

Rapport over projekt:

Î Udbredelse af lugtstofferne geosmin og MIB i danske dambrugÎ

DFFE J. nr. 3305-03-00043

Oversigt over aktiviteter i projektet

Aktiviteterne i projektet har koncentreret sig om følgende tre underprojekter:

- (1) Udvikling og afprøvning af en katalysator til fjernelse af geosmin og MIB
- (2) Forekomst af geosmin og MIB i forskellige typer af dambrug
- (3) Kvantificering af mængden af geosmin-producerende bakterier (actinomyceter) i dambrug

I projektet har der været ansat to videnskabelige medarbejdere i sammenlagt 12 måneder. Endvidere har Dansk Akvakultur ydet konsulentbistand til spørgeskemaundersøgelse over lugt- og smagsproblemer i danske dambrug. Til gennemførelse af projektet bevilgede DFFE kr. 600.000, hvoraf kr. 66.600 blev anvendt til overhead på KVL. Projektperioden har været 15. juli 2004 til 31. december 2006

Kort faglig baggrund for projektet

Mange mikroorganismer i vand kan danne lugtstofferne geosmin og MIB (methylisoborneol). Stofferne har en jordagtig lugt og smag (som muldjord). Forekomsten af lugtstofferne udgør et stigende problem verden over, både ved anvendelse af overfladevand til drikkevand og ved opdræt af fisk i ferskvand, da stofferne trænger ind i fiskene og giver dem en ubehagelig smag. Lugtstofferne dannes både af cyanobakterier (også kaldet blågrønalger) og bakterier tilhørende gruppen actinomyceter. Vores tidligere analyser viser, at actinomyceter er langt de vigtigste lugtstofproducerende organismer i danske dambrug.

Fisk optager især lugtstofferne fra det omgivende vand gennem deres gæller. Da stofferne er fedtopløselige, opkoncentreres de op til 400 gange i fiskenes fedtvæv. Det betyder, at fisk med et højt fedtindhold typisk indeholder en større mængde geosmin end fedtfattige fisk. Opkoncentreringen forklarer også, hvorfor stofferne ofte kan smages og lugtes i fiskene, selv om koncentrationen i vandet er forholdsvis lav. Hvis fiskene overføres til rent vand (uden geosmin og MIB) i nogle dage inden slagtning, kan indholdet af lugtstoffer reduceres.

Indholdsfortegnelse

1. Fotokemisk nedbrydning af naturligt forekommende geosmin fra dambrug	side 2
2. Forekomst af geosmin og MIB i forskellige typer af danske dambrug.....	side 5
3. Kvantificering af antal geosmin-producerende bakterier (actinomyceter) i dambrug	side 8
4. Spørgeskemaundersøgelse over geosmin i åle- og dambrug 2005	side 10
5. Aktuel status over geosmin i dambrug sommeren 2006	side 10
Publikationer.....	side 11
Samlet budget for projektet	side 12

Resultater fra projektet

(1) Fotokemisk nedbrydning af naturligt forekommende geosmin fra dambrug

Denne del af projektet blev gennemført af DHI Vand og Miljø A/S i samarbejde med KVL

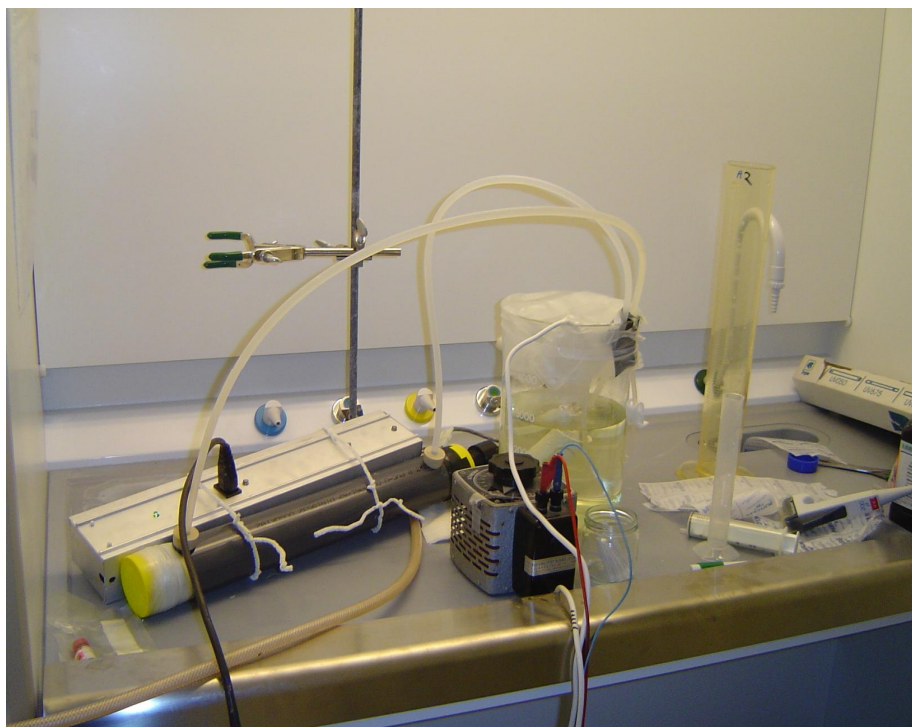
Svært nedbrydelige stoffer i vand kan ofte fjernes med en såkaldt avanceret oxidationsproces. En af disse metoder er fotokemisk nedbrydning ved UV-lys og med titaniumdioxid som katalysator (UV/TiO₂). Metoden har også vist sig effektiv til nedbrydning af geosmin i rent vand, f.eks. drikkevand (Lawton et al. 2003). Rensning med UV/TiO₂ er en effektiv vandrensningsteknik, hvis effekt dog er påvirket af høje koncentrationer af organisk materiale. Da der i vandet i dambrug ofte findes ret høje koncentrationer af organisk stof, kan man frygte at dette organiske stof vil interferere med den fotokemiske nedbrydning af geosmin og reducere effekten af processen. For at afdække potentialet for anvendelse af vandrensning med UV/TiO₂-teknikken, blev der gennemført laboratorieforsøg med vand indsamlet fra et ålebrug og et dambrug i Jylland. Ålebruget blev valgt, da tidligere prøvetagninger har vist et relativt konstant forhøjet niveau af geosmin i vandet.

Eksperimentelt arbejde

I januar 2006 blev der hentet vand fra et indendørs ålebrug og Dambrug A (mindre model 1 anlæg) i Jylland. Vandet blev transporteret fra Jylland til DHIs laboratorier i Hørsholm i 25 l plastdunke med tætsluttende låg.

Dagen efter indsamling blev der udtaget prøver af vandet til geosminbestemmelse. Et pilotanlæg blev herefter konstrueret og bestod af et TiO₂-belagt rør, hvori en 20 W UV-kilde var anbragt. UV-kilden udsendte lys i et bredere UV-område og havde en effekt på ca. 30% ved 254 nm. Anlægget kunne rumme 4 l forsøgsvand i et lukket system, hvoraf 3 l var placeret i et reservoir og 1 l var

placeret i UV/TiO₂ reaktoren. Vandet blev pumpet rundt mellem reaktor og reservoir med et flow på 200 l/time (Figur 1).



Figur 1. Forsøgsopstilling: 4 l forsøgsvand i et lukket system med 3 l i reservoir og 1 l i reaktor. Flowraten var 200 l/time. Vandet pumpes igennem et TiO₂ belagt rør (reaktor) hvor UV-kilden også sidder. UV kilde udsender lys ved 254 nm.

Efter tænding af lampen blev der i forsøget udtaget prøver til geosminbestemmelse til tiden 0, 15, 30, 60, 120 min. Samtidigt blev vandet scannet i bølglængdeintervallet fra 190 til 540 nm ved forsøgets start og efter 120 min.

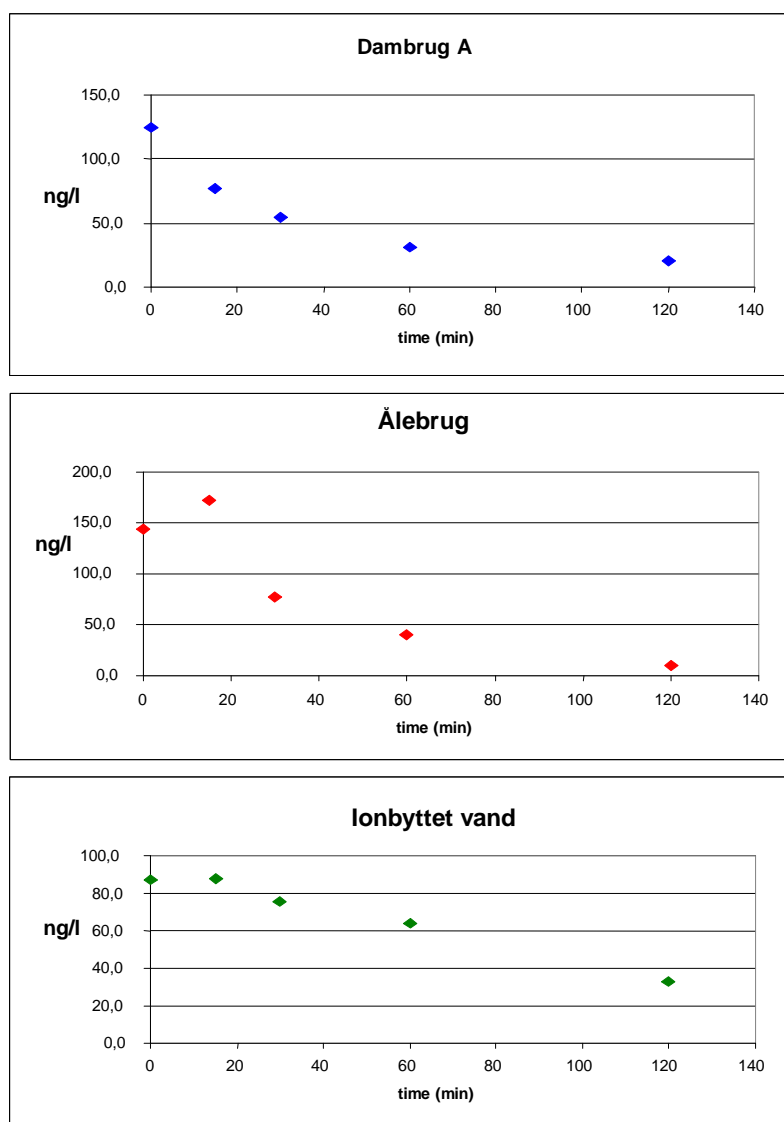
Herved kan det ses om UV-behandlingen ændrede den spektrale sammensætning af vandet og hermed af det organiske indhold. Der blev gennemført forsøg med vand fra de to dambrug, samt med ionbyttet vand med og uden lys som reference.

Resultater

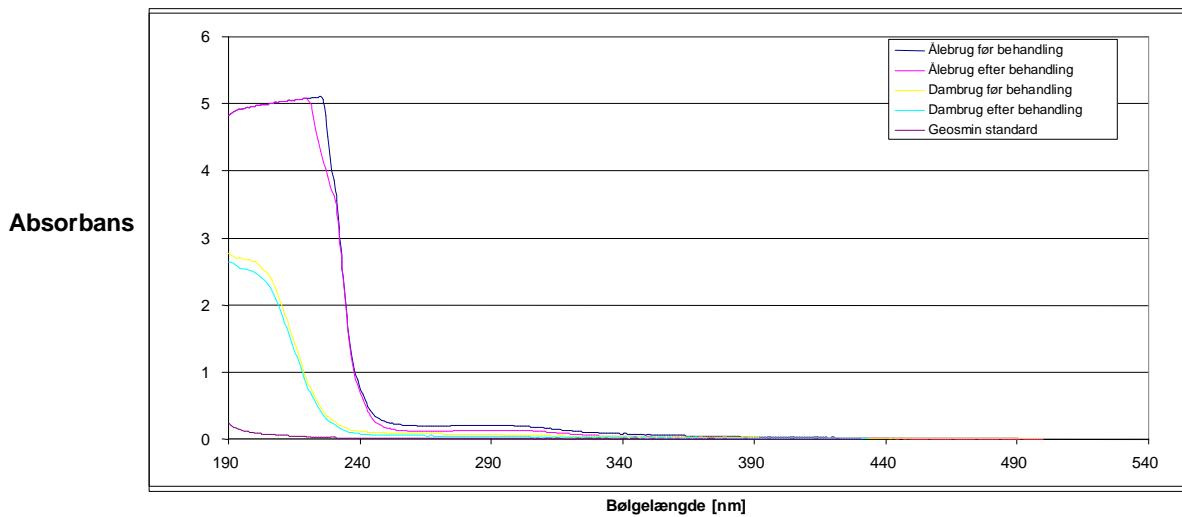
De naturlige koncentrationer af geosmin i vandet var 39,7 ng/l og 8,2 ng/l for henholdsvis ålebruget og ørredbruget (data ikke vist). Denne forskel i naturlig geosmin koncentration må bl.a. tilskrives at temperaturen i det indendørs ålebrug var på omkring 22°C, hvilket giver gode vækstbetingelser for de geosmin-producerende organismer, mens temperaturen i ørredbruget var tæt på 0°C.

Forsøgene verificerede, at UV/TiO₂ behandlingen var effektiv til at nedbryde og fjerne geosmin i vandet fra de to fiskeopdræt (Figur 2). I vand fra ålebruget blev geosminindholdet reduceret fra ca. 143 ng/l til 10 ng/l i løbet af 120 minutter. I vand fra dambruget blev geosmin reduceret fra ca. 125 ng/l til 33 ng/l i samme periode. I rent ionbyttet vand blev geosmin reduceret fra ca. 100 ng/l til ca. 33 ng/l i løbet af de 120 minutter.

Effektiviteten af UV/TiO₂ reaktoren faldt således en del efterhånden som forsøgene skred frem, hvilket både kunne ses af restmængden af geosmin til tiden 120 minutter og af ændringerne i nedbrydningsraten (ikke vist). Den højeste rate blev fundet i det første forsøg (vand fra ålebruget), mens raten var lavest i det sidste forsøg med ionbyttet vand tilsat geosmin. Faldet i effektivitet tilskrives, at TiO₂-overfladen bliver mættet med organiske stoffer fra vandet, hvorved de reaktive områder reduceres. Dette fænomen underbygges af den ændrede spektrale sammensætning i vandet før og efter de 120 timer UV-behandling (Figur 3 næste side).



Figur 2. Geosmin koncentrationen i vand behandlet med TiO₂ over en periode på 120 minutter.



Figur 3. Scan af vand før og efter behandling, samt geosmin stamopløsning fra 190 til 540 nm

Konklusion

Eksperimenterne med vand fra to forskellige dambrug viste, at UV/TiO₂ behandlingen er en effektiv metode til at nedbryde og fjerne geosmin i vand. Forsøgene indikerede dog også, at metoden er følsom overfor høje koncentrationer af organisk materiale vandet, som det f.eks. ofte forekommer i dambrug. For at metoden kan overføres til praktisk anvendelse i dambrug, er der derfor et behov for at udføre yderligere tests af, hvordan det kan undgås at TiO₂-overfladen bliver mættet og hermed inaktiveret af organisk stof, eller hvorledes man let kan reaktivere overfladen for herved at opnå en optimal fjernelse af geosmin.

(2) Forekomst af geosmin og MIB i forskellige typer af danske dambrug

Denne del af projektet blev gennemført af KVL

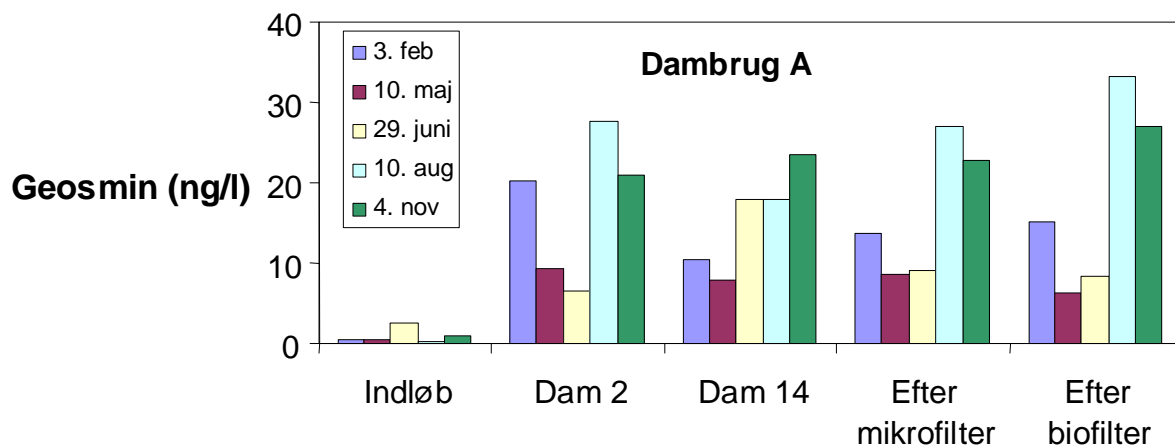
I perioden marts til november 2005 blev der med månedlige intervaller udtaget prøver i følgende fire dambrug: Dambrug A, Dambrug B, Dambrug C og Dambrug D. Dambrug A og B benytter recirkulation, mens anlæg D kun anvender recirkulation om sommeren. Anlæg C anvender ikke recirkulation.

I de enkelte dambrug blev der udtaget prøver af indløbsvand, af vandet i i udvalgte damme og bagkanaler (hvor vandet fra dammene samles inden rensning), samt af vand fra udløb eller efter rensefiltre (i det recirkulerede anlæg A). I laboratoriet blev der foretaget analyser af indholdet af geosmin, næringssalte (N og P), antal geosmin-producerede bakterier (actinomyceter) samt totalt antal bakterier. Lugtstofferne geosmin og MIB blev analyseret ved såkaldt *solid phase micro-extraction (SPME)* og *GC-MS*. Desværre kunne metoden af tekniske grunde ikke anvendes til at bestemme mængden af MIB med en acceptabel præcision, og derfor måtte rutineanalyser af MIB opgives. Enkelte analyser af MIB indikerer, at indholdet af stoffet var 20-40% af indholdet af geosmin. Indholdet af geosmin i de undersøgte dambrug er i det følgende vist for udvalgte prøvetagningsdatoer.

Til orientering skal det oplyses, at menneskers nedre grænse for at smage geosmin i vand er ca. 3 ng/l, mens grænsen i en ørredfilet er på ca. 300 ng/kg kød. En ørred optager geosmin via gællerne og vil typisk koncentrere stoffet 400 gange over en periode på 4-6 dage. Det betyder, at en koncentration på f.eks. 5 ng/l i vandet vil medføre en koncentration på ca. 2000 ng/kg fisk. Dette er ca. 6 gange over grænsen for at smage geosmin i fiskekødet.

Dambrug A

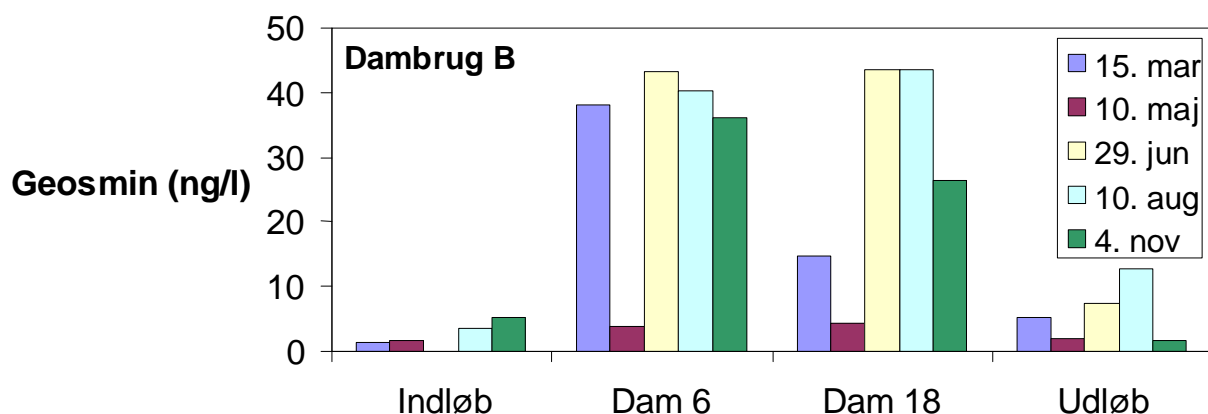
Anlægget består af ca. 50 rektangulære cementbassiner, hver indeholdende omkring 40 m³ vand. Recirkuleret vand udgør 95-98% af vandet i dammene. Vandet renses ved hjælp af et mikrofilter med 120 µm porestørrelse og et avanceret biofilm-anlæg bestående af leca-sten med en stor overflade og gennembobling med luft. Materiale fra overfladen af biofilm-anlægget havde en tydelig lugt af geosmin.



Indholdet af geosmin i indløbet (lokal bæk) var 1-3 ng/l, mens koncentrationen af geosmin i dammene varierede fra 8 til 45 ng/l. De laveste værdier (10-20 ng/l) blev målt i maj og juni. Der var ingen reduktion af geosmin under rensningen af vandet i dambruget. Der er derimod en svag tendens til et højere indhold af geosmin i vandet efter rensning.

Dambrug B

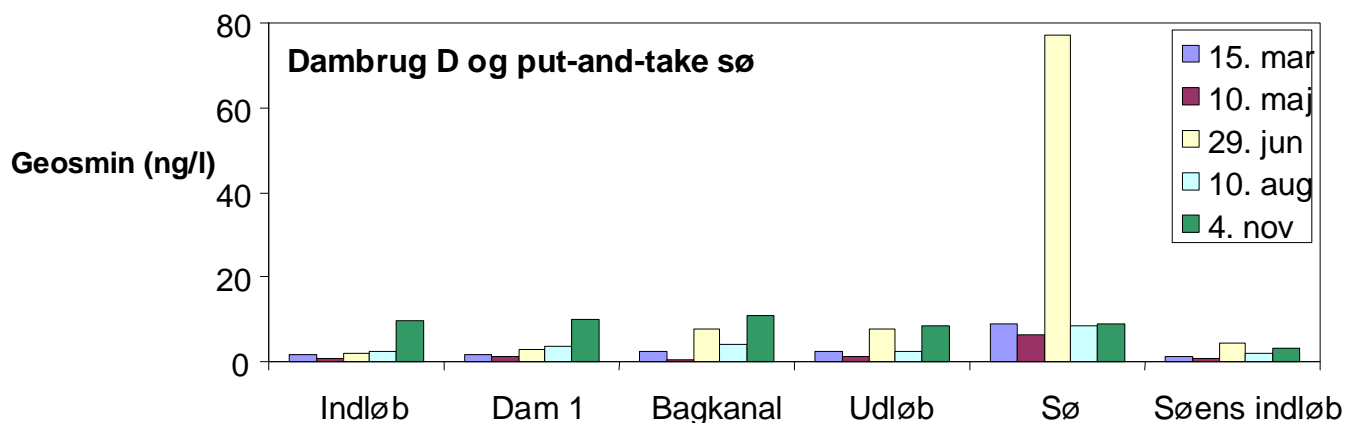
Anlægget består af ca. 50 cirkulære cementbassiner med en diameter på 4 m og en dybde på 1,5 m. Der anvendes grundvand fra boring. Vandet genbruges op til ca. 50 gange inden mekanisk rensning og passage gennem biofilter med leca-sten. Leca-stenene havde en tydelig geosminlugt.



Indholdet af geosmin i indløbsvandet ca. 3 ng/l, men op til 5 ng/l blev målt. I dammene var indholdet 25-43 ng/l, dog lavere i maj måned (<5 ng/l). Der var en tydelig effekt af rensning, idet indholdet af geosmin blev reduceret til 20-30%.

Dambrug D og tilhørende put-and-take sø

Dambruget består af ca. 40 jorddamme hver indeholdende omkring 20 m³ vand. Produktionen af fisk i dammene anvendes primært i en mindre put-and-take sø ved dambruget. Vandet i dammene recirkuleres om sommeren. Der sker tilsyneladende ingen egentlig rensning af vandet i dambruget.

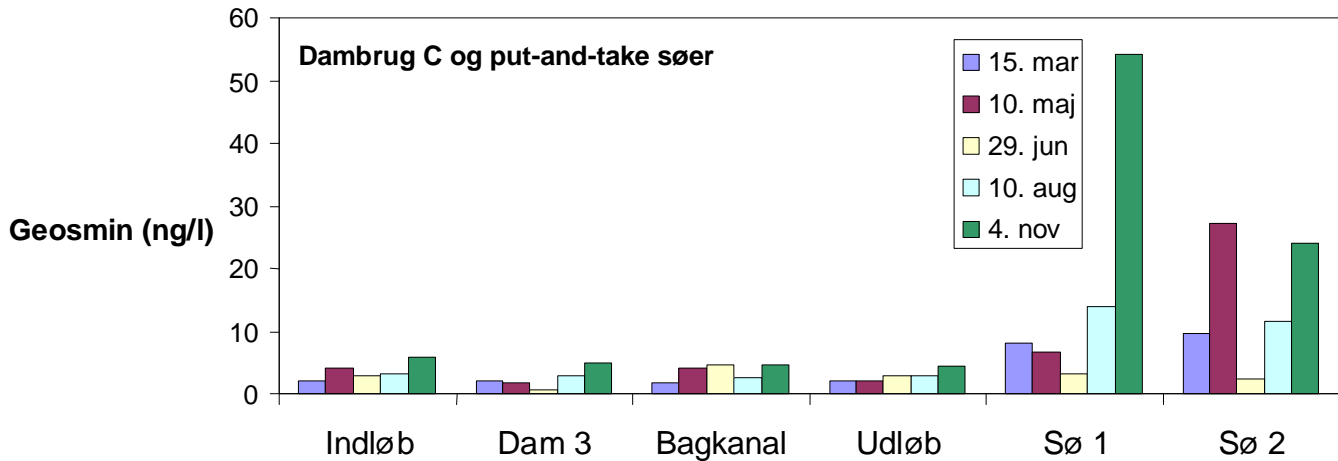


Geosmin-indholdet i indløbet (lokal bæk) var 2-3 ng/l. I dammene var indholdet typisk 4-8 ng/l. Indholdet af geosmin i udløbet var typisk identisk med indholdet i dammene, men en svag reduktion blev målt i august og november.

I den nærliggende put-and-take sø var geosminindholdet 4-6 ng/l, men den 29. juni blev 77 ng/l målt. Der var en tydeligt geosminlugt i luften ved dammen. For at reducere optagelse af geosmin i fiskene, bliver der dagligt tilført nye fisk til søen i et antal, som modsvarer det fangne antal fisk. Der blev ikke fundet sammenhæng mellem antallet af geosmin-producerende bakterier i søen og den høje forekomst af geosmin i juni måned.

Dambrug C og nærliggende put-and-take søer

Dambruget består af ca. 40 traditionelle jorddamme med et varierende indhold af vand. Det er oplyst, at der ikke anvendes recirkulation. På dambrugets hjemmeside oplyses det dog, at der delvist sker recirkulation af vandet. Omfanget af vandrensning er ikke bekendt.



Geosminindholdet i indløb (lokal bæk) og damme var 2-5 ng/l i både indløb og damme. Der var typisk lidt lavere koncentration i udløbet end i dammene, hvilket tyder på vis renseeffekt.

I put-and-take søerne var der et højere indhold af geosmin (9-30 ng/l), men indholdet varierede fra 2 ng/l (sø 2 i juni) til 52 ng/l i november i sø 1. Opholdstiden af vandet i søerne er ikke oplyst.

Konklusion

1. Indholdet af geosmin er typisk højere i anlæg med recirkulation end i traditionelle dambrug.
2. En kraftig geosminlugt i leca-sten i dambruges renseanlæg tyder på, at en del (eller det meste) af geosminen stammer fra bakteriefilm på overfladen af stenene i renseanlæggene.
3. Put-and-take søer synes at have et højere geosminindhold end dambrug og kan lejlighedsvis opnå betydelige koncentrationer.

(3) Kvantificering af mængden af geosmin-producerende bakterier (actinomyceter) i dambrug.

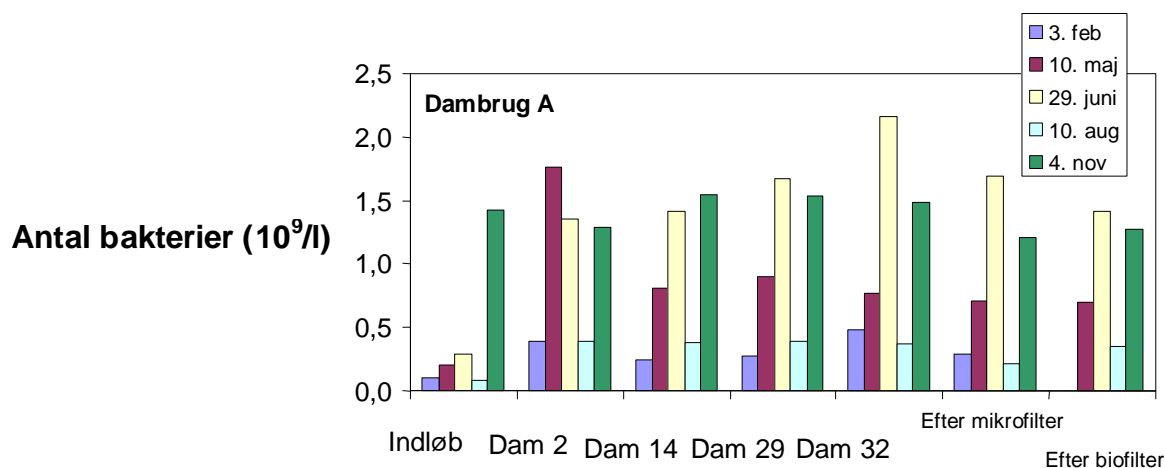
Denne del af projektet blev gennemført af KVL

Analyser af bakterier i dambrugene omfattede bestemmelse af det totale antal bakterier i vandet og optælling af antallet af lugtstof-producerende actinomyceterö.

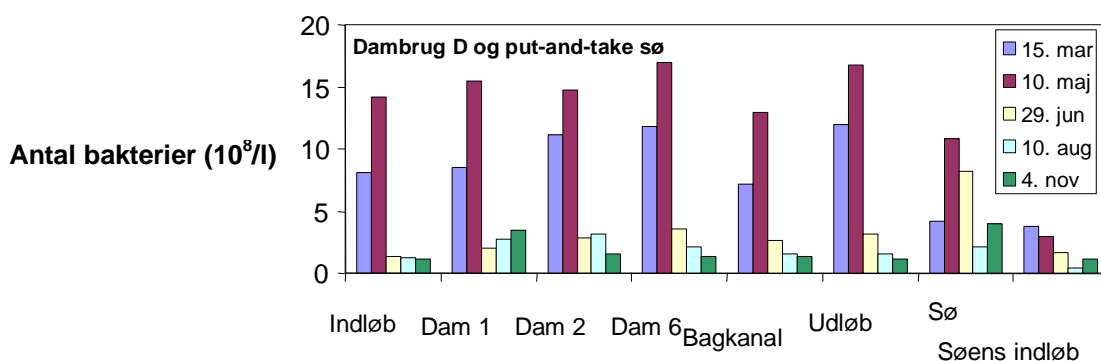
Det totale antal bakterier blev bestemt ved mikroskopisk optælling efter mærkning af bakterierne med et fluorescerende farvestof.

Actinomyceter er skrevet i anførselstegn, da betegnelsen actinomyceter ikke er systematisk entydig. Her omfatter actinomyceterö samtlige filament-dannende bakterier tilhørende gruppen af actinobakterier. Disse bakterier antages at være de vigtigste geosmin-producerende bakterier i vandmiljøer. Bakterierne blev kvantificeret med en fluorescens-hybridiseringsmetode, hvor man anvender et lille stykke specifikt DNA, der binder sig til bakteriernes ribosomale RNA.

Det **totale antal bakterier** var typisk højere i traditionelle dambrug end i dambrug med recirkulation. Dette er eksemplificeret med data fra dambrug A (recirkulation) og Dambrug D (ingen recirkulation).



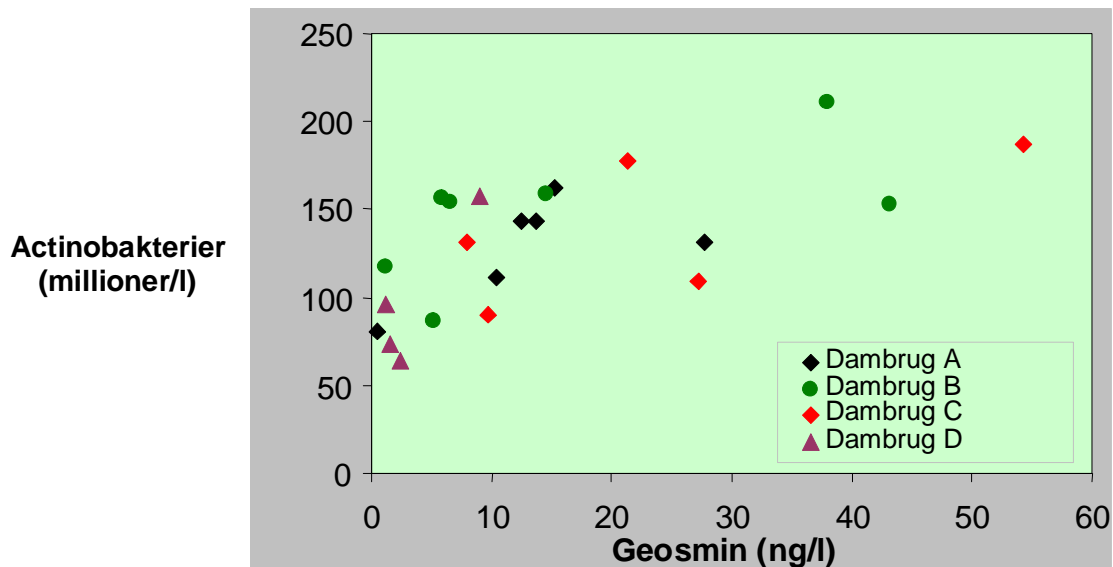
I Dambrug A var antallet af bakterier $<0,5$ mia/l i februar og august, og mellem 1,5 og 2,2 mia/l på de øvrige prøvetagningsdatoer. Rensning af vandet (mikrofilter og biofilter) synes ikke at have en entydig effekt på reduktion af antallet af bakterie i vandet.



I Dambrug D var antallet af bakterier mellem 7 og 16 mia/l i marts og maj, og mellem 1 og 3 mia/l på de øvrige datoer. I put-and-take søen var indholdet lavere end i dammene i marts og maj, men højere på de øvrige datoer.

Antallet af **filament-dannende actinobakterier** (formodes at repræsentere antallet af geosmin-producerende bakterier) varierede fra 50 til 220 mio/l, svarende til omkring 1-5% af det totale bakterieantal, dog med en ret stor variation. Der var ofte en forholdsvis stor forskel fra dam til dam og fra dambrug til dambrug, og der blev ikke fundet umiddelbare effekter af recirkulation. Variationen forekom dog heller ikke at være relateret til f.eks. årstid, lokalitet eller antal fisk i dammene, men kan være forårsaget af parametre, som ikke blev undersøgt.

En afbildning af antallet af actinomyceter i forhold til indholdet af geosmin i vandet viser ganske interessant, at der synes at være en tendens til, at mængden af geosmin øges med antallet af actinobakterier. Se figuren neden under.



Observationen er specielt overraskende, da den omfatter miljøer med meget forskelligt næringsindhold for bakterierne: indløb, damme og søer. Ifølge litteraturen kan en reduktion af bakteriernes næringsmængder stimulere dannelsen af geosmin, men det er ikke entydigt bevist.

Hvis den fundne relation mellem mængden af geosmin og actinobakterier er generel, kan denne viden måske anvendes til fremtidig monitoring af geosminindhold, f.eks. ved udvikling af DNA-chips målrettet mod de geosmin-producerende actinobakterier.

Konklusioner

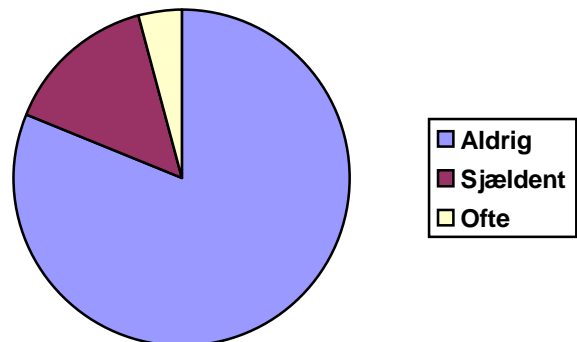
1. Der synes at være et generelt højere totalindhold af bakterier i dambrug med traditionel vandføring end med recirkulation
2. Antallet af actinobakterier udgør nogle få procent af det samlede antal bakterier i vandet.
3. Der blev fundet en positiv korrelation mellem mængden af geosmin og antallet af geosmin-producerende actinobakterier i de undersøgte dambrug.

4. Spørgeskemaundersøgelse over geosmin i åle- og dambrug 2005

Denne del af projektet blev gennemført af Dansk Akvakultur i samarbejde med KVL

I samarbejde med Dansk Akvakultur blev der i begyndelsen af 2005 udsendt spørgeskemaer vedrørende geosminproblemer til 250 dam- og ålebrug. Nogle af dambrugene havde også Put-and-Take søer i forbindelse med fiskeopdrættet. Af de udsendte spørgeskemaer blev 82 skemaer returneret. I besvarelserne oplyste 19%, at de havde oplevet jordsmag, men kun 4% tilkendegav, at jordsmagen forekom ofte (se figur).

Undersøgelsen viste, at 42% af de akvakulturer, der havde oplevet jordsmag, benyttede recirkuleret vand. Kun 19% af de anlæg, hvor der ikke var konstateret jordsmag, benyttede recirkulering.



Besvarelser fra spørgeskemaundersøgelsen. Figuren viser hvor mange dambrugere, der havde oplevet jordsmag i fiskene

5. Aktuell status over geosmin i dambrug sommeren 2006

Denne del af projektet blev gennemført af KVL

Indholdet af geosmin i vandet i ca. 20 forskellige dambrug blev analyseret i juli måned 2006, da virksomheden Agustson-Hevico A/S i Vejle i juni måned modtog en række klager over jordsmag i virksomhedens røgede ørredfileter. De undersøgte dambrug omfattede både gennemstrømningsanlæg og anlæg med recirkulation. I hvert dambrug blev der udtaget prøver af et produktionsbassin og et øleveringsbassin. I leveringsbassinerne bliver det tilstræbt at holde en renere vandkvalitet end i produktionsbassinerne, f.eks. ved anvendelse af grundvand.

Resultaterne viste, at indholdet af geosmin i de traditionelle anlæg typisk var 3-7 ng/l i både produktionsbassiner og leveringsbassiner (koncentrationen i indløbsvandet var 0,5-2 ng/l), men i anlæg med recirkulation var geosminindholdet 13-18 ng/l i produktionsbassiner og 5-6 ng/l i leveringsbassiner. I et enkelt dambrug var der dog 22 ng/l. Der var altså et forhøjet indhold af geosmin i anlæggene med recirkulation. På basis af vores målinger opfordring bad Agustson-Hevico dambrugerne med et højt geosminindhold om at anvende renere vand i leveringsbassinerne, samt at forsøge at ændre de metoder, som anvendes til rensning af vandet. Årsagen hertil var, vi i flere af dambrugenes rensningsanlæg havde fundet en stor forekomst af geosmin-producerende mikroorganismer (sandsynligvis actinomyceter).

Sidst i august måned 2006 bad Agustson-Hevico os om at genmåle de dambrug, hvor der i juli måned havde været høje mængder af geosmin. Analyserne viste igen et forhøjet geosminindhold i 3 dambrug med recirkulation (34-46 ng/l), mens 2 af dambrugene kun indeholdt 2-4 ng/l.

Der har ikke været mulighed for at analysere indholdet af geosmin-producerende bakterier i anlæggene, men resultaterne viser, at indholdet af geosmin kan variere meget, både sæsonmæssigt og lokalt i de enkelte dambrug. Da geosminkoncentrationer på 3-5 ng/l kan give jordsmag i ørreder, vil koncentrationer på op til 46 ng/l med stor sandsynlighed give en alvorlig jordsmag i fiskene.

Samlede konklusioner

- Afprøvningen af fotokatalysatoren med TiO₂-materiale og UV-lys kunne reducere indholdet af geosmin i vand fra ca. 140 ng/l til 10 ng/l i vand fra fiskeopdræt. Metoden har således et potentiale til fjernelse af geosmin i åle- og dambrug, men der kræves en optimering og opskalering af kapaciteten, hvis den skal anvendes til en realistisk rensning af vand i et fiskeopdræt. Herudover skal den katalytiske effekt kunne opretholdes over en længere tid, ligesom geosminindholdet skal reduceres længere ned end til 10 ng/l, da denne koncentration stadig vil være problematisk. Det forekommer muligt, at man i et dambrug f.eks. har 2 leveringsdamme, hvor vandet holdes rent med fotokatalyse.
- Selv om antallet af geosmin-producerende bakterier kun udgjorde en mindre del af det samlede bakterieantal i vandet i de undersøgte dambrug, synes der at være en tydelig sammenhæng mellem koncentrationen af geosmin og forekomsten af disse bakterier i dammene. Foreløbige analyser viser, at der i rensefiltre kan være en stor forekomst af geosmin-producerende bakterier. Det bør derfor overvejes, om renseprocedurerne kan ændres, f.eks. ved hyppig fjernelse af bakteriebelægningen fra rensefiltrene. Herved kan bakterierne ikke frigøre geosmin under rensningen af vandet. Dette er naturligvis specielt vigtigt i dambrug med recirkulation.
- De biologiske processer som stimulerer bakterierne til at danne geosmin er ikke kendte. Der er således ikke nogen biologisk forklaring på, hvorfor mængden af geosmin kunne variere mere end 10-gange i de prøver, som blev indsamlet fra tilsyneladende ens dambrug i sommeren 2006. Det bør derfor undersøges, hvordan mængden og sammensætning af næring (organisk materiale samt N og P) i vandet påvirker væksten af de geosmin-producerende bakterier.

Publikationer og formidling

Danskproget artikel til dambrugere mv.

Engel, P. (2005) Lugtstoffer i danske dambrug. Ferskvandsfiskeribladet 103, side 18-20.

Resultater fra projektet er løbende formidlet til de dambrugere, hvor der har været prøvetagning (ca. 30 dambrugere), ligesom Dansk Akvakultur gennem sine konsulenter har oplyst dambrugserhvervet om geosminproblemet. Endvidere har virksomheden Agustson-Hevico A/S formidlet erfaringer fra projektet til sine leverandører af ørreder og givet forslag til ændringer af recirkulation og leveringsdamme.

Forskningsartikler hvortil projektet helt eller delvist har bidraget med støtte

Klausen, C., N.O.G. Jørgensen, M.A. Burford, and M. O' Donohue (2004) Actinomycetes may also produce taste and odour. *Water* 31, side 45-49.

Klausen, C., M. H. Nicolaisen, B. W. Strobel, F. Warnecke, J. L. Nielsen, and N.O.G. Jørgensen (2005) Abundance of actinobacteria and production of geosmin and 2-methylisoborneol in Danish streams and fish ponds. *FEMS Microbiology Ecology* 52, side 265-278.

Nielsen, J. L., C. Klausen, P. H. Nielsen, M. A. Burford, and N. O. G. Jørgensen (2006) Detection of activity among uncultured Actinobacteria in a drinking water reservoir. *FEMS Microbiology Ecology* 55, side 432-438

Henvisning til metodeartikel over fotolyseteknik

Lawton, L.A., P.K J. Robertson, R.F. Robertson, and F.G. Bruce (2003) The destruction of 2-methylisoborneol and geosmin using titanium dioxide photocatalysis. Applied Catalysis B-Environmental 44, side 9-13.

Foreslået budget for projektet

- Lønudgifter til udvikling og afprøvning af katalysator (ansættelse af ph.d. H.R. Kristiansen i perioden 1. november 2004 ó 31. januar 2005).....	130.000 kr.
- Materialer til udvikling af katalysator	28.000 kr.
- Udgifter i forbindelse med udvikling og afprøvninger af katalysator, herunder rejser og kørsel	12.000 kr.
- Dansk Akvakulturforening: Konsulentassistance og kørsel	30.000 kr.
- Løn til forskningsassistent på KVL (1/11 2004 ó 31/7 2005 = 9 måneder).....	280.000 kr.
- Driftsudgifter til geosmin- og MIB analyser og arbejde med actinomyceter	53.000 kr.
- Overhead på KVLs projektandel (20% af 280.000 kr. + 53.000 kr.)	66.600 kr.
Samlede udgifter	599.600 kr.

Regnskab afrapporteres separat for henholdsvis KVL, DHI vand og Miljø samt Dansk Akvakultur (se vedlagte).