellensite.nl: <https://managementmodellensite.nl/people-planet-profit/#.WuGLzkxuIQ>
- Verhoeven, J. (sd). *Nutriënten*. Opgehaald van STOWA: [http://www.stowa.nl/Upload/Jos%20Verhoeven%20\(Universiteit%20Utrecht\).pdf](http://www.stowa.nl/Upload/Jos%20Verhoeven%20(Universiteit%20Utrecht).pdf)
- Vink, M., Doesschate, S. t., & Boer, E.-J. d. (2018). *Kristallen bij de kat: blaasgruis*. Opgehaald van Dierenkliniek Wilhelminapark: <http://www.dierenkliniekwilhelminapark.nl/dierinfo/kat/blaasproblemen/struviet%20kristallen.html>
- Voedingscentrum. (2018). *Hoe snel groeien bacteriën?* Opgehaald van Voedingscentrum: <http://www.voedingscentrum.nl/nl/thema-s/veilig-eten-voedselinfectie-voorkomen/hoe-snel-groeien-bacterien.aspx>
- Voedingscentrum.nl. (sd). *Eiwitten*. Opgehaald van Voedingscentrum: <http://www.voedingscentrum.nl/encyclopedie/eiwitten.aspx>
- Wageningen UR. (2001). *Zuiveringsmoerassen voor licht verontreinigd water*. Opgehaald van Wageningen University & Research: <http://edepot.wur.nl/137739>
- Wageningen UR. (2018). *Aquacultuur*. Opgehaald van Wageningen University & Research: <https://www.wur.nl/nl/Expertises-Dienstverlening/Onderzoeksinstituten/Economic-Research/Sectoren/Aquacultuur.htm>
- Wageningen UR. (sd). *Transport in de plant*. Opgehaald van Wageningen University & Research: <http://edepot.wur.nl/206647>

- Wamelink, G., & Runhaar, J. (2000). *Effecten verzilting zoete aquatische ecosystemen*. Opgehaald van DeltaFact: <http://deltaproof.stowa.nl/Templates/pdf.aspx?rId=47>
- Wijers, T., Speerstra, T., & Spruit, J. (2018, april 20). Uitleg N-Kjeldahl methode. Leeuwarden: Applied Research Centre.
- Wolchover, N. (2011, februari 2). *What are the Ingredients of Life?* Opgehaald van LiveScience: <https://www.livescience.com/32983-what-are-ingredients-life.html>
- Yara.com. (2017). *Wat is AdBlue?* Opgehaald van Air1: nederlands.air1.info/nl/all-about-adblue/what-is-adblue/
- Zegers, M. (2016, april 12). *Ammoniak, ammonium en ammonia, lekker verwarrend!* Opgehaald van KoiQuestion: <https://koiquestion.com/nl/2016/04/12/ammoniak-ammonium-en-ammonia-lekker-verwarrend/>
- zowerkthetlichaam.nl. (2014, oktober 1). *Inspanningsfysiologie; eiwitten en sport*. Opgehaald van Zo werkt het lichaam: <http://www.zowerkthetlichaam.nl/3872/inspanningsfysiologie-eiwitten-en-sport/>

Bijlagen

Bijlage I: Waterkwaliteit effluentwater kaasfabriek	ii
Bijlage II: Materiaal en methode met afbakening	iii
Bijlage IIa: Experiment aquaponics systeem	iii
Bijlage IIb: Referenties aquaponics systeem	xiii
Bijlage IIc: Fysisch-chemische waterkwaliteitsbepaling	xvi
Bijlage IId: Chemische waterkwaliteitsbepaling	xix
Bijlage IIe: Droge stof bepaling	xxi
Bijlage II f: Eiwitbepaling	xxiii
Bijlage III: Resultaten van de experimenten	xxvi
Bijlage IIIa: Resultaten van waterkwaliteitsbepalingen	xxvi
Bijlage IIIb: Resultaten van droge stof bepalingen	xxxiii
Bijlage IIIc: Resultaten van eiwitbepalingen	xxxvi
Bijlage IV: Berekeningen	xxxvii
Bijlage IVa: N:P-verhoudingen	xxxvii
Bijlage IVb: Eiwitgehalte	xxxvii
Bijlage V: Bezoek aan aquaponics systemen, Bauke Hegeman	xxxix

Bijlage I: Waterkwaliteit effluentwater kaasfabriek

Page 4.86

Name	Type	Process (short)	Product (short)	Permeaat CZV	Permeaat Geleidbaarheid	Permeaat pH	Permeaat Stikstof
20161129	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	0,0	33,7	4,27	33,5
20161130	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	5,0	33,2	4,42	35,3
20161201	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	5,0	13,3	4,93	30,0
20161202	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	8,0	10,0	6,18	29,6
20161203	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	5,0	8,7	5,65	28,7
20161204	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	0,0	11,0	5,94	32,2
20161205	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	41,0	8,4	5,36	30,2
20161206	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	3,0	70,8	3,74	29,2
20161207	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	0,0	11,2	5,88	29,7
20161208	Chemie	Chemie	Chemie Tabel		38,0	4,16	35,2
20161209	Chemie	Chemie	Chemie Tabel				29,9
20161210	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	8,0	13,5	5,44	31,9
20161211	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	2,0	56,2	3,94	35,1
20161212	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	7,0	57,4	4,06	28,8
20161213	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	2,0	41,6	4,08	34,2
20161214	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	2,0	8,6	5,75	38,1
20161215	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	7,0	94,6	3,66	31,8
20161216	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	8,0	9,5	5,79	35,3
20161217	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	7,9		6,05	36,5
20161218	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	45,0	18,1	4,79	34,4
20161219	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	10,0	11,0	5,60	29,0
20161220	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	7,0	42,8	4,09	33,0
20161221	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	10,0	8,4	5,75	27,9
20161222	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	12,0	56,0	4,10	34,1
20161223	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	0,0	12,4	5,17	30,0
20161224	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	2,0	36,0	5,02	33,0
20161225	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	5,0	35,0	4,26	32,5
20161226	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	10,0	8,1	5,66	29,3
20161227	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	0,0	43,0	4,07	34,4
20161228	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	5,0	35,5	4,19	42,6
20161229	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	8,0	49,0	4,10	32,1
20161230	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	2,0	14,1	5,50	55,6
20161231	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	5,0	9,9	5,44	
20170101	Chemie	Chemie	Chemie Tabel		46,5	4,09	
20170102	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	8,0	23,6	4,06	23,6
20170103	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	12,0	20,8	3,24	40,7
20170104	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	0,0	58,5	4,05	38,5
20170105	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	10,0	53,4	3,95	34,2
20170106	Chemie	Chemie	Chemie Tabel				
20170107	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	3,0	12,8	6,20	21,2
20170108	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	10,0	13,0	6,03	31,9
20170109	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	7,0	32,0	4,63	28,1
20170110	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	5,0	12,0	8,31	27,7
20170111	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	15,1	44,1	4,08	17,1
20170112	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	138,0	89,7	4,20	20,8
20170113	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	2,0	57,9	3,96	
20170114	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	5,0	41,3	4,14	
20170115	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	10,0	46,3	4,11	18,9
20170116	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	28,0	9,1	5,77	30,8
20170117	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	13,0	52,1	5,90	33,0
20170118	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	7,0	14,6	5,67	38,3
20170119	Chemie	Chemie	Chemie Tabel				
20170120	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	7,0	43,3	4,16	48,0
20170121	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	8,0	8,0	5,72	30,1
20170122	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	2,0	8,0	5,19	39,2
20170123	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	5,0	24,0	5,72	32,5
20170124	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	2,0	54,0	3,90	36,0
20170125	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	10,0	12,2	5,61	33,0
20170126	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	0,0	50,1	4,00	34,0
20170127	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	7,0	59,9	4,07	35,8
20170128	Chemie	Chemie	Chemie Tabel	7,0	18,4	5,74	27,8

Figuur I.1: Waterkwaliteit effluent kaasfabriek met 'Permeaat Stikstof' in mg/l (Offreins, 2018)

Bijlage II: Materiaal en methode met afbakening

In de paragrafen in deze bijlage staat per experiment aangegeven wat er nodig is, hoe het uitgevoerd moet worden en wat de afbakening is. Paragraaf IIa beschrijft het experiment van het aquaponics systeem. Paragraaf IIb beschrijft het experiment met de referentie-emmers. Paragraaf IIc en IId beschrijven hoe waterkwaliteitsmetingen uitgevoerd moeten worden en paragraaf IIe en IIf beschrijven de uitvoering van de droge stof bepaling en eiwitbepaling. Het is noodzakelijk om aantekeningen te maken van de resultaten en om de berekeningen uit te schrijven. Dit is nodig voor de analyse van de resultaten. De benodigdheden hiervoor zijn niet opgenomen in de paragrafen, maar spreken voor zich.

De experimenten worden uitgevoerd in het Water Applicatie Centrum (WAC) of in het chemisch laboratorium die daaraan vast zit. In deze ruimtes gelden de algemene regels voor werken in een laboratorium. Voorbeelden van deze regels zijn: niet eten en drinken; draag dichte, stevige schoenen, het liefst veiligheidsschoenen; maak lang haar vast; draag een witte laboratoriumjas; maak geen foto's en neem geen tassen mee naar binnen. In het chemisch laboratorium is het dragen van handschoentjes verplicht. Wanneer gewerkt wordt aan het aquaponics systeem, mag ervoor gekozen worden de handschoentjes uit te laten. De regels zijn niet apart opgenomen in dit rapport, maar worden bekend verondersteld bij degene die de practica uitvoert.

Van de planten in het aquaponics systeem en van de referentie-emmers zullen wel foto's gemaakt worden. Dit is ter ondersteuning van het onderzoek. Bij het maken van de foto's zal geprobeerd worden zo weinig mogelijk van de omgeving erbij op te zetten. De foto's waarbij dit niet is gelukt, zullen niet openbaar gemaakt worden.

Achter enkele benodigdheden staat 'heeft Eric'. Eric de Bruin is de opdrachtgever van dit onderzoek.

Bijlage IIa: Experiment aquaponics systeem

In deze paragraaf is zowel het opzetten van het systeem als het uitvoeren van de metingen meegenomen. Als eerst komen hiervoor de benodigdheden en de methode aan bod. Aan het water wordt AdBlue en zoutzuur-oplossing toegevoegd. Onder de kopjes 'Methode voor het bepalen van de benodigde hoeveelheid AdBlue' en 'Bepaling van de benodigde hoeveelheid HCl-25%-oplossing' wordt beschreven om hoeveel (milli)liter het gaat. Als laatst wordt de afbakening van het experiment beschreven.

Benodigdheden

- Pompkar (staat in WAC);
- Aquaponics systeem inclusief 10 cm teeltbed hydrocultuurkorrels, waterpomp van 1500 l/h, fonteinje en afvoer met PVC buis (beschikbaar op VHL);
- 3 zakken hydrocultuurkorrels van 40 l (heeft Eric);
- Locatie in WAC met stroom- en watervoorziening (regelen met mensen van WAC);
- Bak voor huidige planten (heeft Eric);
- Bak voor kreeftjes (heeft Eric);
- Leidingwater;
- Buisje ± 16 cm om waterpeil op te hogen (beschikbaar op het WAC);
- IJzerdraad (zelf meenemen/ beschikbaar op het WAC);
- Rolmaat (zelf meenemen/ beschikbaar op het WAC);
- Regenton waar deksel vanaf is (voor dit onderzoek is deze door een medewerker van het WAC beschikbaar gesteld);
- Buis die op pomp kan, zodat water over gezet kan worden van systeem naar regenton (beschikbaar op het WAC);

- Borstel (ligt in de spoelruimte in het WAC);
- Afvoer naar riool;
- Schepnet (heeft Eric);
- Emmer en schep om planten te steken (beschikbaar bij tuinman op VHL);
- 8 lisdoddeplanten (gestoken uit sloot op de Agora naast de kerk, vlakbij school);
- 8 gele lis planten (heeft Eric in zijn tuin);
- Tussenschot $\pm 85 \times 20$ cm (beschikbaar op het WAC);
- Lichtbak (heeft Eric);
- $\pm 0,5$ l AdBlue (tanken bij een pompstation. AdBlue tanken kan niet overal, maar vaak wel bij de stations waar veel vrachtwagens komen);
- 6 plastic monsterbuisjes van 45 ml (ligt op voorraad in het WAC);
- Vriezer (staat in het chemisch laboratorium in het WAC);
- pH-meter (beschikbaar in het chemisch laboratorium in het WAC, deze meet ook de temperatuur);
- Finnpijette met 2 tips (beschikbaar in het laboratorium);
- HCl 25%-oplossing, ongeveer 150 ml (beschikbaar in het laboratorium);
- 1 tijd klok (heeft Eric);
- Materialen uit bijlage IIc en IId voor metingen.

Methode

1. Regel een geschikte locatie in het WAC waar stroom en water is;
2. Regel een pompkar;
3. Verplaats het aquaponics systeem van de huidige locatie naar de locatie in het WAC;
4. Sluit de pomp aan;
5. Haal de huidige planten eruit en plaats ze in een aparte bak. In deze bak hydrocultuurkorrels en water doen, zodat de planten verder kunnen groeien;
6. Haal de kreeftjes uit de bak en plaats ze over op een andere bak. De kreeften zijn van de opdrachtgever, hij bepaald wat er verder mee gedaan wordt;
7. Hoog het teeltbed in het systeem op met de zakken hydrocultuurkorrels;
8. Hoog de waterstand op door een langer buisje op de afvoer te zetten (bij een buisje van 16 cm komt de laagste waterstand op 18,2 cm en de hoogste waterstand op 20,8 cm. De hoogste waterstand zit dan net onder het oppervlak);
9. Plaats het tussenschot precies in het midden van de bak met aan de ene kant de aanvoer van water en aan de andere kant de afvoer van water. Het tussenschot moet aan één kant de bak raken, zodat het water in een C-vorm stroomt. De hoogte van het schot moet hoger zijn dan de hoogste waterstand. Wanneer het makkelijker werkt als de waterstand laag is, kan ervoor gekozen worden de pomp tijdelijk uit te schakelen;
10. Regel een emmer en schep en steek 7 lisdodde wortelstokken uit de sloot;
11. Maak de wortels van de gestoken planten schoon in de schoonmaakruimte in het WAC. Eric heeft de wortelstokken van de gele lis. Er mag (bijna) geen klei of andere grond meer aan zitten. Dit kan namelijk het nutriëntgehalte in het water veranderen. De wormen mogen wel in het aquaponics systeem zitten;
12. Zet de lisdodde en gele lis in de bak: aan de kant van de aanvoer van het water moeten 7 lisdodden verspreid komen te staan, aan de kant van de afvoer moeten 7 gele lis planten verspreid komen te staan. Zet een extra lisdodde en gele lis plant in het systeem op een willekeurige plaats. Deze worden voor de referentie-emmers gebruikt;

13. Wanneer de afvoer verstopt komt te zitten met hydrocultuurkorrels, kan gebruik gemaakt worden van ijzerdraad. Dit verhindert dat de korrels tussen het buisje en de PVC buis voor de afvoer komen te zitten;
14. Meet de waterkwaliteit van het water dat nu in het systeem zit volgens bijlage IIc en IId: pH, EGV, T, N en P. Dit water wordt bewaard voor het geval de planten niet kunnen groeien in het nieuwe water of voor andere, later te bepalen redenen;
15. Laat de planten in het aquaponics systeem enkele dagen acclimatiseren;
16. Pomp het water dat nu in het systeem zit met de pomp over door middel van een buis die hierop aangesloten kan worden. Deze buis is om de afstand tussen het systeem en de regenton te overbruggen. Ook moet het water uit de bovenste bak van het systeem worden laten gelopen. Mocht het nodig zijn dit oude water nog te gebruiken, dan kan dit water gemakkelijk teruggepompt worden;
17. Wanneer nog een kleine laag water in het systeem zit, dan het overpompen stoppen en beginnen met het schoonmaken van de binnenkant van de onderste bak. Voeg eventueel leidingwater toe. Sluit de pomp niet (!) aan op het aquaponics systeem;
18. Laat het vieze water uit systeem in de rioolafvoer lopen door gebruik te maken van de kraan die aan de zijkant van de tank zit. Vang met het schepnetje de hydrocultuurkorrels op die in de onderste bak zijn gekomen;
19. Zorg ervoor dat geen water meer uit de bovenste bak loopt. Giet leidingwater in het systeem, sluit de pomp aan en spoel het systeem door. Wacht ongeveer 2 uur;
20. Zet de pomp uit en giet het spoelwater in de rioolafvoer;
21. Vul de tank opnieuw met leidingwater, ongeveer 250 l. Deze hoeveelheid hoeft niet exact te zijn. Manier om te bepalen: bereken de oppervlakte van de bak en voeg water toe tot een bepaalde hoogte. De hoogte is te meten met de rolmaat;
22. Maak een berekening van hoeveel AdBlue nodig is om het stikstofgehalte in het aquaponics systeem op een waarde van 25 mg/l te krijgen:
 $25 \text{ mg/l} = 25 * 1,24 = 31,0 \text{ ml AdBlue}$, zie ook de berekening op de volgende bladzijde;
23. Spuit de helft van de hoeveelheid AdBlue met een finnpipette in het systeem. Niet de hele hoeveelheid AdBlue wordt toegevoegd, omdat op deze manier de planten enigszins kunnen acclimatiseren;
24. Vul een monsterbuisje en stop deze in de vriezer. Zet met stift het soort water, datum en naam erop. Dit is nodig voor als in een later stadium besloten wordt toch het gehalte nutriënten in dit water te meten;
25. Meet de pH en temperatuur;
26. Zet de pomp weer aan;
27. Installeer de lichtbak, hang deze in het midden boven de bak;
28. Stel de tijd klok voor het licht in: 12 uur aan van 7.00-19.00 en 12 uur uit van 19.00-7.00;
29. Wacht een week;
30. Doe de pomp uit. Laat het water uit de bovenste bak stromen, zodat bijna al het water in de onderste bak zit;
31. Voeg (de andere helft van de hoeveelheid) AdBlue met finnpipette in het systeem toe en meng dit goed door met de pomp*;
32. Vul een monsterbuisje met water uit de onderste bak en stop deze in de vriezer. Zet met stift het soort water, datum en naam erop. Dit is nodig voor als in een later stadium besloten wordt toch het gehalte nutriënten in dit water te meten;
33. Meet de pH, temperatuur, EGV, zuurstof, N-totaal en P-totaal van het water uit de onderste bak van het systeem. Dit is de nulmeting. De benodigde materialen en de methode hiervan

staan in bijlage IIc en IId. Om de pH, EGV, temperatuur en zuurstof te meten, moet de multimeter aangesloten worden welke 24-uursmetingen kan verrichten;

34. Sluit de pomp aan;
35. Breng de pH met HCl-25%-oplossing omlaag naar een waarde van 7. Let op, dit is een gevaarlijke vloeistof die bijtend is. Zorg voor goede persoonlijke bescherming als handschoentjes, laboratorium jas, bril, et cetera. In verhouding is zeer weinig zoutzuur nodig, namelijk maar enkele tientallen milliliters. Houdt bij hoeveel milliliter je aan het systeem toevoegt en houdt ook bij wat het meetnummer op de multimeter is bij toevoeging van de oplossing. Begin met het toedienen van 10 ml zoutzuuroplossing. Ga net zolang door met het toedienen van zoutzuuroplossing totdat de pH-waarde constant blijft. Wanneer de oplossing toegediend wordt op de plaats van de afvoer, zal sneller menging ontstaan. Het resultaat is dan eerder waarneembaar. Het is mogelijk dat toediening van HCl-25%-oplossing op meerdere dagen moet plaatsvinden, omdat de pH-waarde weer kan stijgen;
36. Meet na een week de pH, temperatuur, EGV, zuurstof, N-totaal en P-totaal opnieuw en houdt de resultaten overzichtelijk bij. Doe dit in totaal 4 weken achter elkaar. Neem ook van elke week een monster van 45 ml;
37. Meet bij waterkwaliteitsmeting 4 opnieuw de waterstand, laat hiervoor de bovenste bak leeglopen met water. Bereken hoeveel water is verdampt;
38. Ruim de opstelling op. Vraag aan Eric wat hij met de planten, de Hach Lange kitjes en het water wil. De-installeer ook de multimeter, zie bijlage IIc.

*Het is mogelijk dat de hydrocultuurkorrels na het doorspoelen nog stikstof bevatten. Het stikstofgehalte kan na toevoeging van de hoeveelheid AdBlue uiteindelijk hoger uitvallen dan berekend is. Tegelijkertijd is de pH van het systeem nog niet aangepast en vervliegt stikstof in de vorm van ammoniakgas. Voordat de rest van de berekende hoeveelheid AdBlue toegevoegd wordt, is het verstandig nog een stikstofmeting in duplo uit te voeren. Deze meting is een extra meting. Het telt niet als 0-meting of meting 1, omdat deze meting niet in het ritme van de rest van de metingen meedoet. Aan de hand van de resultaten van de meting kan het toe te voegen AdBlue opnieuw berekend worden.

Methode voor het bepalen van de benodigde hoeveelheid AdBlue

Met de gegevens in onderstaande tabel kan de benodigde hoeveelheid AdBlue op een bepaald aantal liter water worden berekend. In een jerrycan van 10 l AdBlue zit 3,25 l ureum (Yara.com, 2017) (Bruin, 2018a).

Tabel II.1: Gegevens ureum en stikstof om de benodigde hoeveelheid AdBlue te berekenen (NVON-commissie, 2008) (ROTH, 2016)

Ureum (g/l _{AdBlue})	M _{ureum} (g/mol)	Ureum (mol/l)	N (mol/l)	M _{stikstof} (g/mol)	N (g/l)	V _{water} A.S. (l)
432,25	60,062	7,20	14,4	14,01	201,6	250

Wanneer een gehalte stikstof van 1 mg per liter water nodig is, dan is $1 / 201,6 \times 10^3 = 4,96 \times 10^{-6} \text{ l} = 4,96 \text{ } \mu\text{l}$ AdBlue nodig. (II.1)

Gegeven waarmee verder gerekend kan worden: 1 mg N/l = $4,96 \times 10^{-3} \text{ ml}$ AdBlue.

Voor 250 l water is dan $250 * 4,96 \times 10^{-3} = 1,24 \text{ ml}$ AdBlue nodig voor een concentratie van 1 mg N/l.

Bepaling van de benodigde hoeveelheid HCl-25%-oplossing

Zoutzuuroplossing wordt gebruikt om de pH van het aquaponics systeem en de emmers omlaag brengen, zie ook het kopje 'Zuurgraad water' in de afbakening van deze paragraaf. De werkelijk benodigde hoeveelheid HCl-25%-oplossing zal blijken uit de praktijk. Het is onbekend hoe groot de buffer van het systeem en de emmers is, waardoor op voorhand niet kan worden berekend hoeveel HCl-25%-oplossing nodig is. In het kader op de volgende bladzijde is een berekening weergegeven van hoeveel oplossing nodig zou zijn om een bepaalde hoeveelheid AdBlue op een zuurgraad van 4,86 te krijgen. Deze berekening is in een vroeg stadium van het onderzoek uitgevoerd. Op dat moment was nog onduidelijk welke experimenten en metingen zouden worden gedaan. Dit kader is achteraf voor dit onderzoek wel van belang. Het geeft namelijk een indicatie van hoeveelheid HCl-oplossing moet worden toegevoegd, of het milliliters, centiliters of liters zijn. In het kader hieronder staan de benodigdheden en de methode voor het experiment dat heeft plaatsgevonden.

Benodigdheden

- HCl-25%-oplossing (beschikbaar in het laboratorium);
- Bekerglaasje 20 ml (beschikbaar in het laboratorium);
- Bekerglaasje 100 ml (beschikbaar in het laboratorium);
- Bekerglaasje 200 ml (beschikbaar in het laboratorium);
- Finnpijette met tipp voor 0,050 ml en 5 ml (beschikbaar in het laboratorium);
- Demiwatër;
- pH-meter.

Methode

1. Pak de HCl-25%-oplossing uit de zuurkast;
2. Giet een klein laagje oplossing hiervan in het kleinste bekglaasje;
3. Pipetteer 0,050 ml hieruit in het bekglaasje van 200 ml;
4. Voeg AdBlue toe aan de 0,050 ml HCl 25%-oplossing. Begin met 20 ml;
5. Meet na elke toevoeging de pH en maak na elke pH-meting de elektrode schoon met demiwatër boven het bekglaasje van 100 ml;
6. Voeg een aantal keer AdBlue toe, zodat met de resultaten een tabel en grafiek gemaakt kan worden. Probeer naar de pH van 4,86 te komen;
7. Maak de gebruikte bekglaasjes schoon, doe de tips in de prullenbak en giet het overgebleven zoutzuuroplossing in de jerrycan die voor zure oplossingen bestemd is.

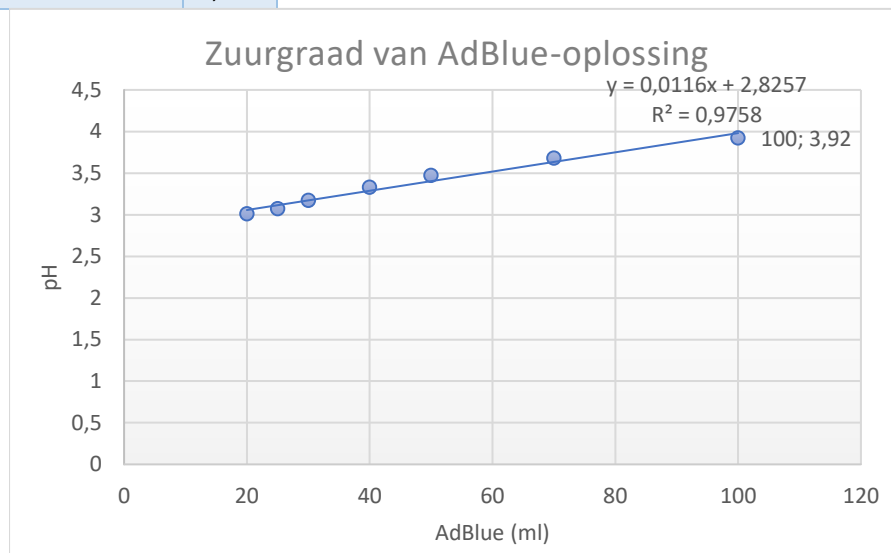
Resultaten

De pH-waarde van AdBlue is 9,57. Dit is met behulp van een pH-meter bepaald. De pH-waarde van water ligt rond de 7. Hieronder staat de tabel en figuur met gegevens waarmee de benodigde hoeveelheid HCl-25%-oplossing voor een pH van 4,86 is berekend.

Onderstaande resultaten zijn verkregen door aan 0,050 ml HCl-25%-oplossing een bepaalde hoeveelheid AdBlue toe te voegen. Van de oplossingen is de pH gemeten.

Tabel II.2: Zuurgraad van AdBlue-oplossing bij gebruik van 0,050 ml HCl 25%-oplossing

AdBlue (ml)	pH
20	3,01
25	3,07
30	3,17
40	3,33
50	3,47
70	3,68
100	3,92



Figuur II.1: Zuurgraad van AdBlue-oplossing bij gebruik van 0,050 ml HCl 25%-oplossing

De R^2 in de grafiek geeft aan dat 97,58% van de y-waarden verklaard wordt door de x-waarden (Hilbrants & Vries, 2012). Dit getal is hoog genoeg om mee verder te kunnen rekenen.

$$y = 0,0116x + 2,8257$$

$$\text{pH} = 0,0116V + 2,8257 \text{ waarin } V = \text{volume AdBlue}$$

$$\text{pH} = \text{gemiddelde pH van kaasfabriek (zie bijlage I)} = 4,86$$

$$V = (4,86 - 2,8257) / 0,0116 = 175,4 \text{ ml AdBlue}$$

Bij een volume van 0,050 ml HCl-25%-oplossing is 175,4 ml AdBlue nodig om AdBlue op een pH-waarde van 4,86 te brengen.

Stel dat de hoeveelheid vloeistof in het aquaponics systeem niet 245 liter water was, maar AdBlue. Dan is de benodigde hoeveelheid HCl-25%-oplossing voor een pH-waarde van 4,86: $(245.000 * 0,050) / 175,4 = 69,8 \text{ ml}$.

De pH-waarde van AdBlue ligt hoger dan die van water. Dit houdt in dat minder dan 69,8 ml HCl-25%-oplossing nodig zou zijn om een pH van 4,86 te krijgen. Verwacht wordt dat meer oplossing nodig is, omdat de buffercapaciteit van het aquaponics systeem hoger is dan die van AdBlue.

Afbakening

Vervangende methode van aquaponics systeem

Om stikstof in de vorm van ureum uit het water te halen, zijn naast het gebruik van een aquaponics systeem ook andere opties mogelijk. Een voorbeeld hiervan is om bij een hoge temperatuur en pH ammonium te strippen, zie ook figuur 3.2 op bladzijde 9. Ammonium wordt dan op grote schaal omgezet naar ammoniakgas, zie ook de reactievergelijking in paragraaf 3.2. (STOWA, 1993)

Ammoniak is vluchtig, waardoor het stikstof uit het water verdwijnt. Dit gas is echter schadelijk en zal opgevangen moeten worden. Dit kan vervolgens weer reageren met een andere stof en daarvan kan het eindproduct voor verschillende doeleinden, zoals drop, worden gebruikt. (Truijen, 2018)

Deze methode lijkt in eerste instantie niet bruikbaar voor het effluentwater van de kaasfabriek. Dit heeft te maken met de grote hoeveelheden afvalwater die ze lozen: 600 m³ per week. Hierbij komt een zeer grote hoeveelheid ammoniakgas vrij. (Bruin, 2018b)

Reden van het gebruik van hydrocultuur korrels

Hydrocultuur korrels zijn poreus (Tuinadvies.nl, sd). Dit maakt dat er voor micro-organismen veel ruimte is om te groeien. Micro-organismen zijn nodig om ureum om te zetten naar andere vormen van stikstof. Zij zijn dus in grote hoeveelheden nodig in het aquaponics systeem. (Hegeman, 2018a) Een tweede reden voor het gebruik van de korrels is dat deze licht van gewicht zijn en dat water er snel doorheen kan stromen. Doorstroming van water is belangrijk voor nutriënten aanvoer. De bovenste bak van het aquaponics systeem waarin het medium zich bevindt, staat op enige hoogte. Een niet al te zware bak is daarom belangrijk. Aarde is niet geschikt als medium, omdat het veel water vasthoudt en daarbij is het zwaar. (Hegeman, 2018a)

Dikte teeltbed en hoeveelheid water

Wat de optimale dikte van het teeltbed is, is niet eerder wetenschappelijk onderzocht. Wel geeft Bauke Hegeman aan dat een teeltbed van 30 cm beproefd is en goed werkt (Hegeman, 2018a). In verband met praktische omstandigheden als tijd en geld is ervoor gekozen het teeltbed niet tot de beproefde hoogte van 30 cm te brengen. Het teeltbed was aan het begin van het onderzoek slechts enkele centimeters dik. Om meer water te kunnen bergen is het teeltbed wel opgehoogd. Er waren drie zakken hydrocultuurkorrels beschikbaar. Dit is tot een hoogte van 23 cm gekomen.

De verhouding water/hydrokorrels is heel belangrijk. Er moet net zoveel water in de vistank zitten als dat het teeltbed in volume is. Dan is de efficiëntie het hoogst. Vooral in de startfase is de verhouding 1 : 1 belangrijk. (Hegeman, Aquaponics systemen, 2018a) Door op te meten komt het volume van de hydrokorrels op ongeveer 245 l (= 112 * 95 * 23 cm). Voor het aquaponics systeem is gekozen om deze waarde af te ronden naar boven, 250 l. In het WAC waar de installatie staat, vindt namelijk verdamping plaats. Het is niet praktisch het systeem elke week bij te vullen met water, omdat het stikstofgehalte dan ook aangepast moet worden. Dit vergt veel tijd in berekeningen en dergelijke. Ook zal water uit het systeem gehaald worden om referentie-emmers te vullen. Bij een hoeveelheid van 250 l staat de waterpomp onder water. Dit is nodig voor een constante waterstroom.

Om de mate van verdamping gedeeltelijk te beperken, is gekozen voor een maximale waterstand net onder het oppervlak van de hydrocultuurkorrels (Hegeman, 2018a). Omdat de gele lis en lisdodde moerasplanten zijn, hebben zij wel een grote hoeveelheid water nodig (Alterra, 2017). Het waterpeil in het systeem zal fluctueren. Dit wordt gedaan om de natuurlijke situatie na te bootsen (Beek, 2015). De grote lisdodde prefereert fluctuerend waterpeil boven stilstaand water (Nie, et al., 2017). Een fluctuerend waterpeil brengt meer zuurstof in het bovenste deel van het systeem wat nodig is voor ammonificerende en nitrificerende bacteriën (Truijen, 2015). De wortels van de planten blijven wel genoeg water behouden wanneer het peil op zijn laagst staat. Hydrocultuurkorrels houden namelijk veel water vast.

De mate van de fluctuatie van het waterpeil is in stand gehouden met wat dit was voor het onderzoek. In dit onderzoek wordt de invloed van de mate van fluctuatie op de waterzuivering niet onderzocht. Dit is een onderzoek op zich waar meerdere aquaponics opstellingen voor nodig zijn. In het systeem fluctueert het water tussen een peil van 18,2 cm en 20,8 cm.

Afmetingen tussenschot

Voor het tussenschot zijn de afmetingen 85 x 20 cm gekozen. Bij een hoogte van 20 cm stroomt het water niet over het tussenschot heen. Bij een lengte van 85 cm is het oppervlak tussen het schot en het systeem groot genoeg voor zeven planten om te groeien. Het water stroomt op deze manier te allen tijde langs de wortels van de planten. Het schot is niet langer gemaakt, omdat het water nog de bocht om moet kunnen gaan.

Wat de dikte van het schot betreft, het schot moet stevig zijn, geen water doorlaten en niet te veel ruimte van de bak in beslag nemen. Voor dit onderzoek was een houten schot van een centimeter dik beschikbaar. Dit schot voldoet aan de eisen.

De onderkant van de bak met hydrocultuurkorrels is niet recht, er zitten deuken in. Dit houdt in dat bij een recht schot het water onder het schot door kan lopen. Bij dit onderzoek is ervoor gekozen om geen schot op maat te maken. Dit kost te veel tijd en hier ligt de nadruk van het onderzoek niet op. Het gaat ongeveer om een lengte van 40 cm waar ruimte zit waar het water doorheen kan stromen. Uiteraard zitten op deze plaats ook hydrocultuurkorrels.

Aantal planten

De planten zijn gestoken in de winter. Voor de lisdodde geldt dat in de lente transport van nutriënten plaats vindt van de wortels naar de bladeren. Wanneer de bladeren zich ontwikkelen, vindt een snelle groeifase plaats met een piekopname van nutriënten. Als de groei van bladeren gestopt is, wordt het merendeel van de nutriënten weer naar de wortelstok gebracht. (Garver, Dubbe, & Pratt, 1988) (Nie, et al., 2017) De verwachting is dat de groei van de wortelstok het grootst is in de periode dat de plant de meeste nutriënten nodig heeft. Dit wordt ondersteund door een rapport dat onderdeel is van het project Better Wetter. Hierin wordt vermeld dat de groei van wortelstokken van de lisdodde het grootst is in de vroege zomer (Kuiper, Kraak, Meer, & Sutman, 2014). In de natuur heeft één wortelstok van de lisdodde na een jaar ongeveer een vierkante meter aan ruimte nodig om verder te kunnen groeien (Van Belle, 2018). De wortelstok van de gele lis lijkt op die van de lisdodde. Vermeerdering vindt plaats via de wortelstok en via zaden (Dijkstra, 2018). De verwachting is dat de wortelstokken van deze plant wat groei betreft niet veel van die van de lisdodde verschillen.

In verband met dat de planten nog klein zijn en het wel gewenst is om een verschil in stikstofgehalte te kunnen meten, is ervoor gekozen om meerdere wortelstokken in het systeem te plaatsen. Hoe meer wortelstokken in het systeem staan, hoe meer wortelstokken het water tegenkomt en hoe waarschijnlijker het wordt dat wortelstokken stikstof uit het water opnemen. Bij de hoeveelheid wortelstokken moet wel gelet worden op het feit dat de plant genoeg ruimte heeft om te groeien. De planten staan in ieder geval 3,5 maanden in het aquaponics systeem. De hoeveelheid lisdoddeplanten zijn gelijk aan de hoeveelheid gele lis planten.

Met een aantal van zeven wortelstokken per plantensoort wordt verwacht dat het doel behaald kan worden en dat de wortels nog genoeg ruimte hebben om te groeien.

Systeem schoonmaken

Het aquaponics systeem stond in elkaar. Er is een poging gedaan om de onderste bak met een borsteltje en een buis schoon te maken, om zoveel mogelijk aanslag uit het systeem te verwijderen. Omdat de bovenste bak schuin op de onderste bak zit, was het niet mogelijk elk gedeelte even goed schoon te maken. Het doel van het schoonmaken was niet om alle nutriënten uit het systeem te

verwijderen. Op deze manier zouden namelijk geheel schone hydrocultuurkorrels in het systeem moeten komen te zitten; moet de bovenste bak van de onderste afgehaald worden; moet de bovenste bak geheel leeg gehaald worden; et cetera. Dit kost tijd en geld. Het doel was om de bak met de beschikbare middelen in een korte tijd zo schoon mogelijk te maken, zodat weinig restanten uit het oude water in het nieuwe water komen. De bak is wel helemaal doorgespoeld met leidingwater voordat het nieuwe water erin kwam. Restanten van nutriënten belemmeren het onderzoek niet.

Stikstofgehalte in het aquaponics systeem

Voor de bepaling van de hoeveelheid stikstof in het systeem is rekening gehouden met onder welke concentraties de lisdodde en gele lis in de natuur kunnen groeien. Daarnaast is rekening gehouden met dat het stikstofgehalte niet te laag en te hoog moet zijn. Het moet niet te laag zijn, omdat er een verschil in stikstofgehalte moet kunnen worden gemeten. Het moet niet zijn dat wanneer veel stikstof uit het water wordt gezuiverd, dat op een gegeven moment geen stikstof meer in het water aanwezig is. De zuivering is dan niet optimaal. Het stikstofgehalte moet niet te hoog zijn, omdat niet duidelijk is onder welke stikstofconcentraties de planten in een aquaponics systeem kunnen groeien. Bij een te hoge stikstofconcentratie zou het voor kunnen komen dat de planten niet overleven. De gele lis kan veel nutriënten uit het water opnemen (Keizer-Vlek, Verdonschot, Verdonschot, & Dekkers, 2013b). Deze plant groeit juist onder stikstofrijke omstandigheden (NDFF, 2018). Hoeveel stikstof deze plant aankan, is niet bekend.

Reinder Nouta schrijft in zijn rapport dat de hoogste biomassaopbrengst van de lisdodde is behaald bij het hoogste stikstofgehalte in zijn onderzoek. Dit gehalte was 14,7 mg/l, $1051,37 \text{ mmol} \cdot 14,0067 \text{ g/mol} = 14,7 \text{ mg/l}$. Dit houdt in dat de lisdodde onder dergelijke stikstofconcentraties goed groeit. De zuurgraad in dat onderzoek was laag: 4,9 en 3,7. Hij zegt ook dat de opname van ammonium hoger is als de pH boven de 5 is. (Nouta, 2016)

Het effluentwater van de kaasfabriek bevat meer stikstof dan 14,7 mg/l. Omdat R. Nouta aangeeft dat een hogere biomassaproductie van de lisdodde plaatsvindt bij een hoog stikstofgehalte en omdat de pH in dit onderzoek hoger is dan 5, is gekozen voor een hoger stikstofgehalte. De concentratie stikstof van 25 mg/l is als streefwaarde voor het systeem aangehouden. Dat voor 25 mg/l is gekozen en niet voor 20 mg/l heeft te maken met dat het eerste Hach Lange kitje dat voor dit project beschikbaar was een range heeft van 20 mg/l tot 100 mg/l.

Bij de bepaling van de beginwaarde van stikstof is geen rekening gehouden met andere nutriënten die als limiterende factor op kunnen treden. Het is namelijk niet onderzocht welke nutriënten in het stikstofrijke water zitten.

Zuurgraad water

Het kan zijn dat op meerdere dagen zoutzuuroplossing aan het water moet worden toegevoegd. Omdat nog andere werkzaamheden voor het onderzoek worden gedaan, is het niet mogelijk om continu op de zuurgraad te letten. Er zal naar gestreefd worden om één keer in de twee uren van de werkdag de pH te controleren en eventueel bij te stellen. Dit geldt alleen in de eerste week van het onderzoek. In het weekend is het niet mogelijk om te controleren.

Er is voor de oplossing HCl-25% gekozen, omdat deze oplossing beschikbaar was in het laboratorium. Voor andere methoden, zoals het gebruik van CO₂, had eerst onderzoek moeten plaatsvinden over hoe dit toegepast had kunnen worden. De methode over het gebruik van HCl-25% was al bekend. Het was duidelijk dat het met een finnpipette toegevoegd moest worden. Hetgeen alleen uitgezocht hoefde te worden, is hoeveel oplossing ongeveer benodigd was.

Seizoensinvloeden: temperatuur en licht

Seizoensinvloeden worden niet meegenomen in het onderzoek. Het aquaponics systeem staat

binnen in een grote hal waar de temperatuur het hele jaar door rond kamertemperatuur ligt. Via de tijdklok is ingesteld dat de lichtbak boven het systeem twaalf uur aan en twaalf uur uit is. Omdat de seizoensinvloeden niet worden onderzocht, is gekozen om de nacht net zo lang als de dag te laten zijn. Gedurende de dag is het licht aan. Het systeem staat in het midden van het WAC, waardoor geen direct zonlicht mogelijk is. Gedurende de nacht staat het licht uit. Er is gekozen om de tijden 7.00 en 19.00 aan te houden, aangezien deze tijden in het vroege voorjaar redelijk overeen komen met de tijden van zonsopkomst en zonsondergang.

Verblijftijd

De pomp blijft continu draaien, er wordt geen tijdklok op gezet. De invloed hiervan wordt niet onderzocht, omdat de prioriteit op andere aspecten is gelegd. Wanneer de doorstroming wordt ingesteld, heeft dit invloed op het fluctuerend waterpeil. Het waterpeil komt dan namelijk stil te staan op het moment dat de pomp uit staat. Het is een losstaand onderzoek om te achterhalen wanneer het zuiveringsrendement het hoogst is, bij een fluctuerend waterpeil of bij een langere verblijftijd.

Monsternamen van water

De monsters worden genomen van het water uit de onderste bak van het aquaponics systeem. Hiervoor is gekozen, omdat dit water gemengd water is. De monsters worden genomen vlakbij de pomp. Ten eerste is dit uit praktische redenen gekozen, omdat deze locatie het best bereikbaar is. Ten tweede is dit water hier gemengd. Er worden geen monsters uit de bovenste bak genomen. De hydrocultuurkorrels zouden namelijk nog nutriënten af kunnen laten die ze opgenomen hebben uit het vorige water dat in het systeem zat. Hier is in ieder geval de eerste dagen kans op. Dit kan de metingen beïnvloeden.

Bijlage IIb: Referenties aquaponics systeem

In deze paragraaf zal van de drie manieren van waterzuivering apart beschreven worden wat de benodigdheden zijn en wat de methode is. De afbakening vindt voor alle drie tegelijk aan het eind van de paragraaf plaats.

Benodigdheden referentie: biologische processen

- 1 schone emmer (beschikbaar op het WAC);
- 12 cm dik teeltbed van hydrocultuurkorrels afkomstig uit aquaponics systeem;
- Enkele liters water uit het aquaponics systeem;
- 4 rietsons met spuit (heeft Jasper van Belle);
- Vriezer (staat in het chemisch laboratorium in het WAC);
- 4 monsterbuisjes van 45 ml (beschikbaar op het WAC);
- HCl 25%-oplossing, ongeveer 10 ml (beschikbaar in het laboratorium);
- Rolmaat (zelf meenemen/ beschikbaar op het WAC).

Methode referentie: biologische processen

1. Vul de schone emmer met een 12 cm dik teeltbed van hydrocultuurkorrels welke uit het aquaponics systeem komen. Probeer korrels van onder uit het systeem te halen voor ongeveer de onderste 7 cm en korrels van boven uit het systeem voor ongeveer de bovenste 5 cm. Op deze manier blijft de gelaagdheid in het systeem met bijbehorende soorten micro-organismen zo veel mogelijk gelijk aan het aquaponics systeem;
2. Vul de emmer met water tot een laag van 10 cm. Haal de benodigde hoeveelheid water met een bekersglas uit het aquaponics systeem op het moment dat het stikstofgehalte hier rond de 25 mg/l en de pH rond de 7 is en voeg dit water aan de emmer met korrels toe. Houd bij wat de hoeveelheid water is dat uit het systeem wordt gehaald. Wanneer de waterkwaliteit van het water uit het aquaponics systeem kort geleden al bepaald is, dan mag deze waterkwaliteit ook aangenomen worden voor de nulmeting van de referentie. Let hierbij wel op: het stikstof- en fosforgehalte moet nog op dezelfde dag gemeten zijn;
3. Wacht totdat precies een week verstreken is. Breng het water in beweging om een betere menging te veroorzaken, verlies geen water;
4. Haal een kleine hoeveelheid water uit de emmer. Wanneer dit moeilijk gaat, kan een rietson worden gebruikt;
5. Bepaal door middel van Hach Lange de stikstofconcentratie, zie bijlage II d en bepaal de pH, EGV, zuurstof en temperatuur volgens bijlage II c;
6. Vul een monsterbuisje van 45 ml, benoem deze (naam, datum en inhoud) en stop dit in de vriezer;
7. Meet de waterstand aan de zijkant van de emmer;
8. Wanneer de pH boven de 7 is, voeg dan enkele milliliters HCl-25%-oplossing toe. Houd bij hoeveel wordt toegevoegd;
9. Herhaal stap 3 t/m 7 nog drie keer. Omdat van het aquaponics systeem vier waterkwaliteitsmetingen gedaan worden na de nulmeting, zal dit van de referentie ook gedaan worden. Bij de laatste waterkwaliteitsmeting moet ook de fosforconcentratie worden gemeten;
10. Ruim na de waterkwaliteitsmetingen de opstelling op, doe dit in overleg met de opdrachtgever.

Benodigdheden referentie: opname door planten

- 2 schone emmers (heeft het WAC);
- Enkele liters water uit het aquaponics systeem;
- Vriezer (staat in het chemisch laboratorium in het WAC);
- 8 monsterbuisjes van 45 ml (beschikbaar op het WAC);
- Een lisdoddeplant uit het aquaponics systeem;
- Een gele lis plant uit het aquaponics systeem;
- HCl 25%-oplossing, ongeveer 10 ml (beschikbaar in het laboratorium);
- Rolmaat (zelf meenemen/ beschikbaar op het WAC).

Methode referentie: opname door planten

1. Doe de gele lis en de lisdodde apart van elkaar in een schone emmer. Probeer voor planten te kiezen die groot zijn en groeien, zodat eerder een verschil in nutriënten waargenomen kan worden;
2. Vul de emmers met water uit het aquaponics systeem. Doe in beide emmers evenveel water. De wortels van de planten moeten onder water komen te staan. Houd bij hoeveel water in liters in de emmer wordt gegoten en wat de waterstand in centimeters in het midden van de emmers is;
3. Wanneer de waterkwaliteit van het water uit het aquaponics systeem kort geleden al is bepaald, dan mag deze waterkwaliteit ook aangenomen worden voor de nulmeting van de referentie. Let hierbij wel op: het stikstofgehalte moet nog op dezelfde dag zijn gemeten;
4. Meet nog vier weken achter elkaar de waterkwaliteit van het water in beide emmers. Zorg voor gemengd water door met een bekersglasje het water te roeren. Bepaal door middel van Hach Lange de stikstofconcentratie, zie bijlage II d en bepaal de pH, EGV, zuurstof en temperatuur volgens bijlage II c. Doe dit op dezelfde dag als dat deze referentie ingezet is. Neem op dezelfde dagen een monster, benoem deze (naam, datum en inhoud) en stop deze in de vriezer. Wanneer de pH in de eerste week boven de 7 is, voeg dan enkele milliliters HCl-25%-oplossing toe. Houd bij hoeveel toegevoegd wordt. Meet elke week de waterstand in het midden van de emmers. Bij de laatste waterkwaliteitsmeting moet ook de fosforconcentratie worden gemeten;
5. Ruim de opstelling in overleg met de opdrachtgever op.

Benodigdheden referentie: fysisch-chemische processen

- 1 schone emmer (heeft het WAC);
- Enkele liters water uit het aquaponics systeem;
- Vriezer (staat in het chemisch laboratorium in het WAC);
- 4 monsterbuisjes van 45 ml (beschikbaar op het WAC);
- HCl 25%-oplossing, ongeveer 10 ml (beschikbaar in het laboratorium);
- Rolmaat (zelf meenemen/ beschikbaar op het WAC).

Methode referentie: fysisch-chemische processen

1. Vul de schone emmer met water uit het aquaponics systeem. Doe net zoveel water in de emmer als dat er in de emmers met planten zit. Meet de waterstand in het midden van de emmer;

2. Wanneer de waterkwaliteit van het water uit het aquaponics systeem kort geleden al is bepaald, dan mag deze waterkwaliteit ook aangenomen worden voor de nulmeting van de referentie. Let hierbij wel op: het stikstofgehalte moet nog op dezelfde dag zijn gemeten;
3. Meet nog vier weken achter elkaar de waterkwaliteit. Zorg voor gemengd water door met een bekglaasje het water te roeren. Bepaal door middel van Hach Lange de stikstofconcentratie, zie bijlage II d en bepaal de pH, EGV, zuurstof en temperatuur volgens bijlage II c. Doe dit op dezelfde dag als dat deze referentie is ingezet. Neem op dezelfde dagen een monster en stop deze in de vriezer. Uiteraard moet op de monsterbuisjes de naam, datum en inhoud worden geschreven. Wanneer de pH in de eerste week boven de 7 is, voeg dan enkele milliliters HCl-25%-oplossing toe. Houd bij hoeveel wordt toegevoegd. Meet elke week de waterstand in het midden van de emmer. Bij de laatste waterkwaliteitsmeting moet ook de fosforconcentratie worden gemeten;
4. Ruim de opstelling in overleg met de opdrachtgever op.

Afbakening

Hydrocultuurkorrels uit het aquaponics systeem

Doordat de hydrocultuurkorrels uit het aquaponics systeem zijn gehaald, is dat teeltbed lager geworden. Dit is een minimaal verschil, waardoor wel met een teeltbed van 23 cm blijft worden gerekend. Er is gekozen om de korrels uit het systeem te halen, omdat aan deze korrels micro-organismen zitten. Het is dan sneller aantoonbaar of micro-organismen een rol spelen in de stikstofverwijdering.

Er is gekozen om een dikte van 12 cm aan korrels in de emmer te doen. Dit is ongeveer de helft van de dikte van het teeltbed in het systeem. Hiermee is de verwachting het doel van de referentie te kunnen behalen. Bij een dikte van 23 cm is de emmer bijna helemaal vol wat zwaar is om mee te werken en het haalt onnodig veel hydrokorrels uit het aquaponics systeem.

Waterstand

De waterstand in de emmer met hydrocultuurkorrels is 10 cm, 2 cm onder het oppervlak van de korrels. Dit maakt de verdamping van het water kleiner. In het aquaponics systeem zelf zit het water ook ongeveer 2 cm onder het oppervlak. De waterstand in de emmers met planten is op die hoogte dat de wortels onderwater staan. Bij verdamping van water blijven ze op deze manier waarschijnlijk nog wel genoeg water behouden. In de emmer met water is de waterstand gelijk aan die van de emmers met planten. Dit maakt het eenvoudiger in berekeningen.

Het is voor dit onderzoek niet mogelijk om een referentie te maken dat een fluctuerend waterpeil heeft. Hierdoor zullen de resultaten van de referentie-emmers kunnen worden beïnvloed, aangezien minder zuurstof in de emmers kan komen. Daarentegen is de waterstand lager dan in het aquaponics systeem. De verwachting is dat de invloed van het vaste waterpeil niet dergelijk groot is en dat het doel wel behaald kan worden.

Bemonstering van water

Voor de waterkwaliteitsmeting zou het ideaal zijn als de nutriënten in het water homogeen verdeeld zijn. In het aquaponics systeem vindt menging van het water plaats doordat de afvoer van het water boven het water hangt. In de emmers vindt niet automatisch menging plaats. Voordat metingen worden gedaan uit de emmers, zal eerst met een bekglaasje het water worden gemengd. In de emmer met hydrocultuurkorrels zullen de bovenste korrels en het bovenste laagje water met de hand worden gemengd. De zuurstofmeting wordt bij stilstaand water gedaan. Wanneer het niet lukt om water met een bekglaasje uit de emmer met hydrocultuurkorrels te halen, zal met een rietson water eruit worden gehaald. Een rietson is een dun buisje met een filter dat door middel van een spuit het water op kan zuigen.

Bijlage IIc: Fysisch-chemische waterkwaliteitsbepaling

In onderstaande tabel is te zien welke metingen per monster verricht gaan worden. Wanneer welke metingen worden gedaan, staat in de tabellen met resultaten in bijlage IIIa. De fysisch-chemische waterkwaliteitsbepaling van het aquaponics systeem worden met behulp van de multimeter gedaan die 24-uursmetingen doet. In deze bijlage wordt zowel het materiaal en de methode voor de 24-uursmeting als voor de handmatige metingen gegeven. De afbakening volgt als laatst en geldt voor beide methoden.

Tabel II.3: Aantal uit te voeren fysisch-chemische metingen; A.S. = aquaponics systeem, REF = referentie

	pH	EGV ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	O ₂ (mg/l)
Water wat eerst in systeem zat	1x	1x	1x	X
Nulmeting A.S. + REF	1x	1x	1x	1x
Waterkwaliteit A.S. (24-uursmeting)	4x	4x	4x	4x
Waterkwaliteit REF emmer water	4x	4x	4x	4x
Waterkwaliteit REF emmer hydrocultuur korrels	4x	4x	4x	4x
Waterkwaliteit REF emmer lisdodde	4x	4x	4x	4x
Waterkwaliteit REF emmer gele lis	4x	4x	4x	4x
Tussenmeting AdBlue	1x	X	X	X
Nulmeting AdBlue	1x	X	X	X
Totaal	24	22	22	21

Benodigdheden 24-uursmeting

- Koffer met: multimeter en kabel, handleiding, oplader en USB-kabel. De multimeter moet pH, EGV, O₂ en T kunnen meten (beschikbaar op het WAC, heeft Geert);
- Standaard voor multimeter (beschikbaar op het WAC, heeft Geert);
- Oplossing met pH 4 en pH 7 (beschikbaar op het WAC);
- Tyripps (beschikbaar in het magazijn van het WAC);
- Laptop met (externe) cd-speler en Excel (zelf voor zorgen);
- Cd-rom met het te installeren programma (hoort bij multimeter);
- Leidingwater;
- Demiwater (beschikbaar op het WAC).

Methode 24-uursmeting

1. Regel een multimeter die voor ongeveer 1,5 maand gebruikt kan worden;
2. Zorg voor een volle accu van de multimeter;
3. Haal de koker en hoesjes van de elektrodes af. Kalibreer de multimeter volgens de handleiding. Hiervoor zijn de oplossingen met pH 4 en 7 nodig;

4. Spoel de elektrodes af met leidingwater en doe de koker met gaten om de elektrodes heen. De hoesjes ter bescherming van de afzonderlijke elektrodes moeten in de koffer bewaard worden;
5. Zet de standaard voor de multimeter in het systeem. Probeer dit op een plaats te doen waar niet direct invloed is van de afvoer van het systeem. De afvoer zorgt namelijk op een bepaalde plaats voor veel zuurstof. De resultaten van het zuurstofgehalte zullen dan niet representatief zijn voor het hele systeem. Zet de elektrodes in de standaard vast. Gedurende het onderzoek moet de multimeter op dezelfde plaats blijven hangen;
6. Stel de multimeter in en zet de datum en tijd goed. De multimeter moet constant blijven meten en elke vijf minuten moeten de waarden opgeslagen worden. Gebruik eventueel de handleiding van de multimeter;
7. Hang de multimeter met Tyripps op, zodat deze makkelijk kan worden uitgelezen;
8. Laadt de accu één keer per week op en doe dit elke week op dezelfde dag. Stel het programma in voor de nieuwe meetronde;
9. Voor het uitlezen van de multimeter is een speciaal programma nodig. Installeer dit programma op de laptop;
10. Hang door middel van de USB-kabel de multimeter aan de laptop. Download vervolgens de gewenste gegevens. De resultaten komen in Excel te staan. De multimeter kan vervolgens van de laptop worden losgekoppeld;
11. Wanneer alle gegevens verkregen zijn, kan de multimeter opgeruimd worden. Spoel de standaard met leidingwater af en maak deze droog. Spoel de elektrodes af met demiwater en doe de beschermkoker er omheen. Maak de koker schoon met leidingwater en vervolgens droog. Doe alle delen die uit de koffer kwamen weer in de koffer.

Benodigheden losse metingen

- Bekerglaasjes van verschillende groottes (beschikbaar in het laboratorium);
- Multimeter voor EGV, O₂ en T (beschikbaar op het WAC);
- pH-meter met eventueel handleiding, pH 4- en pH 7-oplossing (beschikbaar op het WAC);
- Demiwater (beschikbaar in het laboratorium);
- Ethanol 70% (beschikbaar in het laboratorium).

Methode losse metingen

1. Zorg voor een gekalibreerde pH- en multimeter. Kalibreer deze eventueel opnieuw volgens de handleiding van het apparaat. Voor de pH-meter is dan een pH 4- en pH 7-oplossing nodig;
2. Haal met een bekerglaasje water uit de emmer. Het moet genoeg zijn om een elektrode in te kunnen hangen;
3. Meet de pH en spoel de elektrode boven een ander bekerglaasje met demiwater af;
4. Giet het water uit het bekerglaasje weer in de goede emmer terug;
5. Sluit de elektrode voor zuurstof/EGV op de multimeter aan. De volgorde maakt niet uit, ze moeten beide gemeten worden;
6. Hang de elektrode in het midden van de emmer stil en wacht tot de multimeter een vaste waarde aangeeft. Noteer het resultaat en noteer ook de temperatuur die rechts in het beeldscherm staat;
7. Spoel de elektrode met demiwater af boven een bekerglaasje;

8. Doe hetzelfde met de andere elektrode. De temperatuur hoeft maar één keer opgeschreven te worden;
9. Maak de bekersglasjes eerst met demiwater schoon en vervolgens met ethanol.

Afbakening

Meting van parameters

De pH wordt gemeten, omdat deze invloed heeft op fysisch-chemische stikstofverwijdering in de vorm van ammonium strippen, zie figuur 3.2 op bladzijde 9. Voor het omlaag halen van de zuurgraad wordt HCl-25%-oplossing gebruikt wat het aantal ionen, Cl^- , in het water verhoogd. Hiermee hangt het elektrisch geleidend vermogen (EGV) samen: hoe meer ionen, hoe hoger het EGV zal zijn (Stuyt, et al., 2013). Het ontstaan van zoutwater is niet gewenst. Om deze reden is het belangrijk het EGV te meten. Het zuurstofgehalte wordt gemeten, omdat bepaalde micro-organismen in de stikstofkringloop zuurstof nodig hebben. De temperatuur wordt bepaald, omdat de temperatuur de snelheid van omzettingsreacties beïnvloedt.

Bijlage II.d: Chemische waterkwaliteitsbepaling

Benodigdheden

- Latex handschoentjes (beschikbaar in het laboratorium);
- Hach Lange LCK238 N-totaal 5-40 mg/l (via WAC aanschaffen);
- Hach Lange LCK338 N-totaal 20-100 mg/l (via WAC aanschaffen);
- Hach Lange LCK349 P-totaal 0,15-4,5 mg/l (via WAC aanschaffen);
- Finnpijette met tips voor juiste hoeveelheden vloeistof (beschikbaar in het laboratorium);
- Demiwater (beschikbaar in het laboratorium);
- Ethanol (beschikbaar in het laboratorium);
- Bekerglaasjes (beschikbaar in het laboratorium);
- Dunne watervaste stift (zelf meenemen);
- Hach Lange verwarmingsblok (beschikbaar in het laboratorium);
- Timer.

Elk bovengenoemd Hach Lange kitje biedt de mogelijkheid om 25 keer een meting te doen. In onderstaande tabel is aangegeven hoeveel metingen van de kitjes gaan worden gebruikt. In de resultaten in bijlage IIIa staat wanneer de metingen worden uitgevoerd.

Tabel II.4: Aantal uit te voeren chemische metingen; A.S. = aquaponics systeem, REF = referentie

	N-totaal		P-totaal	
	Aantal weken + duplo/enkel	Totaal	Aantal weken + duplo/enkel	Totaal
Water wat eerst in systeem zat	1 week enkel	1	1 week enkel	1
Nulmeting A.S. + REF	1 week duplo	2	1 week duplo	2
Tussenmeting A.S.	1 week duplo	2	X	0
Waterkwaliteit A.S.	4 weken duplo	8	4 weken duplo	8
Waterkwaliteit REF emmer water	4 weken duplo	8	1 week duplo (laatste meting)*	2
Waterkwaliteit REF emmer hydrocultuur korrels	4 weken duplo	8	1 week duplo (laatste meting)*	2
Waterkwaliteit REF emmer lisdodde	4 weken, 2x enkel + 2x duplo	6	1 week duplo (laatste meting)*	2
Waterkwaliteit REF emmer gele lis	4 weken, 2x enkel + 2x duplo	6	1 week duplo (laatste meting)*	2
Tussenmeting AdBlue	1 week duplo	2	X	0
Nulmeting AdBlue	1 week duplo	2	X	0
Reserve	3	3	6	6
Totaal	48	48	25	25

* Als uit de meting van het aquaponics systeem blijkt dat het fosforgehalte verlaagd is naar een waarde van <0,5 mg/l, zal het fosforgehalte in de weken 1, 2 en 3 in de referentie-emmers ook gemeten worden. Deze metingen gebeuren dan in duplo. In week 4 worden te allen tijde P-metingen uitgevoerd.

Bij een te laag fosforgehalte, <0,5 mg/l, wordt fosfor in de vorm van $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ toegevoegd. Voordat dit toegevoegd wordt, zal op kleine schaal met behulp van bekersglazen uitgezocht worden hoeveel

calciumfosfaat nodig is op een bepaald aantal liter water. Er wordt voor deze vorm van fosfaat gekozen, omdat de opdrachtgever deze vorm beschikbaar heeft.

Methode

1. Latex handschoentjes aan;
2. Volg de aanwijzingen op de kitjes. In de tijd dat de ene meting een halfuur moet verwarmen, kan een andere meting opgestart worden of kunnen materialen schoongemaakt en opgeruimd worden. Houd de metingen uit elkaar door op het glaswerk te zetten wat erin zit. Houd de tijd bij waarin gewacht moet worden;
3. Maak na afloop het glaswerk schoon met demiwater en ethanol. De inkt kan met ethanol van het glaswerk afgehaald worden. Zet de beker glaasjes in de spoelruimte. Het glaswerk wat bij de kitjes hoort, moet schoon en droog weer in de doosjes teruggezet worden. Gooi de tips van de pipetten in de prullenbak.

Afbakening

Meting van enkele stoffen

De belangrijkste stoffen waar organismen, waaronder planten, uit bestaan, zijn: koolstof, waterstof, stikstof, zuurstof, fosfor en zwavel (afgekort: CHNOPS) (Truijen, 2015) (Wolchover, 2011). Koolstof kan in het systeem toegevoegd worden via bemesting door dode plantendelen in het systeem te laten. Waterstof is aanwezig in de vorm van leidingwater. Zuurstof is aanwezig doordat de hoge waterdoorstroming dit met zich meebrengt. Zwavel zal niet gemeten worden. Stikstof of fosfor is vaak het belemmerende nutriënt bij de groei van gewassen. Zwavel heeft de plant in een veel mindere mate nodig. Het onderzoek draait om stikstof, dus deze wordt in ieder geval gemeten. Fosfor wordt gemeten omdat dit een belemmerende factor zou kunnen zijn bij de groei en opname van stikstof. (Kuyper, 2016) Het is voor dit onderzoek qua tijd niet mogelijk om meer stoffen te meten.

Aantal P-metingen

Fosfor zal in het aquaponics systeem aan het begin gemeten worden. Deze waarden kunnen meegenomen worden naar de referentie-emmers, zie ook stap 2 van bijlage IIb op bladzijde xiii. In eerste instantie worden in de weken 1, 2 en 3 geen P-metingen gedaan in de referentie-emmers. Hiervoor is gekozen, omdat de resultaten uit het aquaponics systeem een beeld geven van het P-verloop. Dit beeld en de eindmetingen van fosfor in de referentie-emmers geven voldoende informatie om de deelvraag te kunnen beantwoorden. Dit scheelt ook in de kosten van Hach Lange kitjes.

Bijlage IIe: Droge stof bepaling

Benodigdheden

Dit zijn de benodigdheden voor één maal een duplo-meting met controle. Gedurende het onderzoek zijn meerdere droge stof bepalingen gedaan. De data hiervan staan in de tabellen in bijlage IIIb.

- Latex handschoentjes (beschikbaar in het laboratorium);
- Schilmesje (zelf meenemen);
- 2 stukjes wortelstok van dezelfde lisdodde (lisdodde staat in aquaponics systeem);
- 4 Foliepapiertjes (beschikbaar in het laboratorium);
- Weegschaal (beschikbaar in het laboratorium);
- 3 aluminiumbakjes (beschikbaar in het laboratorium);
- 3 glasvezelpapiertjes (beschikbaar in het laboratorium);
- Stift (zelf meenemen);
- Oven met instelling 105 °C (beschikbaar in het WAC);
- IJzeren tang (beschikbaar in het laboratorium);
- Exsiccator (beschikbaar in het laboratorium);
- Briefje waar je gegevens op komen te staan + pen (briefjes liggen in het laboratorium);
- Schrijfblok (zelf meenemen);
- Demiwater (beschikbaar in het laboratorium).

Methode

Alles wat op de weegschaal wordt gewogen, moet worden genoteerd.

1. Trek als eerst latex handschoentjes aan;
2. Maak het mesje met demiwater schoon;
3. Haal een lisdodde met een grote wortelstok uit de bak en snijdt 2 stukjes wortelstok met het schone mesje eraf (de meting is in duplo). De wortelstok moet een minimale lengte hebben om in totaal vier stukjes van ongeveer 3 cm af te kunnen snijden. Snijdt voor de eindmeting stukjes wortelstok van dezelfde lisdoddeplant af waar ook de beginmeting van is gedaan;
4. Pak 2 foliepapiertjes en weeg ze los op de weegschaal;
5. Weeg het folie met de wortelstok (2x);
6. Bereken het natgewicht van de wortelstokken;
7. Haal 3 aluminiumbakjes met 3 glasvezelpapiertjes uit de laboratoriumkast, 2 zijn voor de wortelstokken en 1 is voor de nulmeting (controle);
8. Doe glasvezelpapier in de bakjes en geef de bakjes een nummer;
9. Weeg het aluminiumbakje met glasvezelpapier (3x);
10. Plaats de wortelstokken in aluminiumbakjes en zet de bakjes met de tang in de oven van 105 °C. Plaats ook het lege aluminiumbakje met glasvezelpapier in de oven;
11. Wacht minimaal 12 uur;
12. Pak met de tang de bakjes uit de oven en weeg ze op de weegschaal;
13. Bereken hoeveel gewicht verloren is gegaan in de nulmeting;
14. Pak 2 foliepapiertjes en weeg ze los op de weegschaal;
15. Weeg het folie met de wortelstok (2x);
16. Berekenen wat het drooggewicht van de wortelstokken is, houdt daarbij rekening met het resultaat van de nulmeting;
17. Zet de bakjes met de wortelstokken in de exsiccator. De wortelstokken zijn later nog nodig voor de stikstof-Kjeldahl meting;
18. Leg een briefje met naam, project en datum erbij.

Afbakening

De eerste droge stof meting wordt ingezet op het moment dat de lisdodde al enkele dagen in het systeem met het oude water heeft gestaan. Dit is vlak voordat het stikstofrijke water in het systeem komt. De eerste meting wordt niet gedaan op het moment dat het stikstofrijke water al in het systeem zit, omdat dit met de planning niet uitkomt. Op dat moment moeten allerlei metingen omtrent waterkwaliteit verricht worden.

Omdat de lisdoddeplanten uit dezelfde hoek van de sloot komen en dus onder dezelfde condities hebben geleefd, wordt gesteld dat de resultaten van deze meting ook gelden voor de andere lisdoddeplanten in het onderzoek.

Bijlage II: Eiwitbepaling

De benodigdheden en de methode is geschreven op basis van een meting met vier monsters en twee blanco's.

Benodigdheden

- Latex handschoentjes (beschikbaar in het laboratorium);
- De stukjes wortelstok uit de exsiccator (zie bijlage IIe);
- Stift (zelf meenemen);
- Demiwater (beschikbaar in het laboratorium);
- Metalen blok met 6 destructiebuizen (beschikbaar in het laboratorium);
- Zuurkast (beschikbaar in het laboratorium);
- Weegschaal (beschikbaar in het laboratorium);
- 4 Foliepiertjes (beschikbaar in het laboratorium);
- Finnipipette met tip 10 ml (beschikbaar in het laboratorium);
- Scrubber (beschikbaar in het laboratorium);
- Heating digester (beschikbaar in het laboratorium);
- Apparaat voor terug titratie met magneetstaafje (beschikbaar in het laboratorium);
- 6 Kjeldahltabletten (beschikbaar in het laboratorium);
- 90 ml zwavelzuur (beschikbaar in het laboratorium);
- 36 ml waterstofperoxide (beschikbaar in het laboratorium);
- Keukenpapier (beschikbaar in het laboratorium);
- Bekerglaasjes, minimaal 8 waarvan 7 van 250 ml (beschikbaar in het laboratorium);
- Boorzuuroplossing (beschikbaar in het laboratorium);
- Natronloog 30% (beschikbaar in het laboratorium);
- Kleurindicator (beschikbaar in het laboratorium);
- Zoutzuuroplossing 1 molair (beschikbaar in het laboratorium).

Methode

1. Doe latex handschoentjes aan;
2. Vul het metalen blok met 6 destructiebuizen: 4 zijn voor samples en 2 voor blanco (metingen worden in duplo uitgevoerd);
3. Weeg het monster af: voor vaste stof is 0,3 gram droge stof per monsterbuis nodig → 4x 0,3 g;
4. Nummer de buizen met stift;
5. In de zuurkast: licht aandoen en afzuiging aanzetten door middel van de groene draaiknop;
6. Zet de scrubber aan met de kleine groene knop aan de bovenkant. De scrubber vangt het gas op door middel van water;
7. Zet de heating digester aan, knop zit aan de zijkant;
8. Vul vier buizen met samples (2x droge stof van sample1 en 2x droge stof van sample2) en vul twee buizen met 10 ml demiwater (is blanco);
9. Voeg aan elke destructiebuis, inclusief blanco, 1 Kjeldahltablet toe. Werk systematisch en controleer de handelingen;
10. Voeg 15 ml zwavelzuur 98% toe aan elke buis: pak met de linkerhand de fles vast op het ribbelgedeelte, doe met de rechterhand de gele knop omhoog en omlaag. Dit mag in normaal tempo in de buizen worden gegoten. Wanneer zwavelzuur op de handschoenen is gekomen, trek dan nieuwe aan;
11. Schudt elke monsterbuis apart (homogeniseren);

12. Voeg waterstofperoxide 3 ml op dezelfde manier als zwavelzuur toe. Om de reactie minder hevig te laten verlopen, is het verstandig deze vloeistof via de zijkant van de monsterbuis erin te laten lopen;
13. Schudt elke monsterbuis apart;
14. Voeg nog een keer 3 ml waterstofperoxide op dezelfde manier toe;
15. Homogeniseer elke monsterbuis;
16. Wanneer het is uit gereageerd, pak dan het blok met de 6 monsterbuizen erin op. Hang het blok in de heating digester, maar zorg ervoor dat tijdens de verplaatsing de opening van de buizen naar de zuurkast gericht zijn. Hang het blok goed in de digester, zodat hij klem komt te zitten;
17. Stel de heating digester in op 1 uur en 420 °C. Voordat het uur begint, moet het apparaat eerst opgewarmd worden;
18. Laat de buizen afkoelen;
19. Leg doekjes in de automatische destillatie unit neer, dit voorkomt veel schoonmaak werk;
20. Zet een leeg bekglas van 250 ml onder de uitlaat van de unit en spoel boorzuur door. Het afvalwater hiervan mag door de gootsteen, maar moet met veel water worden nagespoeld;
21. Hang een lege destructiebuis in de automatische destillatie unit en zet de wash down in via 'analysis' en 'wash down';
22. Hang vervolgens de destructiebuis met de blanco-meting in de unit. Zet een schoon bekglas bij de uitlaat van de unit en zet het programma 'nettle method' in. De automatische destillatie voegt automatisch een waterige boorzuoroplossing, kleurindicator en natronloog 30% toe;
23. Wanneer de unit met deze buis klaar is, dit duurt enkele minuten, zet dan de andere buizen achtereenvolgens in de unit. Let op, vervang eerst de destructiebuis en daarna pas het bekglas. Pak de destructiebuizen die klaar zijn met een tang vast, de buizen zijn heet;
24. Als laatst is het nodig de oplossing terug te titreren naar de oorspronkelijke pH van de oplossing. Hiervoor is een ander apparaat nodig welke zoutzuur toevoegt aan de oplossing. Maak de pH-elektrode en het buisje waar zoutzuur doorheen komt schoon met demiwater;
25. Zet het bekglas dat onder de uitlaat van de unit weg komt op de magneet van het apparaat. Leg een magneetstaafje in het bekglas. Wanneer het apparaat aan staat, wordt het water op deze manier gemengd. Menging is nodig om het zoutzuur door de oplossing te mengen;
26. Hang de pH-elektrode en het buisje waar zoutzuur doorheen komt in het bekglas. Zet de meting aan ('Kjeldahl methode') en houdt bij hoeveel milliliter zoutzuur aan de oplossing wordt toegevoegd;
27. Maak na elke meting de elektrode en het buisje schoon met demiwater. Het afvalwater mag door de gootsteen, maar moet met veel leidingwater worden nagespoeld. Wanneer de automatische destillatie unit niet meer wordt gebruikt, dan moet deze met de wash down worden schoongespoeld. Haal de doekjes uit de unit en zet de afzuigkast en apparaten uit.

Afbakening

Droge stof en eiwitbepaling van een stukje wortelstok

Voor de bepaling van het eiwitgehalte worden bij de beginmeting en bij de eindmeting twee kleine stukjes wortelstok gepakt van ongeveer drie centimeter lang. Dit wordt gedaan van één lisdoddeplant die een lange wortelstok heeft. Van deze kleine stukjes wortelstok wordt het N_{KJ} -gehalte bepaald en het eiwitpercentage berekend. Dit wordt in duplo gedaan. Er is voor gekozen om niet de hele wortelstok te oogsten, te homogeniseren en hier het eiwitgehalte van te bepalen, omdat op deze manier een plant met een grote wortelstok uit het aquaponics systeem gehaald

wordt. Een plant met een grote wortelstok is belangrijk om in het systeem te hebben, zodat de kans groter is voor opname van stikstof uit het water.

Het doel is om te bepalen of het eiwitgehalte verandert als de planten in stikstofrijk water staan.

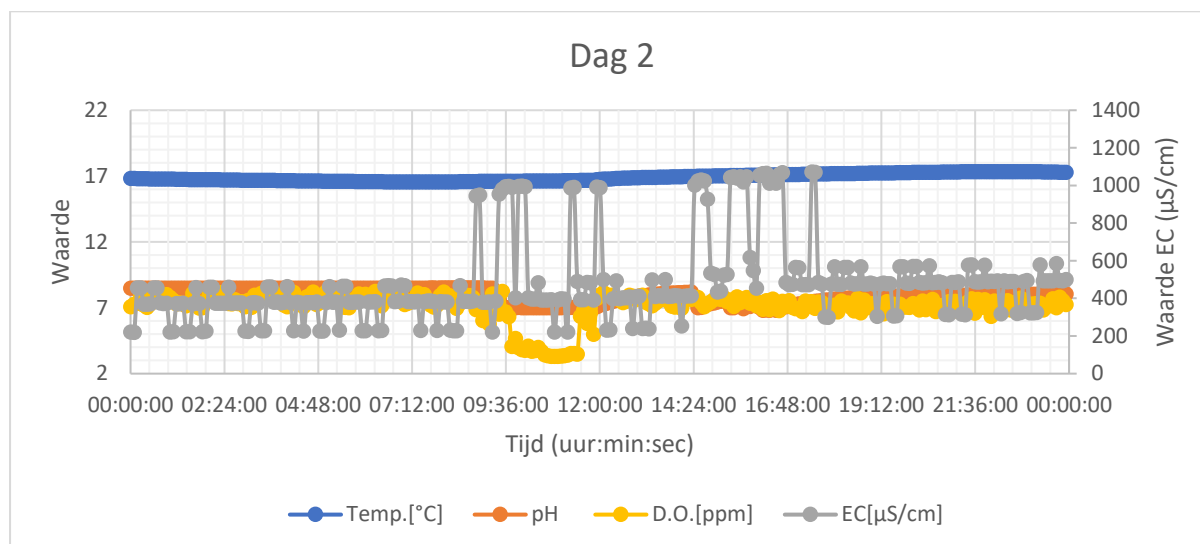
Wanneer bij de beginmeting als bij de eindmeting stukjes wortelstok gebruikt worden in plaats van de hele wortelstok, wordt verwacht ook een antwoord te kunnen geven of het eiwitgehalte is veranderd.

Bijlage III: Resultaten van de experimenten

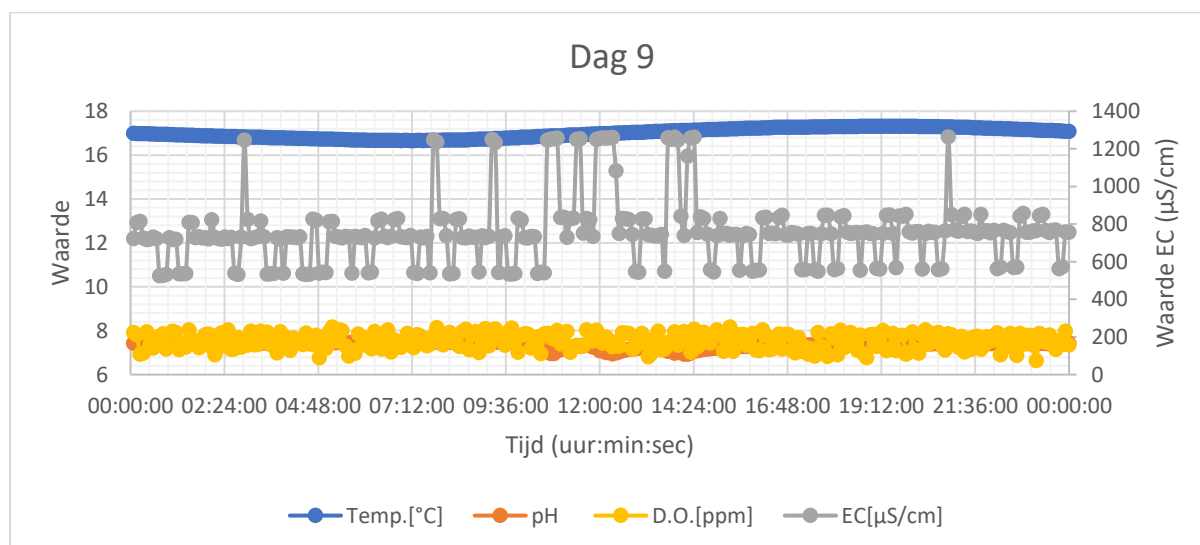
Deze bijlage is onderverdeeld in de resultaten van de waterkwaliteitsmetingen, die van de droge stof bepalingen en die van de eiwitbepalingen.

Bijlage IIIa: Resultaten van waterkwaliteitsmetingen

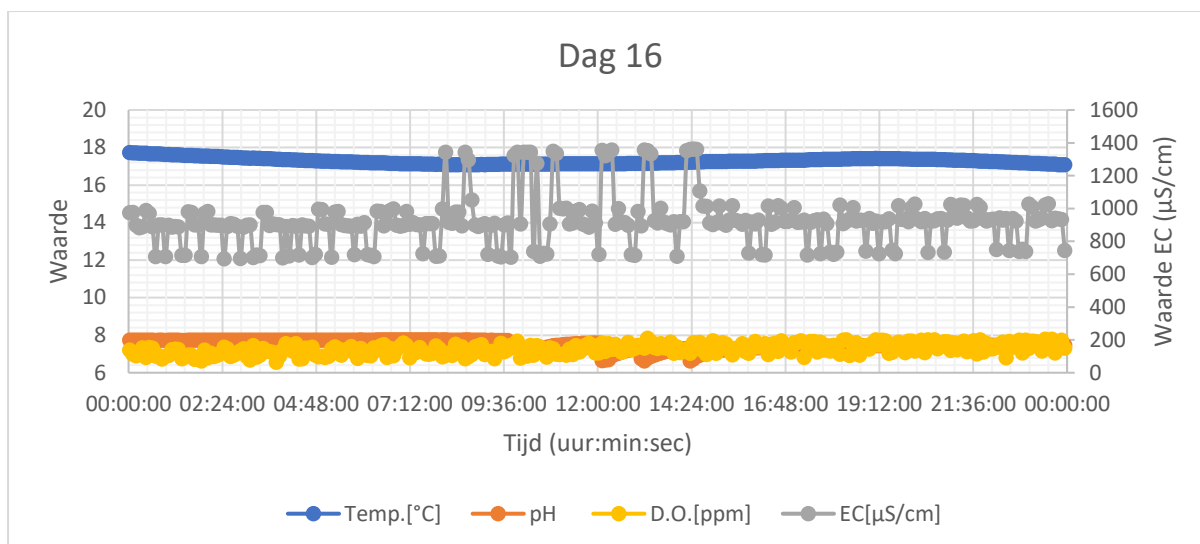
Enkele fysisch-chemische resultaten van 24-uursmeting



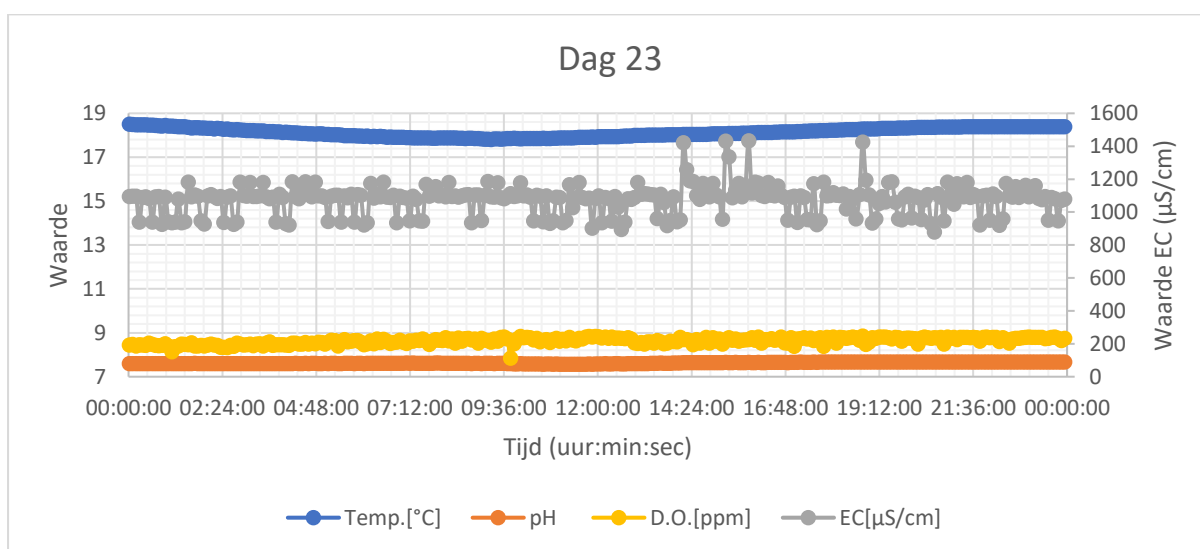
Figuur III.1: Fysisch-chemische bepalingen aquaponics systeem, 24-uursmeting. 22 maart 2018.



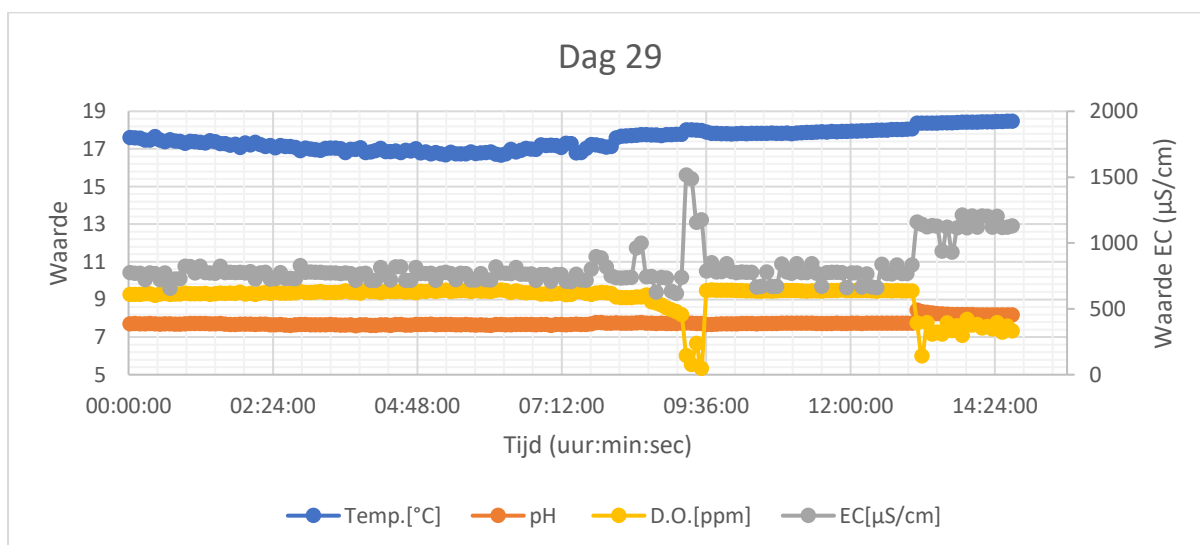
Figuur III.2: Fysisch-chemische bepalingen aquaponics systeem, 24-uursmeting. 29 maart 2018.



Figuur III.3: Fysisch-chemische bepalingen aquaponics systeem, 24-uursmeting. 5 april 2018.



Figuur III.4: Fysisch-chemische bepalingen aquaponics systeem, 24-uursmeting 12 april 2018.



Figuur III.5: Fysisch-chemische bepalingen aquaponics systeem, 24-uursmeting. 18 april 2018.

Fysisch-chemische resultaten

Tabel III.1: Alle verkregen fysisch-chemische resultaten gedurende het onderzoek; Wk-M = waterkwaliteitsmeting

Datum monster	Naam	pH	T (°C)	EGV (µS/cm)	D.O. (ppm)
6-3-2018	Water dat uit A.S. kwam	8,53	18,30	1368	X
13-3-2018	250 l leidingwater	8,29	13,10	X	X
20-3-2018	0-meting AdBlue (oud)	9,57	X	X	X
20-3-2018	0-meting A.S.	8,70	15,98	928	5,58
22-3-2018	0-meting REF	8,51	16,58	382	7,92
27-3-2018	Wk-M1 A.S.	7,82	16,86	1160	7,59
29-3-2018	Wk-M1 REF emmer + korrels	7,32	16,70	1469	6,45
29-3-2018	Wk-M1 REF emmer + water	6,79	16,80	1090	9,26
29-3-2018	Wk-M1 REF emmer + lisdodde	7,43	17,20	985	7,27
29-3-2018	Wk-M1 REF emmer + gele lis	7,43	17,20	993	6,34
3-4-2018	Wk-M2 A.S.	7,74	16,86	880	7,20
5-4-2018	Wk-M2 REF emmer + korrels	7,80	17,50	1581	6,72
5-4-2018	Wk-M2 REF emmer + water	7,71	17,20	1216	8,58
5-4-2018	Wk-M2 REF emmer + lisdodde	7,88	16,70	1110	8,45
5-4-2018	Wk-M2 REF emmer + gele lis	7,73	17,00	1108	6,84
10-4-2018	Wk-M3 A.S.	7,58	17,52	894	7,49
12-4-2018	Wk-M3 REF emmer + korrels	7,20	18,60	2135	6,33
12-4-2018	Wk-M3 REF emmer + water	7,65	18,70	1443	9,90
12-4-2018	Wk-M3 REF emmer + lisdodde	7,23	18,10	1367	7,89
12-4-2018	Wk-M3 REF emmer + gele lis	7,23	18,30	1335	6,58
17-4-2018	Wk-M4 A.S.	7,66	17,02	762	9,35
19-4-2018	Wk-M4 REF emmer + korrels	7,49	20,40	2102	6,54
19-4-2018	Wk-M4 REF emmer + water	8,12	20,90	1558	11,02
19-4-2018	Wk-M4 REF emmer + lisdodde	7,28	20,80	1494	8,02
19-4-2018	Wk-M4 REF emmer + gele lis	7,52	20,70	1538	6,85

Chemische resultaten en volume water

In onderstaande tabel staan alle verkregen chemische resultaten en andere relevante gegevens. In de tabel staan de afgeronde getallen van de volumes water. Voor het berekenen van de vracht zijn de niet-afgeronde volumes gebruikt die uit de formules van de grafieken in paragraaf 4.2 blijken.

Tabel III.2: Alle verkregen chemische resultaten gedurende het onderzoek en andere relevante (berekende) gegevens; A.S. = aquaponics systeem, REF = referentie, Wk-M = waterkwaliteitsmeting; bij de data corresponderende dagen, zie tabel 4.1

Datum	Naam	N _{tot} (mg/l)			V (l)	Verdamping (l)	N _{tot} (mg/l) Gecorrigeerd met volume water	N _{tot} vracht (mg)	P _{tot} (mg/l)			P _{tot} (mg/l) Gecorrigeerd met volume water	P _{tot} (mg) vracht
		M1	M2	Gem.					M1	M2	Gem.		
6-3-2018	Water dat uit A.S. kwam	<20 (17,7)	X	<20 (17,7)	X	X	X	X	3,63	X	3,63	X	X
13-3-2018	250 l leidingwater	X	X	X	250	0	X	X	X	X	X	X	X
20-3-2018	0-meting AdBlue (oud)*	<20 (8,10)	X	<20 (8,10)	X	X	X	X	X	X	X	X	X
21-3-2018	0-meting AdBlue*	41,4	40,7	41,05	0,48	X	X	19,70	X	X	X	X	X
20-3-2018	0-meting A.S.	X	X	X	228,24	21,76	X	X	2,17	1,98	2,075	2,08	473,59
20-3-2018	Stikstofmeting A.S. bij een pH van 8,5	25,7	22,2	23,95	228,24	21,76	28,22	X	X	X	X	X	X
22-3-2018	0-meting A.S.	27,3	27,6	27,45	222,02	27,98	27,45	6094,36	X	X	X	X	X
22-3-2018**	0-meting REF	X	X	X	2,50 of 4,00	0	X	Emmer korrels: 68,63 Andere emmers:	X	X	X	X	Emmer korrels: 5,19 Andere emmers:

								109,80					8,30
27-3-2018	Wk-M1 A.S.	26,3	25,9	26,10	206,47	43,53	24,27	5388,88	2,19	2,19	2,19	1,98	452,17
29-3-2018	Wk-M1 REF emmer + korrels	29,6	30,7	30,15	2,00	0,50	24,12	60,30	X	X	X	X	X
29-3-2018	Wk-M1 REF emmer + water	31,0	31,6	31,30	3,52	0,48	27,54	110,18	X	X	X	X	X
29-3-2018	Wk-M1 REF emmer + lisdodde	29,5	27,6	28,55	3,50	0,50	24,98	99,93	X	X	X	X	X
29-3-2018	Wk-M1 REF emmer + gele lis	23,8	21,9	22,85	3,50	0,50	19,99	79,98	X	X	X	X	X
3-4-2018	Wk-M2 A.S.	26,7	24,3	25,50	184,71	65,29	21,21	4710,00	2,06	2,10	2,08	1,68	384,19
5-4-2018	Wk-M2 REF emmer + korrels	31,9	30,5	31,20	1,50	1,00	18,72	46,80	X	X	X	X	X
5-4-2018	Wk-M2 REF emmer + water	33,6	33,8	33,70	3,04	0,96	25,61	102,45	X	X	X	X	X
5-4-2018	Wk-M2 REF emmer + lisdodde	28,1	X	28,10	3,00	1,00	21,08	84,30	X	X	X	X	X
5-4-2018	Wk-M2 REF emmer + gele lis	16,6	X	16,60	3,00	1,00	12,45	49,80	X	X	X	X	X
10-4-2018	Wk-M3 A.S.	22,9	23,2	23,05	162,94	87,06	16,92	3755,79	1,86	1,87	1,865	1,33	303,89
12-4-2018	Wk-M3 REF emmer +	36,6	37,4	37,00	1,00	1,50	14,80	37,00	X	X	X	X	X

	korrels												
12-4-2018	Wk-M3 REF emmer + water	35,8	35,7	35,75	2,56	1,44	22,88	91,52	X	X	X	X	X
12-4-2018	Wk-M3 REF emmer + lisdodde	30,8	X	30,80	2,50	1,50	19,25	77,00	X	X	X	X	X
12-4-2018	Wk-M3 REF emmer + gele lis	11,1	X	11,10	2,50	1,50	6,94	27,75	X	X	X	X	X
17-4-2018	Wk-M4 A.S.	22,3	22,4	22,35	141,18	108,82	14,21	3155,29	1,88	1,87	1,875	1,16	264,71
19-4-2018	Wk-M4 REF emmer + korrels	37,2	37,4	37,30	0,50	2,00	7,46	18,65	4,83	4,94	4,885	0,98	2,44
19-4-2018	Wk-M4 REF emmer + water	39,2	37,4	38,30	2,08	1,92	19,92	79,66	1,04	1,04	1,04	0,54	2,16
19-4-2018	Wk-M4 REF emmer + lisdodde	33,8	34,0	33,90	2,00	2,00	16,95	67,80	1,28	1,28	1,28	0,64	2,56
19-4-2018	Wk-M4 REF emmer + gele lis	5,62	5,96	5,79	2,00	2,00	2,90	11,58	0,457	0,453	0,455	0,23	0,91

*Bij verdunning 5000x

** Bij de vrucht is uitgegaan van de concentratie N en P in het aquaponics systeem op 20 en 22 maart 2018

Verloop van zuurgraad ten gevolge van toediening van HCl-25%-oplossing

Datum	pH
22-3-2018	8,51
27-3-2018	8,12
27-3-2018	6,69
28-3-2018	7,32
28-3-2018	6,77
29-3-2018	7,32
5-4-2018	7,80
5-4-2018	6,84
6-4-2018	7,24
6-4-2018	5,96
10-4-2018	7,34
10-4-2018	6,70
11-4-2018	7,16
11-4-2018	6,34
12-4-2018	7,20
19-4-2018	7,49

Tabel III.3: Verloop van zuurgraad in de emmer met hydrocultuurkorrels

Datum	pH
22-3-2018	8,51
27-3-2018	8,44
27-3-2018	6,05
28-3-2018	6,89
29-3-2018	6,79
5-4-2018	7,71
6-4-2018	7,73
6-4-2018	7,25
10-4-2018	8,11
10-4-2018	6,86
11-4-2018	7,47
11-4-2018	6,55
12-4-2018	7,65
19-4-2018	8,12

Tabel III.4: Verloop van zuurgraad in de emmer met water

Datum	pH
22-3-2018	8,51
27-3-2018	7,66
27-3-2018	7,00
28-3-2018	7,43
28-3-2018	6,80
29-3-2018	7,43
5-4-2018	7,88
5-4-2018	6,86
6-4-2018	7,42
6-4-2018	6,72
10-4-2018	7,52
10-4-2018	6,90
11-4-2018	7,33
11-4-2018	6,69
12-4-2018	7,23
19-4-2018	7,28

Tabel III.5: Verloop van zuurgraad in de emmer met lisdodde

Datum	pH
22-3-2018	8,51
27-3-2018	7,71
27-3-2018	6,63
28-3-2018	7,43
28-3-2018	6,77
29-3-2018	7,43
5-4-2018	7,73
5-4-2018	6,89
6-4-2018	7,38
6-4-2018	6,75
10-4-2018	7,43
10-4-2018	7,02
11-4-2018	7,32
11-4-2018	6,82
12-4-2018	7,23
19-4-2018	7,52

Tabel III.6: Verloop van zuurgraad in de emmer met gele lis

Bijlage IIIb: Resultaten van droge stof bepalingen

Afmeting wortelstok A.S. (voor meting)

Wortelstok zelf: 17,3 cm

Wortelstok stukje nr. 1: 1,7 cm

Wortelstok stukje nr. 2: 1,3 cm

Afmeting wortelstok A.S. (na meting)

Wortelstok zelf: 14,3 cm

Wortelstok stukje nr. 1: 1,7 cm

Wortelstok stukje nr. 2: 1,3 cm

A.S. = aquaponics systeem

Tabel III.7: Resultaten van droge stof bepaling wortelstok uit aquaponics systeem, beginmeting

Droge stof bepaling wortelstok lisdodde (beginmeting)			
Datum: 12 en 13 maart 2018 (dag 0 en 1)			
Meting	Gewicht nr. 1 (g)	Gewicht nr. 2 (g)	Gewicht test (g)
Foliepapier	0,4464	0,4769	X
Foliepapier + wortelstok	3,5982	2,6995	X
Natgewicht wortelstok lisdodde*	3,1518	2,2226	X
Aluminiumbakje + glasvezelpapier	1,4709	1,5051	1,4929
Alubakje + glasvezelpapier + wortelstok (gemeten)	4,5734	3,7080	X
Alubakje + glasvezelpapier + wortelstok (berekend) *	4,6227	3,7277	X
Alubakje + inhoud uit oven	1,9292	1,8244	1,4908
Foliepapier	0,4677	0,4687	X
Foliepapier + wortelstok	0,9291	0,7924	X
Drooggewicht wortelstok lisdodde**	0,4614	0,3237	X
Percentage drooggewicht van natgewicht**	14,6%	14,6%	99,9%

* Berekend:

$\text{Natgewicht wortelstok lisdodde} = \text{'Foliepapier + wortelstok'} - \text{'Foliepapier'}$

$\text{Alubakje + glasvezelpapier + wortelstok (berekend)} = \text{'Natgewicht wortelstok lisdodde'} + \text{'Aluminiumbakje + glasvezelpapier'}$

** Berekend:

$\text{Drooggewicht wortelstok lisdodde} = \text{'Foliepapier + wortelstok'} - \text{'Foliepapier'}$

$\text{Percentage drooggewicht} = \text{drooggewicht} / \text{natgewicht} * 100\%$

Afmeting wortelstok A.S. (voor meting)

Wortelstok zelf: 13,1 cm

Wortelstok stukje nr. 1: 3,0 cm

Wortelstok stukje nr. 2: 3,1 cm

Afmeting wortelstok A.S. (na meting)

Wortelstok zelf: 7,0 cm

Wortelstok stukje nr. 1: 3,0 cm

Wortelstok stukje nr. 2: 3,1 cm

A.S. = aquaponics systeem

Tabel III.8: Resultaten van droge stof bepaling wortelstok uit aquaponics systeem, eindmeting

Droge stof bepaling wortelstok lisdodde (eindmeting)			
Datum: 18 en 19 april (dag 37 en 38)			
Meting	Gewicht nr. 1 (g)	Gewicht nr. 2 (g)	Gewicht test (g)
Foliepapier	0,4606	0,4691	X
Foliepapier + wortelstok	5,0312	4,9817	X
Natgewicht wortelstok lisdodde*	4,5706	4,5126	X
Aluminiumbakje + glasvezelpapier	1,5002	1,4939	1,4886
Alubakje + glasvezelpapier + wortelstok (gemeten)	6,0610	5,9977	X
Alubakje + glasvezelpapier + wortelstok (berekend) *	6,0708	6,0065	X
Alubakje + inhoud uit oven	1,8767	1,8940	1,4866
Foliepapier	0,4437	0,4738	X
Foliepapier + wortelstok	0,8249	0,8776	X
Drooggewicht wortelstok lisdodde**	0,3812	0,4038	X
Percentage drooggewicht van natgewicht**	8,34%	8,95%	99,9%

* Berekend:

$$\text{Natgewicht wortelstok lisdodde} = \text{'Foliepapier + wortelstok'} - \text{'Foliepapier'}$$

$$\text{Alubakje + glasvezelpapier + wortelstok (berekend)} = \text{'Natgewicht wortelstok lisdodde'} + \text{'Aluminiumbakje + glasvezelpapier'}$$

** Berekend:

$$\text{Drooggewicht wortelstok lisdodde} = \text{'Foliepapier + wortelstok'} - \text{'Foliepapier'}$$

$$\text{Percentage drooggewicht} = \text{drooggewicht} / \text{natgewicht} * 100\%$$

Afmeting wortelstok A.S. (voor meting)

Wortelstok zelf: 7,0 cm
 Wortelstok stukje nr. 1: 3,0 cm
 Wortelstok stukje nr. 2: 3,1 cm

Afmeting wortelstok A.S. (na meting)

Wortelstok zelf: 0,9 cm
 Wortelstok stukje nr. 1: 3,0 cm
 Wortelstok stukje nr. 2: 3,1 cm

A.S. = aquaponics systeem

Tabel III.9: Resultaten van droge stof bepaling. Gewicht nr. 1.1 en 1.2 zijn van de wortelstok uit het A.S. en gewicht nr. 2.1 en 2.2 zijn van de wortelstok uit de emmer.

Droge stof bepaling wortelstok lisdodde (extra)				
Datum: 20 en 24 april (dag 39 en 43)				
Meting	Gewicht nr. 1.1 (g)	Gewicht nr. 1.2 (g)	Gewicht nr. 2.1 (g)	Gewicht nr. 2.2 (g)
Foliepapier	0,3877	0,4657	0,4632	0,4527
Foliepapier + wortelstok	5,1525	5,0880	4,8550	4,0160
Natgewicht wortelstok lisdodde*	4,7648	4,6223	4,3918	3,5633
Aluminiumbakje + glasvezelpapier	1,4989	1,4982	1,5058	1,5034
Alubakje + glasvezelpapier + wortelstok (gemeten)	6,1625	6,1020	5,8466	5,0610
Alubakje + glasvezelpapier + wortelstok (berekend) *	6,2637	6,1205	5,8976	5,0667
Alubakje + inhoud uit oven	1,8674	1,9445	1,7955	1,8140
Foliepapier	0,4618	0,4686	0,4719	0,4695
Foliepapier + wortelstok	0,8329	0,9215	0,7635	0,7824
Drooggewicht wortelstok lisdodde**	0,3711	0,4529	0,2916	0,3129
Percentage drooggewicht van natgewicht**	7,79%	9,80%	6,64%	8,78%

* Berekend:

Natgewicht wortelstok lisdodde = 'Foliepapier + wortelstok' – 'Foliepapier'

Alubakje + glasvezelpapier + wortelstok (berekend) = 'Natgewicht wortelstok lisdodde' + 'Aluminiumbakje + glasvezelpapier'

** Berekend:

Drooggewicht wortelstok lisdodde = 'Foliepapier + wortelstok' – 'Foliepapier'

*Percentage drooggewicht = drooggewicht / natgewicht * 100%*

Bijlage IIIc: Resultaten van eiwitbepalingen

Tabel III.10: Resultaten van eiwitbepalingen; zie ook de berekeningen in bijlage IVb. A.S. = aquaponics systeem, Gem. (%) = gemiddeld eiwitpercentage van de droge stof

Datum	Monster dag	Gem. (%)	StDev.P	Monster .1 (mg)	Monster .2 (mg)	HCl .1 (ml)	HCl .2 (ml)	Corr .1 (ml)	Corr .2 (ml)	Eiwit .1 (mg)	Eiwit .2 (mg)	Eiwit .1 (%)	Eiwit.2 (%)	Blanco .1 (ml)	Blanco .2 (ml)	Blanco Gem.
19-4-2018	0	13,77	X	X	332,3	X	5,6200	X	5,23	X	45,77	X	13,77	X	0,392	0,392
19-4-2018	37	8,23	X	X	408,6	X	4,2340	X	3,84	X	33,63	X	8,23	X	0,392	0,392
24-4-2018	39 (A.S.)	10,84	2,28	365,6	445,0	3,9720	7,0660	3,57	6,67	31,29	58,37	8,56	13,12	0,358	0,438	0,398
24-4-2018	39 (emmer)	6,28	1,17	290,8	302,7	2,8720	2,1660	2,47	1,77	21,66	15,48	7,45	5,11	0,358	0,438	0,398

Bijlage IV: Berekeningen

Bijlage IVa: N:P-verhoudingen

Met N:P-verhoudingen kan worden berekend hoeveel stikstof door planten is opgenomen. Hieronder volgt een voorbeeldberekening. Er is vanuit gegaan dat de verhouding 8 : 1 optimaal is voor de lisdodde in een aquaponics systeem. Of dit werkelijk zo is, is niet bekend. Uit verschillende internetbronnen blijkt dat fosfor niet kan worden gestript.

*In de emmer met lisdodde was de N-totaal vrucht op dag 0: 109,8 mg
op dag 28: 67,8 mg*

*In de emmer met lisdodde was de P-totaal vrucht op dag 0: 8,30 mg
op dag 28: 2,56 mg*

Op dag 0 was de N:P-verhouding $109,8 : 8,30 = 13,2 : 1$

*Bij de verhouding 8 : 1 en $P = 8,30$ mg, dan is $N = 8 * 8,30 = 66,4$ mg. 66,4 mg zou opgenomen zijn door planten in plaats van 109,8 mg. Dit is een verschil van 43,4 mg. Het percentage stikstof dat dus theoretisch niet is opgenomen door planten, maar wel is verwijderd, is $43,4 / 109,8 * 100\% = 40\%$. 60% van de hoeveelheid stikstof zou dan verwijderd zijn door planten.*

Op dag 28 was de N:P-verhouding $67,8 : 2,56 = 26,5 : 1$

*Bij de verhouding 8 : 1 en $P = 2,56$ mg, dan is $N = 8 * 2,56 = 20,5$ mg. 20,5 mg zou opgenomen zijn door planten in plaats van 67,8 mg. Dit is een verschil van 47,3 mg. Het percentage stikstof dat dus theoretisch niet is opgenomen door planten, maar wel is verwijderd, is $47,3 / 67,8 * 100\% = 70\%$. 30% van de hoeveelheid stikstof zou dan verwijderd zijn door planten.*

Op basis van de percentages zou gezegd kunnen worden dat gedurende de 28 dagen de verwijderde hoeveelheid stikstof door planten afneemt. Hierbij gelden enkele kanttekeningen. De planten zijn gegroeid en daarom is de verwachting dat de nutriëntopname uit het water groter wordt. De stikstofverwijdering zou wel verhoogd kunnen zijn door fysisch-chemische en biologische processen. 30% is echter een groot getal als het om vier weken gaat waarin de pH en temperatuur gering zijn veranderd en waarin de micro-organismen nog in de groeifase zaten.

De planten nemen ook niet strikt stikstof en fosfor op in de verhouding 8 : 1, het kan goed zijn dat meer stikstof is opgenomen. Daarnaast zijn relatief weinig resultaten verkregen om een uitspraak te doen over het percentage stikstof en fosfor dat werkelijk door planten is opgenomen. Ook nemen planten stikstof en fosfor op alleen in de vormen nitraat en fosfaat. Deze zijn niet gemeten.

Bijlage IVb: Eiwitgehalte

Aan het eind van de stikstof-Kjeldahl meting wordt zoutzuuroplossing toegevoegd. Met deze toegevoegde hoeveelheid kan het percentage eiwitten in de wortelstok worden bepaald. Hieronder volgt een voorbeeldberekening.

Toegevoegd 0,1 M HCl-oplossing = 5,62 ml.

Bij de blanco met demiwater is 0,392 ml 0,1 M HCl-oplossing toegevoegd.

Het verschil hiertussen is $5,62 - 0,392 = 5,23$ ml. Hiermee zal verder worden gerekend, in de blanco zit namelijk geen stikstof.

De verhouding tussen toegevoegd HCl en stikstof is 1 : 1 (dit volgt uit een voorbeeldberekening (Wijers, Speerstra, & Spruit, 2018)).

$0,1 \text{ M} = 0,1 \text{ mol/l} \rightarrow 0,1 / 1000 = 0,0001 \text{ mol/ml HCl-oplossing.}$

*In 5,23 ml zit $5,23 * 0,0001 = 0,000523 \text{ mol HCl-oplossing}$ en dus ook $0,000523 \text{ mol stikstof.}$*

*Stikstof is $14,0067 \text{ g/mol} \rightarrow 0,000523 * 14,0067 = 0,00733 \text{ g stikstof} = 7,33 \text{ mg.}$*

Voor de omrekeningsfactor van de hoeveelheid N-Kjeldahl naar de hoeveelheid eiwitten wordt gekeken naar hoeveel procent stikstof in eiwitten zit. Dit is 16% (zowerkthetlichaam.nl, 2014). Wanneer de hoeveelheid stikstof met 6,25 (= 100 / 16) wordt vermenigvuldigd, dan is de hoeveelheid eiwitten bekend (Eurofins, sd). (Wijers, Speerstra, & Spruit, 2018)

*De hoeveelheid eiwitten is $7,33 * 6,25 = 45,8$ mg.*

Het droge stof gewicht dat ingezet is voor deze meting, is 332,3 gram.

*Percentage eiwitten in droge stof = $45,8 / 332,3 * 100 = 13,8\%$.*

Van dit monster is maar één meting gedaan. Wanneer twee metingen gedaan zouden zijn, dan wordt voor het percentage eiwitten het gemiddelde genomen van de twee monsters.

De spreiding van de waarden rondom het gemiddelde wordt aangegeven met de standaarddeviatie. Als de waarden bijna gelijk aan het gemiddelde zijn, dan is de standaarddeviatie klein. Als de getallen ver bij het gemiddelde vandaan liggen, dan is de standaarddeviatie groot. Omdat de standaarddeviatie van de eiwitpercentages berekend wordt door alle resultaten van een meting in de formule te verwerken, wordt de formule van de standaarddeviatie-populatie 'STDEV.P' gebruikt (Microsoft, 2018) (Hilbrants & Vries, 2012):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - \mu)^2}{N}}$$

σ = standaarddeviatie van de hele getallenreeks

x = een waarde uit de getallenreeks

μ = gemiddelde van de getallenreeks

Σ = som

N = omvang van getallenreeks

$$\text{Voorbeeld: } \sigma = \sqrt{\frac{(8,56 - 10,84)^2 + (13,12 - 10,84)^2}{2}} = 2,28$$

De standaarddeviatie-populatie is een functie in MS Excel. Deze functie wordt gebruikt bij de berekeningen.

Bijlage V: Bezoek aan aquaponics systemen, Bauke Hegeman

Dinsdag 27 februari 2018 ben ik, Nicole Holm, naar Nijverdal afgereisd om Bauke Hegeman vragen te stellen over zijn uit de hand gelopen hobby, aquaponics systemen. In deze bijlage staat het verslag (Hegeman, Aquaponics systemen, 2018a).

Wat is je doel met aquacultuursystemen?

Bauke plant voornamelijk eetbare planten. Zijn doel is om samen te gaan werken met voedselbossen waarbij de opbrengsten nog groter gaan worden. Hij wil een bedrijfje op gaan zetten. Daarbij is zijn doel om mensen rond te leiden en te informeren. Hij hoopt dat er bussen vol met kinderen langs komen.

Hoeveel water gebruik je voor je aquaponics systemen?

De verhouding water/hydrokorrels is heel belangrijk. Er moet net zoveel water in de vistank zitten als dat het teeltbed in volume is. Dan is de efficiëntie het hoogst. Vooral in de startfase is de verhouding 1 : 1 belangrijk. Wanneer het een volwassen systeem geworden is, dan ben je 10 jaar verder, dan mag de verhouding maximaal 1 : 6 zijn. Bij een fluctuerend waterpeil mag de verhouding maximaal 1 : 3 zijn. Minder water is niet goed voor de vissen en te veel water is niet gewenst. Het systeem is namelijk een duurzaam systeem en daarvoor is een zo min mogelijk milieubelastend systeem nodig. De verhouding heeft ook te maken met de filtercapaciteit.

Bij een hoge waterdoorstroming (paar keer per uur) door het systeem is de opbrengst groter dan bij een kleine waterdoorstroming (paar keer per dag). De waterdoorstroming ligt onder andere aan de grootte van het teeltbed en de breedte van de buis waardoor het water de bak in stroomt.

Fluctuatie van het waterpeil is belangrijk voor de zuurstofvoorziening voor micro-organismen. Een zo groot mogelijk verschil tussen het lage en hoge waterpeil is optimaal. Bauke heeft minimaal 2 cm water in zijn systemen staan.

Bij een aquaponics systeem wordt 80-90% minder water gebruikt dan in een regulier landbouwsysteem.

Wanneer de hydrokorrels wit uitslaan, dan is dit een teken van te veel verdamping. Het witte is de kalk, ketelsteen. Dit kan je voorkomen door je waterpeil iets te verlagen of je teeltbed op te hogen.

Hoe dik moet het teeltbed zijn?

30 cm is een beproefd goed filtersysteem. Dit houdt Bauke aan. Dit is niet verder (wetenschappelijk) onderzocht.

Voeg je handmatig nutriënten aan het systeem toe? Zo ja, welke?

Ik voer 2 à 3 keer per dag de vissen. De hoeveelheid voedsel dat ik ze geef is de hoeveelheid die ze binnen vijf minuten op kunnen eten. Bij het opstarten van het systeem is bijmesten met nutriënten en bacteriecultuur noodzakelijk. Hierdoor komt het systeem op gang. Het kan wel vier jaren duren voordat het systeem opgestart is en niet meer bemest hoeft te worden. Bijmesten kun je bijvoorbeeld doen door van een aardbeienplant een aardbei terug te stoppen in het teeltbed. IJzer is heel belangrijk voor bladgroen. Daarnaast is biodiversiteit in het systeem belangrijk. Vergeet geen wormen toe te voegen. Deze zijn heel belangrijk voor het opruimen van afvalstoffen die vervolgens opgenomen kunnen worden door planten.

Bij 250 mg/l nitraat doen de vissen het nog goed. Dit is wel zo'n beetje het maximale niveau. Dit kan in de winter in een gesloten, volwassen systeem gehaald worden. In het systeem van Bauke zit ongeveer 0,1-0,25 mg/l fosfaat. Dit is goed. Nitriet wil je niet in het systeem hebben. Als dit wel in het systeem zit, dan moet je je water verversen. Nitriet is de graadmeter voor de bacteriecultuur. Geen nitriet is een goede bacteriecultuur.

De kH (buffer van pH) ligt tussen de 3 en 7, waarbij 3 toch wel het minimale is. De pH is optimaal bij 6,2, tussen 5,5 en 6,2 is goed. Dit heeft te maken met de mineralenopname.

Wordt voor een aquaponics systeem altijd hydrocultuurkorrels gebruikt?

Ja, eigenlijk wel. Je moet rekening houden met het gewicht van het medium en hoe snel het water er doorheen stroomt. Aarde houdt veel water vast, waardoor de doorstroming laag is. Daarbij komt dat het zwaar is. Aangezien de bakken waarin het medium zit zich op enige hoogte bevinden, wil je er niet te veel gewicht in hebben. Hydrokorrels zijn poreus, waardoor ze licht van gewicht zijn. Daarbij houden ze veel vocht vast wat voor de wortels gunstig is. De waterdoorstroming voor de nutriënten aanvoer is wel groot. Daarbij komt dat ze een groot oppervlak hebben voor micro-organismen.

Wat doen de vissen?

Vissen vormen 10-20% van je opbrengst. Vissen zijn een extra stikstofbron. Kreeftjes doen weinig, ze zijn een extra filter. Ze groeien heel snel in een goed systeem. Het is belangrijk dat de watertemperatuur nooit onder de 10 °C komt, dan vermindert de visactiviteit. De luchttemperatuur mag wel kouder zijn.

Overige opmerking

Zeoliet is een goede nitraat filteraar. Het is vulkanisch gesteente.

Bauke gebruikt in de grote kas die in verbinding staat met het voedselbos geen spectrumlicht, omdat deze lichtbak gemakkelijk gestolen kan worden.