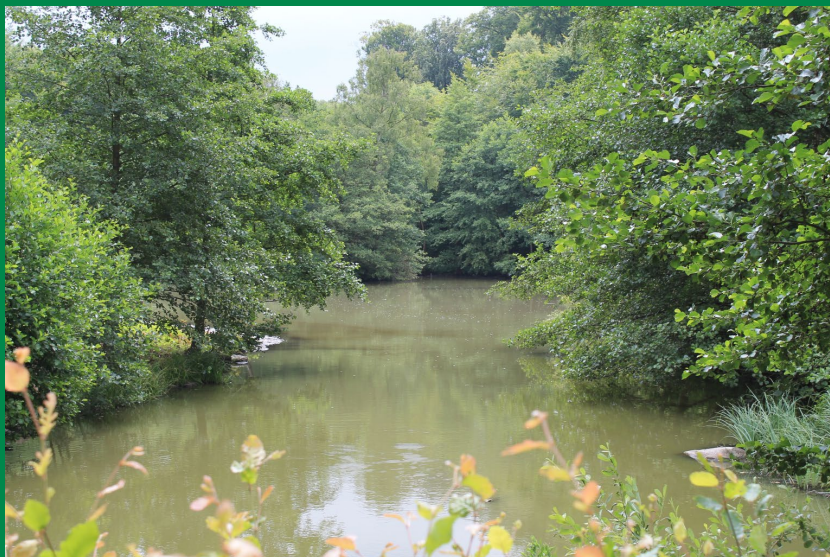




Miljø- og
Fødevareministeriet
Miljøstyrelsen

Restaurering af urbane søer og regnvandsbassiner ved anvendelse af **Mikroorganismer**



MUDP-rapport

Februar 2019

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Alix Aliaga,
Lars Briggs,
Amphi International ApS

Grafiker/bureau:

Amphi International ApS
Flemming Barlach ApS

Fotos:

Amphi International ApS
Flemming Barlach ApS

ISBN: 978-87-7038-040-9

Miljøstyrelsen offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse.

Indhold

Forord	4
Sammenfatning og konklusion	5
Summary and conclusion	7
1. Baggrund og formål	9
1.1 Baggrund	9
1.1.1 Problemstilling	9
1.1.2 Bakterier som alternativ oprensningsmetoden	11
1.2 Formål	14
2. Materiale og metoder	15
2.1 Vandområder	15
2.1.1 Stadion Søen	16
2.1.2 Elmegårdsvej B663	18
2.1.3 Anelystvej B647	20
2.1.4 LIVING LAB – Energi & Vand	22
2.2 Bakterier	24
2.2.1 Liste over de tilsat bakterier	24
2.2.2 Risikovurderingsrapport	25
2.2.3 Tilsætningsplan og tilsætningsmetode	26
2.3 Måleprogram	29
2.3.1 Vandprøver	29
2.3.2 Sedimentprøver	30
2.3.3 Georadarundersøgelse	34
2.3.4 Biodiversitet	37
2.3.5 Vejrforhold	38
3. Resultater	39
3.1 Vandprøver	39
3.2 Sedimentprøver	42
3.3 Observationer i felten	44
3.4 Georadarundersøgelse	57
3.5 Biodiversitet	64
3.6 Vejrforhold	66
4. Konklusioner og perspektiver	67
4.1 Konklusioner	67
4.2 Perspektiver	69

Forord

Denne rapport er udarbejdet som afslutningsrapport for projektet "Restaurering af urbane søer og regnvandsbassiner ved anvendelse af mikroorganismer" støttet af Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationprogram (MUDP) under Miljøstyrelsen.

Projektet er gennemført i perioden december 2016 til november 2018.

Projektet havde til formål at prøve en ny metode til oprensning af urbane søer og regnvandsbassiner med bakterier, især ved at fjerne det akkumulerede slam. Denne metode kan være et alternativt til at tømme søerne/regnvandsbassinerne for vand, grave slammet op og efterfølgende bortskaffe slammet. Hvis den nye metode er effektiv, vil der være betydelige besparelser for forsyningerne ved at udskyde tidspunktet for oprensning af regnvandsbassinerne ved opgravning.

I forhold til de urbane søer, kunne vi begrænse forstyrrelser af biodiversiteten, fjerne lugten, der kan frigives fra søbunden, og øge sigtddybden.

Projektet er gennemført i et samarbejde mellem Amphi International ApS som hovedansøger, Aarhus Vand A/S og HOFOR A/S som medansøgere, og Aarhus Kommune, Vand Center Syd, 3Vand, Syddansk Universitet, Aalborg Universitet, Esbjerg Kommune og AP Consult som følgegruppe.

Sammenfatning og konklusion

Urbane søer og regnvandsbassiner står over et fælles problem, som er en akkumulering af organisk materiale i sedimentlaget. Fjernelsen af sedimentet kan blive dyrt, især for regnvandsbassinerne, der kan få tilbagevendende ophobning af organisk materiale på grund af en kontinuerlig afstrømning, der er rig på næringsstoffer, hvilket så fører til en reduktion af vandlager-volumen.

Der findes allerede flere metoder til at oprense søer og regnvandsbassiner ved anvendelse af mekaniske eller kemiske metoder. Men disse metoder er ofte dyre og kan have en negativ indvirkning på den nuværende biodiversitet ved at forstyrre deres miljø (f.eks. forurening).

Projektets mål er følgende: i) Med hensyn til regnvandsbassiner ønsker vi at finde en omkostningseffektiv alternativ metode ved at bruge mikroorganismer med forudgående fokus på at reducere mængden af organisk materiale i sedimentlaget; ii) Med hensyn til urbane søer ønsker vi også at udvikle en omkostningseffektiv alternativ metode, men også forbedre søernes økologiske status, gennemsigtigheden af vandet og reduktionen af de ubehagelige lugte.

13 arter af bakterier blev tilsat fra juni til oktober 2017 i en sø i København ejet af HOFOR A/S (Living Lab), en anden sø ejet af Aarhus Kommune (Stadion Søen) og to regnvandsbassiner af Aarhus Vand A/S (Elmegårdsvej B663 og Anelystvej B647) nær Aarhus.

Et måleprogram blev defineret for at identificere de ændringer, der kun forårsages af tilsætning af bakterier i de vandområder. Sediment- og vandprøver, georadarundersøgelse, overvågning af biodiversitet og observationer i felten var de parametre, vi fokuserede på.

Et år efter tilsætning af bakterierne kan vi allerede drage nogle konklusioner om de 4 udvalgte vandområder.

Stadion Søen er den sø, der viste positive resultater med hensyn til reduktionen af sedimentlaget. Bakterierne synes at have haft en positiv effekt på reduktionen af sedimentlaget i denne sø, med en reduktion på 5-8 cm i gennemsnit. Sediment- og vandprøverne har ikke vist nogen store ændringer. Dyr- og plantelivet var ringe, og det er for tidligt at observere eventuelle ændringer, for eksempel ved kolonisering af arter, der er repræsentative for god vandkvalitet. Vandgennemsigtighed er forbedret (fra ca. 20 til maks. ca. 40 cm) og det rotte æg lugt forsvandt.

I *Elmegårdsvej B663*, blev der observeret mindre plantevækst i regnvandsbassinet efter tilsætning af bakterier (juni 2018). Imidlertid har georadarundersøgelse vist en udvikling af et tyndt bundlag med kraftig afgangsluftfri. Sigtbarhed er forbedret (fra ca. 20-25 til ca 55-60 cm) og lugten forsvandt.

I *Anelystvej B647*, er der været nogle udfordringer vedrørende georadarundersøgelser på grund af de store mængder af vandplanter før tilsætning af bakterier, og pga. for højt indhold af vejsalt i regnvandsbassinet, der gav falske refleksioner af radarsignalerne. Derfor kunne den totale vandmængde i regnvandsbassinet være forandret men vi kunne ikke måle den. Vandgennemsigtighed er forbedret (fra ca. 50 til ca. 115 cm) og der var ingen lugt fra begyndelsen.

I *Living Lab* søen i København er overvågningen af sedimentets tykkelse blevet gennemført gennem et underjordisk vindue. Sedimentlaget har svinget (reduktion på 7 cm i januar 2017), men så gik det tilbage til det oprindelige lag. Sedimentet kunne have flyttet, derfor kan vi ikke

konkludere at bakterierne har haft en positiv effekt på reduktionen af sedimentlaget i denne sø. Vandgennemsigtighed er forbedret (fra ca. 10 til ca. 60 cm) og der var ingen lugt fra begyndelsen.

Til sidst, konkluderer vi at bakterierne har haft en effekt på fjernelse af de ubehagelige lugte og på stigningen i vandgennemsigtighed. Der blev konstateret en reduktion af plantedækning i nogle steder og et fald i sedimentlagets tykkelse i et vandområde.

Summary and conclusion

Urban lakes and stormwater basins are facing one common issue, which is the accumulation of organic matter in the sediment layer. The sediment removal can become costly, especially for stormwater basins that can have recurrent accumulation of organic matter due to a continual runoff rich in nutrients, which then leads to a reduction of the water storage volume.

Several methods already exist to restore lakes and stormwater basins, via mechanical and chemical methods. However these ones are often costly and can have a negative impact on the present biodiversity by disturbing their environment (e.g. pollution).

The project objectives are the following: i) Regarding stormwater basins, we wish to find a cost-effective alternative method, by using microorganisms, with a prior focus on reducing the amount of organic matter present in the sediment layer; ii) Regarding urban lakes, we also wish to develop a cost-effective alternative method, but as well improving the ecological status of the lake, the water transparency, and the reduction of unpleasant odors.

The bacteria treatment has been tested by Amphi International ApS in one lake in Copenhagen by HOFOR A/S (Living Lab), another urban lake owned by Aarhus municipality (Stadion Lake) and two stormwater basins by Aarhus Vand A/S (Elmegårdsvej B663 and Anelystvej B647) near Aarhus from June to October 2017.

A monitoring program was defined to identify the changes caused by the addition of bacteria in the water areas. Sediment and water samples, georadarsurveys, monitoring of biodiversity and field observations were the parameters we focused on.

One year after adding the bacteria, we can already draw some conclusions on the 4 selected water bodies.

Stadion Lake is the lake that showed positive results towards the reduction of the sediment layer. The bacteria seem to have had a positive effect on the reduction of the sediment layer in this lake, with a decrease of 5-8 cm on average. The sediment and water samples have not shown any major changes. Animal and plant life was poor and it is too early to observe any changes, such as the colonization of species that could be representative of good water quality. Water transparency has improved (from about 20 to max. 40 cm) and the rotten egg smell disappeared.

In Elmegårdsvej B663, less plant growth was observed in the rainwater basin after adding bacteria (June 2018). However, the georadarsurvey has shown the development of a thin bottom layer with strong degassing odorless. Water transparency has improved (from about 20-25 to 55-60 cm) and the unpleasant smell disappeared.

In Anelystvej B647, there have been some challenges regarding georadarsurveys due to the large amounts of water plants prior to the addition of bacteria, but also due to excessive levels of road salt in the rainwater basin after adding the bacteria, which gave false reflections of the radar signals. Therefore, the total amount of water in the rainwater basin could have changed but we could not measure it. Water transparency has improved (from about 50 to 115 cm) and there was no smell from the beginning.

In the Living Lab Lake in Copenhagen, the monitoring of the sediment thickness has been carried through an underground window. The sediment layer has fluctuated (7cm reduction in January 2017), but then it went back to the original level. The sediment could have been

moved, thus we cannot conclude that the bacteria have had a positive effect on the reduction of the sediment layer in this lake. Water transparency has improved (from about 10 to about 60 cm) and there was no smell from the beginning.

Finally, we conclude that the bacteria have had an effect on removing the unpleasant odors and the increase in water transparency. A reduction of plant coverage was observed in some places and a decrease in the thickness of the sediment layer in one lake.

1. Baggrund og formål

1.1 Baggrund

1.1.1 Problemstilling

Søer, både naturlige eller menneskeskabte, lider af bymæssige, industrielle, landbrugsmæssige og andre virkninger. Som følge heraf er mange akvatiske økosystemer blevet alvorligt forringet og skal restaureres.

Regnvandsbassiner

Regnvandsbassiner er designet og bygget til at indeholde og / eller filtrere forurenende stoffer, der skyller ud af landskabet. Uden ordentlig vedligeholdelse kan næringsstoffer som nitrogen og fosfor, der typisk findes i regnvand, ophobes i regnvandsbassiner, der fører til forringede forhold som lavt opløst ilt, alger blomstrer, lune betingelser og lugt.

Når næringsstoffkoncentrationer overstiger bestemte tærskler, kan systemets trofiske tilstand ændre sig. Disse overskydende næringsstoffer er ofte resultatet af menneskelige handlinger. For eksempel kan mængden af gødning, der påføres græsplæner, påvirke næringsstofbelastninger leveret til vandområderne. Overskydende sediment fra vandskredet ovenfor kan også ophobes i regnvandsbassinerne. Regnvandsbassiner holder så mindre vand.

Uden ordentlig vedligeholdelse kan overskydende forurenende stoffer i regnvandsbassiner faktisk blive kilder til vandkvalitetsproblemer som dårlig vandfarve / klarhed / lugt, lavt opløst ilt, der fører til faldet i mængden af planter og algeblomstring. Når regnvandsbassinerne flyder over sine bredder under en stor regnhændelse, kan de overskydende næringsstoffer, der forårsager disse problemer, overføres til recipienten.

Når vandniveauet falder for lavt, er vandkvaliteten truet af algeopblomstringer og anoxiske forhold, som kan føre til fiskedrab og plantebelastning.

Urbane søer

Siden antikken er urbane søer oprettet for at holde regnvand og sikre forsyning til husholdningsbrug og landbrug. Arkitekter og byplanlæggere var klar over, at selv når relativt små og lavvandede vandområder forbedret livskvaliteten i byområder betydeligt, fordi de har en egentlig æstetisk og rekreativ værdi og kan bidrage til at mindske byklimaet. Alligevel er designet af byen dybt ændret i tiden, især i det sidste århundrede, og de kendte træk ved de moderne byområder bidrager væsentligt til at true kvaliteten af disse akvatiske økosystemer.

Faktisk har urbane søer tendens til at modtage højere næringsstofbelastninger og at vise en højere trofisk tilstand end ikke-urbane søer. Næringsstoffer berigelse er ofte forbundet med et skift fra makrofyt domineret til fytoplankton dominerede miljøer. Som følge heraf ændres økosystemstrukturen radikalt på grund af bl.a. faldet i miljø heterogenitet, bankernes erosion og stigningen i turbiditet. Blandt fytoplankton er cyanobakterier, der kan producere en lang række toksiske og ildelugtende sekundære metabolitter, generelt fordelagtige af disse ændringer, og deres blomstrer registreres ofte i bymæssige akvatiske økosystemer¹.

¹ Sengupta, M. and Dalwani, R. 2008. Urban lakes: Ecosystems at Risk, Worthy of the Best Care. Proceedings of Taal 2007: The 12th World Lake Conference: 1333-1337

Toksiske algeopblomstringer samt bakteriel forurening og forurening af tungmetaller kan betydeligt forringe alle anvendelser af vand og udgør en sundhedsrisiko for befolkningen.

Således er urbane søer mere følsomme for vandforurening og eutrofieringsprocesser. Eutrofiering er en naturlig form for forurening af nogle akvatiske økosystemer, der opstår, når miljøet modtager for mange næringsstoffer, der kan assimileres af alger, og hvor disse vil sprede sig. De vigtigste næringsstoffer ved eutrofiering er fosfor (indeholdt i fosfater) og nitrogen (indeholdt i ammonium, nitrater og nitritter). Eutrofiering forekommer hovedsagelig i økosystemer med stillestående vand. Dette fænomen kan være vigtigere i urbane søer og regnvandsbassiner, hvor næringsstoffer, tungmetaller og PAH-forbindelser frigives af regnvand afstrømning fra byen og / eller de omkringliggende industrier. En overdreven algevækst vil så føre til en stigning i mængden af planter til nedbrydning, hvilket fører til akkumulering af organisk materiale. I de dybeste dele af søen, hvor døde alger deponeres, vil de aerobe bakterier, der lever af algerne, sprede sig og forbruge mere og mere ilt. I mangel af tilstrækkelig vandmængde forbruger bakterierne til sidst ilt i de dybe vandlag, der gør at det ikke længere muligt at nedbryde det organiske materiale. Denne vil så ophobes i søen.

Under anoxiske betingelser kan anaerobe bakterier udvikle sig og føre til produktionen af hydrogen sulfidgas, som har en meget karakteristisk "råt æg" lugt. Det kan især forekomme under blæsende forhold. Cyanobakterier kan udskille forbindelser, som har en meget tydelige kemisk lugt. Lugten er ofte et resultat af store algeblomster.

Fordele og ulemper for flere allerede eksisterende metoder til restaurering af urbane søer og regnvandsbassiner blev opsummeret (Tabel 1).

Mekanisk oprensning udføres med brug af gravemaskine. Denne metode er relativt effektiv men ret dyr, og forstyrrer biodiversiteten.

Kemisk restaurering kan gøres med f.eks. aluminium-behandling. Aluminium vil reducere intern fosfor (P) belastning men et af de negative aspekter kan være, at det kan være "giftigt" under lave pH-forhold.

TABEL 1. Fordele og ulemper ved sø/regnvandsbassin restaurering

Mekanisk oprensning		Kemisk restaurering	
Fordele	Ulemper	Fordele	Ulemper
Hurtig	Kostbar	Effektiv i nogle tilfælde	Kostbar
	Forstyrrende for vandmiljøet		Kan være skadeligt for levende organismer
	Materiale skal udlægges på et andet sted		Kan bidrage til opbygning af slam
	Forbedrer ikke nødvendigvis vandkvaliteten		
	Stor brug af fossile brændstoffer		
	Larmende		

Der er behov for at finde en omkostningseffektiv metode til restaurering regnvandsbassiner og urbane søer.

I de urbane søer er der også behov for at finde en metode, der vil forhindre at forstyrre biodiversiteten, der vil forbedre vandkvaliteten og vandets gennemsigtighed, fjerne lugten, men også forurenende stoffer.

1.1.2 Bakterier som alternativ oprensningsmetoden

Tretten forskellige bakterier blev valgt som en alternativ metode til oprensning.

Mikroorganismer vil knytte sig til det organiske materiale og nedbryde og bruge det som energi. Dette indebærer en adsorptionsproces til sin ydre celle, så gennem produktionen af bakteriens katalysatorer kaldet enzymer, vil nedbryde det organiske materiale for at tillade overførsel over cellen. Det organiske affald bliver langsomt adsorberet og overført til mikroorganismen, hvor det bliver anvendt som energi, med de resulterende biprodukter af: kuldioxid (CO_2), vand (H_2O), ammoniak (NH_3) og ny cellemasse, dvs. de nye eller yderligere bakterier genereres for at opretholde den biologiske reduktionsproces, indtil alt affaldsmaterialet er reduceret (forurenende stoffer). Bakterierne har også en biopolymer, der omgiver den ydre celle, som bruges for beskyttelse og opbevaring (Figur 1 og 3).

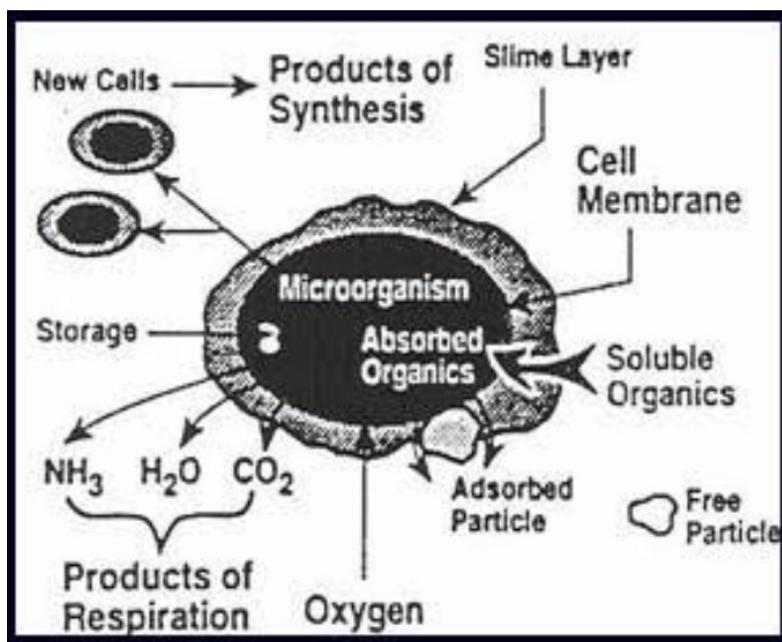
Den ammoniak, der produceres i oxidationsreduktionsprocessen, bliver derefter biologisk omdannet, først til nitrit, derefter nitrat, og så genvinder vores produkt nitratet tilbage til atmosfæren ved en proces, der betegnes *denitrifikation*. Dette er en meget vigtig biokemisk, som de fleste mikroorganismer ikke kan lave, og en af komponenterne i restaurering af akvatiske økosystemer (Figur 4).

Forurening opstår, når den økologiske belastning til et økosystem overskrider økosystemets normale evne til at opnå balance mellem organisk belastning og biologisk fjernelse.

Produktet fremskynder processen med biologiske oxidationsreduktion af en stor mængde organisk materiale. Det nedbryder affaldsmængderne, som de allerede tilstedeværende mikroorganismer ikke kan nedbryde, renser og genopretter økosystemet til dets naturlige tilstand.

De testede aerobe og anaerobe bakterier virker både i vandfasen og i sedimentlaget.

Bakterierne kan muliggøre en reduktion af organisk stof, i sedimentlaget, derfor en reduktion af næringsstoffer, såsom nitrater. Bakterierne kan fjerne den ubehagelige lugt frigivet fra søbunden, og øger gennemsigtighed af vandet (Secchi-dybde). Endelig vil tilsætning af bakterier give en chance for undervandsplanter at vokse, da mere lys vil trænge gennem vandkolonnen.

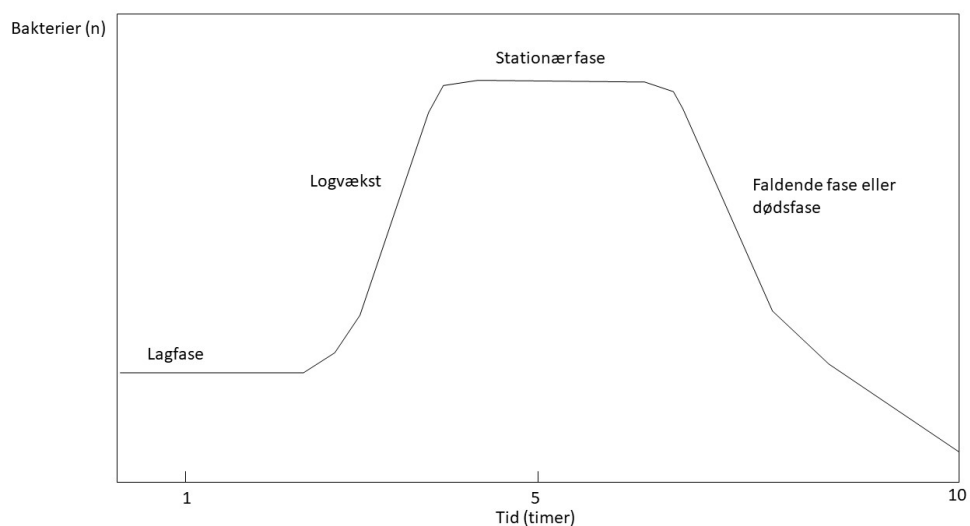


Figur 1: Illustration der viser de forskellige interaktioner omkring en bakteriecelle.

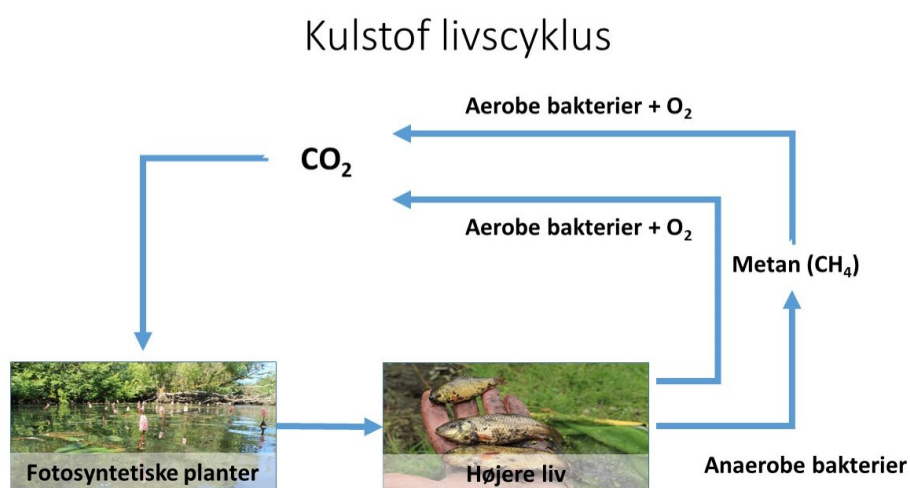
Mikroorganismer vil formere sig, indtil den svarer til den organiske belastning. Herefter vil mængden falde i proportionalt til den reducerede fødemængde. Processen kan inddeles i fire faser kaldes lagfase, logvækst, stationær fase og den faldende fase eller dødsfase.

- **Lagfase:** Når man anvender vores produkt til et økosystem, vil der være en lille smule forsinkelse i nedbrydningsprocessen. Dette kaldes lagfase, da mikroorganismer udvikler de enzymer, der er afgørende for det specifik organisk stof i økosystemet.
- **Logvækst:** Mikroorganismer begynder at nedbryde det organiske stof og formere sig.
- **Stationær fase:** Mikroorganismerne har nu nået tærsklen. De nedbryder sig og multiplicere optimalt.
- **Faldende fase eller dødsfase:** Bakterierne har ikke føde nok til vækst. Der vil aldrig være flere mikroorganismer end organisk materiale at nedbryde. Derfor begynder mængden af bakterierne at falde ("lysis"). De går igennem en proces, hvor deres celler brister og de frigiver cellens næringsstoffer som føde til de resterende mikroorganismer. Denne proces forsætter i den faldende fase, indtil alt de organisk affald elimineres.

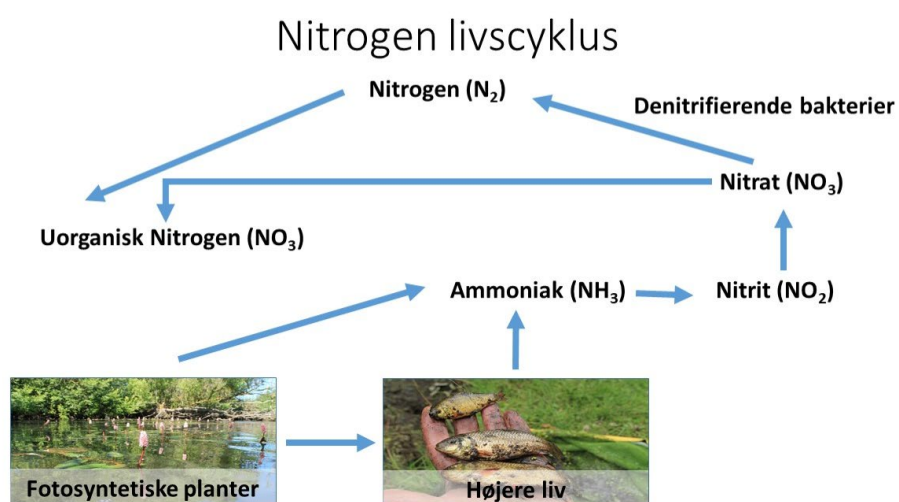
Disse bakterier vil fungere som en "medicin", som hjælper med at aktivere den indfødte bakterier.



Figur 2: Baktterie vækst i forhold til de organiske materiale.



Figur 3: Kulstof livscyklus



Figur 4: Nitrogen livscyklus

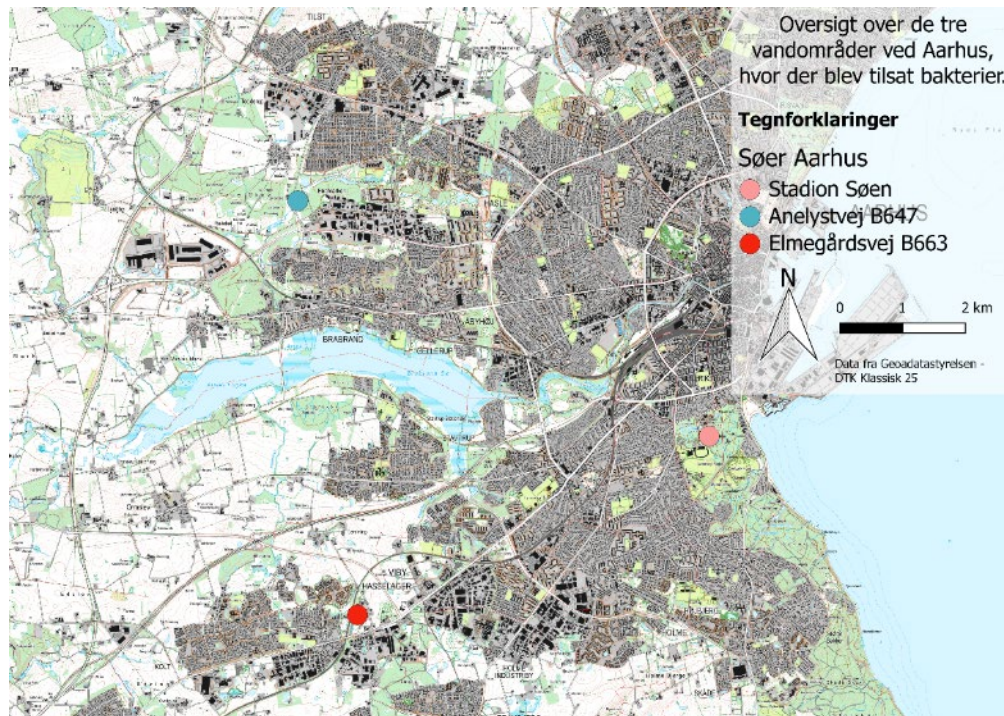
1.2 Formål

Formålet med projektet er at demonstrere, verificere og formidle en ny omkostningseffektiv metode til restaurering af søer / regnvandsbassiner i Danmark ved at anvende mikroorganismer til at reducere det akkumulerede organiske stof i sedimentlaget. Vi tilstræber også at forbedre vandkvaliteten og den økologiske tilstand, og fjerne de ubehagelige lugt i de urbane søer.

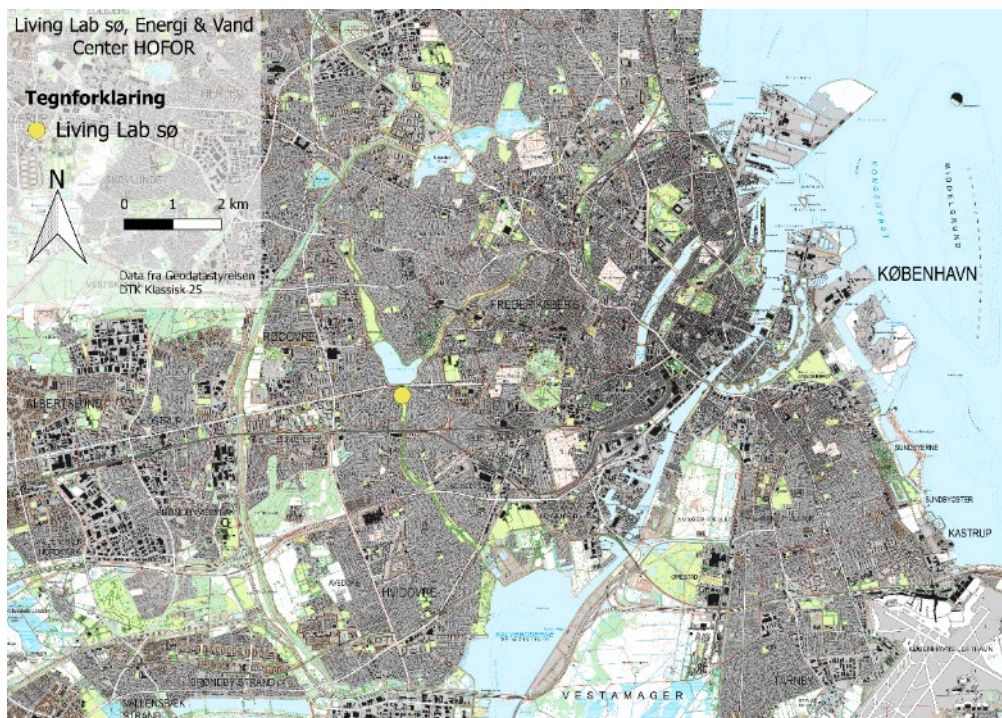
2. Materiale og metoder

2.1 Vandområder

Tre vandområder ved Aarhus (Figur 5) og ét ved København (Figur 6) blev udvalgt for at tilsætte bakterierne.



Figur 5: Kort af de tre vandområder ved Aarhus: Stadion søen, Anelystvej B647, Elmegårdsvej B663.



Figur 6: Kort af Living Lab søen i København.

2.1.1 Stadion Søen

Stadion Søen adresse:
Havreballe Skovvej 11
8000 Aarhus C

Areal: ca. 7000 m²

Stadion Søen er omgivet af Marselisborg skovene og Tivoli Friheden og har en rekreativ værdi ved sin nærhed til byen.

Æstetisk fremtræder søen som i en noget sørgelig tilstand på grund af manglen på plantediversitet og søens farve, som var grøn-brunlig i juni 2017, det vil sige før tilsætning af bakterier. Der er tæt træbevoksning omkring søen, hvilket både giver læ for vinden og store mængder løvnedfald i søen om efteråret.

Regnvandet kommer hovedsagelig fra den omkringliggende skov.



2.1.2 Elmegårdsvej B663

Elmegårdsvej B663 adresse:

Elmegårdsvej 34

8361 Hasselager

Areal: ca. 9071 m²

Elmegårdsvej B663 er et næringsrigt regnvandsbassin, med eutrofiering. Man kunne findes en stor mængde af slam, en meget stærk lugt af kemikalier og svovl.

Visuelt fremtræder søen i en ringe tilstand. Søen er afskærmet mod vest af høje træer. Søens vandstand er normalt ret lav, hvilket gør, at søen lettere får anoxiske betingelser.

Regnvandet kommer hovedsagelig fra omgivende industrier.



2.1.3 Anelystvej B647

Anelystvej B467 adresse:

Anelystvej 35

8381 Tilst

Areal: ca. 5900 m²

Regnvandsbassinet fremtræder som relativt rent men med tæt vandplantevækst. Den er omkranset af unge træer og der findes et rigt insektliv omkring søen.

Regnvandsbassinet er omgivet af en løvskov, nogle markerfabrikker og boliger, hvor regnvandet kommer fra.



2.1.4 LIVING LAB – Energi & Vand

Living Lab sø adresse:
ENERGI & VAND
Roskildevej 213
2500 Valby

Areal: ca. 200 m²

Living Lab søen ligger ved HOFOR Energi & Vand center i København. Denne lille sø har fordel af at være et lukket system, så ville bakterierne blive i søen, og vi ville kunne forvente hurtigere effekter.



2.2 Bakterier

2.2.1 Liste over de tilsat bakterier

Vi tilsat de følgende 13 arter af bakterier:

1. *Bacillus amyloliquefaciens* er en gram-positiv jord bakterie, der nedbryder proteiner og aminosyrer. Bakterien bruges i landbrug til at bekæmpe rodpatogener, og et af enzymene fra bakterien bruges i vaskepulver.
2. *Bacillus licheniformis* er ligeledes en gram-positiv jord bakterie, der kan nedbryde ellers svært nedbrydelige proteiner, f.eks. i fuglefjer. Bakterien, der kan overleve meget høje pH-værdier, kan i madvarer medføre maveproblemer. Et protein fra bakterien udnyttes af Novozymes i vaskepulver.
3. *Bacillus subtilis* er endnu en gram-positiv jord bakterie, der også findes i/på planter. Den nedbryder proteiner, kulstofforbindelser (f.eks. triglycerider) og er tolerant overfor store udsving i pH og ilt-koncentrationer. Nyere forskning viser, at den er fakultativ aerob. Under anaerobe forhold kan den reducere nitrat. Bakterien findes i tarmsystemet hos bl.a. drøvtyggere og mennesker.
4. *Clostridium butyricum* er gram-positiv, obligat anaerob bakterie, der producerer smørsyre, der let nedbrydes af andre bakterier. I Asien anvendes den udbredt probiotisk og dens positive effekter er veldokumenterede i bl.a. Japan. Den positive effekt skyldes formodentlig, at den udkonkurrerer den stærkt patogene *Clostridium Difficile*.
5. *Clostridium sartagoforme* er en anaerob, gram-positiv bakterie. Den findes bl.a. i det menneskelige tarmsystem. Bakterien spiller en væsentlig rolle i nedbrydning af cellulose og chitin².
6. *Desulfovibrio vulgaris* er gram-negativ, og er den bedst kendte af de sulfatreducerende bakterier. Bakterien forekommer hyppigt i naturen og er et opportunistisk patogen. Den findes i tarmsystemer hos dyr, i både fersk- og saltvand og i jord. Den anvendes bl.a. til behandling af jord, der er forurenet med det kræftfremkaldende Cr (VI).
7. *Desulfovibrio aminophilus* er en gram-negativ, sulfat-reducerende bakterie, der også effektivt nedbryder proteiner og aminosyrer. Den blev isoleret fra et anaerobt spildevandsbassin for mejerispildevand i Columbia i 1998³.
8. *Geobacter lovleyi* er en gram-negativ bakterie, der er i stand til at reducere metaller og nedbryde chlor forbindelser. Den forekommer naturligt i sedimenter, og anvendes til bioremediering af forurenet jord.
9. *Methanomethylovorans hollandica* er ikke en egentlig bakterie, men tilhører domænet archaea, der er encellede organismer uden cellekerne. Den findes naturligt i bl.a. sediment, og kan under anaerobe forhold nedbryde svært omsættelige organiske svovl-forbindelser, f.eks. dimethylsulfid.

² Correlation between genomic analyses with metatranscriptomic study reveals various functional pathways of *Clostridium sartagoforme* AAU1, a buffalo rumen isolate, M. Neelam et al., J. Applied Animal Research, 2015.

³ *Desulfovibrio aminophilus* sp. nov., a novel amino acid degrading and sulphate reducing bacterium from an anaerobic dairy wastewater lagoon, S. Baena et al., System Appl. Microbiol. 21, 498-504, 1998.

10. *Methanosarcina barkeri* er ligeledes en archaea, og er derfor ikke et patogen. Den er immobil og er fundet i sediment i søer og moser, samt i spildevand. Den er desuden en normal del af drøvtyggers tarmflora, og den omsætter effektivt kulstofforbindelser til methan.
11. *Pseudomonas citronellolis* er en gram-positiv bakterie, der findes naturligt i skovjord, ofte nær harpiks producerende træer. Bakterien er i stand til at nedbryde olie- og kulstofforbindelser, der ellers er persistente. Den kan desuden denitrificere nitrat.
12. *Rhodopseudomonas palustris* er en gramnegativ bakterie, der kan anvende fire forskellige former for metabolisme, fotoautotrof, fotoheterotrof, kemoautotrof og kemoheterotrof. Den er i stand til at nedbryde lignin, kan optage CO₂ og N₂ fra atmosfæren og kan producere NH₄⁺.
13. *Wolinella succinogenes* er en proteobakterie, der er fundet i tarmsystemet hos drøvtyggere. Den er ikke patogen, skønt den er beslægtet med *Helicobacter pylori*, *Helicobacter hepaticus* og *Campylobacter jejuni*. Bakterien kan omsætte hydrogensulfid, og er således potentielt i stand til at reducere lugtgener.

2.2.2 Risikovurderingsrapport

Der blev skrevet to risikovurderingsrapporter, en fra AP Consult til Aarhus Kommune og en anden fra Styrelsen for Patientsikkerhed til Albertslund Kommune, som var med i projektgruppen ved begyndelsen af projektet.

Sikkerhedsniveauer

Bakterier og andre levende mikroorganismer vurderes risikomæssigt på en skala fra BS1 til BS4. Skalaen er introduceret af Center for Disease Control (CDC) i USA, men anvendes også i EU, som følge af vedtagelsen af Rådets Direktiv 90/679/EEC af 26. november 1990⁴.

Tabel 2 viser listen over bakterier med deres biologisk sikkerhedsniveau.

TABEL 2. Liste over bakterier med biologisk sikkerhedsniveau fra American Type Culture Collection⁵. Data også fra Environment and Climate Change Canada⁶, og for *Desulfovibrio aminophilus* fra Schweizerische Eidgenossenschaft⁷.

Bakterie	BS1	Bemærkning
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	1	Ikke dyrepato-gen
<i>Bacillus licheniformis</i>	1	Hyppig forekom-mende i naturen, opportunistisk pa-togen
<i>Bacillus subtilis</i>	1	Ikke dyrepato-gen
<i>Clostridium butyri-cum</i>	1	Anvendes probio-tisk

⁴ <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A31990L0679>

⁵ https://www.lgcstandards-atcc.org/?geo_country=dk

⁶ <http://www.ec.gc.ca/default.asp?lang=en&n=FD9B0E51-1>

⁷ "List of Differences for bacteria", Schweizerische Eidgenossenschaft, Bundesamt für Umwelt, Referenz/Aktenzeichen L285-2753

Desulfovibrio aminophilus	1	I renseanlæg, anaerob
Geobacter lovleyi	1	Reducerer chlo-forbindelser
Methanomethylovorans hollandica	1	Findes i jord og grundvand
Methanosarcina barkeri	1	Udbredt i biogas-anlæg
Pseudomonas citronellolis	1	Almindelig i skov-jord
Rhodopseudomonas palustris	1	Almindelig i naturen
Wolinella succinogenes	1	Nedbryder perchlorat, bruges til rensning af drikkevand

Flere af de mikroorganismer, der anvendes, har høje temperaturoptima. Det anbefales derfor, at anvendelse sker ved en vandtemperatur på minimum 10°C og helst 15°C.

Af hensyn til effektiviteten bør anvendelse ske i situationer, hvor der er varslet tørvejr mindst 24 timer frem.

Ligeledes af hensyn til effektiviteten og præcision i udsprøjtningen bør anvendelse ske under vindforhold med maksimalt 8 m/s.

Anvendelsen af mikroorganismer i regnvandsbassiner vurderes at udgøre en særdeles begrænset risiko for smitte til mennesker og dyr. Der vil efter det oplyste blive anvendt i størrelsesordenen 1 kg tørstof per hektar bassinareal, der udpumpes som en fortyndet, vandig opløsning.

Det vurderes desuden, at der er større smitterisiko i forbindelse med normale regnhændelser, hvor der tilledes separat vejvand og vand fra andre befæstede arealer.

Mængden af næringssalte, der er tilsat den aktive bakterieopløsning vil være ubetydelig.

Risiko for iltvind i forbindelse med omsætning af organisk stof vil forekomme. Dette må vurderes i forbindelse med den individuelle anvendelse.

2.2.3 Tilsætningsplan og tilsætningsmetode

Bakterier blev tilsat i 4 vandområder: 1 i København og 3 ved Aarhus fra perioden juni 2017 til oktober 2017.

- TILSÆTNINGSPLAN I STADION SØEN

TABEL 3. Tilsætningsplan i Stadion Søen

Sø/Bassin: Stadion Søen									
Overflade (m2): 7000									
Tilsætning uge nummer:	1	2	3	4	5	9	13	17	TOTAL
Dato	11/07/17	17/07/17	25/07/17	01/08/17	08/08/17	05/09/17	26/09/17	10/10/17	

Bakterier tilsat (liter)	105	21	21	31	31	31	31	23	294
-----------------------------	-----	----	----	----	----	----	----	----	-----

- TILSÆTNINGSPLAN I ELMEGÅRDSVEJ B663

TABEL 4. Tilsætningsplan i Elmegårdsvej B663

Sø/Bassin: Elmegårdsvej B663									
Overflade (m2): 9071									
Tilsætning uge num- mer	1	2	3	4	5	9	13	17	TOTAL
Dato	11/07/17	17/07/17	25/07/17	01/08/17	08/08/17	05/09/17	26/09/17	10/10/17	
Bakterier tilsat (liter)	135	27	27	37	37	37	37	41	378

- TILSÆTNINGSPLAN I ANELYSTVEJ B647

TABEL 5. Tilsætningsplan i Anelystvej B647

Sø/Bassin: Anelystvej B647									
Overflade (m2): 5900									
Tilsætning uge num- mer	1	2	3	4	5	9	13	17	TOTAL
Dato	11/07/17	17/07/17	25/07/17	01/08/17	08/08/17	05/09/17	26/09/17	10/10/17	
Bakterier tilsat (liter)	90	18	18	18	28	28	28	24	252

- TILSÆTNINGSPLAN I LIVING LAB

TABEL 6. Tilsætningsplan i Living Lab

Sø/Bassin: Living Lab										
Overflade (m2): ca. 200										
Tilsætning uge nummer	1	2	3	4	5	9	13	17	21	TOTAL
Dato	16/06/17	22/06/17	30/06/17	16/07/17	07/08/17	12/08/17	04/09/17	02/10/17	30/10/17	
Bakterier tilsat (liter)	10	2	2	2	2	2	2	2	4	28

- TILSÆTNINGSMETODEN

En succesfuld tilsætning af mikroorganismer afhænger dels af den tekniske metode man vælger til tilsætning, dels af de forhold hvorunder mikroorganismerne tilsættes (Figur 7 og Figur 8).

Der er til lejligheden udviklet en membranpumpe med tilhørende sprøjtelanse med dyser. Der er afprøvet forskellige pumpesystemer og det er konstateret, at en membranpumpe er det med skånsomme for de mikroorganismer der skal udsættes. I dette tilfælde en eldrevet motor med to påmonterede membranpumper med automatisk tilbageløb.

Systemet blev anvendt i Stadion søen samt bassinerne ved Elmegårdsvej B663 og Anelystvej B647.

Kun Stadion søen var umiddelbar tilgængelig fra bredden mens de to andre bassiner måtte man anvendes en båd for på den måde kunne man dække hele overfladearealet.

Mikroorganismen arbejder både aerobt og anaerobt. Det er vigtigt at udsætte over så stort et overflade areal som muligt.



Figur 7: Spredning af bakterierne i Living Lab



Figur 8: Spredning af bakterierne i Stadion Søen

2.3 Måleprogram

2.3.1 Vandprøver

Vandprøver blev udtaget ved indløbet og udløbet af de tre vandområder ved Aarhus.

I Elmegårdsvej B663 og Stadion Søen har man taget stikprøver før og efter tilsætning af bakterier mellem to regn hændelser.

I Anelystvej B647 har man taget tidsproportional vandprøver før og efter tilsætning af bakterier mellem to regn hændelser.

Vandprøver blev udtaget af Eurofins under Amphi/Aarhus Vand tilsyn og Eurofins analyserede de udvalgte parametre, herunder de parametre, som Aarhus Kommune har anmodet om. Kommunen ønskede at sikre, at bakterierne ikke vil føre en forøgelse af forurenede stoffer i recipienten.

Vandprøver vil give oplysninger om koncentration af totalt organisk kulstof (TOC). Hvis denne koncentration stiger, vil det betyde at der vil være mere suspenderet organisk stof. Tungmetallerne kobber og zink, vil blive analyseret for at sikre at bakterierne ikke fører til en stigning i deres koncentration.

Nitrat, nitrit og ammonium er også målt for at tjekke om bakterierne ændrer disse koncentrationer. Hvis der er en reduktion af nitrat koncentrationen, vil det betyde at der er en stigning af denitrifikationsprocessen. Bakterierne vil derfor have reduceret nitrat (NO_3^-) til nitrogen (N_2). Vi forventer at se en reduktion af ilt koncentrationen efter tilsætning af bakterier fordi 1) denitrifikation er en reduktion, 2) nogle af de bakterier forbruger ilt.

Vandtemperaturen er også målt for at give oplysninger om bakterieeffektivitet. Hvis vandtemperaturen er mindre end 15 grader, vil bakterieaktivitet være langsommere og derfor vil nedbrydning af organisk stof også være langsommere.

2.3.2 Sedimentprøver

Sedimentprøverne blev taget i 5 lokaliteter i hvert vandområde bortset fra Living Lab, før og efter tilsætning af bakterier, nemlig i juli og oktober måned 2017. 3 kerner per lokalitet var blandet. I alt var der 10 sedimentprøver per sø.

Sedimentprøverne vil give oplysninger om ændringer i denitrifikation og nitrifikation processer (Total nitrogen), i koncentrationer af organisk stof (Glødetab på tørstof, Total organisk kulstof (TOC), organisk stof), total fosfor, tungmetaller og PAH-forbindelser.

Det bliver også målt densitet. Hvis densiteten stiger i sediment, vil det betyde, at der er mere koncentreret organisk stof.

- STADION SØEN

TABEL 7. Sedimentprøverne i Stadion søen før og efter tilsætning af bakterier

Prøve navn før tilsætning af bakterier	Prøve navn efter tilsætning af bakterier
149	S1
150	S2
151	S3
152	S4
153	S5



Figur 9: Sedimentprøverne ved Stadion Søen

- ELMEGÅRDSVEJ B663

TABEL 8. Sedimentprøverne i Elmegårdsvej B663 før og efter tilsætning af bakterier

Prøve navn før tilsætning af bakterier	Prøve navn efter tilsætning af bakterier
154	E1
155	E2
156	E3
157	E4
158	E5



Figur 10: Sedimentprøverne ved Elmegårdsvej B663

- ANELYSTVEJ B647

TABEL 9. Sedimentprøverne i Anelystvej B647 før og efter tilsætning af bakterier

Prøve navn før tilsætning af bakterier	Prøve navn efter tilsætning af bakterier
143	A1
145	A2
146	A3
147	A4
148	A5



Figur 11: Sedimentprøverne ved Anelystvej B647



2.3.3 Georadarundersøgelse

En del af overvågningsmetoder var at lave en georadarundersøgelse før og efter tilsætning af bakterier i de tre vandområder ved Aarhus. På denne måde, kunne vi se om der var nogle ændringer i vandvolumen, som kunne tolkes af en synkende bund.

Nogle generelle forklaringer vedrørende georadarundersøgelser fra Flemming Barlachs rapport:

Indledning

Normalt anvendes en georadar til undersøgelser på land, hvor den anvendes til kortlægning af laggrænser og objekter i undergrunden. Hvad mange ikke ved, er, at den ofte kan anvendes på søer under visse forudsætninger. Som et eksempel kan nævnes søerne i Nord- og Sydsverige. Mod nord er der ringe landbrugsaktivitet og derfor ringe tilførsel af næringssalte til søerne. De indeholder derfor næsten rent ferskvand og gennemtrængningen kan være op til omkring 30 m. Bevæger man sig mod Sydsverige, øges gødningsaktiviteten og gennemtrængningen kan blive ned til kun ca. ½ m. Saltholdigt vand giver ringe gennemtrængning af radarsignalerne.

Radarsignalerne er meget følsomme overfor elektrisk ledende sediment/vand, hvor de dæmpes kraftigt.

Dette er i sig selv en god indikator for renheden af vandet. Endvidere kan lerpartikler i kolloidal suspension have samme effekt.

Radaren vil give et papirtyndt lodret snit ned gennem undergrunden langs ruten, hvor radaren bevæger sig. Af den grund skal der være en datatæthed, der er høj, når undergrunden forandrer sig hurtigt, og den kan være mindre, når undergrunden forandrer sig mere langsomt. Bunden af en sø kan ofte beskrives som værende 'topografisk lavfrekvent', hvorfor datadensiteten ikke behøver at være så høj.

Udstyr

Radarudstyret er fra Malå GeoScience, Sverige. En elektromagnetisk skærmet radarantenneboks er placeret i bunden af en gummibåd (Figur 12). Båden er udstyret med elmotor til fremdrift. GPS udstyret er af mærket Leica med antenne og navigationsvisning. GPS enheden anvender SBAS/EGNOS korrektionssignaler (DGPS), og den afleverer NMEA data, som efterfølgende flettes ind i radardata som UTM koordinater. Der er anvendt software fra KMS til konvertering af NMEA nautiske koordinater til UTM koordinater, UTM zone 32 WGS 84 DVR 90.

Tolkning og gridning

Efter dataprocessering (af radar og navigation) er der tolket på radarbillederne efter bunden af søen og evt. sedimenter. De tolkede laggrænser er derefter griddet i et ½ x ½ m grid (net). Disse konturkort er farvelagt efter dybder eller tykkelser. Der er anvendt en deterministisk gridningsmetode (ikke Kriging!). Radarer har ikke nogen afstandsmåling. Man kan ikke direkte måle afstande eller dybder, men derimod har udstyret en meget nøjagtig måling af tidsforsinkelsen af retursignalet efter udsendelse. Dybden til f. eks. bunden af søen fås via

$$z = \frac{1}{2} v \cdot t$$

Hvor z er dybden, t er tidsforsinkelsen og v er radiobølgers udbredelseshastighed i vandet. Vi kender ikke v generelt, men man kan komme langt med en eksperimentelt målt hastighed i rent vand på 0.33×10^8 m/s. Til sammenligning er radiobølgers hastighed i luft 3.0×10^8 m/s. Langs sejlruten udsender radaren små 'radiobølge-klik' og den "lytter" til ekkoet fra laggrænser i undergrunden. Der udsendes 5 sådanne radiobølge-klik per sekund.

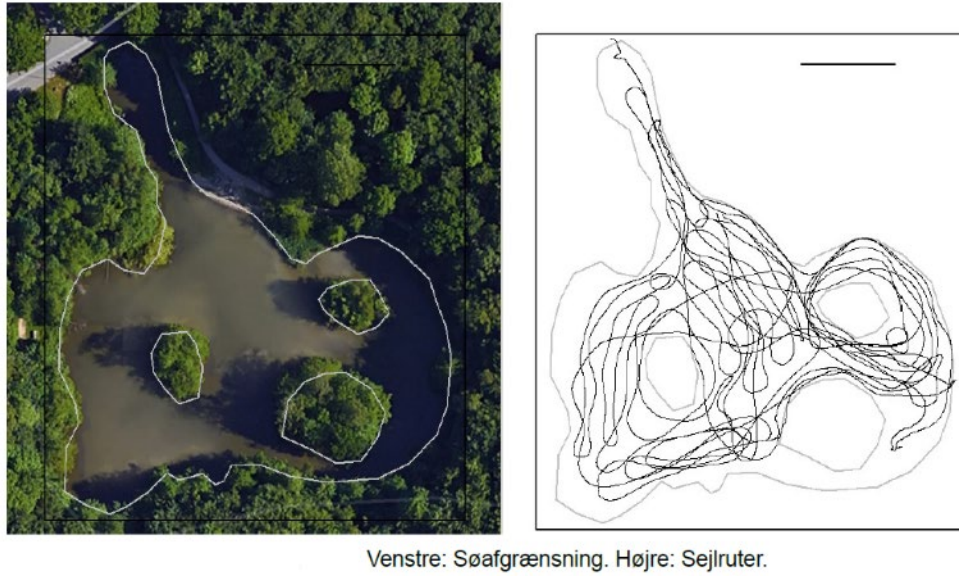


Figur 12: Udstyr til georadarundersøgelse

Figur 13, 15 og 16 viser sejlruiter henholdsvis i Stadion Søen, Elmegårdsvej B663 og Anelystvej B647. Flemming Barlach har været i de tre vandområder ved Aarhus, før og efter tilsætning af bakterierne og han har prøvet at dække hvert vandområde med radarsignalerne så meget som muligt.

Figur 14 viser et eksempel af tværsnit (A-B) i Stadion Søen. Dette tværsnit vil blive vores reference for at identificere ændringer i vandvolumen. Der blev også sat et tværsnit i Elmegårdsvej B633 og Anelystvej B647.

Datadækning



Figur 13: Sejlruter i Stadion Søen (Flemming Barlach ApS)



Figur 14: Tværsnit A-B i Stadion Søen (Flemming Barlach ApS)



Venstre: Søafgrænsning. Højre: Sejlruter.

Figur 15: Sejlruter i Elmegårdsvej B663 (Flemming Barlach ApS).



Venstre: Søafgrænsning. Højre: Sejlruter

Figur 16: Sejlruter i Anelystvej B647 (Flemming Barlach ApS)

2.3.4 Biodiversitet

Fauna blev overvåget fra en båd, med et net, både før og efter tilsætning af bakterier i juli og oktober 2017. En botanisk undersøgelse blev også foretaget.

2.3.5 Vejrforhold

Kontinuerte målinger igennem hele testperioden med DMI af middeltemperatur, nedbørsum og solskinsum i København og Aarhus Kommune.⁸ Disse oplysninger kunne oplyse os om fortolkningen af resultaterne.

Temperaturer og solskin kan bl.a. påvirke udviklingen af alger, hvor nedbør kan skylles ud nogle af de bakterier der ikke nåede søbunden.

Bakterieaktiviteten vil være langsommere og det organiske stof vil blive langsommere nedbrudt, hvis temperaturen er mindre end 15 grader.

⁸ www.dmi.dk

3. Resultater

3.1 Vandprøver

Vandprøver blev taget i juli og oktober 2017, svarende til perioden før tilsætning af bakterierne og perioden lige efter tilsætning blev afsluttet. Resultaterne i de tre vandområder ved Aarhus bliver præsenteret i tabel 12, 13 og 14.

STADION SØEN

Resultater af vandprøverne ved indløbet og udløbet i Stadion Søen er præsenteret i tabel 12.

Vedrørende nitratkoncentration

Der er observeret en stigning af nitrat ved udløbet i oktober 2017 (24 mg/l) i forhold til juli 2017 (0,74 mg/l). Denne stigning i nitratkoncentrationen kunne forklares ved en reduktion af denitrifikationen. Det vil sige, at der er mindre nitrater, som bliver optaget af de planter om efteråret. Der er mere denitrifikation om sommeren ved juli måned.

Vedrørende iltkoncentration

Der er observeret en højere ilt koncentration ved udløbet i oktober 2017 (56,0 mg/l) end i juli 2017 (5,5 mg/l). Denne stigning i ilt koncentrationen falder sammen med stigningen i nitrat koncentrationen. Nitrifikation udføres med oxidation. Når der er mindre ilt til rådighed, vil der dannes mindre nitrat.

Vedrørende total organisk kulstofkoncentration

Total organisk kulstof (TOC) blev målt i vandet ved udløbet før og efter tilsætning af bakterierne, og denne er ikke øget efter tilsætning af bakterierne. Det kunne betyde, at der ikke mere suspenderet organisk stof efter tilsætning af bakterier.

Vedrørende tungmetalkoncentrationer

Der er en større zinkkoncentration ved udløbet (22 mg/l) end ved indløbet (5,9 mg/l) i oktober 2017.

Der er også observeret en højere kobberkoncentration ved udløbet (5,4 mg/l) end ved indløbet (2,3 mg/l) i oktober 2017. Der kan jo være tale om årstidsvariationer.

Vedrørende vandtemperaturen

Vandtemperaturen ved indløbet er 12,8 grader i juli 2017 og 12,6 grader i oktober 2017.

Vandtemperaturen ved udløbet er 15,2 grader i juli 2017 og 13,3 grader i oktober 2017.

Disse temperaturer kunne have reduceret bakterieaktiviteter.

I forhold til de andre parametre, blev der ikke observeret nogle mærkbare ændringer.

TABEL 10. Resultaterne af vandprøverne ved indløb og udløb i Stadion Søen i Aarhus før (juli 2017) og efter (oktober 2017) tilsætning af bakterier.

ÅR 2017		Før tilsætning af bakterier Juli 2017		Efter tilsætning af bakterier Oktober 2017	
Parameter	Enhed	Indløb	Udløb	Indløb	Udløb
pH	pH	7,8	7	7,6	7,7
Ilt	mg/l	53,4	5,5	5,3	56,0

Suspenderet stof	mg/l	9,8	16	19	6,8
Vandtemperatur	°C	12,8	15,2	12,6	13,3
BI5 (uden ATU)	mg/l	0,67	2,2	5,2	0,098
NVOC, ikke flygtigt org. carbon	mg/l	6,5	6,7	6,2	6,9
TOC, totalt organisk kulstof	mg/l	6,7	6,7	6,2	6,9
VOC, flygtigt organisk kulstof	mg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Ammonium	mg/l	0,05	1,1	0,14	0,046
Ammoniak+Ammonium-N	mg/l	0,039	0,88	0,11	0,036
Nitrit	mg/l	0,084	0,39	0,025	0,17
Nitrat	mg/l	30	0,74	0,32	24
Total-N	mg/l	7,5	2,0	0,97	5,7
Total-P	mg/l	0,14	0,16	0,098	0,13
Kobber (Cu)	µg/l	4,6	1,2	2,3	5,4
Zink (Zn)	µg/l	18	4,0	5,9	22

ELMEGÅRDSVEJ B663

Resultater af vandprøverne ved indløbet og udløbet i Elmegårdsvej B663 er præsenteret i tabel 13.

De valgte parametre viser ingen ændringer før og efter tilsætninger af bakterier.

Vandtemperaturer varierer mellem 11,6 og 15,8 grader, hvilke også kunne have påvirket bakterieeffektiviteten.

Ved at være mindre effektive nedbryder de mindre organisk stof, fordi de ikke er så aktive.

TABEL 11. Resultaterne af vandprøverne ved indløb og udløb i Elmegårdsvej B663 ved Aarhus før (juli 2017) og efter (oktober 2017) tilsætning af bakterier.

ÅR 2017		Før tilsætning af bakterier Juli 2017			Efter tilsætning af bakterier Oktober 2017		
Parameter	Enhed	Indløb fra bæk	Indløb E21100R	Udløb	Indløb fra bæk	Indløb E21100R	Udløb
pH	pH	7,4	8,0	7,1	7,5	7,8	7,5
Ilt	mg/l	35,4	88,8	31,1	41,6	9,9	1,9
Suspenderet stof	mg/l	6,8	15	3,7	9,1	3,7	5,4
Vandtemperatur	°C	12,8	11,6	15,8	12,5	13,2	12,8
BI5 (uden ATU)	mg/l	4,6	>6	1,8	3,5	0,78	2,4
NVOC, ikke flygt org. carbon	mg/l	10	5,5	9,4	11	3,5	9,0
TOC, totalt organisk kulstof	mg/l	10	5,5	9,4	11	3,5	9,0

VOC,,flygtigt organisk kulstof	mg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Ammonium	mg/l	2,5	0,036	0,31	1,2	0,098	2
Ammoniak+Ammonium-N	mg/l	2,0	0,028	0,24	0,94	0,076	1,5
Nitrit	mg/l	0,032	0,016	0,017	0,063	0,012	0,020
Nitrat	mg/l	0,43	4,7	<0,3	0,99	3,4	0,38
Total-N	mg/l	2,8	1,6	0,98	1,8	1,2	2,3
Total-P	mg/l	0,23	0,14	0,19	0,19	0,063	0,13
Kobber (Cu)	µg/l	0,44	3,2	0,97	3,2	1,1	2,1
Zink (Zn)	µg/l	4,4	20	12	13	5,3	10

ANELYSTVEJ B647

Resultater af vandprøverne ved indløbet og udløbet i Anelystvej B647 er præsenteret i tabel 13.

De valgte parametre viser ingen ændringer før og efter tilsætninger af bakterier.

Vandtemperaturer varierer mellem 12,1 og 15,4 grader, hvilke også kunne have påvirket bakterieeffektiviteten negativt.

TABEL 12. Resultaterne af vandprøverne ved indløb og udløb i Anelystvej B647 ved Aarhus før (juli 2017) og efter (oktober 2017) tilsætning af bakterier.

ÅR 2017		Før tilsætning af bakterier Juli 2017		Efter tilsætning af bakterier Oktober 2017	
Parameter	Enhed	Indløb	Udløb	Indløb	Udløb
pH	pH	8,3	7,7	7,9	7,1
Ilt	mg/l	88,3	18,4	9,4	0,9
Suspenderet stof	mg/l	23,0	2,2	11,0	1,9
Vandtemperatur	°C	12,4	15,4	12,1	12,3
BI5 (uden ATU)	mg/l	>6	2,4	3,7	3,7
NVOC, ikke flygt org. carbon	mg/l	6,5	5,0	5,6	3,7
TOC, totalt organisk kulstof	mg/l	6,5	5,0	5,6	3,7
VOC, flygtigt organisk kulstof	mg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Ammonium	mg/l	<0,005	0,41	0,18	1,2
Ammoniak+Ammonium-N	mg/l	<0,004	0,32	0,14	0,95
Nitrit	mg/l	0,020	0,020	0,39	0,048
Nitrat	mg/l	6,4	<0,3	14	<0,3
Total-N	mg/l	2,0	0,90	3,7	1,4
Total-P	mg/l	0,29	0,11	0,46	0,21
Kobber (Cu)	µg/l	8,7	0,58	4,9	0,8
Zink (Zn)	µg/l	130	3,6	75,0	11

3.2 Sedimentprøver

Resultater af sedimentprøverne fra Stadion Søen, Elmegårdsvej B663 og Anelystvej B647 vises i tabel 15.

Ingen bemærkninger vedrørende ændringer i relativ organisk materialindholdsfortegnelse, sedimentprøverne analyser fra Eurofins bortset fra PAH-forbindelser og metaller.

- **Alle tre vandområder observerer man en stigning af Total Organisk Kulstof (TOC):**

Stadion: fra 55 400 mg/kg tørstof (ts) til 56 000 mg/kg ts. Ingen særlig forandring

Elmegårdsvej B663: fra 106 800 til 134 000 mg/kg ts. Ingen særlig forandring

Anelystvej B647: fra 12 000 til 72 840 mg/kg ts. Der var måske mere sand i prøverne.

- **Alle tre vandområder observerer man en stigning af Organiske forbindelser, organisk stof:**

Stadion: fra 6.36 % ts til 6.42 % ts. Ingen særlig forandring

Elmegårdsvej fra 12.4 % ts til 14.6 % ts. Ingen særlig forandring

Anelystvej: fra 1.748 % ts, til 8,3056 % ts Der var måske mere sand i prøverne.

- **PAH:**

- Stadion Søen: NA
- Elmegårdsvej B663: stor stigning i koncentration i sedimentlaget efter tilsætning af bakterier (fra 0,84 mg/kg ts. til 4,5 mg/kg ts.)
- Anelystvej B647: Ingen særlig forandring (fra 0,2 mg/kg ts. til 0,3 mg/kg ts.)

Forøgelsen af PAH-komponenter kan skyldes de organiske forurenende stoffer, der findes i regnvandsbassin Elmegårdsvej B663 på det tidspunkt i juni.

-> potentielt akkumulerede koncentrationer af PAH forbindelser.

- **Metaller:**

- Stadion Søen: ingen ændringer i koncentrationer
- Elmegårdsvej B633: stor stigning i koncentrationer (Kobber: fra 79 mg/kg ts. til 134 mg/kg ts., Zink: fra 556 mg/kg ts. til 908 mg/kg ts.)
- Anelystvej B647: stor stigning i koncentrationer (Kobber: fra 20,8 mg/kg ts. til 61,8 mg/kg ts., Zink: fra 172,8 mg/kg ts. til 411,76 mg/kg ts.)

-> potentielt akkumuleret koncentrationer af metaller.

- **Densitet:**

Vi forventede at se, at densiteten steg i sedimentet, i så fald ville det have betydet mere koncentreret organisk stof i sedimentet. Resultaterne viser imidlertid ingen ændringer i densiteten efter tilsætning af bakterierne.

- **Total Nitrogen (tørstof):**

Stadion: from 4520 to 4480 mg/kg ts. (Ingen særlig forandring)

Elmegårdsvej: from 7800 to 9280 mg/kg ts. (Stigning)

Anelystvej: from 1150 to 5446 mg/kg ts. (Stigning)

- **Total fosfor (tørstof):**

Stadion: fra 1220 til 1140 mg/kg ts. (Ingen særlig forandring)

Elmegårdsvej: fra 2148 til 3760 mg/kg ts. (Stigning)

Anelystvej: fra 534 til 1760.4 mg/kg ts. (Stigning)

TABEL 13. Resultater af sedimentprøverne i Stadion Søen, Elmegårdsvej B663 og Anelystvej B647, før (juli 2017) og efter (oktober 2017) tilsætning af bakterier.

Før tilsætning af bakterier Juli 20107				Efter tilsætning af bakterier Oktober 2017			
GENNEMSIT							
Parameter	En- hed	STA- DION	ELMEGÅRDS- VEJ	ANELYST- VEJ	STA- DION	ELMEGÅRDS- VEJ	ANELYST- VEJ
Tørstof	%	31,4	28	62,8	34,6	18,2	35
Glødetab af tørstof	% ts.	10,92	21,40	3,02	11,06	25,20	14,32
Densitet	g/cm3	1,2	1,18	1,6	1,3	0,66	1,188
Uorganiske forbindelser							
Total Nitrogen	mg/kg	1400	2080	682	1520	1580	1452,4
Total Nitrogen	mg/kg ts.	4520	7800	1150	4480	9280	5446
Fosfor, total	mg/kg ts.	1220	2148	534	1140	3760	1760,4
Organiske samleparametre							
TOC, total organisk kulstof	mg/kg ts.	55400	106800	12000	56000	134000	72840
Metaller							
Kobber (Cu)	mg/kg ts.	38,4	79	20,8	36,8	134	61,8
Zink (Zn)	mg/kg ts.	218	556	172,8	204	908	411,76
Organiske forbindelser							
Organisk stof	% ts.	6,36	12,40	1,75	6,42	14,60	8,31
PAH-forbindelser (mg/kg ts.)							
Fluoranthen		0,7	0,2	0,059	IM	0,98	0,081
Benzo(p+j+k)fluoranthen	IM		0,37	0,085	IM	2,2	0,14
Benzo(a)pyren	IM		0,14	0,027	IM	0,82	0,04
Indeno(1,2,3-cd)pyren	IM		0,091	0,023	IM	0,39	0,034
Dibenz(a,h)anthracen	IM		0,029	0,008	IM	0,12	<0,01
Sum af 7 PAH'er	IM		0,84	0,2	IM	4,5	0,03

3.3 Observationer i felten

- STADION SØEN
- *Før tilsætning af bakterier*

Bredforhold

Bredlængde med græsning/høslæt: 1-10 %

Bredlængde med væsentlig skyggevirkning: 30-75%

Vandets klarhed og dybde

Vandets klarhed: helt uigennemsigtig

Vanddybde, gennemsnit i dybeste område: 0.5-1.0 m, udtørrer sjældent fuldstændigt

- *Samtidig med at bakterierne tilsættes...*

Lugten forsvandt 3 uger efter tilsætning bakterierne i Stadion søen. Vandets gennemsigtighed er blevet forbedret fra ca. 20 cm til ca. 40 cm dybde (Tabel 14 og 15).

Vandets klarhed er lidt forbedret.

TABEL 14. Observationer med tilsætning af bakterierne i Stadion Søen

Sø/Bassin: Stadion Søen								
Overflade (m2): 7000								
Tilsætning uge nummer:	1	2	3	4	5	9	13	17
Dato	11/07/17	17/07/17	25/07/17	01/08/17	08/08/17	05/09/17	26/09/17	10/10/17
Bakterier tilsat (liter)	105	21	21	31	31	31	31	23
Lugt	Slem lugt	lugt	Ingen lugt	Ingen lugt	Ingen lugt	Ingen lugt	Ingen lugt	Ingen lugt

I den nordlige del af søen var sigtbarheden 40 cm, i midten 30 cm og i den sydlige del 28 cm

TABEL 15. Observationer i juni og oktober 2017 og juni 2018 i Stadion Søen.

Parametre	Juni 2017	Oktober 2017	Juni 2018
Middelsigtbarhed i søen	Ringe (ca. 20 cm)	Ringe (ca. 22 cm)	Lidt forbedret sigtbarheden (i den nordlige del af søen ca. 40 cm, i midten 30 cm og i den sydlige del ca. 28 cm)
Vandstanden	Normal (ved afløbsristen)	3 cm højere vandstanden ved afløbsristen	Normal (ved afløbsristen)
Søens farve	Kraftig grøn	Gråbrun	Gråbrun
Afgasning	Afgasning visse steder ved prikketest	Meget kraftig afgasning alle steder (vand nærmest kogt)	Nogen afgasning alle steder
Klima	Normalt dansk sommervejr	Kraftig tilførsel af regnvand i perioden juni-oktober	Slutning af april, hele maj og indtil skanning (06-06-18): tørt, varmt og solrigt.

- *Bemærkninger fra Flemming Barlach:*

Rent visuelt har søen skiftet karakter fra at være grøn pga. af kraftig opblomstring af grønalger i juni til at have skiftet farve til grå-brunlig. Man kan derfor formode, at opblomstringen af alger er standset.

Sigtbarheden i vandet har ikke ændret sig meget, men der er ikke foretaget systematiske målinger af sigtbarheden hverken i juni eller i oktober. Sigtbarheden er vurderet skønsmæssigt. Der er heller ikke foretaget temperaturmålinger. I rapporten fra juni-skanningen er der anført observationer af afgangning fra søbunden (prikketest) som 'stor afgangning visse steder'. I oktober må afgangningen siges at være stor alle steder i søen. Faktisk ser vandet ud til at koge hver gang, der stikkes i søbunden. Man kan derfor formode, at produktionen af gas er accelereret i perioden mellem de to skanninger. Gassen ligger fanget i de øverste lag af bundmaterialet, og man kan derfor sige, at produktionen af gas foregår ikke blot på selve bunden og i vandsøjlen derover men også i bundsedimentet. Radarskanningerne viser ringe ændring i gennemtrængningen af radiobølger fra juni til oktober, dog med en tendens til en anelse til det bedre. Det har vist sig vanskeligt at få en entydig identifikation af søbunden dels pga. saltindholdet i søen og dels pga. selve søbundens beskaffenhed. Der er stor tilførsel af nedfaldent biomateriale fra bevoksningen samt udledning af vand fra to rør i den sydlige del af søen. Det er på nuværende tidspunkt uvist, hvad tilløbsvandet bringer med sig af partikler. Denne tilstand bevirker, at bunden ikke er en skarp grænse, men derimod en overgangszone fra vand til ukomprimeret sediment. Tolkningerne af søbunden for oktober er udført uden skelen til tolkningerne i juni (og efter bedste evne!). Begge tolkningsresultater skal derfor opfattes som 'bedste bud'.

Figur 17 viser Stadion søen før tilsætning af bakterier i juli 2017 og Figur 18 viser søen efter tilsætning i oktober 2017.



Figur 17: Stadion Søen før tilsætning af bakterierne (juni 2017)



Figur 18: Stadion Søen efter tilsætning af bakterierne (oktober 2017)

Vi kan tydeligt se en forskel i vandets gennemsigtighed mellem billedet taget før tilsætning af bakterierne (Figur 19) og billedet taget efter (Figur 20). Denne ændring i vandgennemsigtighed kan forklares af forskellige faktorer, såsom partikler i suspension, som kan være vigtigere om sommeren- Fytoplankton er vigtigere også om sommeren, hvilket kunne gøre vandet mere uklart, eller det kunne også skyldes tilsætning af bakterier, som bidrog til forbedring af vandets gennemsigtighed.



Figur 19: Stadion Søen før tilsætning af bakterier (juni 2017)



Figur 20: Stadion Søen efter tilsætning af bakterier (oktober 2017)

- ELMEGÅRDSVEJ B663

- *Før tilsætning af bakterier*

Bredforhold

Bredlængde med væsentlig skyggevirkning: 1-10%

Vandets klarhed og dybde

Vandets klarhed: helt uigennemsigtig

Vanddybde, gennemsnit i dybeste område: 1,5-2,0 m, kun mindre udtørring

BEMÆRK: Vandstanden ændrer sig meget ofte, da det er et regnvandsbassin. Derudover kan turbiditeten øges, når det regner.

- *Samtidig med at bakterierne tilsættes...*

Efter 3-4 uger behandling med bakterier, var lugten forsvundet. Liden andemad er reduceret betydeligt efter cirka en måned efter at vi begyndte at tilsætte bakterierne. Vandets gennemsigthed er blevet forbedret fra ca. 20-25 til 50-60 cm dybde (Tabel 16 og 17). Der er stadig meget organisk stof.

TABEL 16. Observationer med tilsætning af bakterierne i Elmegårdsvej B663

Sø/Bassin: Elmegårdsvej B663								
Overflade (m2)	9071							
Tilsætning uge nummer	1	2	3	4	5	9	13	17
Dato	11/07/17	17/07/17	25/07/17	01/08/17	08/08/17	05/09/17	26/09/17	10/10/17
Bakterier tilsat (liter)	135	27	27	37	37	37	37	41
Lugt	Kraftig kemikalie lugt	Svar kemikalie lugt	Ingen lugt	Ingen lugt	Ingen lugt	Ingen lugt	Ingen lugt	Ingen lugt

TABEL 2. Observationer i juni 2017 og juni 2018 i Elmegårdsvej B663

Parametre	Juni 2017	Juni 2018
Sigtbarhed i vandet	20-25 cm til bunden	Ca. 55-60 cm
Vandstanden	Relativ vandstand: Målt ved sedimentering i vestlige ende	Målt ved cementering i vestlige ende. Højere.
Søens farve	Gullig til grønlig	Gråbrun i fokusområdet
Afgasning	Lille afgasning alle steder	Kraftig afgasning alle steder. Lugtfri
Klima	Normalt dansk sommervejr	Maj 2018 var varm, tør og solrig. 1'ste halvdel af juni med mere normalt vejr.
Vegetation	Liden andemad dominerende (50-100%)	Mindre plantevækst i søen

Figur 21, Figur 22 og Figur 23 viser Elmegårdsvej B663 før tilsætning af bakterier.

Figur 24 og Figur 25 viser det samme regnvandsbassin efter tilsætning af bakterier, 4 måneder efter.

Man kan observere en general forbedring af regnvandsbassinet, især med vandets gennemsigtighed, den drastiske reduktion af liden andemad og fjernelse af lugt og fjernelse af den kraftig kemikalie lugt.



Figur 21: Elmegårdsvej B663 før tilsætning af bakterier (juli 2017)



Figur 22: Elmegårdsvej B663 før tilsætning af bakterier (juli 2017)



Figur 23: Elmegårdsvej B663 før tilsætning af bakterier (juli 2017)



Figur 24: Elmegårdsvej B663 efter tilsætning af bakterier (oktober 2017)



Figur 25: Elmegårdsvej B663 efter tilsætning af bakterier (oktober 2017)

- ANELYSTVEJ B647

- *Før tilsætning af bakterier*

Bredforhold

Bredlængde med væsentlig skyggevirkning: 1-10%

Vandets klarhed og dybde

Vandets klarhed: lettere grumset

Vanddybde, gennemsnit i dybeste område: 1,5-2,0 m, kun mindre udtørring

- *Mens bakterierne tilsættes...*

Anelystvej B647 var en af de reneste søer, der var ingen lugt før vi begyndte med at tilsætte bakterier. Indtil videre har det været ret kompliceret at observere nogle eventuelle ændringer omkring vandkvalitet, biodiversitet, eller sedimentlag (der var lidt mere sand i sedimentkernerne i oktober-måned end det var i juli-måned) i Anelystvej B647. Alligevel er vandets gennemsigthed blevet forbedret fra ca. 50 til ca. 115 cm dybde (Tabel 18 og 19).

TABEL 3. Observationer med tilsætning af bakterierne i Anelystvej B647

Sø/Bassin: Anelystvej B647								
Overflade (m2)	5900							
Tilsætning uge nummer	1	2	3	4	5	9	13	17
Dato	11/07/17	17/07/17	25/07/17	01/08/17	08/08/17	05/09/17	26/09/17	10/10/17
Bakterier tilsat (liter)	90	18	18	18	28	28	28	24
Lugt	Ingen lugt	Ingen lugt	Ingen lugt	Ingen lugt	Ingen lugt	Ingen lugt	Ingen lugt	Ingen lugt

TABEL 19. Observationer i juni og oktober 2017 ved Anelystvej B647.

Parametre	Juni 2017	April 2018
Middelsigtbarhed i søen	Ca. 50 cm	Ca. 115 cm
Vandstand	Normal	
Vegetation	Store områder med massivt plantedække	
Afgasning (prikke-test med stang)	Visse steder med lille afgasning	

Figur 26 og Figur 27 viser Anelystvej B647 før tilsætning af bakterier.

Figur 28 og Figur 29 viser det samme regnvandsbassin efter tilsætning af bakterier.

Regnvandsbassinet fremtræder meget renere i april 2018 end i juni 2017, hvor sigtbarheden i vandet i april 2018 (ca. 115 cm) er dobbelte af, hvad den var i juni 2017.

Men Anelystvej B647 var allerede i god stand, hvilket betyder at der ikke blev observeret så mange ændringer som f. eks. ændring i lugten. Der blev ikke fundet så meget organisk stof i sedimentlaget, da det for det meste var sand og ler.



Figur 26: Anelystvej B647 før tilsætning af bakterier (juni 2017)



Figur 27: Anelystvej B647 før tilsætning af bakterier (juli 2017)



Figur 28: Anelystvej B647 efter tilsætning af bakterier (oktober 2017)



Figur 29: Anelystvej B647 efter tilsætning af bakterier (oktober 2017)

- LIVING LAB

Bakterierne blev tilsat fra juni til oktober 2017 og sedimentlaget ved vinduet i Living Lab søen blev målet i juni 2017, juli 2017, januar 2018 og juni 2018 (Figur 30).

- I juni 2017 målt sedimentlaget 20,5 cm.
- I juli 2017 målt sedimentlaget 20,5 cm.
- I januar 2018 målt sedimentlaget 13,5 cm.
- I juni 2018, et år efter tilsætning af bakterierne, målt sedimentlaget 19,5 cm.

Normalt ville man forvente mere organisk materiale ved slutningen af sommeren på grund af planterne der uddør, hvor disse vil synke til bunden af søen, og derfor vil skabe et tykkere sedimentlag.

Vi observerede et fald i sedimentlaget i januar 2018, hvilket kunne bekræfte, at det har været en mikrobiel aktivitet.

I vores seneste observationer i juni 2018, var søen lige så grøn som i juni 2017. Det viser, at der er stadig en stærk algeblomstring. I juni 2018 var vandet ret grumset og sedimentlaget var steget op til 19,5 cm (endnu ikke op til størrelsen målt i juni 2017).

Årsager til, at den mikrobielle aktivitet kunne have været langsommere:

- Der kan forekomme tab af ilt i en varm periode hvilke betyder, at de aerobe bakterier ikke kan bruge ilt til respirationen og blive derfor ineffektiv.
- Meget flere organismer (både planter og dyr) kan være til stede i epilimnionen (øverste lag af søen), hvilket giver mere dødt og dekomponerende materiale, som vil synke til søbunden (hypolimnion). "Summer kills" er et resultat af mangel på ilt, især i de varme ikke stratificerede farvande, hvor iltudtømte vand akkumuleres om natten over i vindstille perioder.

Foråret 2017 var meget kold og regnfuld, mens foråret 2018 har været rigtig varm, solrig og tør. Derfor er der sandsynligvis en større udvikling af levende organismer (planter og dyr) og en større mængde af døde organismer, der synker til bunden i 2018 end i 2017. Det kan måske forklare, hvorfor sedimentlaget er øget så meget i juni 2018.

Muligvis har de tilsat bakterier alligevel spillet en rolle i nedbrydningen af det organisk stof i sedimentlaget.

- Sedimentet kunne også have flyttet, hvilket ville betyde, at der kunne være mere eller mindre sediment foran det undersøgte vindue.

Vi kan derfor ikke konkludere, at tilsætningen af bakterier har vist positive virkninger på reduktionen af det organiske stof i Living Lab søen.

I maj 2017 var vandfarven brunt, og der var ophobning af organisk materiale i bunden af søen.

Efter 2-3 tilsætninger var algeforekomsten elimineret og vandfasen ren med en sigtddybde på ca 60 cm mod tidligere ca. 10-15 cm.

I anlægget er der indbygget en kælder med observationsvinduer hvorigennem man kan følge udviklingen på bunden af den lille sø. Dette betyder, at vi har kunnet observere den tidligere bund med sediment og fauna. I løbet af perioden opløstes det øverste sedimentlag og man kunne tydeligt følge omsætningsprocessen.

Mikroorganismerne fortsætter ufortrødent aktiviteten i sedimentlaget henover vinteren.

I maj måned 2017 blev det målet ved observation vinduet et sedimentlag på 20,5 cm.

I januar 2018, blev det målet et sedimentlag på 13,5 cm (Figur 30).



Figur 30: LIVING LAB sø – overvågning ved vinduet før og efter tilsætning af bakterier

Figur 31 viser LIVING LAB søen ved begyndelsen af tilsætning af bakterier, nemlig i juni 2017. Vandets klarhed var helt uigennemsigtig og så grønlig ud.

Figur 32 viser denne samme sø 7 måneder efter tilsætning af bakterier blev startet. Vandgennemsigtigheden er steget og søen ser mere brunligt ud.

For at sammenligne søen på samme tid tager vi et billede i juni 2018, hvor vi vil kunne se forbedringerne forhåbentlig endnu bedre.



Figur 31: LIVING LAB sø i begyndelsen af tilsætning af bakterier (juni 2017). På dette tidspunkt ser søen stadig meget grønlig ud på grund af algevæksten.



Figur 32: Living Lab søen i juli 2017.

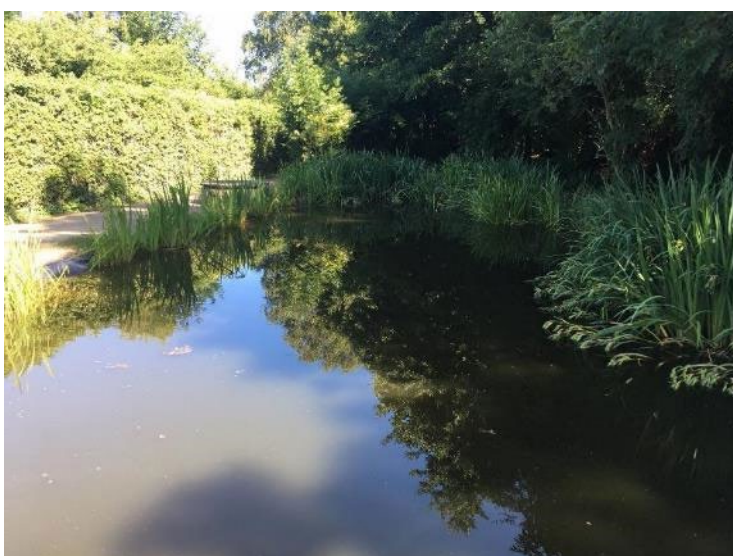


Figure 33: Living Lab søen i juni 2018.

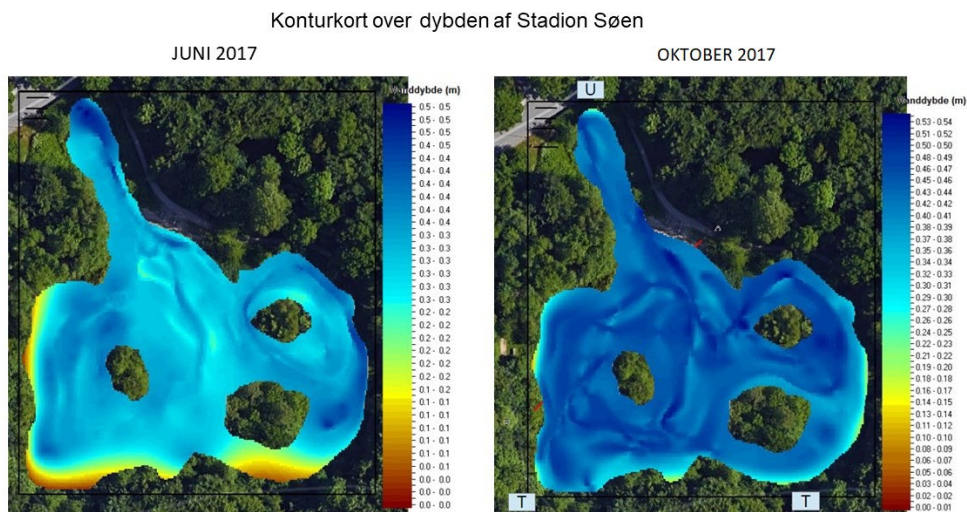
3.4 Georadarundersøgelse

Georadarundersøgelse blev udført i Stadion Søen, Elmegårdsvej B663 og Anelystvej B647 før (juni 2017) og efter (juni 2018) tilsætning af bakterierne.

Resultaterne fra Flemming Barlachs rapport er vist nedenfor:

STADION SØEN

Der var tre georadarundersøgelser i Stadion søen, den første var i juni 2017, den anden i oktober 2017 og den sidste i juni 2018. Figur 34 nedenfor viser konturkortet over dybden af søen målt i juni 2017 og oktober 2017. Vanddybden er generelt dybere i oktober 2017 end i juni 2017.



Figur 34: Konturkort over dybden af Stadion Søen – Georadarundersøgelse i juni og oktober 2017 (Fra Flemming Barlachs rapport).

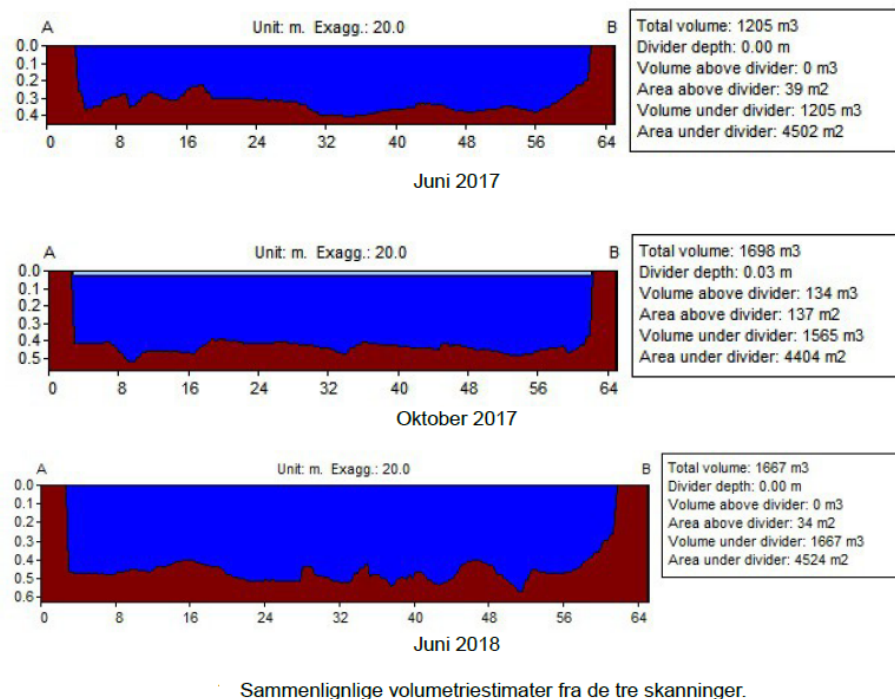
Figur 35 viser sejlruterne på søen. I de sydøstlige hjørne af figur 35 var der ingen muligheder for sejlads på grund af tilkastede grene og lav vandstand. Der kan ses 3 stjerner markeringer, hvor der blev målt sigtbarhed i vandet med en Secchi-disken. I den nordlige del af søen var sigtbarheden 40 cm, i midten 30 cm og i den sydlige del 28 cm. Det er i den sydlige ende af søen, der findes to tilløb, og afløbet finder man i den nordlige ende. Endvidere blev der målt sødybder med Secchi-disken 13 steder langs sejlruterne til støtte for tolkningerne af radardata med hensyn til søbund.



Sejlruiter.

Figur 35: Sejlruiter på Stadion Søen i juni 2018 (fra Flemming Barlachs rapport).

Volumetri



Figur 36: Bathymetrisk kort over Stadion Søen i juni og oktober 2017 (Fra Flemming Barlachs rapport)

Figur 36 viser det samme tværsnit af søen for juni 2017, oktober 2017 og juni 2018 sammen med volumetrien for de tre skanninger. Man bemærker overhøjningen på 20 gange for tværsnittene. Det viser desuden det ekstra vandlag, der angiver den højere vandstand i oktober 2017.

Arealerne

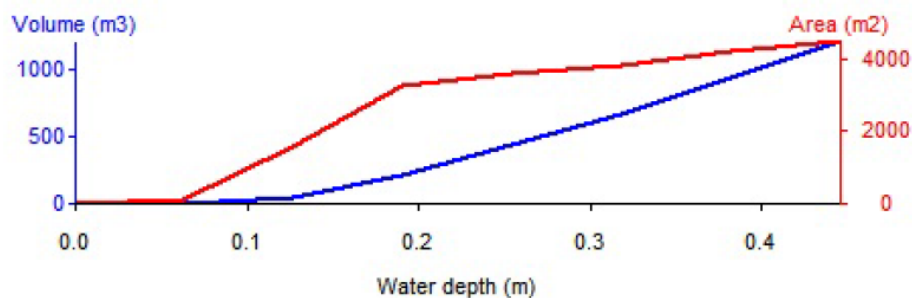
Arealet af den omkransende polygon i Figur 35 fratrukket arealet af de tre øer i søen er på ca. 4500 m². Siden den 3 cm højere vandstand i oktober 2017 kun bevirker ca. 137 m² mindre arealdækning, kan man ud fra dette konkludere, at søen er anlagt. Det vil sige, at der er udgravet lodrette søkanter. En sø med svagt hældende søkanter vil påvirkes mere arealmæssigt af ændret vandstand.

Volumerne

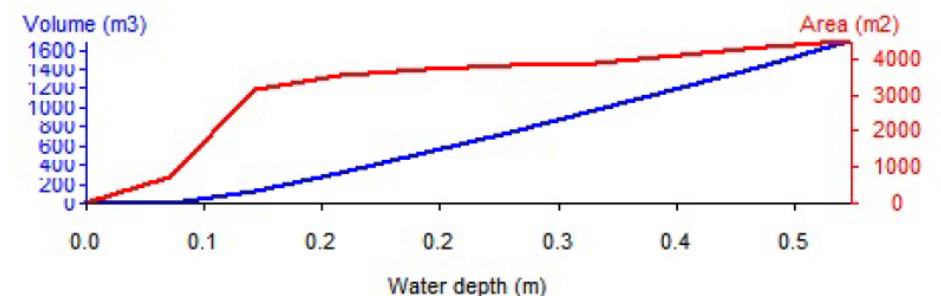
Det totale volume i oktober 2017 er på ca. 1700 m³ og for juni 2017 er det ca. 1200 m³. Forskellen er på 500 m³. Fra det skal trækkes de 134 m³, som stammer fra den højere vandstand. Det giver ca. 366 m³.

Det kunne altså tyde på, at der er mere vand i søen i oktober 2017 end i juni 2017 korrigeret for højere vandstand. En mulig forklaring på dette, kunne være en sænkning af søbunden som følge af omsætning af bio-materiale.

Enten det eller at radarsignalerne har et lidt andet udtryk for identifikationen af begrebet 'søbund'. Uanset, så ser det ud som om, at søbundens tilstand har ændret sig.



Volume, arealdækning og vanddybde i juni.



Volume, arealdækning og vanddybde i oktober.

Figur 37: Volume, arealdækning og vanddybde i juni og oktober 2017 i Stadion Søen (Fra Flemming Barlachs rapport)

Grafer i Figur 37 er beregnet ud fra de bathymetriske kort for juni- og oktoberskanningerne. Figuren viser, hvad der sker, hvis man tømmer søen for vand, og derefter fylder vand i den, samtidig med at man måler de tre parametre.

Den røde kurve angiver det areal, der bliver dækket af vand under opfyldning. Man kan se, at 'knækket' kommer lidt før for oktoberskanningen sammenholdt med, at volumeændringen ikke udviser forskel fra juni til oktober. Dette kunne pege på et lille 'kollaps' af bunden fra juni til oktober. Arealet af bunden bliver hurtigere dækket af vand under opfyldning. Til sammenligning vil et fladbundet kar vise pludselig 100% arealdækning samtidig med en lineær stigning af volumen.

Konklusioner vedrørende radartolkningerne i Stadion Søen

Der er mere vand i søen et år efter bakteriebehandlingen. Tager man den manglende data-dækning i enderne af søen i 2018 med i betragtning, er der mere vand i søen i juni 2018, end der var i juni og oktober 2017 (korrigeret for variationer i relativ vandstand). Dette kunne tyde på sænket søbund.

Der er ingen tegn på erosionskanaler i søbunden, der direkte forbinder tilløb med afløb. Dertil er gennemstrømningen af vand for ringe.

Der er konstateret en blivende effekt af bakteriebehandlingen fra juni 2017 til juni 2018 med hensyn til algevækst (ingen efter behandlingen) samt af søens vandvolume.

ELMEGÅRDSVEJ B663

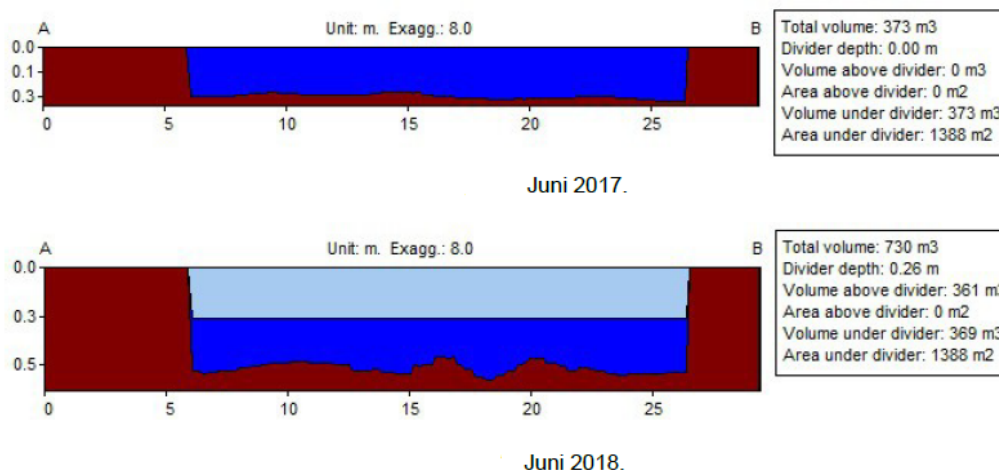
Figur 38 viser sejlruiter i Elmegårdsvej B663 både i juni 2017 og 2018. Da vandstanden var meget lav i juni 2017, var kun georadarundersøgelsen udført på en del af regnvandsbassinet. Da man skulle sammenligne vandvolumen af regnvandsbassinet før og efter tilsætning af bakterier, blev der besluttet at man ville tage det samme fokusområde i juni 2018.



Sejlruiter. Venstre: juni 2017. Højre: juni 2018.

Figur 38: Sejlruiter i Elmegårdsvej B663. Til venstre er det sejlruiter fra juni 2017 og til højre fra juni 2018. Vandvolumen blev sammenlignet mellem de to polygoner (fokusområde). Den røde linje angiver tværsnit hvor vandvolumen er sammenlignet. De tre stjerner angiver hvor der blev målt sigtbarhed (fra Flemming Barlachs rapport).

Volumetri



Figur 39: De to tegninger viser det samme tværsnit i Elmegårdsvej B663 (røde linje i Figur 38). Volumetrien (til højre) gælder for fokusområdet vist i Figur 38 (fra Flemming Barlachs rapport).

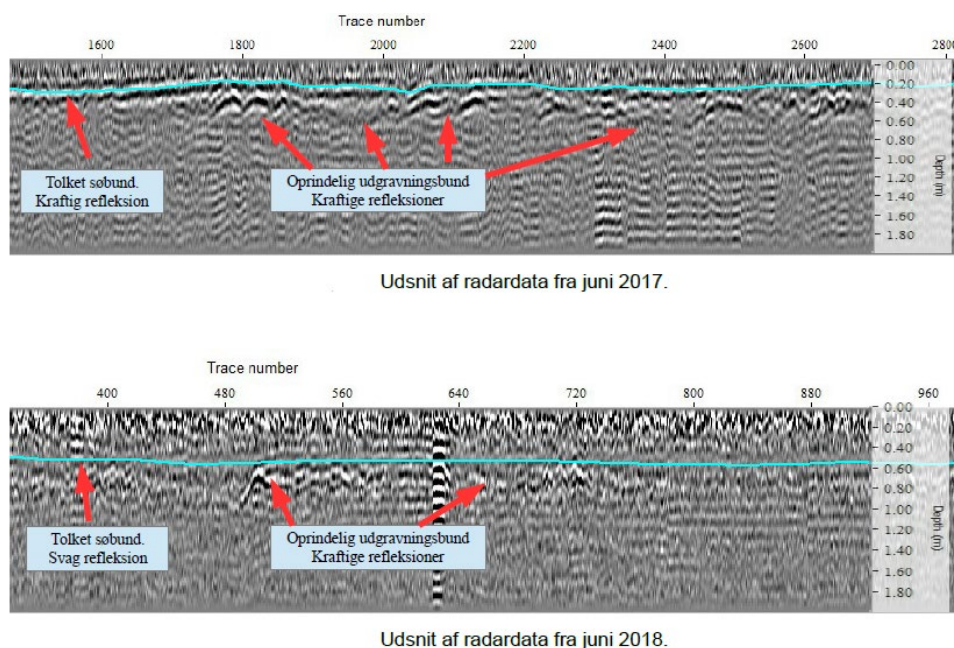
Den laveste tegning i Figur 39 viser den hævede vandstand (lyseblå). Man kan se, at der er dobbelt så meget vand i 2018 end i 2017 i søen. Ved 'Volume under divider' ses, at der er den samme mængde vand i fokusområdet i 2018 som i 2017 korrigeret for vandstandshævnningen.

Det betyder, at der ikke kan detekteres indsynkning af søbunden i fokusområdet. Det falder godt i tråd med de observationer, man kan gøre ude fra bundstrukturen af søen på basis af radarbillederne (Figur 40). Der er ikke et metertykt sedimentlag af bio-materiale de fleste steder.

Der blev observeret noget relevant med hensyn til bundforholdene fra juni 2017 til juni 2018. Figur 40 viser udsnit af radardata fra nogenlunde det samme sted i fokusområdet. Den blå kurve er den tolkede søbund.

Forskellen i dybden af den tolkede søbund skyldes vandstanden, som blev hævet for at lette sejling på regnvandbassinet. En forklaring på den svagere refleksionsstyrke af den tolkede søbund i Figur 40 (nederste) er, at refleksionskoefficienten ved overgangen fra vand til sediment (søbund) er meget mindre. En geofysisk tolkning af dette kunne være, at der fra 2017 til 2018 er aflejret et tyndt sedimentlag. Dette lag udgør nu en overgangszone fra vand til ukomprimeret sediment. Derved udviskes den skarpe overgang fra vand til et noget meget tæt bundmateriale. Jo søttrere den forstand ligner søen nu mere skovsø, hvor der normalt er et tykt sedimentlag på bunden. De kraftige refleksioner fra den oprindelige udgravning skyldes større forskelle i materialerne i overgangen.

Sammenholdt med den kraftige afgang af lugtfri gas i det øverste lag, kunne det formodes, at der nu eksisterer et sedimentlag (som godt kan være oppustet af gas) hvori gas er fanget. Det kunne ikke observeres i juni 2017.



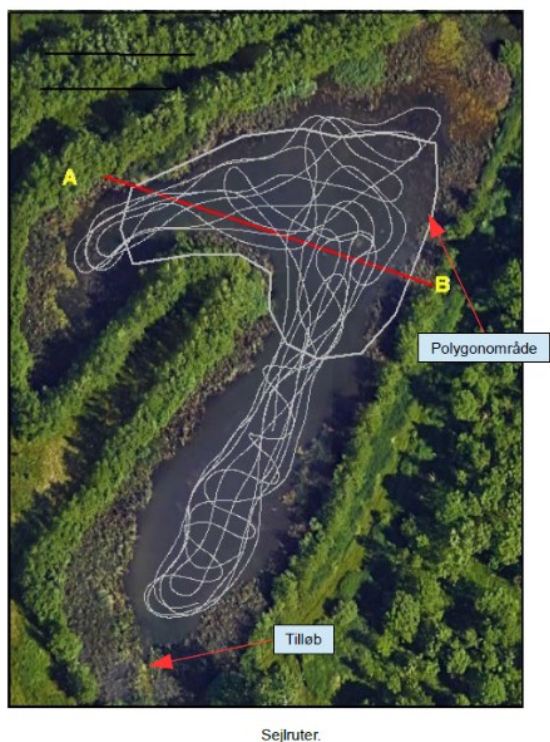
Figur 40: Udsnit af radardata fra juni 2017 (øverst) og fra juni 2018 (nederst) (fra Flemming Barlachs rapport).

Denne sø får tilført mindre løvfald om efteråret end Stadion Søen. Det afspejler sig i det tynde sedimentlag i søen. Det forhold at søen er vandstandsreguleret til et lavt niveau størstedelen af tiden, kunne formodes at have indflydelse af de biologiske processer i bundforholdene, da koncentrationen af stoffer i søen er højere ved lav vandstand.

ANALYSTVEJ B647

Sejlruter og polygonområdet kan ses i Figur 41. Der har været nogle udfordringer vedrørende sejling i juni 2017 på grund af den tætte vegetation i regnvandbassinet på dette tidspunkt. For

at sammenligne vandvolumen før og efter tilsætning af bakterierne skulle der derfor defineres et fokusområdet ("polygonområdet").

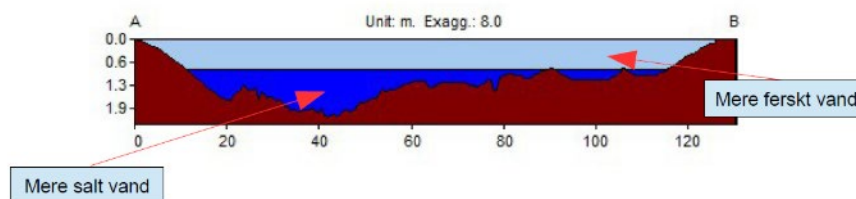


Figur 41: Sejlruterne for skanningerne i Anelystvej B647, et tværsnit A-B samt et polygonområde, der er brugt til sammenligning med juni 2017 skanningerne. Det ser ud som om, at polygonkanten befinder sig på land visser steder, men det skyldes vinklen, hvorunder luftfotoet er taget – der er løvudhæng. Man kan se, at der fortrinsvis er sejlet inde på midten af søen. Det skyldes en del vissent plantemateriale i vandet langs søbredden (fra Flemming Barlachs rapport).

Der er vist to vandlag i Figur 42. Det har vist sig, at gennemtrængningen af radarsignalerne i de dybere dele af søen slet ikke var lige så god som i juni 2017. Det var ikke muligt at se bunden i venstre halvdel af Figur 42 i april 2018, hvorimod den var synlig på radarbillederne i juni 2017.

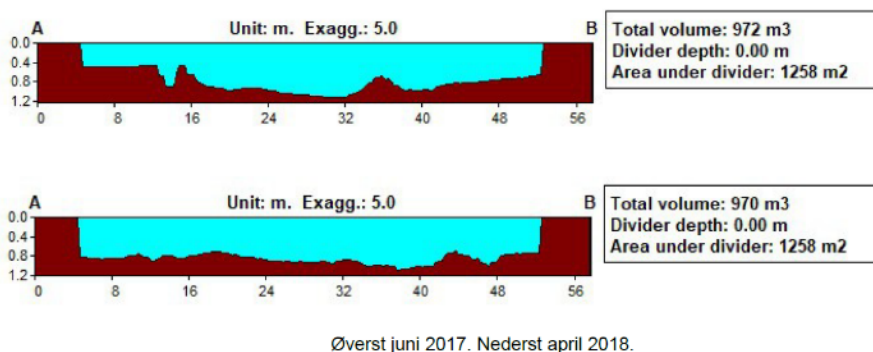
En mulig forklaring på dette fænomen kan være sæsonvariationen i indholdet af vejsalt i vandet. Salt vand er tungere end ferskt vand, og vil derfor synke til bunds. Når radarsignalerne når ned til vandet med højere saltindhold, dæmpes de meget kraftigt. Der har ikke været omrøring nok til få homogeniseret saltindholdet og senere at fjerne det via afløbet eller får det fortyndet med regnvand (Vandlagsfordelingen er fiktiv).

Saltvand er elektrisk ledende, og vil derfor virke som en skærm mod radiobølger. Der er derfor sammenlignet dækning og gennemtrængning for de to målekampagner for at finde et delareal, hvor sammenligning var mulig. Det er repræsenteret i området inden for polygonen i Figur 41.



Figur 42: Det viser en profil af søen lavet på basis af juni 2017 målingerne. Venstre side i fig. 2 er tæt på tilløbet til søen (fra Flemming Barlachs rapport).

Figur 43 viser samme søprofil med tilhørende volumen og areal. Selvom man kan se forskelle i profilerne, er vandvolumenerne de samme. Forskellene i profilerne kan skyldes forskelle i sejlruerne. Da volumen af vand i søen inden for polygonen i Figur 41 er den samme, og da den relative vandstand i søen er uændret fra 2017 til 2018, **må vi konkludere, at der inden for polygonen ikke kan detekteres en signifikant ændring af bundforholdene fra 2017 til 2018.**



Figur 43: De to tegninger viser samme søprofil med tilhørende volumen og areal i juni 2017 (øverst) og i april 2018 (nederst) (fra Flemming Barlachs rapport).

Usikkerheder

Usikkerheder på volumetriestimaterne hænger uløseligt sammen med tolkningerne af radar-signalerne. Systematiske fejltolkninger vil have stor indflydelse på volumetrien. Sporadiske fejltolkninger har kun underordnet betydning. Da selve begrebet 'søbund' er vanskeligt at håndtere radarmæssigt, bør man derfor opfatte resultaterne i denne rapport som retningsgivende.

3.5 Biodiversitet

STADION SØEN

Resultater af overvågning i Stadion Søen er præsenteret i Tabel 20.

Plante- og dyrediversiteten er dårlig. Der blev fundet larver af *Chironomus* sp., som findes normalt i slammet. Denne dårlige mangfoldighed kan skyldes den dårlige vandkvalitet og den store mængde organisk materiale (fx akkumulering af døde blade).

Efter tilsætning af bakterier, har overvågning i oktober 217 ikke vist nogen ændringer i artsdiversiteten. Overvågning skulle gentages om foråret-sommeren for at sammenligne data på samme tidsperiode.

TABEL 20. Artsregistrering før (juli 2017) og efter (oktober 2017) tilsætning af bakterier i Stadion Søen.

FØR TILSÆTNING AF BAKTERIER	EFTER TILSÆTNING AF BAKTERIER
Planter	De samme arter blev fundet efter tilsætning af bakterierne. Der blev observeret ændringer der kom til søen.
Rød-el (dominerende)	Det er for tidligt for at sige at man kan observere enhver succession.
Bånd-pil	
Tagrør	
Dyr	
<i>Chironomus</i> sp.(larver)	
Fisk	

ELMEGÅRDSVEJ B663

Resultater af overvågning i Elmegårdsvej B663 er præsenteret i Tabel 21.

De identificerede planter er dem, der normalt identificeres i næringsrige vand. Plant- og dyreliv er ringe. De kan skyldes den høje indkomst af næringsstoffer og forurenende stoffer. Dette regnvandsbassin skal oprenses for at undgå tilgroning.

Efter tilsætning af bakterier, har overvågning i oktober 217 ikke vist nogen ændringer i artsdiversiteten. Overvågning skulle gentages om foråret-sommeren for at sammenligne data på samme tidsperiode.

TABEL 21. Artsregistrering før (juli 2017) og efter (oktober 2017) tilsætning af bakterier i Elmegårdsvej B663.

FØR TILSÆTNING AF BAKTERIER	EFTER TILSÆTNING AF BAKTERIER
Planter	Efter tilsætning af bakterier fandt vi mindre liden andemad.
Liden andemad (50-100%)	Vedrørende dyrene, blev der observeret ingen arter bortset fra ænder.
Rørsumpvegetation – Tagrør (50-100%)	
Svømmende vandaks	Det er for tidligt for at sige at man kan observere enhver succession.
Gråpil	
Manna-søgræs	
Dyr	
Almindelig vandnymfe (flyvende)	
Blå mosaikguldsmed (flyvende)	
Butsnudet frø (ved siden af regnvandsbassinet)	

ANELYSTVEJ B647

Resultater af overvågning i Anelystvej B647 er præsenteret i Tabel 22.

De identificerede planter er dem, der normalt identificeres i næringsrige vand. Plant- og dyreliv er moderat. De kan skyldes den indkomst af næringsstoffer. Dette regnvandsbassin skal oprenses for at undgå tilgroning.

Efter tilsætning af bakterier, har overvågning i oktober 217 ikke vist nogen ændringer i artsdiversiteten. Overvågning skulle gentages om foråret-sommeren for at sammenligne data på samme tidsperiode.

TABEL 22. Artsregistrering før (juli 2017) og efter (oktober 2017) tilsætning af bakterier i Anelystvej B647.

FØR TILSÆTNING AF BAKTERIER	EFTER TILSÆTNING AF BAKTERIER
Planter	Efter tilsætning af bakterier blev der ikke observeret nye arter.
Liden andemad (5-25%)	Det er for tidligt for at sige at man kan observere nogen succession.
Trådalgeplamager (1-5%)	
Rørsumpvegetation (bredbladet og smallbladet dunhammer) (25-50%)	
Svømmende vandaks	
Bånd-pil	

Dyr
Alm. Vandnymfe (flyvende)
Alm. Mosesnegle (fra dæknet)
Stor mosesnegle (fra dæknet)
Stor Vandkalv (fra dæknet)
Blishøne

3.6 Vejrforhold

Middeltemperatur, nedbørsum og solskinsum igennem hele testperioden (2017) blev opsummeret i Tabel 23.

Vedrørende middeltemperatur mellem maj og oktober 2017, er gennemsnit 14,75 grader i København og 13,48 grader i Aarhus. Disse lave temperaturer kunne have påvirket bakteriens effektivitet ved nedbrydning af det organiske materiale.

Vedrørende solskinsum mellem maj og oktober 2017, er gennemsnit 175,72 timer i København og 165,60 timer i Aarhus. Jo mere solrige dage man ville have, jo varmere vandtemperaturen kunne få, desto mere effektive vil bakterierne være. Her for eksempel solskinsum i juni 2018 i Aarhus (300,5 timer) er meget højere end i juni 2017 (184,1 timer).

Vedrørende nedbørsum mellem maj og oktober 2017 er gennemsnit 175,72 mm i København og 165,60 mm i Aarhus. Man kan se en stor forskel mellem nedbørsum i Aarhus i juli 2018 (11,3 mm) og i juli 2017 (72,0 mm). Regnvandet kunne have lettet bakteriernes skylning til udløbet.

TABEL 23. Middeltemperatur, nedbørsum og solskinsum i Aarhus og København kommuner fra perioden maj indtil oktober 2017 (fra DMI data).

	2017							2018		
	Maj	Juni	Juli	August	September	Oktober	Gennemsnit igennem hele testperioden	Maj	Juni	Juli
Middeltemperatur (°C)										
København	13,1	16,1	16,6	17,3	14,1	11,3	14,75	16,1	18,4	21,2
Aarhus	11,9	14,5	15,3	15,7	12,8	10,7	13,48	14,9	16,4	19,4
Nedbørsum (mm)										
København	17,9	87,9	99,6	88,2	118,4	88,5	83,42	10,2	20,0	9,1
Aarhus	24,1	108,6	72,0	77,6	93,3	82,0	76,27	18,4	21,2	11,3
Solskinsum (timer)										
København	247,4	204,1	191,5	203,3	137,2	70,8	175,72	359,0	311,4	346,1
Aarhus	239,4	184,1	193,5	177,5	114,5	84,6	165,60	365,2	300,5	351,6

4. Konklusioner og perspektiver

4.1 Konklusioner

Formålet med dette projekt var at teste effektiviteten af at tilsætte bakterier i åbne farvande som regnvandsbassiner og urbane søer for at reducere det organiske materiale, der er til stede i sedimentlaget, men også for at forbedre vandets gennemsigtighed, økologiske tilstand og reducere de ubehagelige lugte, der er ofte forårsaget af slammet.

Der blev defineret et overvågningsprogram for at vise de potentielle virkninger af bakterierne i to regnvandsbassiner og en urban sø ved Aarhus.

Vandprøver blev optaget for at sikre, at bakterierne ikke havde en negativ virkning på recipienten.

Sedimentprøver blev optaget for at vise blandt andet ændringer i næringsstofkoncentrationen, koncentrationen af organisk stof, og koncentration af PAH-forbindelser og tungmetaller.

En del af vores måleprogram var også at lave georadarundersøgelser før og efter tilsætning af bakterier, for at sammenligne vandmængder. En stigning af vandvolumen kan forklares af en sænkning af søbunden da man sammenligner fra samme vandstand.

Ud over disse målinger blev der registreret den nuværende biodiversitet og lavet målinger af Secchi-dybden. Vores observationer i felten, som f.eks. lugtændringer, blev også noteret. Alle målingerne blev udført før (juni-juli 2017) og efter (oktober 2017) tilsætning af bakterier.

Vedrørende den valgte sø i København, har vi brugt et undervandsvindue, der viser søbunden. På denne måde kunne vi måle sedimentlaget før og efter tilsætning af bakterier. Secchi-dybden blev også målt sammen med ændringer i vegetationen.

Konklusioner vedrørende vand- og sedimentprøverne

- Da vand og sediment prøverne er for de fleste af dem **stikprøver**, er det ikke muligt at påvise statistisk signifikante forskelle fra analyserne.
- **Vandprøver: Ingen større ændringer i parametrene** målt før og efter tilsætning af bakterierne i Stadion Søen, Elmegårdsvej B663 og Anelystvej B647.
- Der er behov for **at gentage vandprøverne** i samme periode i juli 2018 og oktober 2018 for at kunne sammenligne parametrene. Vi kunne forvente f.eks. mere denitrifikation i juli måned, med mindre nitrat i vandområderne.
- **Sedimentprøver: Ingen bemærkninger vedrørende ændringer i relativ organisk materialindholdsfortegnelse.**

Konklusioner vedrørende georadarundersøgelser og observationer i felten

Der blev observeret et højere vandvolumen i Stadion Søen, hvilket betyder, at bakterierne potentielt kunne have reduceret sedimenttykkelsen. Da TOC målt i vandet ikke er steget, tror vi ikke, at sedimentet er blevet reduceret på grund af resuspension.

Konklusioner i Stadion Søen

1. Der er **mere vand i søen** et år **efter tilsætning** af bakterier. En mulig forklaring på dette, kunne være en sænkning af søbunden.
2. Der er konstateret en blivende effekt af bakteriebehandling fra juni 2017 til juni 2018 med hensyn til **algevækst** (mindre efter behandlingen) samt af søens vandvolumen.
3. **Afgasningen fra bunden** af søen i juni 2018 er sunket til **et meget lavere niveau** end i oktober 2017. Dette kan skyldes at omsætningen af biologisk materiale har toppet (og dermed har fundet sted). Dette kunne tyde på at søens bund er faldet lidt sammen fra juni 2017 til juni 2018 jævnfør volumetrien.
4. **Lugten** forsvandt efter tre uger.
5. **Vandgennemslægtighed er forbedret** (fra min ca 20 cm til max ca 40 cm).

Konklusioner i Elmegårdsvej B633

Elmegårdsvej har undergået nogle forandringer fra juni 2017 til juni 2018:

1. Den klistrende substans i søen er næsten helt borte (observation)
2. Der er udviklet et tyndt bundlag (udledt af geofysiske data)
3. Der er **udvikling af lugtfri gas** i dette lag (observation) og **fjernelse af lugten** efter tre uger
4. Der er **mindre plantevækst** i søen (især liden andemad) (observation)
5. Søen har skiftet farve (observation)
6. **Vandgennemslægtighed er forbedret** (fra ca 20-25 cm til ca 55-60 cm)

Konklusioner i Anelystvej B647

1. Ingen ændringer i vandvolumen efter tilsætning af bakterierne.
2. Der er et **for højt indhold af vejsalt i søen**, specielt i de dybere dele i april 2018. Derfor kan **radarsignalerne ikke nå bunden** der, og vi har ingen data for de dybere dele af søen.
3. Den totale vandmængde i søen kan godt være forandret fra 2017 til 2018, men vi kan ikke måle den.
4. På grund af de store mængder af vandplanter i juni 2017, der bevirkede **falske refleksioner af radarsignalerne**, er der mange steder i juni 2017 skanningen, hvor data-dækningen er ringe. Datadækningen i det udvalgte areal (polygonen) er på grænsen for juni 2017 skanningen. Derfor er konklusionen, som den er.
5. **Vandgennemslægtighed er forbedret** (fra ca 50 cm til ca 115 cm)

Konklusioner i Living Lab i København

1. Sedimentlaget overvåget af vinduet er reduceret i januar 2018 men steg igen til næsten det samme lag præcis et år efter tilsætning af bakterier. Sedimentet kunne også have flyttet, hvilket ville betyde, at der kunne være mere eller mindre sediment foran det undersøgte vindue. **Vi kan ikke se en tydelig påvirkning af bakterierne på reduktionen af sedimentlaget i denne sø.**
2. **Vandgennemsigtighed er forbedret** (fra ca 10-15 cm til ca 60 cm)

Vandtemperaturen, kunne have haft effekt på bakterieeffektiviteten og derfor gøre nedbrydningen af organisk materiale proces langsommere.

Vedrørende metoden

Produktet har tydeligt vist nogle virkninger vedrørende fjernelse af lugt og forbedring af gennemsigtigheden af vand. Det kan også begrænse algevæksten.

Derfor kan vi forestille os, at disse bakterier kunne bruges igen på andre steder, helst i naturlige eller urbane søer, hvor der vil være en vis rekreativ værdi omkring dem. Fjernelse af lugt kunne faktisk gøre søer mere attraktiv til fritid.

Derudover, viste vi en reduktion af sedimentlaget i en sø ud af 4, nemlig i Stadion søen, hvor sedimentet sænkede mellem 5 og 8 cm i gennemsnit.

Der er potentielt et behov for at genoverveje mængden af bakterier, der skal tilsættes, for eksempel ved at lave en anden forårs- sommerbehandling i en periode på 4-6 måneder, og juster mængderne afhængigt af de første observationer i hvert tilfælde.

For at vælge den rigtige behandling er det nødvendigt at foretage en vurdering af hvert vandområde, inden bakterierne tilsættes for at sikre, at disse ville få nok organisk stof at nedbryde.

Dette demonstrationsprojekt har allerede vist nogle lovende foreløbige resultater, som kan bruges som et godt grundlag for at prøve denne metode til andre steder.

Ud af dette projekt, blev der skabt et nyt firma, Microbes.dk, som ejer bakterierne.

Amphi International ApS vil stå som konsulent og i vurdering af vandområderne, som skal oprenses. MUDP projektet gav os mulighed til at afprøve metoden og se mere om effektiviteten af bakterierne. Denne viden vil være afgørende for at tilpasse vores metode til de fremtidige vandområder, der skal behandles.

4.2 Perspektiver

Stadion Søen er dog den eneste sø, som har vist nogle tydelig ændringer omkring reduktionen af sedimentlaget efter tilsætning af bakterier.

Mikroorganismer har et stort potentiale i søerne, der er placeret f.eks. ved byen, og hvor lugt kan blive ubehageligt for beboere, og hvor vandgennemsigtighed kan forbedres.

Vores strategi bliver først og fremmest målrettet mod kommuner og private ejere, der vil ønske at bruge mere deres søer som en rekreativ værdi, og hvor fjernelse af lugt og forbedring af vandgennemsigtighed kan være de største prioriteter.

Vores erfaringer med oprensning af vandhuller har imidlertid vist, at fjernelse af slam kan føre til en væsentlig forbedring af vandområdet, især ved at forbedre de økologiske forhold.

Man findes disse bakterier allerede i det danske miljø. Deres effektivitet kan reduceres på grund af forskellige faktorer, f.eks. en lav vandtemperatur, en lav mængde ilt til rådighed. Denne

reduktion af effektivitet kan føre til et væsentlig fald i mængden af bakterier. For at undgå op-hobning af det organiske stof i en sø, vil tilsætning af bakterier (både anaerob og aerob) hjælpe med de allerede tilstedeværende bakterier og genaktivere dem.

Baseret på vores 30 års erfaring i oprensning af vandområderne, vil vi kombinere rådgivning med tilsætning af bakterierne for at forbedre de økologiske forhold.

Dette produkt har et stort potentiale for at blive implementeret på andre steder. Regnvands-bassiner indsamler næringsstoffer og forurenende stoffer fra de omkringliggende områder (f.eks. byer). Urbane søer er også udsat for tæt menneskelig aktivitet. Således er eutrofiering en tilbagevendende situation, hvor det uundgåeligt er nødvendigt at tage handlinger.

Flere og flere byer udfører regnvandsbassiner for klimatilpasning i byområder for at forbedre regnvandshåndtering under store nedbør. Biodiversitet skaber merværdi, som kan indgå i op-bygning af regnvandsbassiner. Dermed kan oprensning af regnvandsbassiner og urbane søer være vigtigt til forskellige formål.

Da disse bakterier allerede vist en positiv effekt på vandområderne i USA, og nu foreløbige positive resultater i Danmark, har vi til formål at eksportere dette produkt i andre lande, hvor Amphi International ApS har to datterselskaber, nemlig i Polen og Tyskland.

En artikel om projektet blev offentliggjort i Ingeniøren den 17. marts 2017⁹.

⁹ <https://ing.dk/artikel/mikroorganismer-kan-spare-millioner-rens-regnvandsbassiner-195584>

Restaurering af urbane søer og regnvandsbassiner ved anvendelse af mikroorganismer

Dette er slutrapporten for projektet "Restaurering af urbane søer og regnvandsbassiner ved anvendelse af mikroorganismer" under Miljøstyrelsens tilskudsordning "MUDP 2016". Projektet havde til formål at afprøve en ny metode til oprensning af urbane søer og regnvandsbassiner med bakterier, især ved at fjerne det akkumulerede slam. Denne metode kan være et alternativt til de mekaniske og kemiske oprensningsmetoder. Tilsætning af bakterier kunne også begrænse forstyrrelser af biodiversiteten, fjerne lugten, der kan frigives fra søbunden, og forbedre vandgennemslugtighed. Der blev etableret et måleprogram for at vise virkningen af bakterier i 4 vandområder ved Aarhus og København.

Resultaterne af projektet viste en fjernelse af lugten og en forbedring af vandgennemslugtighed. Der blev konstateret en reduktion af sedimentlaget i en sø i Aarhus og en reduktion af plantedækning blev observeret på nogle af de testede steder.



Miljøstyrelsen
Haraldsgade 53
2100 København Ø

www.mst.dk