

# Reduktion af metanogenese med mikrobielle brændselsceller



*NAT*

*Spirer: Marisela Lopes*

*Herningsholm Erhvervsskole og gymnasier HTX*

## Indholdsfortegnelse

<b>1.0 Indledning</b> .....	<b>2</b>
<b>2.0 Problemformulering, formål og relevans</b> .....	<b>2</b>
<b>3.0 Afgrænsning</b> .....	<b>3</b>
<b>4.0 Teori</b> .....	<b>4</b>
<b>5.0 Metoder</b> .....	<b>4</b>
5.1 Konstruktion af mesocosm .....	5
5.2 Konstruktion af elektroder .....	5
5.2 Metan analyser .....	6
5.3 Analyse af mikrobielle samfund .....	7
5.4 Måling af potentiale .....	7
<b>6.0 Udførsel og fremgangsmåde</b> .....	<b>8</b>
<b>7.0 Budget og tidsplan</b> .....	<b>10</b>
<b>8.0 Diskussion og perspektivering</b> .....	<b>12</b>
<b>9.0 Taksigelse</b> .....	<b>12</b>
<b>Bibliografi</b> .....	<b>13</b>

## 1.0 Indledning

Global opvarmning og de resulterende antropogeniske klimaændringer er et yderst aktuelt problem i det 21. århundrede. Problemet er så stort, at EU i juni 2021 vedtog *the European Climate law*.

Denne lov indebærer, at Europas økonomi og samfund bliver  $CO_2$ -neutral ved 2050 (EU, u.d.).

Vedtagelsen af denne lov viser, at der er et stort behov for at reducere Europas  $CO_2$ -udslip. Det er dog ikke kun  $CO_2$ -udslippet som EU arbejder på at reducere. EU har nemlig brugt midler på at undersøge hvilken rolle søer har for global opvarmning (Cordis, 2021). Det er nemlig sådan, at søer emitterer metan ( $CH_4$ ), der er en drivhusgas som er 25 gange mere potent end  $CO_2$ .

Det udledte metan bliver produceret af metan-producerende mikroorganismer kaldet metanogener under en proces kaldes metanogenese. Metanogenese er en anerobisk respiration, hvor  $CO_2$  reduceres til  $CH_4$ . Metanogenerne tilhører domænet *archaea*, og lever kun under yderst anoxiske (iltfrie) forhold (Ly, Shao, Akinyemi, & Whitman, 2018) ved et redoxpotentiale på -300 til -400 mV (Hirano, Matsumoto, Morita, Sasaki, & Ohmura, 2013). Redoxpotentiale er et mål for, hvor villig en organisme er til at modtage eller afgive elektroner til en elektrode, og dermed blive enten reduceret eller oxideret.

Det viser sig, at man kan øge redoxpotentialet ved brug af sediment mikrobielle brændselsceller (SMFC).

I Søllerød sø har et hold forskere fra DTU, allerede succesfuldt installeret SMFC og øget redoxpotentialet i sedimentets øverste lag (Haxthausen, et al., 2021). De har fokuseret deres undersøgelser på fosforreduktion.

Dette forskningsprojekt vil undersøge, hvorvidt SMFC kan anvendes til at øge redoxpotentialet til et niveau, der udkonkurrer metanogener og dermed reducerer metanogenese i ferskvandssøer.

## 2.0 Problemformulering, formål og relevans

Ifølge basisanalyser af danske søer og vandløb foretaget af miljøstyrelsen, lever kun ca. 25% op til EU's vandmiljøkrav (Rothenborg, 2021). Herudover antages det, at rigtig mange danske søer dør med temporale lagdelinger om sommeren. Dette betyder, at der opstår anoxiske lag i bundvandet (nederste vandlag), da vandet i vandsøjlen ikke blandes (Søndergaard, et al., 2022). Det anoxiske miljø i bunden af søen, skaber gode forhold for metanogener. Man ser derfor en betydelig forøgelse af  $CH_4$  koncentrationen (Søndergaard, et al., 2022), hvilket ikke er fordelagtigt. Da mange danske søer potentielt er lagdelte, forekommer der muligvis meget metanogenese i danske ferskvandssøer.

En anden faktor der har en betydning for metanogenernes forekomst er redoxpotentiale. Ved at hæve denne fra -300/400 mV, skabes et miljø der potentielt udkonkurrerer metanogenerne.

Spørgsmålet er nu:

*Kan sediment mikrobielle brændselscellers evne til at øge sedimentets redoxpotentiale, anvendes til at reducere metanogenese i ferskvandssøer?*

Formålet med forsøget er herved at installere SMFC i en ferskvandssø, hvorefter bl.a. metan og mikrober i sedimentet vil analyseres. Herudover vil ændring i sedimentets redoxpotentiale indirekte estimeres vha. en referenceelektrode.



Figur 1: Princippet bag forskningsprojekt

### 3.0 Afgrænsning

Forskere i Korea har før arbejdet med at kontrollere metanemission fra en kunstig sø ved at bruge SMFC (Kyung-Guen, Jeon, Sunghyun, & Kim, 2012). Trods de lignende formål, er mit forskningsprojekt ikke det samme. Jeg vil bl.a. etablere SMFC i en naturlig, eutrof (næringsrig) ferskvandssø, og vil desuden indirekte måle sedimentets redoxpotentiale samt analysere artssammensætningen af mikrober i sedimentet. Herudover vil jeg arbejde i mesocosms placeret i en ferskvandssø, for at isolere miljøet og samtidig vedholde den økologiske validitet. Desuden vil elektroderne i de SMFC være konstrueret i stål, som dem etableret i Søllerød sø (Haxthausen, Sediment microbial fuel cells for lake restoration, 2021).

Grundet til budgettet, vil jeg ikke undersøge hvordan SMFC påvirker andre forhold i søen som  $N_2O$ - og  $PO_4^{3-}$  koncentrationen. Jeg vil derfor udelukkende fokusere på forhold der har betydning for metanogenese.

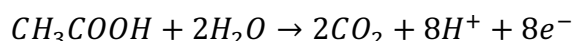
## 4.0 Teori

Mikrobielle brændselsceller (MFC) er en type bioelektrokemisk system, der udnytter elektroner produceret af mikrober, når de katalyserer redoxreaktioner til deres vækst og stofskifte (Haxthausen, 2021) (Algar, Howard, Ward, & Wanger, 2020). Almindeligvis foregår hele redoxreaktionen og dermed stofskiftet internt i celler. Der er dog en gruppe mikroorganismer der kan afkoble reaktionerne, og bruge objekter udenfor deres system som elektron-accepter. Det er disse såkaldte exoelektrogeniske mikrober, der anvendes i MFC (Haxthausen, 2021).

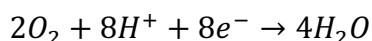
For at gøre dette, overføres elektroner produceret fra en oxidationsreaktion til en anode. Anoden fungerer her som en elektronaccepter for mikroberne i kontakt med anoden. Herefter vil elektronerne gå igennem det elektriske kredsløb og videre til katoden. Her vil en ny population af mikrober foretage en reduktion med elektronerne fået gennem katoden (Algar, Howard, Ward, & Wanger, 2020).

I dette projekt anvendes sediment mikrobielle brændselsceller.

Her optager anode-reaktionen sediment organisk materie (SOM) og vand, og producere  $CO_2$ ,  $H^+$  og elektroner:



Ved katoden forekommer så følgende reaktion:



Elektronerne ankommer til katoden gennem det elektriske kredsløb, mens hydronerne bevæger sig gennem elektrolytten (Haxthausen, 2021).

Anoden og katoden er forbundet med en extern modstand ( $R_{ext}$ ,  $\Omega$ ). Dette hjælper med at mindske strømstyrken ( $I$ ,  $A$ ), så de ønskede mikrober kan gro. Dette kan forklares ved Ohms lov:

$$I = \frac{U}{R}$$

Hvor  $I$  er strømstyrken,  $R$  er modstand og  $U$  er spændingsforskellen.

Herudover virker en høj elektrisk energiproduktion til udledning af forurenende stoffer, hvilket i denne sammenhæng ikke er favorabelt (Haxthausen, 2021).

## 5.0 Metoder

Forskningsprojektet tager udgangspunkt i den deduktive metode, hvor det undersøges, hvorvidt mikrobielle brændselsceller kan anvendes til at reducere metanogenese i naturlige og eutrofe

ferskvandssøer. For at øge den økologiske validitet, vil der blive konstrueret 6 mesocosms og disse skal placeres i en naturlig, eutrof ferskvandssø. På denne måde, vil man kunne isolere søens miljø in situ, og dermed undgå for mange forstyrrende variable. I de konstruerede mesocosms, vil miljøet tilnærmelsesvist være det samme som udenfor. Der vil blive lavet 3 kontrolforsøg uden SMFC og 3 forsøg med SMFC.

Kvantitative datamålinger af søens abiotiske og biotiske forhold skal foretages i mesocosms ved forsøgets start og slut. Dette gøres for kunne vurdere hvorvidt de mikrobielle brændselsceller har resulteret i en ønsket effekt. Af abiotiske forhold skal redoxpotentialet og uopløst- og opløst metan måles og analyseres. De biotiske forhold undersøges, ved at analysere og kvantificere artsammensætningen af mikrober i sedimentet med 16S rRNA og QPCR. Dette gøres for at undersøge hvorvidt metanogener udkonkurreres ved installeringen af mikrobielle brændselsceller.

### 5.1 Konstruktion af mesocosm

De 6 konstruerede mesocosms, vil være en *light-weight mesocosm raft system* af typen udviklet i aquasocm-plus projektet (Stockenreiter & Stibor, 2021). Dette skyldes, at det er et billigt og fleksibelt mesocosm platform system. Mesocosms vil blive konstrueret i henhold med vejledningen publiceret i en YOUTUBE video i 2021 af AQUACOSMplus profilen (AQUACOSMplus, 2021).

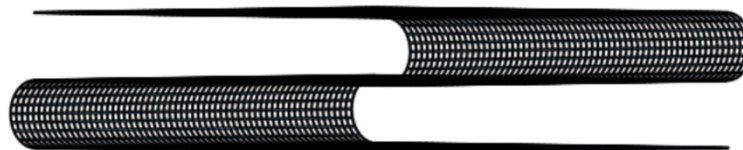


Figur 2: Billig og let mesocosm (Stockenreiter & Stibor, 2021)

### 5.2 Konstruktion af elektroder

Der skal konstrueres 6 stålelektroder til forsøget, 3 katoder og 3 anoder. Disse skal laves af et rustfrit stålnet, lavet af 1 mm AISI316 tråd, punktsvejset i 10x10 mm kvadrater (Filtertek A/S, Denmark). Materialevalg samt konstruktion er lavet på baggrund af et pilotprojekt foretaget af *DTU Enviroment, department of enviromental Engineering* (Haxthausen, 2021). Da de har foretaget test og optimeringer på materiale, placering, størrelse, form og afstand mellem elektroder, vil der bygges videre på deres fund. Der vil kun laves om på form og størrelse af elektroder, så de kan passe i de konstruerede mesocosms.

Jeg vil starte med at producere katoden der er et kvadrat med målene 69X69 cm. Herefter vil jeg lave anoden, der består af et net foldet 2 gange, så det danner 3 lag (se figur 3).



Figur 3: Anode tegnet i OnShape

Herefter vil jeg forbinde dem som beskrevet i 6.0 Udførsel og fremgangsmåde.

## 5.2 Metan analyser

Der vil i forsøget både måles opløst og uopløst metan. Dette skyldes, at metan både findes opløst i vandsøjlen og uopløst som metanbobler der stiger ud af vandsøjlen og op i atmosfæren.

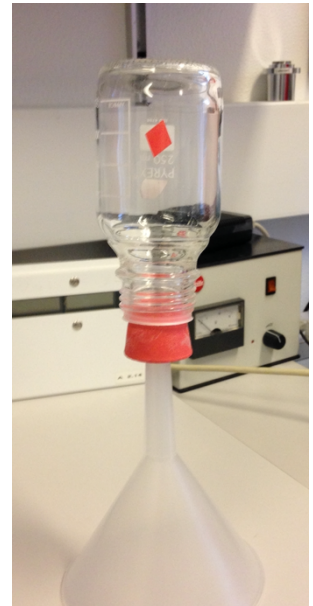
### *Opløst metan*

Jeg starter med at rense en 60 ml plastiksprøjte med vand fra prøveområdet. Herefter placerer jeg sprøjten ca. 20 cm under vandoverfladen i et område der ikke er i direkte sollys, og trækker langsomt 50 ml vand i sprøjten. Når prøven er taget, vender jeg sprøjten med tippet i vejret, og banker let boblerne ud. Herefter presser jeg lidt vand ud, for at fjerne de sidste bobler i tippet. Jeg sætter nu en 3-vejs stophane med nål på tippet af sprøjten. Igen banker jeg på sprøjten for at få boblerne op, og presser nu vandprøven langsomt ud af sprøjten, så min prøvevolumen kun er 40 ml. Herefter vender jeg stophanen, så der er en passage fra nålen ud til højre. Her tilføjer jeg en ny 60 ml sprøjte, der er rensat med atmosfærisk luft et par gange, og nu indeholder 50 ml atmosfærisk luft. Jeg presser så sprøjten med luft, for at få vand ud af nålen, så der kun er 10 ml luft tilbage. Ved at vende stophanen så der er passage fra luftsprøjten til vandsprøjten, presser jeg nu luft ned i vandsprøjten, indtil den indeholder 50 ml vand og luft. Ved at vende stophanen en smule mod uret, kan jeg fjerne luftsprøjten. Ved at røre så lidt på sprøjten som muligt, ryster jeg prøven for at tvinge prøven til ligevægt. Når dette er gjort, sætter jeg min 5,9 ml Labco Exetainer® på nålen, og vender stophanen så der er passage fra sprøjten til nålen. Jeg presser nu de ca. 10 ml luft fra prøven ind i exetaineren, hvilket er hårdt og laver et tryk. Når alt luften er presset i exetaineren, fjerner jeg den hurtigt for at undgå at der kommer vand i den. Jeg opbevarer nu prøven på hovedet i en *stable rack*. Når det er tid til at analysere metankoncentrationen, gøres det ved gaskromatografi (GC).

### Uopløst metan

For at måle mængden af uopløst metan bruges *bubble traps*. Det er vigtigt, at flasken er lavet af glas, da gassen ikke kan diffundere igennem. Flasken fyldes med vand, hvorefter den placeres med bunden opad lige under vandoverfladen. Dette skyldes, at målingen derfor vil afspejle hvad der i virkeligheden udledes til atmosfæren.

Prøven bliver taget ved at placere en slange i flasken, hvorefter en plastiksprøjte sættes på for at udtage prøven. Denne køres gennem en GC for at bestemme ppm af metan.



Figur 4: Billede af bubbletrap (fra Davidson, T.A)

### 5.3 Analyse af mikrobielle samfund

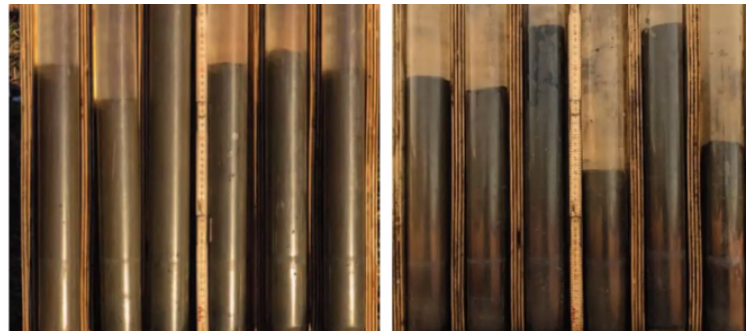
For at få en forståelse for det mikrobielle samfund i sedimentet, vil der blive foretaget en 16s rRNA analyse og QPCR.

Metanogener tilhører domænet *arkæer*. For at bestemme den relative forekomst af disse foretages en 16s rRNA.

For at kvantificere antallet af metanproducerende organismer, foretages en qPCR. I dette tilfælde er genet for *methyl coenzym M reductase* (*mcrA*) målsekvensen.

### 5.4 Måling af potentiale

For at vurdere hvorvidt systemet virker, måles potentialet mellem anoden og katoden. Dette gøres ved at sætte et voltmeter i en parallelforbindelse med systemet. Denne måling foretages over hele forsøgsperioden.



Figur 5: Kajakrør med prøver fra Stefan Trapp



Herudover måles anodens potentiale mod en referenceelektrode. Ved en referenceelektrode forstås en elektrode, mod hvilken alle andre elektroder måles.

I dette forsøg anvendes en sølv-sølvklorid-elektrode.

Denne har et stabilt, og veldefineret potentiale ift.

hydrogenelektroden (Mogensen, 2016). Dette gøres

ved at afkoble forbindelsen mellem anoden og

katoden. Herefter tilkobles referenceelektroden til

anoden, hvorefter målingen foretages. Afkoblingen

påvirker systemet, hvilket dog er en nødvendighed for

at få en forståelse for hvorvidt systemet virker.

Målingen foretages ikke konstant, da det ødelægger

sølv-sølvklorid-elektroden.

## 6.0 Udførsel og fremgangsmåde

Jeg påbegynder forsøget ved at tage sedimentprøver i

en naturlig, eutrof ferskvandssø. Dette gøres ved at

sejle ud i søen med en kajak, hvorefter et kajakrør

påsat en bundprøveoptager presses ned i sedimentet.

Denne løftes hurtigt op, hvor en anden person sætter

en prop på bunden, så sedimentet ikke ryger ud. Når

sedimentet begynder at være meget sort og fyldt med

organisk materie, er prøveområdet identificeret.

Herefter skal jeg konstruere de 6 mesocosm, som beskrevet i

AQUACOSMplus videoen, så jeg har dem til brug. Herefter

vil jeg konstruere den første del af anoden og katoden. Dette

betyder, at jeg vil udskære stålnettets, og sætte de elektriske

ledninger på med en samlemuffe. For at sørge for, at

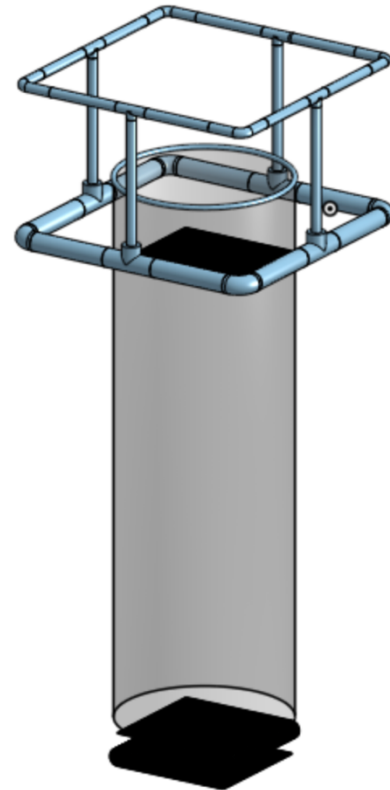
forbindelsen er god, vil jeg tilføje ledende epoxy (G6E-

SGTM, G6-EPOXY) inden i samlemuffen (se figur 7).

Forbindelsen forstærkes yderligere med epoxy resin for

styrke. Når anoden og katoden er konstrueret, forbindes de

med hinanden med en modstand i mellem. Herudover sættes

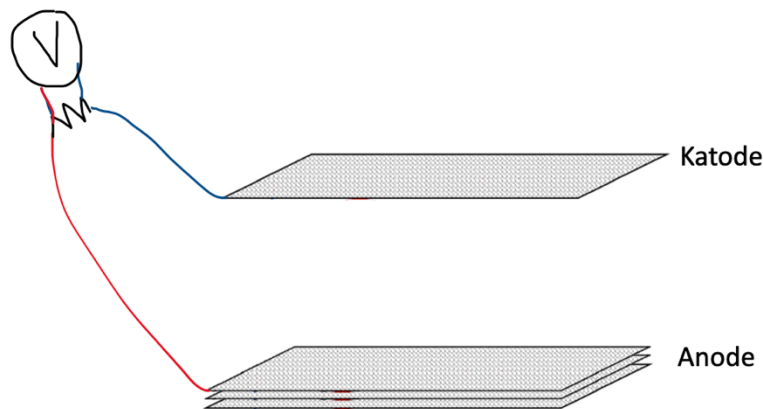


Figur 6: Mesocosm m. elektroder tegnet i OnShape



Figur 7: Forbindelse sikret med ledende epoxy

en måler der kan måle spænding i parallelforsøg (se figur 8). Jeg laver 3 af disse konstruktioner.



Figur 8: Forbindelse af elektroder

Når dette er gjort, sættes de 6 mesocosms i søen. I 3 af disse skal der placeres elektroder. Anoden sænkes ned i sedimentet. Grundet til sedimentets struktur, vil anoden naturligt falde til bunds. Det er dog vigtigt at sørge for, at anoden er placeret 5 cm nede i sedimentet, i det metanproducerende lag. Katoden bindes med snore til mesocosms.

Ledningerne, modstanden og voltmeteret skal være på land, så det er nemmere at foretage målinger. Efter forsøget er opstillet, skal der skabes gode vækstforhold for de exoelektrogeniske mikrober. Dette gøres ved at sætte modstanden til  $1000 \Omega$  i 2 uger. Efter 2 uger, måles eller beregnes effekten af systemet. Modstanden varieres, indtil den højst mulig effekt er nået. Når denne modstand er identificeret, tilkobles den til systemet i forsøgets varighed.

Når dette er gjort, kan forsøget påbegyndes.

På figur 9 ses hyppigheden af de analyser der vil blive foretaget.

Analyse	Hyppighed
Opløst metan	2 gange ugentligt
Uopløst metan	1 gang ugentligt
16s rRNA	v. start og slut
QPCR	v. start og slut
Potentiale mellem anode og katode	Altid
Potentiale mellem anode og referenceelektrode	Hver 2. uge

Figur 9: Analyse af hyppighed

## 7.0 Budget og tidsplan

Herunder ses en oversigt over budgettet.

Materiale	Pris (kr)	Antal	Pris i alt for materiale (kr)	Anskaffelse
Mesocosm	1000	6 stk	6000	Anskaffes med hjælp fra Thomas Alexander Davidson, AU
Stålnet	300		300	Hjælp fra af Stefan Trapp, DTU
Samlemuffe	39,5	1 pose	39,5	<a href="https://www.lemogfix.dk/samlemuffe-10-mm-dobbelt-10-stk/7110/9051555/">https://www.lemogfix.dk/samlemuffe-10-mm-dobbelt-10-stk/7110/9051555/</a>
Epoxy	0	100 ml	0	Fås af Stefan Trapp, DTU
GC	0	1 stk	0	lånes fra AU
Gastraps	0	12 stk	0	lånes fra AU
sølv-sølvklorid-elektrode apparat	0	1 stk	0	lånes fra AU
sølv-sølvklorid-elektrode tip	2000	1 stk	2000	ukendt (hjælp fra Stefan Trapp, DTU)
QPCR maskine	0	1 stk	0	lånes fra AU
16s rRNA sekvenserings maskine	0	1 stk	0	lånes fra AU
Ledninger	?	~60 m		Hjælp fra Stefan Trapp, DTU til anskaffelse
Voltmeter+amperemeter	0	6 stk	0	lånes fra AU
Resistor	93	1 pakke	93	<a href="https://thepihut.com/products/ultimate-resistor-kit?variant=36476117073&amp;cur">https://thepihut.com/products/ultimate-resistor-kit?variant=36476117073&amp;cur</a>
Kajakrør	0	~10	0	lånes fra AU
Bundprøveoptager	0	1 stk	0	lånes af Herningsholm Erhvervsskole og gymnasier
Sø	0	1 sø	0	Ormstrup sø
Uforudsete udgifter	11568		11567,5	
<b>Total (kr)</b>				<b>20000</b>

Figur 10: Budget lavet med estimeringer

Det forventes at projektet starter i uge 8, og løber indtil uge 44. Perioden er valgt, da sommerens varme skaber gode forhold til lagdeling hvilket resultere i et anoxisk miljø i bundvandet med høj metanogenisk aktivitet.

Forsøget vil bestå af følgende 3 faser.

### Etablering af mesocosms og SMFC samt opstart

I denne fase etableres SMFC og mesocosms, og enkelte målinger laves.

*p=planlagt.*

	Uge 8	Uge 9	Uge 10	Uge 11	Uge 12	Uge 13	Uge 14
Sedimentprøver	p						
Konstruktion af mesocosms	p	p	p				
Konstruktion og samling af SMFC	p	p	p				
Placering af mesocosms og SMFC i sø				p			
Vækst af exoelektrogeniske mikrober					p	p	
Variation af effekt til ønsket modstand							p
<b>Analyser</b>							
Opløst metan							p
Uopløst metan							p
16s rRNA				p			
QPCR				p			
Potentiale mellem anode og katode				p	p	p	p
Potentiale mellem anode og referenceelektrode							

Figur 11: Etablering af mesocosms og SMFC samt opstart

### Hoveddel

I denne fase vil en række analyser foretages ugentligt. I uge 18-43 foretages metanmålinger, temperatur og potentiale mellem anode og katode ugentligt. Potentiale mellem anode og referenceelektrode måles hver 2. uge, for at undgå at forstyrre systemet.

	Uge 15	Uge 16	Uge 17	Uge 18-43	
<b>Sedimentprøver</b>					
<b>Konstruktion af mesocosms</b>					
<b>Konstruktion og samling af SMFC</b>					
<b>Placering af mesocosms og SMFC i sø</b>					
<b>Vækst af exoelektrogeniske mikrober</b>					
<b>Variation af effekt til ønsket modstand</b>					
<b>Analyser</b>					
<b>Opløst metan</b>	p	p	p	p	p
<b>Uopløst metan</b>	p	p	p	p	p
<b>16s rRNA</b>					
<b>QPCR</b>					
<b>Potentiale mellem anode og katode</b>	p	p	p	p	p
<b>Potentiale mellem anode og referenceelektrode</b>	p		p		p

Figur 12: Hoveddel

### Afslutning

Forsøget afsluttes i uge 44

	Uge 44
<b>Sedimentprøver</b>	
<b>Konstruktion af mesocosms</b>	
<b>Konstruktion og samling af SMFC</b>	
<b>Placering af mesocosms og SMFC i sø</b>	
<b>Vækst af exoelektrogeniske mikrober</b>	
<b>Variation af effekt til ønsket modstand</b>	
<b>Analyser</b>	
<b>Opløst metan</b>	p
<b>Uopløst metan</b>	p
<b>16s rRNA</b>	p
<b>QPCR</b>	p
<b>Potentiale mellem anode og katode</b>	p
<b>Potentiale mellem anode og referenceelektrode</b>	p

Figur 13: Afslutning

## 8.0 Diskussion og perspektivering

Efter projektets udførelse, forventer jeg at få svar på, hvorvidt SMFC kan anvendes til at reducere metanogenese i ferskvandssøer. Hvis det viser sig at teknologien virker, lægger projektet op til opskalering, hvor der kan etableres SMFC i ferskvandssøen uden mesocosms. Herudover kan der forskes i optimering af systemet, med det formål at etablere teknologien som en mulig strategi til at reducere metanemissioner. Dette er et vigtigt mål for bl.a. EU, da metan er en drivhusgas 25 gange mere potent end  $CO_2$ . Ved at reducere metanudledningen, vil man kunne reducere udledningen af drivhusgasser.

Hvis forskningen derimod viser, at SMFC ikke kan reducere metanogenese, rejses spørgsmålet: *Hvorfor?* Forskning i dette, kan lede til optimeringer af systemet. Herudover kan man evt. bruge resultaterne, som led i videre forskning af SMFC.

Uanset hvad, står det klar, at dette utrolige realiserbare projekt har store anvendelsesmuligheder i senere forskning og implementering.

## 9.0 Tak

Først og fremmest tusind tak til mine forskerkontakter Martin Søndergaard og Thomas Alexander Davidson seniorforskere ved Institut for Ecoscience afdeling for Sø-økologi på AU, for hjælp og vejledning. Herudover vil jeg gerne sige tak til Stefan Trapp professor på Institut for Miljø- og Ressourceteknologi på DTU, for hjælp til udformning af SMFC.

## Bibliografi

- Algar, C. K., Howard, A., Ward, C., & Wanger, G. (2020). *Sediment microbial fuel cells as a barrier to sulfide accumulation and their potential for sediment remediation beneath aquaculture pens*. Hentet fra nature.com: <https://www.nature.com/articles/s41598-020-70002-4>
- AQUACOSMplus. (30. 08 2021). How to make a low-cost Mesocosm.
- Cordis. (09. 07 2021). *Trophic state Interactions with drivers of Aquatic greenhouse Gas Emissions*. Hentet fra Cordis.europa: <https://cordis.europa.eu/article/id/430389-role-of-lakes-in-climate-change-revealed>
- EU. (u.d.). *European comission*. Hentet fra European Climate Law: [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/european-green-deal/european-climate-law\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/european-green-deal/european-climate-law_en)
- Haxthausen, K. A. (2021). *Sediment microbial fuel cells for lake restoration*. DTU miljø.
- Haxthausen, K. A., Lu, X., Zhang, Y., Gosewinkel, U., Petersen, D. G., Marzocchi, U., . . . Trapp, S. (04 2021). Novel method to immobilize phosphate in lakes using sediment microbial fuel cells. *Water Research*.
- Hirano, S., Matsumoto, N., Morita, M., Sasaki, K., & Ohmura, N. (16. 02 2013). *Electrochemical control of redox potential affects methanogenesis of the hydrogenotrophic methanogen Methanothermobacter thermautotrophicus*. Hentet fra sfamjournals: <https://sfamjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/lam.12059>
- Kyung-Guen, S., Jeon, J. H., Sunghyun, K., & Kim, M. (07 2012). Electrochemical Control of Methane Emission from Lake Sediment Using Microbial Fuel Cells. *Bulletin of the Korean Chemical Society*.
- Ly, Z., Shao, N., Akinyemi, A., & Whitman, W. B. (09. 07 2018). *Methanogenesis*. Hentet fra National library of medicin: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29990451/>
- Mogensen, M. B. (15. 07 2016). *referenceelektrode*. Hentet fra denstoredanske: <https://denstoredanske.lex.dk/referenceelektrode>
- Rothenborg, M. (22. 01 2021). *Kun en fjerdedel af de danske vandløb og søer lever op til EU's miljøkrav*. Hentet fra ing.dk: <https://ing.dk/artikel/kun-fjerdedel-de-danske-vandloeb-soer-lever-eus-miljoekrav-243058>
- Søndergaard, M., Nielsen, A., Skov, C., Baktoft, H., Kragh, T., & Davidson, T. A. (2022). *Temporarily and frequently occurring summer stratification and its effects on nutrient*

*dynamics, greenhouse gas emission and fish behaviour: case study from Lake Ormstrup (Denmark).* Århus.

Stockenreiter, M., & Stibor, H. (2021). *Light-weight mesocosm raft system.* Aquacosm-plus.