

Etablering av et demonstrasjonsanlegg for integrert produksjon av fisk og planter på Akvariet i Bergen



Foto: Ole-Kristian Hest-Elva

RAPPORT

Hovedkontor

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00

Internett: www.niva.no

NIVA Region Sør

Jon Lilletuns vei 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 37 04 45 13

NIVA Region Innlandet

Sandvikaveien 59
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 62 57 66 53

NIVA Region Vest

Thormøhlensgate 53 D
5006 Bergen
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 55 31 22 14

NIVA Danmark

Njalsgade 76, 4. sal
2300 København S, Danmark
Telefon (45) 39 17 97 33

Tittel Etablering av et demonstrasjonsanlegg for integrert produksjon av fisk og planter på Akvariet i Bergen	Løpenummer 7227-2018	Dato 18. januar 2018
Forfatter(e) Ole-Kristian Hess-Erga (NIVA) Åse Åtland (NIVA) Olaug Vetti Kvam (Skolelaboratoriet) Magne Berland (NLRV) Espen Hansen (Akvariet i Bergen) Geir Olav Melingen (Akvariet i Bergen)	Fagområde Akvakultur og fiskeøkologi	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Hordaland	Sider 25

Oppdragsgiver(e) Hordaland fylkeskommune – Handlingsprogram for næringsutvikling i Hordaland	Oppdragsreferanse Geir Olav Melingen
	Utgitt av NIVA Prosjektnummer 16064

Sammendrag

Det ble etablert et aquaponics-anlegg på Akvariet i Bergen og samtidig ble konseptet; integrert multitroffisk akvakultur (IMTA) presentert. Systemet ble designet for å ivareta de biologiske kravene så godt det lot seg gjøre, men Akvariet i Bergens infrastruktur og visuelle krav satte enkelte begrensninger. Basert på dette ble viktige underholdnings- og informasjonselementer identifisert og presentert, men vel så viktig har formidlingen og utvikling av et undervisningsopplegg vært. Prosjektet er gjennomført etter planen, og vi anser at det har bidratt til å gjøre konseptet med kretsløpsøkonomi og utnyttelse av avfallsstoffer mere kjent for både allmenheten og for elever i videregående skoler. Aquaponics-anlegget har supplert det øvrige tilbudet ved Akvariet i Bergen på en fin måte og bidratt til oppmerksomhet rundt slike bærekraftige konsept til havbruksnæringen, forvaltningen og til fremtidige arbeidstakere.

Fire emneord 1. Akvakultur 2. Aquaponics 3. IMTA 4. Akvariet i Bergen	Four keywords 1. Aquaculture 2. Aquaponics 3. IMTA 4. Bergen Aquarium
---	---

Denne rapporten er kvalitetssikret iht. NIVAs kvalitetssystem og godkjent av:



Ole-Kristian Hess-Erga
Rapportforfatter



Åse Åtland
Prosjektleder



Åse Åtland
Forskningsleder

Handlingsprogram for næringsutvikling i
Hordaland

**Eablering av et demonstrasjonsanlegg for
integrert produksjon av fisk og planter på
Akvariet i Bergen**

Forord

Prosjektet; Etablering av et demonstrasjonsanlegg for integrert produksjon av fisk og planter på Akvariet i Bergen ble utviklet sammen med partnerne Stiftelsen Akvariet i Bergen, Norsk institutt for vannforskning (NIVA), Norsk Landbruksrådgiving Veksthus, Salmon Group, Ocean Forest, Skolelaboratoriet for realfag og de videregående skolene Amalie Skram, Bergen katedralskole og Hjeltnes. Handlingsprogram for næringsutvikling i Hordaland, Hordaland fylkeskommune innvilget søknaden og har finansiert prosjektet sammen med egeninnsats fra partnerne og økonomisk støtte fra NIVA.

Samarbeidspartnerne har vært representert ved Geir Olav Melingen og Espen Hansen (begge Akvariet i Bergen), Magne Berland (Norsk Landbruksrådgiving Veksthus), Øyvind Kråkås (Salmon Group), Harald Sveier (Ocean Forest), Olaug Vetti Kvam (Skolelaboratoriet), Bente Færøvik (Bergen Katedralskole), Ole-Jacob Møklebust (Amalie Skram videregående skole), Håkon Gjerde (Hjeltnes videregående skole), Åse Åtland og Ole-Kristian Hess-Erga (begge NIVA).

Arbeidet har blitt ledet av Åse Åtland (prosjektleder).

Takk for alle bidrag som har gjort dette prosjektet vellykket!

Bergen, 18. januar 2018
Ole-Kristian Hess-Erga

Innholdsfortegnelse

1 Innledning	7
1.1 Prosjektgjennomføring.....	7
2 Prosjektdesign og metoder	9
2.1 Krav og løsninger.....	9
2.2 Etablering av et aquaponics demonstrasjonsanlegg	9
2.3 Identifisering av formidlings- og informasjonstema	10
2.4 Identifisering av undervisningstema	10
3 Resultat og diskusjon	11
3.1 Krav og løsninger.....	11
3.1.1 Biologiske krav.....	11
3.1.2 Potensielle systemløsninger.....	15
3.2 Etablering av et aquaponics demonstrasjonsanlegg	16
3.2.1 Systembeskrivelse.....	16
3.2.2 Prosedyrer.....	18
3.2.3 Vannkvalitet og lysforhold	18
3.3 Formidling- og informasjonstema.....	20
3.4 Undervisningstema.....	23
3.4.1 Relevans for skolens kompetansemål.....	23
3.4.2 Undervisning ved Akvariet i Bergen	23
3.4.3 Formidling til andre skoler i Hordaland	23
4 Konklusjon	24
5 Referanser	25

Sammendrag

Et konsept som i liten grad har blitt utforsket i Norge, er aquaponics. Dette er en kombinasjon av fiskeoppdrett (aquaculture) og vannbasert planteproduksjon (hydroponics). En slik samproduksjon er mulig fordi systemkravene er relativt like for oppdrett av fisk og planteproduksjon. Plantene tar opp næringssaltene og bidrar til vannrensing sammen med naturlig tilstedeværende mikroorganismer. Et aquaponics-system i liten skala (demonstrasjons-/visningsanlegg) er meget godt egnet til å formidle og informere om systemets viktigste egenskaper og potensiale for kommersiell produksjon.

Det ble etablert et aquaponics-anlegg på Akvariet i Bergen og samtidig ble konseptet integrert multitrofisk akvakultur (IMTA) presentert. Systemet ble designet for å ivareta de biologiske kravene så godt det lot seg gjøre, men Akvariet i Bergens infrastruktur og visuelle krav satte enkelte begrensinger. Basert på dette ble viktige underholdnings- og informasjonselementer identifisert og presentert, men vel så viktig har formidlingen og utvikling av et undervisningsopplegg vært. Prosjektet er gjennomført etter planen, og vi anser at det har bidratt til å gjøre konseptet med kretsløpsøkonomi og utnyttelse av avfallsstoffer mere kjent for både allmenheten og for elever i videregående skoler. Aquaponics-anlegget har supplert det øvrige tilbudet ved Akvariet i Bergen på en fin måte og bidratt til oppmerksomhet rundt slike bærekraftige konsept til havbruksnæringen, forvaltningen og til fremtidige arbeidstakere.

Summary

Title: Establishment of a demonstration system for integrated production of fish and plants (aquaponics) at the Bergen Aquarium.

Year: 2018

Author: Ole-Kristian Hess-Erga (NIVA), Åse Åtland (NIVA), Olaug Vetti Kvam (Skolelaboratoriet), Magne Berland (NLRV), Espen Hansen (Akvariet i Bergen) og Geir Olav Melingen (Akvariet i Bergen)

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN 978-82-577-6962-8

A concept that has to a limited extent been explored in Norway is aquaponics. This is a combination of fish farming (aquaculture) and water-based plant production (hydroponics). Such co-production is possible because the system requirements are relatively similar for fish and plant production. The plants absorb the fish wastes (nutrients) and contribute to water purification together with naturally occurring microorganisms. A small-scale aquaponics system (demonstration / display facility) is very suitable for communicating and informing about the system's main characteristics and potential for commercial production.

An aquaponics facility was established at the Bergen Aquarium, and at the same time, the concept; integrated multitrophic aquaculture (IMTA) was presented. The system was designed to meet the biological requirements as far as possible, but the infrastructure and visual requirements of the Aquarium set some limitations. Based on this, important entertainment and information elements were identified and presented, but equally important, the development and dissemination of a teaching program was presented. The project has been completed according to the plan, and we believe that it has helped to make the concept of circular economics and utilization of waste, more familiar to both the public and for students. The Aquaponics plant has complemented the exhibitions at the Bergen Aquarium in a nice way and contributed to the attention of such sustainable concept to the aquaculture industry, the management authorities and future employees.

1 Innledning

Jordens biologiske mangfold er fullstendig avhengig av at både organiske og uorganiske forbindelser sirkulerer. Slike kretsløp er basisen for tradisjonelt landbruk, hvor avfallsproduktene remineraliseres av mikroorganismer og blir gjort tilgjengelig både for planter og dyr. Tilsvarende blir en rekke avfallsprodukter skilt ut fra fisk til vannet. Disse produktene kan representere et problem for fisken ved forhøyede konsentrasjoner, men kan også representere en ressurs hvis de blir utnyttet i en kontrollert produksjon. En slik form for ressursutnyttelse kan blant annet føre til nye produkter, bidra til vannrensing og redusere miljøbelastningene. Slike konsept illustrerer en rekke viktige prinsipper knyttet til gjenbruk og resirkulering av næringsstoff og vann (kretsløp), som vil kunne gi et glimt av fremtiden hvor ressursbesparende og integrerte system kanskje vil dominere. Dette er grunnlaget for tankegangen i kretsløpsøkonomi, eller sirkulær økonomi som noen kaller det, som betyr mindre uttak av nye råmaterialer samtidig som avfallsmengdene reduseres til et minimum. Formidling og informasjon vil da være avgjørende for å legge til rette for næringsutvikling og fremme slike bærekraftige konsept i Norge. Et konsept som i liten grad har blitt utforsket i Norge, er aquaponics (Adler et al. 2000, de Dezser 2010, Hess-Erga et al. 2013). Dette er en kombinasjon av fiskeoppdrett (aquaculture) og vannbasert planteproduksjon (hydroponics). En slik samproduksjon er mulig fordi systemkravene er relativt like for oppdrett av fisk og planteproduksjon. Plantene tar opp næringssaltene og bidrar til vannrensing sammen med naturlig tilstedeværende mikroorganismer. Et aquaponicssystem i liten skala (demonstrasjons-/visningsanlegg) er meget godt egnet til å formidle og informere om systemets viktigste egenskaper og potensiale for kommersiell produksjon. Samtidig vil konseptet; integrert multitrofisk akvakultur (IMTA) kunne presenteres på en god måte for å vise hvilke muligheter som finnes for havbruksnæringen. Etablering av et aquaponics-anlegg og presentasjon av IMTA på Akvariet i Bergen vil både kunne ha viktige underholdnings- og informasjonselement for de besøkende, men vel så viktig er formidling og undervisning av slike bærekraftige konsept til havbruksnæringen, forvaltningen og til fremtidige arbeidstakere.

1.1 Prosjektgjennomføring

Med bakgrunn i ovennevnte tema, er det gjennomført et samarbeidsprosjekt med partnerne Stiftelsen Akvariet i Bergen, Norsk institutt for vannforskning (NIVA), Norsk Landbruksrådgiving Veksthus, Salmon Group, Ocean Forest AS, Skolelaboratoriet i realfag ved Universitetet i Bergen og de videregående skolene Amalie Skram, Bergen katedralskole og Hjeltnes. Prosjektet har undersøkt biologiske-, teknologiske- og visuelle krav, samt formidlings- og undervisningstema knyttet til integrert matproduksjon.

Prosjekt mål

Overordnet mål: Etablere et aquaponics demonstrasjonsanlegg hos Akvariet i Bergen med fokus på biologiske-, teknologiske- og visuelle krav, samt formidlings- og undervisningstema, både til naturlige prosesser og viktige prinsipper knyttet til gjenbruk/resirkulering av næringsstoffer og vann (kretsløp).

Delmål:

- Å identifisere biologiske krav (fisk og planter).
- Å identifisere tekniske løsninger og utforming.
- Å identifisere visuelle krav og designmessige løsninger.
- Å konstruere og bygge systemet.
- Å identifisere formidlingstema og utarbeide tilhørende materiell (visuelle hjelpemidler, profilering o.l.).

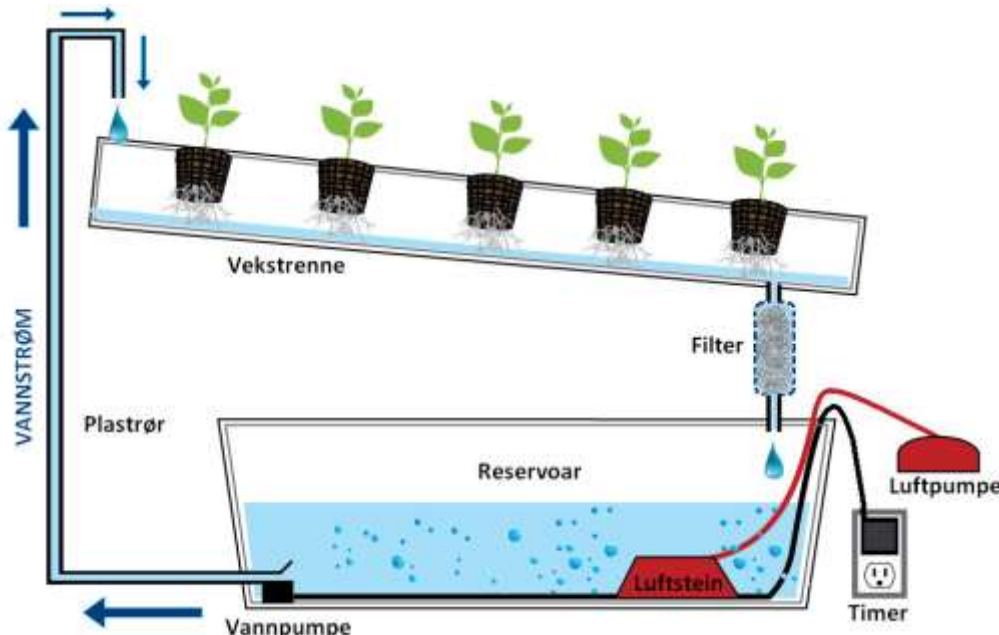
- Å identifisere undervisningstema og fremtidige forskningstema, samt utarbeide undervisningsopplegg for den videregående skolen.
- Å etablere et nettverk for å styrke samspillet mellom næringslivet og FoU institusjoner innen integrert matproduksjon.

2 Prosjektdesign og metoder

Prosjektet ble delt inn i fire deler. (2.1) Identifisere biologiske krav, tekniske løsninger og visuelle-/designmessige løsninger for et aquaponics-anlegg, (2.2) etablering av et aquaponics demonstrasjonsanlegg, (2.3) identifisere og utarbeide formidlings- og informasjonstema og (2.4) identifisere og utarbeide undervisningstema. Formålet med prosjektet var å vise en rekke viktige prinsipper knyttet til gjenbruk og resirkulering av næringsstoff og vann (kretsløp), for om mulig, få et glimt inn i fremtiden hvor ressursbesparende og integrerte system kanskje vil få en fremtredende posisjon i akvakulturnæringen.

2.1 Krav og løsninger

Planter og nitrifiserende bakterier fungerer som et naturlig filter for å fjerne og omdanne fiskens avfallsprodukter ved integrert produksjon av fisk og planter. Planter som tar opp en stor andel av de løste nærings saltene kan fungere som et rensetrinn og gi en sekundær avling. Riktig dimensjonering av et slikt system krever dokumentasjon både innen biologi, vannkjemi og teknologi. I underholdnings-/informasjonsøyemed er det viktig å formidle systemet og de biologiske forhold på en god måte. Både visuelle og designmessige valg kan styrke formidlingen av de ulike temaene. For å identifisere de ulike kravene og løsningene ble det gjennomført litteratursøk, diskutert per telefon/e-post, og avholdt diskusjonsmøter, både under hvert tema, men også samlet. Basert på dette ble det i første omgang bestemt hvilke løsninger som var best egnet for etablering av et enkelt aquaponics-system på Akvariet i Bergen.



Figur 2.1. Prinsippskisse av et NFT system (Nutrient Film Technique).

2.2 Etablering av et aquaponics demonstrasjonsanlegg

Løsningene som ble funnet under pkt. 2.1 ble tilpasset Akvariet i Bergens infrastruktur og implementert i byggeprosessen. Den beste plasseringen ble identifisert og nødvendige modifiseringer

ble utført for å få riktig vannlogistikk. Samtidig ble planteavdelingen designet og laget for å formidle temaene på en estetisk god måte. Retningslinjer for drift ble utarbeidet og tilpasset underveis i perioden.

2.3 Identifisering av formidlings- og informasjonstema

Basert på de ulike biologiske temaene og systemløsningen ble gode og relevante formidlings- og informasjonstema identifisert, både for aquaponics og IMTA. Egnede tema ble valgt ut og presentert grafisk i tilknytning til utstillingen. I tillegg ble det utarbeidet en informasjonsstrategi overfor akvakulturnæringen, media og opinionen.

2.4 Identifisering av undervisningstema

Aquaponics og IMTA bygger på prinsipper som inkluderer hele kretsløpet i vann, noe som gjør det svært godt egnet til undervisning. Slike produksjonssystem er på langt nær ferdig utviklet og det finnes en rekke relevante forskningstema som kan være spennende element i undervisningen. I samarbeid med Skolelaboratoriet ved UiB og lærere i den videregående skole, ble det utviklet et undervisningsopplegg knyttet til demonstrasjonsanlegget på Akvariet i Bergen og IMTA aktiviteten til Ocean Forest. Etter at lærere og elever ved sentrumsskolene har høstet erfaringer med undervisning knyttet til demonstrasjonsanlegget, inviterte Skolelaboratoriet i realfag til et kurs på Faglig pedagogisk dag – den 3. februar 2017 der undervisningsopplegg og erfaringer ble delt med lærere fra andre skoler i Hordaland.

3 Resultat og diskusjon

Resultatene fra prosjektet presenteres både i form av bildemateriell/illustrasjoner og tekst. Den beste presentasjonen får man ved besøk på Akvariet i Bergen og gjennom undervisningsopplegget.

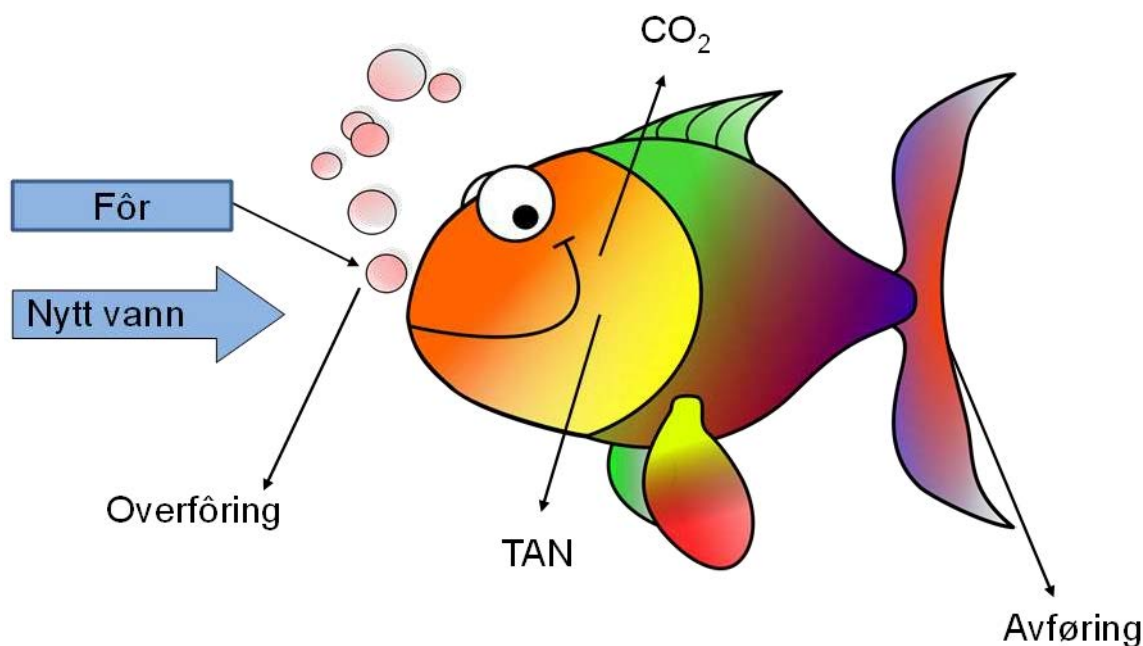
3.1 Krav og løsninger

De biologiske kravene og potensielle tekniske løsninger ble identifisert. Systemet ble designet for å ivareta nevnte krav så godt det lot seg gjøre, men Akvariet i Bergens infrastruktur og visuelle krav satte en del begrensinger.

3.1.1 Biologiske krav

Vannkvalitet

Vannkvaliteten og mengden avfallsprodukter varierer naturlig i henhold til driftsintensitet, fiskestørrelse, rensiltak og vannutskiftingsgrad. Fiskens metabolisme vil påvirke vannkvaliteten i driftsvannet ved at fôret omdannes til CO₂, ammonium/ammoniakk (TAN), avføring og urea skiller ut (Fig. 3.1).



Figur 3.1. Fiskens metabolisme og påvirkning på vannkvalitet.

Vannbehandlingen (inkludert planter) i et resirkuleringsystem/aquaponics-system må kontinuerlig fjerne eller omdanne de stoffene som tilføres, for å unngå konsentrasjoner som skader fisken. Overføring bør unngås, da det vil tilføre organisk materiale som kan gi dårligere vannkvalitet og lavere omsetning av TAN i biofilteret. Bakteriell nedbrytning av organisk materiale bidrar betydelig til oksygenforbruket og ammoniakk- og CO₂-produksjonen i anlegget og kan utgjøre en tredjedel av bidraget fra fisken. Avføring fra fisken og eventuell overføring bør fanges skånsomt opp og fjernes så raskt som mulig fra vannet. Partiklene kan fanges opp i et filter og CO₂ må fjernes fra vannet ved at det luftes ut. TAN fjernes fra vannet ved at bakterier som sitter hovedsakelig i bunnsubstratet, men også i

partikkelfilteret, bruker det som energikilde, og omsetter TAN via nitritt til nitrat ved tilgang på oksygen. Fisk tolerer høyere konsentrasjoner av nitrat i forhold til de øvrige nitrogenforbindelsene.

Krav til vannkvalitet etter akvakulturdriftsforskriften § 22 skiller ikke mellom vannkvalitet for gjennomstrømningsanlegg og resirkuleringsanlegg.

Tabell 3.1. Måleparameter og grenseverdier for vannkvalitet i fiskeoppdrett
Mattilsynet legger følgende størrelser til grunn som veiledende måleparametere for landbaserte settefiskanlegg med laks (merk at disse verdiene er basert på forhold som ikke fullt ut er relevante for kommersiell produksjon i resirkuleringsanlegg jfr. VKM rapport om resirkuleringsanlegg):

Parameter	Verdier
pH innløp	6,2 – 7,8
Oksygenmetning i kar	Ikke over 100 prosent
Oksygen (avløp)	Over 80 prosent
Totalgassmetning (TGP) i karvann	Ikke over 100 prosent
Karbondioksid	Under 15 milligram/liter
Aluminium (labilt)	Under 5 mikrogram/liter
Aluminium (gjeller)	Ikke over 15 mikrogram /gram gjelle tørrvekt før utsett i sjø
Nitritt (ferskvann)	Under 0,1 milligram / liter
Nitritt (sjøvann)	Under 0,5 milligram/liter
Total Ammonium Nitrogen (TAN)	Under 2 milligram /liter
Ammoniakk	Under 2 mikrogram /liter

Tabellen er i utgangspunktet veiledende. Avvik fra tabellen kan derfor i en del tilfeller være i samsvar med kravene i § 22 dersom det kan dokumenteres relevante kompenserende tiltak eller dersom det foreligger gunstig samspill mellom ulike parametere, jf. kommentarene i tabellen. Dersom produksjonen skal basere seg på andre grenseverdier enn de veiledende, forventes det at det fremgår av akvakulturanleggets internkontrollsystem hvilke grenseverdier som legges til grunn for produksjonen, og hvordan fisken sikres gode levekår.

Det står ikke spesifisert i tabellen om det er nitritt-N eller nitritt som er benevnelsen, men nitritt-N nevnes i selve forskriftsteksten. Forskjellen på nitritt-N (molekt 14) og nitritt (molekt 46) er $46/14 = 3,3$. Dette medfører at 3,3 mg/l målt som nitritt, er det samme som 1,0 mg/l målt som nitritt-N. Det samme gjelder for ammonium grenseverdien, men her er det mye mindre forskjell mellom de to benevnelsene (ammonium-N 14, ammonium 18, $18/14=1,3$).

Tidligere forsøk har vist at salat tar opp metaller fra avløpsvannet som er toksiske for fisk, som kobber og aluminium (Gjesteland 2013, Hess-Erga et al. 2013). Dette er gunstig både dersom vannet skal resirkuleres tilbake til fiskekarene eller slippes ut til miljøet. Opptak av nitrat og fosfor i salat er viktig for å forhindre eutrofiering, og kan tilsettes avløpsvannet for å oppnå optimal salatvekst uten at det påvirker fisken. Det er velkjent at vannets innhold av basekationer (som kalsium og magnesium) påvirker vannets evne til å motstå forsurening. Mange oppdrettsanlegg tilsetter kalsiumkarbonat for å

øke vannets alkalitet. Høyt innhold av kalsium og magnesium i avløpsvann kan dermed være gunstig for miljøet dersom bufferkapasiteten i vannet hvor avløpsvannet slipper ut i utgangspunktet er lav.

Planter kan delvis utnytte næring i organisk materiale via mikrobiell omdanning av partikulært materiale eller det oppløste materialet direkte. Sunne planter vil ha sin egen mikroflora assosiert med rotsystemet, som kan gjøre næringen mer tilgjengelig og dermed bidra til næringsopptaket. På den andre siden kan organisk materiale hindre opptak av næring gjennom rotsystemet (f.eks. nedslamming) og skape forhold med lav oksygenmetning gjennom mikrobiell aktivitet. Derfor bør mengden organisk materiale holdes på et lavt nivå i vannet som tilføres plantene.

Dersom avløpsvannet skal føres tilbake til fiskekarene (gjenbruk) eller slippes ut til miljøet kan et høyt innhold av organisk materiale medføre problemer. Organisk materiale kan danne komplekser med toksiske metaller som videre kan fjernes med et partikkelfilter. Dersom filteret ikke klarer å fjerne det partikulære avfallet kan imidlertid metallene frigjøres igjen dersom faktorer som pH endres. Det organiske materiale vil dermed utgjøre et uønsket toksisk potensial for fisken, og næring for mikrobiell vekst. Hvorvidt høyt mikrobielt antall er uønsket i et produksjonssystem eller i naturen, avhenger av vekststrategien til mikrobene og om de har potensial til å indusere sykdom, uønsket vannkvalitet eller har en stabiliserende funksjon. I tilfeller der bakteriell omdanning av giftige forbindelser er en del av vannbehandlingen (for eksempel nitrifikasjon i RAS), er det viktig at de øvrige bakteriene ikke hemmer slike mikrobielle samfunn (bl.a. gjennom konkurranse).

Vannets innhold av plantenæringsstoffer som nitrat, fosfat, bor og kalsium vil antagelig vise størst variasjon, og skyldes at de er direkte relatert til førmengde, tilsetninger og råvannskvalitet. Plantenæringsstoffene er delt inn i makro- og mikronæringsstoffer basert på hvor mye av hvert stoff planten behøver. Makronæringsstoffene nitrogen, fosfor, kalium, kalsium, magnesium og svovel er de næringsstoffene planten trenger mest av for å utvikle seg optimalt. Jern, mangan, sink, kobber, bor og molybden er mikronæringsstoffer som planten ikke trenger like mye av, men som er essensielle for alle planter. Natrium, nikkel og silisium er inkludert fordi de anses som essensielle for enkelte planter. Klorid er også essensielt for planter i lav konsentrasjon, men er toksisk for planter ved høy konsentrasjon.

Planter

En grei sort å dyrke for forskningsøyemed, som er mye brukt i hydroponikk-systemer og som har kort kulturtid, homogen biomasse og der det finnes mye informasjon om forventet vekst og utvikling, er salat. Frillice, også kalt Vestfoldsalat eller Crispi (Figur 3.2), er en meget populær og utbredt sort i Norge. Frillice er en eikebladlignende sort med sterkt grønne blad. Den utvikles tidlig og vokser raskt. Den er vanligvis resistent mot bladlus, meldugg og salat-mosaikk-virus. Den er også tolerant mot nekrose og storkrenning (utvikling av blomsterstengel før matnyttig del). Ulike sorter salat kan dyrkes under samme vekstforhold og vil trives i et NFT-system, så vel som i vannkultur (floating raft, deep water culture).



Figur 3.2. Salatsorten som anbefales for forsøkene ved Akvariet i Bergen; Frillice.

Vekstbetingelser

Salat vokser best ved moderate dagtemperaturer (15-25 °C) og kjølige netter (10-15 °C) med en daglengde på 16 timer. Ved høyere temperaturer kan salaten gå i stakk og for høy temperatur hemmer spiring. Plutselige endringer i temperatur kan føre til sykdomsutvikling (Grubben, 2004) og salat trenger en relativt høy fuktighet for å vokse optimalt. En relativ fuktighet (RH) på 75-85 % er anbefalt i veksthusproduksjon. Opptaket av visse næringsstoffer har sammenheng med luftfuktighet, dette gjelder først og fremst kalsium, magnesium, kalium, nitrat og fosfor (Bævre & Gislerød, 2007). Anbefalte lyskilder er CWF (cool white fluorescent) lamper eller HPS (High Pressure Sodium/høytrykknatriumdamplys). Sistnevnte kjennetegnes ved sitt gule natriumlys der de gule- og gulgrønne bølgelengdene dominerer. Økt strekningsvekst har vært et problem ved dyrking av salat om vinteren ved bruk av disse lampene, man må derfor øke belysningsstyrken for å kompensere for de negative effektene (Bævre & Gislerød, 2007). I tillegg må lampene monteres på en slik måte at varmen fra lampene ikke forstyrrer spiring eller påvirker settpunktet for temperatur i rommet. Anbefalt lysmengde under forsøket er 250-300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ og en uniform distribusjon over hele vekstområdet. Lysintensitet anbefales å ligge noe lavere under spiring (50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) og deretter på ca. 250 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (Wheeler et al., 1994). Valg av vekstmedium avhenger av ønskede egenskaper. Torv vil ha større bufferkapasitet og holde bedre på fuktighet enn for eksempel leca og pimpstein, mens leca og pimpstein har fordel i at det ikke påvirker pH eller bringer organisk materiale inn i systemet. Ferdigpressede «klosser» av steinull eller den organiske varianten «perfect starts» har også vist seg å fungere bra i hydroponikk-systemer.

Kommersiell næringsløsning

Ved bruk av kommersiell næringsløsningens bør pH ligge mellom 5.6-6.0. Litt avhengig av vekstmedium kan det forventes at pH vil stige utover produksjonsperioden. pH kan enkelt reguleres ved tilførsel av salpetersyre (HNO_3) til næringsløsning. pH regulerer tilgjengeligheten av nærings saltene i løsningen og det er derfor viktig å regulere den til riktig nivå. Ved gjødsling av planter i vannkultur tilføres næringsløsningen gjennom vanningsanlegget. Bruksløsning er den løsningen som blir tilført plantene, mens stamløsning er en konsentrert løsning av ett eller flere gjødselstoffer som etter en fortykning er med på å danne en bruksløsning. Stamløsninger lages ved å løse salter i vann og ionene dissosierer i vannet. Hvis stamløsningen har for høy konsentrasjon kan enkelte stoffer reagere med hverandre og man får en utfelling. Dette gjelder spesielt stoffene kalsium og sulfat. Disse to kan derfor ikke blandes i samme stamløsning (Resh, 1995). Følgende typer vannløselig gjødsel anbefales benyttet til salat (etter anbefalinger fra LOG):

Stamløsning 1: Superex grønn saker (Kekkilä, LOG)

Stamløsning 2: Calcinit (Yara, LOG)

Disse løses i vann (i hver sin respektive tank) til en stamløsning på 10 %. Denne konsentrasjonen skal ikke overskrive 12,5 %, da man vil få utfellinger (Terje Wikmark, LOG, pers.komm.). Alternativt kan man tilføre gjødselen på en enklere måte ved å lage en stor tank med ferdig bruksløsning, som etterfylles ved behov. Dette anbefales til mindre systemer. Ledningsevnen eller konduktiviteten forteller om den elektriske ledeevnen til en løsning og brukes til å måle konsentrasjonen på gjødselblandingen (Bævre & Gislerød, 2007). Salat anbefales å ha et ledetall på rundt 2-2,5 mS/cm i produksjonsfasen (Morgan, 1999).

Tabell 3.2. Anbefalt konsentrasjon (mg/l) av næringsstoff for salat.

	Næringsstoff												
	N	P	K	SO ₄	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo	Cl
Anbefalt for salat	200	40	200	64*	150	35	3,0	1,0	0,3	0,1	0,3	0,1	<75

*anbefalt verdi av svovel

Såing og oppal

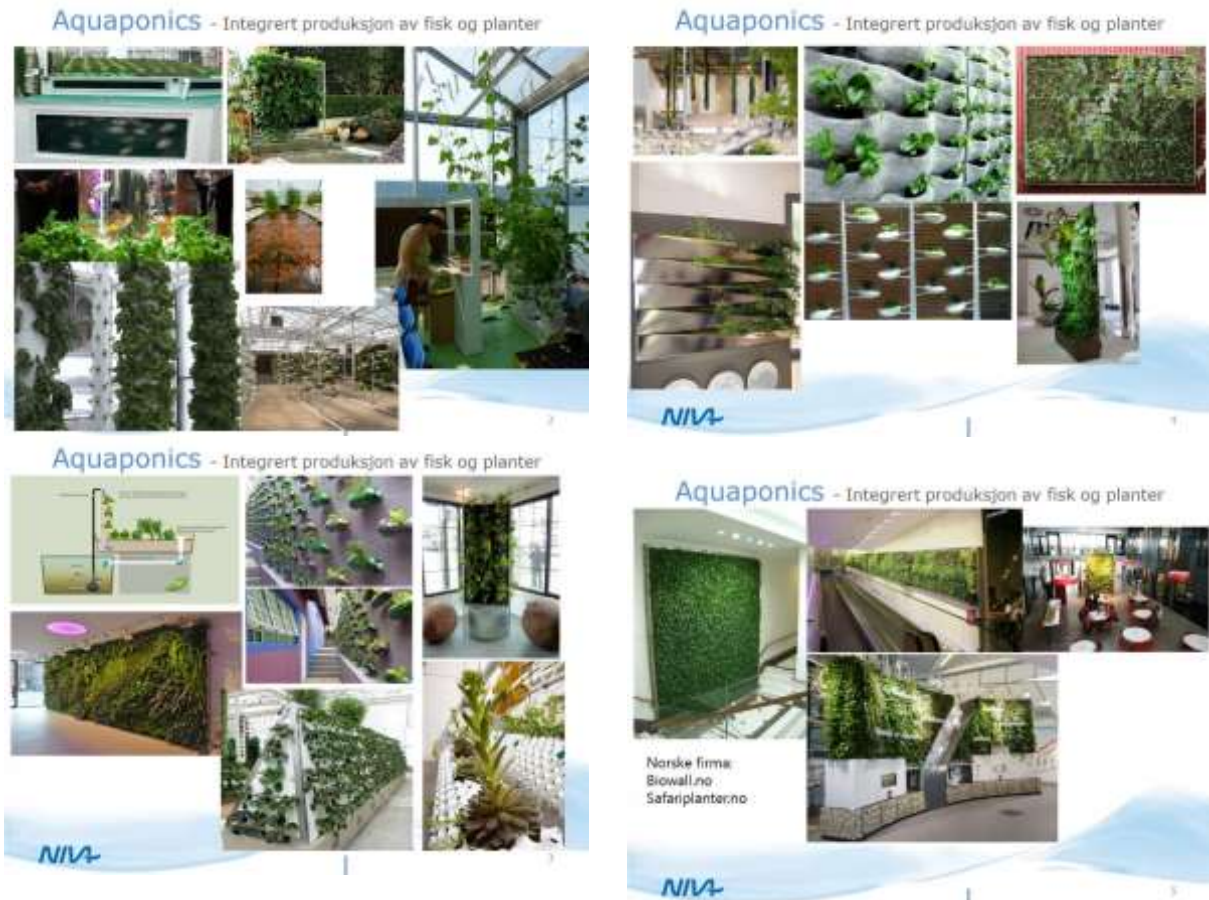
Salat såes typisk i pluggbrett. Mediet vannes før frøet legges på eller rett under overflaten og ytterligere vanning er ikke nødvendig før frøet har spirt. De to første dagene dekkes frøene av en transparent plast, for å holde luftfuktigheten oppe (95 %) rundt frøene i spirefasen. Etter at plasten tas bort, anbefales det lys 22 timer per døgn og luftfuktighet på ca. 70-80 %. Når frøplantene har utviklet to frøblad, kan plantene få en fortynnet næringsløsning med ledetall på ca. EC 0,5-1.6 mS/cm. Samme gjødsel som til planter i produksjon kan benyttes, bare i fortynnet form. Dette vil gjøre planterøttene bedre i stand til å tilpasse seg de mye høyere ledetallene når de settes i produksjon (Morgan, 1999). For å hemme lengdevekst og få en tettere og mer robust plante, er det en fordel om plantene under oppal blir tilført lys med større innslag av blått lys (ser hvitt ut) enn under produksjon. Denne typen lys kan tilføres ved å bytte ut noen av de vanlige HPS lampene med metallhalogenpærer under oppalsperioden. Etter ca. 2 uker utføres en visuell inspeksjon for å utelukke frø som ikke har spirt eller planter som ikke vokser normalt. Frøplantene blir så flyttet over i rennene for neste fase; produksjonsfasen (Wheeler et al., 1994).

Produksjonsfase

Etter oppalsperioden på ca. 2 uker overføres salatplantene til NFT/vann kultur systemet for den videre produksjonsfasen som varer fra 4-6 uker. Plantene står i samme pottesystem som i oppalsperioden og plasseres i plastrenner e.l. For å sikre salatplantene nok lys, anbefales det å beregne ca. 20 planter per m² ved produktvekt 250-330 g per hode ved høsting. Lysmengde i produksjonsfasen reguleres nå opp til ca. 200-250 μmol/m²/s og konsentrasjonen på gjødselen økes fra et ledetall på ca. 0,5-1,6 til rundt 2,5 mS/cm (Both, 2002). Det anbefales vanning ca. 6 ganger per døgn, litt avhengig av hvilket vekstmedium som velges, for at plantene skal få tilstrekkelig fuktighet og næring, samtidig som det tilføres nok oksygen. Hvis man tilfører luft gjennom systemet kan man sirkulere vannet kontinuerlig. Hyppigheten på vanningen kan justeres underveis dersom det er nødvendig.

3.1.2 Potensielle systemløsninger

Mange ulike systemløsninger ble illustrert gjennom litteratursøk og bildeillustrasjoner fra liknende anlegg. Her er det i grunnen bare fantasien og kostnadene som setter begrensingene, men i vårt tilfelle ble det valgt et enkelt system som illustrerte de ulike prinsippene på en god måte.



Figur 3.3. Inspirasjonsbilder for aquaponics demonstrasjonsanlegg på Akvariet i Bergen.

3.2 Etablering av et aquaponics demonstrasjonsanlegg

Systemet ble designet for å ivareta de biologiske kravene så godt det lot seg gjøre, men Akvariet i Bergens infrastruktur og visuelle krav satte enkelte begrensinger.

3.2.1 Systembeskrivelse

Det ble besluttet å benytte en eksisterende tank med bunnsstrat av sand/stein og karpesk (ca. 40 koi + 1 elveskilpadde). Pumpesystemet ble modifisert med grovfilter og varmekolbe, samt nytt innløp/utløp for å kunne brukes som et aquaponics-system. Den beste plasseringen for planteavdelingen ble identifisert til å være over selve fiskekaret. Da kan vannet (gjødselen) pumpes opp til plantene og renne med selvfall ned til fiskekaret, og en slik plassering gir lett tilgang til plantene. Det var og viktig å bygge systemet så åpent som mulig, slik at prinsippene bak produksjonen kom tydelig frem. Et ståloppheng for plantene ble designet og tilpasset fem tradisjonelle plastrenner (totalt 50 planter) for hydroponics-produksjon med kontinuerlig vanntilførsel, samt mulighet for ekstratilførsel av næring. Det ble montert 2x 400 W metallhalogenlys i taket over plantene. Det ble besluttet å teste rapid- og crispisalat (ca. 4 dobling på 2 uker) fra Kronheim Grønt A/S/Lyssand Gartneri A/S. Plantene ble sådd og alet opp i ca. 2 uker ved gartneriet før de ble hentet og satt inn i aquaponics-systemet på Akvariet i Bergen.



Figur 3.4. Grovfilter (øverst til venstre), plantestativ (øverst til høyre) og planterenner (nederst).

3.2.2 Prosedyrer

Biomasse:

1 Elveskilpadde.

Ca. 40 Koi.

50 salatplanter.

Drift:

Det blir hentet og satt inn 50 nye salatplanter hver 3. eller 4. uke.

Skilpadden føres daglig med mus eller lignende, samt frukt/grønnsaker.

Koien føres daglig med tørrfor og annet.

Planterenner rengjøres hver 3. eller 4. uke før innsett av nye planter.

Karvinduene vaskes 2 ganger daglig på utsiden, eller oftere ved behov.

Karvinduene vaskes/skrapes på innsiden 2 ganger i uken, eller oftere ved behov.

Silene på pumpene som leverer vann til planterennene rengjøres 1 gang per uke.

Filtersystemet tilbakespyles 3 ganger per uke, og utstillingen etterfylles deretter med nytt vann.

Silen på hovedpumpen på filtersystemet, demonteres og rengjøres 3 ganger per uke.

Daglig tilsyn med teknisk anlegg og utstilling, samt kontroll av temperatur, og om tilførsel av nytt vann inn i utstilling er ok.

Daglig tilsyn med luftpumper og luftesteiner i karet.

Daglig luking og tilsyn med plantene.

Slamsuging av bunnareal 1 gang hver 14. dag, eller ved behov.

Måler og logger manuelt både temperatur, oksygen og pH på ukbasis.

For at fisken skal ha det bra må verdiene ligge rundt 25 grader, pH 8,0 og oksygen 80-90%.

3.2.3 Vannkvalitet og lysforhold

I et aquaponicsanlegg skal avfallsproduktene fra fiskene gi næring til plantene i anlegget. I demonstrasjonsanlegget ved Akvariet i Bergen er det dyrket salat i renner med vann som pumpes fra et kar med karpefisk. Det har blitt tatt prøver fra karvannet, utløp fra planterennene og fra karet hvor koien stod tidligere (Tab. 3.2). Generelt sett er prøvene fra demonstrasjonsanlegget på Akvariet i Bergen veldig like og konsentrasjonen av de ulike næringsstoffene betraktelig lavere enn det som er anbefalt for kommersiell produksjon av salat (næringsløsning). På tross av dette har plantene vokst godt. Plantenes næring må derfor ha kommet fra reservene i den lille potten de har vokst i eller gjort nytte av organiske forbindelser som muligens ikke framkommer i de kjemiske analysene. Dersom plantene hadde vært dyrket helt uten dyrkingsmedium (substrat), ville de sannsynligvis vist symptomer på næringsmangel raskt. I dette tilfeller er plantene dyrket de første tre av totalt 6-7 uker med optimal næringstilgang, og de har med seg en liten reserve av næring i mediet. Denne vil brukes opp etter kort tid, men siden plantene står i aquaponics-anlegget i 3-4 uker, har dette vært tilstrekkelig til å gi brukbar vekst i plantene, sammen med næringen fra fisken.

Tabell 3.3. Konsentrasjon av ulike vannkvalitetsparametere.

Næringsstoff	Anbefalt salat	Akvariet i Bergen, Gammelt fiskekar med Koi (2013)	Akvariet i Bergen fiskekar (20.09.2016)	Akvariet i Bergen utløp planter (20.09.2016)	Akvariet i Bergen fiskekar (11.10.2016)
pH	5,0-6,0	5,4	7,91	7,95	8,04
Ledningsevne (mS/m)	1800- 2300	33,5	18,4	18,5	18,7
Alkalitet (mmol/l)		<0,03	1,17	1,17	1,29
NO ₃ (mg N/l)	180-200	25,0	1,60	1,65	1,80
NH ₄ (mg N/l)	20	0,21	0,008	0,008	0,015
Tot-N (mg/l)	200	26	1,80	1,80	-
Fosfat (PO ₄) (mg/l)	35-40	7,0	0,18	0,11	0,2
Tot-P (mg/l)	40	7,0	0,190	0,190	-
Kalium (mg/l)	200-230	5,3	0,49	0,46	0,41
Magnesium (mg/l)	30-35	2,3	1,09	1,09	1,03
Kalsium (mg/l)	150-200	42	28,9	29,1	30,8
Sulfat (mg/l)	64	17	11,2	11,1	11,4
Aluminium, Al (mg/l)		0,02	0,0194	0,019	0,021
Jern, Fe (mg/l)	1,5 – 2,5	<0,01	0,0011	0,00085	0,0042
Mangan Mn (mg/l)	0,4 – 0,9	0,11	0,000077	0,000048	0,000083
Bor (mg/l)	0,2 – 0,5	<0,02	0,0045	0,0035	0,0035
Kobber, Cu (mg/l)	0,1 – 0,2	0,033	0,037	0,0004	0,00062
Sink, Zn (mg/l)	0,2 – 0,4	0,11	0,001	0,00068	0,0018
Molybden (mg/l)	0,03 – 0,06	<0,005	0,000009	0,000092	0,00014
Klorid, Cl (mg/l)		18	9,42	9,46	7,42
Natrium, Na (mg/l)		8,9	4,29	4,27	3,39
Totalt Organisk Karbon (mg C/l)		3,8	0,96	0,94	1,1

Det er installert 2 HPI lamper som et kompromiss mellom tilstrekkelig mengde lys og minst mulig forstyrrende for de besøkende. Lysmålingene indikerer mellom 10 og 12 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ved plantestativet. Dette er i minste laget og plantene bærer preg av for mye varme i forhold til lys og kanskje for kort belysningstid. Plantene kan med fordel få lys i 16-18 timer i døgnet, hvis praktisk mulig. En ulempe med økt belysningstid er høy temperatur i større deler av døgnet. Lavere gjennomsnittstemperatur ved kortere belysningstid veier muligens opp for lavere lyssum. Likevel er konklusjonen at plantene klarer seg forbløffende bra i anlegget, selv om flere faktorer ikke er optimale.



Figur 3.5. Aquaponics demonstrasjonsanlegg på Akvariet i Bergen.

3.3 Formidling- og informasjonstema

Basert på de ulike biologiske temaene og systemløsningen ble gode og relevante formidlings- og informasjonstema identifisert, både for aquaponics og integrert multitrofisk akvakultur (IMTA). Prosjektet har vært presentert og omtalt flere ganger i media, bla. iLaks og Bergensavisen (BA). Egnede tema ble valgt ut og presentert grafisk i tilknytning til utstillingen. IMTA og Aquaponics ble presentert

på veggfolie i etasjen rett under demonstrasjonsanlegget og selve prosjektet ble presentert med folie direkte på karveggen.



Figur 3.6. Presentasjon av IMTA og OceanForest/Lerøy på Akvariet i Bergen.



Figur 3.7. Presentasjon av Aquaponics på Akvariet i Bergen.

AQUAPONICS

DEMONSTRASJONSANLEGG

DEMONSTRATION UNIT

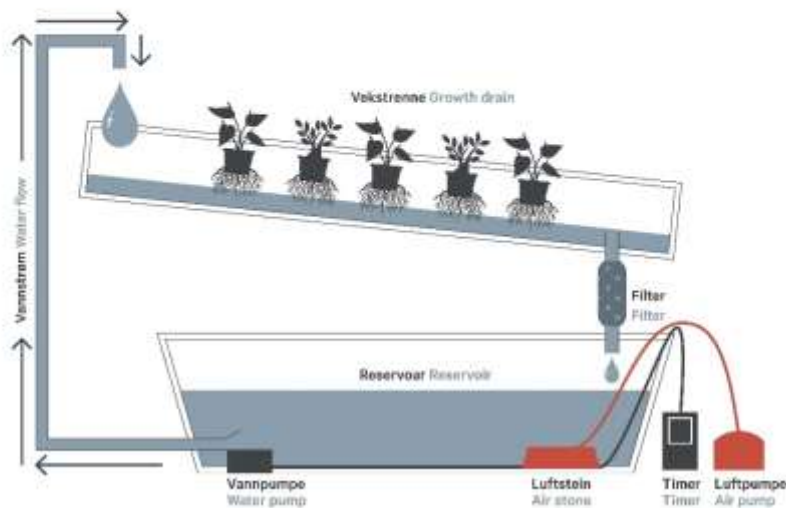


Demonstrasjonsanlegget illustrerer prinsippene bak aquaponics. Her blir fiskens avfallsprodukter omdannet ved hjelp av mikroorganismer og sirkulert til plantene som utnytter avfallsproduktene til næring. Vannet blir deretter ført tilbake til fiskene, som reduserer behovet for nytt vann.

Prosjektet «Etablering av et demonstrasjonsanlegg for integrert produksjon av fisk og planter og formidling av integrert matproduksjon» er et samarbeidsprosjekt mellom Stiftelsen Akvariet i Bergen, Norsk institutt for vannforskning (NIVA), Norsk Landbruksrådgiving Veksthua, Salmon Group, Ocean Forest AS, Skolelaboratoriet i realfag ved Universitetet i Bergen, samt de videregående skolene Amalie Skram, Bergen Katedralskole og Hjeltnes. Prosjektet vil undersøke biologiske, teknologiske og visuelle krav, samt formidlings- og undervisningstema knyttet til integrert matproduksjon. Prosjektet finansieres av samarbeidspartnere og Hordaland Fylkeskommune.

The demonstration plant illustrates the principles behind aquaponics. The fish waste is converted by means of microorganisms and circulated to the plants that utilize waste products for growth. The water is then returned to the fish, which reduces the need for fresh water.

The project "The establishment of a demonstration plant for integrated production of fish and plants and dissemination of integrated food production" is a cooperation project between the Aquarium in Bergen, Norwegian Institute for Water Research (NIVA), Norwegian Agriculture Counselling Greenhouses, Salmon Group, Ocean Forest AS, The Centre for Science Education at the University of Bergen and the high schools Amalie Skram, Bergen Cathedral School and Hjeltnes. The project will examine biological, technological and aesthetic requirements, as well as outreach and educational issues related to integrated food production. The project is financed by the cooperation partners and Hordaland Fylkeskommune.



Figur 3.8. Presentasjon av prosjektet på Akvariet i Bergen (foliert direkte på karveggen).

3.4 Undervisningstema

3.4.1 Relevans for skolens kompetansemål

Prinsippene i aquaponics er velegnet til å demonstrere de ulike delene av et økosystem. Vi valgte derfor å samarbeide med videregående skoler knyttet til følgende læreplanmål i naturfag vg1:

- Undersøke og beskrive suksjonsprosesser i et økosystem
- Gjøre rede for faktorer som virker inn på størrelsen til en populasjon.

Økosystemer fremstilles vanligvis gjennom abstrakte figurer i lærebøkene. Demonstrasjonsanlegget på Akvariet i Bergen, gir elevene mulighet til konkretisering og dypere forståelse av de ulike delene av et økosystem, og rollene til produsenter, konsumenter og nedbrytere.

3.4.2 Undervisning ved Akvariet i Bergen

Bergen katedralskole ligger i gåavstand til Akvariet i Bergen, og var en naturlig samarbeidspart. En gruppe naturfaglærere hadde flere møter for å planlegge undervisning knyttet til aquaponics. Det ble utviklet bakgrunnsstoff og undervisningsmaterieell, og dette ble brukt av elevene på skolen og ved flere besøk på Akvariet i Bergen.

Engasjerte lærere gjennomførte prosjektet på en svært bra måte. Det er imidlertid vanskelig for skoler å videreføre dette arbeidet pga. kostnadene til inngangspenger. Lærerne uttrykte et klart ønske om at Hordaland fylkeskommune skulle likestille Akvariet i Bergen med den tilsvarende undervisningsarenaen Vilvite. Fylkeskommunen finansierer billettkostnader på Vilvite, mens skolene må betale for elevene på Akvariet i Bergen. Det gjør det vanskelig å bruke en verdifull undervisningsressurs, og gjør at også demonstrasjonsanlegget blir vanskelig tilgjengelig for skoler.

3.4.3 Formidling til andre skoler i Hordaland

Biologi- kjemi- og naturfaglærere fra Amalie Skram videregående skole, Askøy videregående skole, Bergen katedralskole, Fjell ungdomsskule, Fyllingsdalen videregående skole, Knarvik videregående skule, Kvinnherad videregående skule, Laksevåg videregående skole, Langhaugen videregående skole, Lynghaug skole, Mo skule, Nordahl Grieg videregående skole, Norheimsund videregående skule, Nygård skole, Ostereidet ungdomsskule, Osterøy videregående skule, Sandsli videregående skole, St Paul Gymnas og Årstad videregående skole deltok på kurs 3. februar 2017. De besøkte demonstrasjonsanlegget og utstillingen i etasjen under, og fikk prøve ut undervisningsopplegget som var utviklet ved Bergen katedralskole.

4 Konklusjon

Prosjektet er gjennomført etter planen, og vi anser at det har bidratt til å gjøre konseptet med kretsøkonomi og utnyttelse av avfallsstoffer mere kjent for både allmenheten og for elever i videregående skoler. Aquaponics-anlegget ved Akvariet i Bergen har supplert det øvrige tilbudet på en fin måte og bidratt til oppmerksomhet rundt slike bærekraftige konsept til havbruksnæringen, forvaltningen og til fremtidige arbeidstakere.

5 Referanser

- Adler, P.R., Harper, J.K., Wade, E.M., Takeda, F., Summerfelt, S.T. (2000). Economic Analysis of an Aquaponic System for the Integrated Production of Rainbow Trout and Plants. *Int. J. Recirculating Aquacult.* 1:15–34.
- Both, A.J. (2002). *Ten years of hydroponic lettuce research*. The State University of New Jersey, New Jersey.
- Bævre, O. A., Gislerød, H. R. (2007). *Plantedyrking i regulert klima*: Landbruksforlaget.
- de Dezsery, A.S. (2010). *Commercial integrated farming of aquaculture and horticulture*. ISS Institute, Camberwell Vic, Australia.
- Gjesteland, I. (2013). *Study of Water Quality of Recirculated Water in Aquaponic Systems. Study of speciation of selected metals and characterization of the properties of natural organic matter*. (Mastergrad), Norges Teknologiske og Naturvitenskapelige Universitet, NTNU, Trondheim.
- Grubben, Gerardus JH. (2004). *Vegetables (Vol. 2)*: Prota.
- Hess-Erga, O-K., Gjesteland, I., Wolff, S. A., Vikingstad, E. (2013). *Utnyttelse av oppløst og partikulært avfall frå smoltproduksjon i et resirkuleringsystem*. NIVA-rapport 6581-2013.
- Morgan, L. (1999). *Hydroponic lettuce production*. Casper Productions, Narrabeen, NSW Australia.
- Resh, H. M. (1995). *Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook of Soilless Food-Growing Methods (5th ed.)*: Woodbridge Press.
- Wheeler, RM, Mackowiak, C.L., Sager, J.C., Yorio, N.C., Knott, W.M., Berry, W.L. (1994). Growth and gas exchange by lettuce stands in a closed, controlled environment. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 119(3), 610-615.

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsniv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00
www.niva.no • post@niva.no