

Notat vedr. anvendelse af resultater fra forsøgsprojekt Døstrup Dambrug, især fra plantelagunerne på dambrug, der ikke er omfattet af modeldambrug under forsøgsordningen samt om øvre grænse for ekstra plantelaguner

Danmarks Miljøundersøgelser (DMU) og Danmarks Fiskeriundersøgelser (DFU) har modtaget flere forespørgsler omkring anvendelse af resultaterne fra forsøgsprojekt Døstrup Dambrug. Det drejer sig især om at kunne anvende de fastlagte rensegrader fra plantelaguner på Døstrup Dambrug i forhold til foderopskrivning ved etablering af plantelaguner på traditionelle dambrug etableret i henhold til dambrugsbekendtgørelsen. Henvendelserne er kommet fra både erhvervet og myndigheder.

I november 2004 har DMU fået en skriftlig henvendelse fra Skov- og Naturstyrelsen (bilag 1 sidst i notatet) og DMU og DFU en fra Dansk Akvakultur (bilag 2) om denne problemstilling. Dette notat er et samlet svar på de to skriftlige henvendelser, hvor der vurderes på den generelle anvendelighed af især resultaterne vedr. plantelaguner fra forsøgsprojekt Døstrup Dambrug, men hvor også resultaterne for slamkeglerne inddrages. DMU og DFU har udarbejdet dette notat i fællesskab.

Resultaterne fra forsøgsprojektet ved Døstrup Dambrug findes i faglig rapport nr. 434 fra DMU (Fjorback *et al.*, 2003). Dette er de eneste rapporterede resultater i Danmark, hvor plantelaguner under praktisk drift er anvendt som renseforanstaltning ift. dambrug. Der er ikke umiddelbart fundet internationale resultater vedr. direkte anvendelse af sådanne open-flow plantelaguner til rensning af dambrugsvand, der kan overføres til danske forhold. Der er dog erfaring fra lignende renseforanstaltninger som f.eks. rodzone-/nedsivningsanlæg o.l. som kan understøtte de rensegrader/fjernelsestrater, som blev målt på Døstrup Dambrug, hvilket også er medtaget i dette notat.

Notatet opsummerer de væsentligste dimensioneringsmæssige forhold ved Døstrup Dambrug og de hovedresultater, som ønskes overført til andre dambrug. Der redegøres for de forhold ved Døstrup Dambrug, der betyder at resultaterne ikke simpelt og uden vurderinger og forbehold kan overføres til andre dambrug. DMU og DFU vurderer og anbefaler, hvordan resultaterne kan overføres til et traditionelt dambrug etableret i henhold til dambrugsbekendtgørelsen og med hensyn til en øvre grænse for ekstra foder ved etablering af plantelaguner ved modeldambrug.

Hovedresultater fra forsøgsprojekt Døstrup dambrug vedr. plantelaguner:

Plantelagunerne bestod af 19 jorddamme bevokset med primært brøndkarse samt med andemad i vandoverfladen. Syv jorddamme blev forbundet til et langsomt strømmende vandløb (vandløbssystemet), mens de resterende 12 var opdelt i 2 systemer hver med seks paralleltforbundne damme og et udløb pr. system (søsystem 1 og 2). Ca. 1/3 af vandet fra produktionsanlægget blev samlet tilført vandløbssystemet og tilsvarende 1/3 til hver af de to søsystemer som igen blev fordelt med 1/6 pr. jorddam i de to søsystemer. I tabel 1A (bilag 3) opsummeres bl.a. de væsentligste dimensioneringsforhold for de tre plantelagunesystemer ved Døstrup Dambrug og i tabel 1B (bilag 3) opsummeres de væsentligste resultater fra disse. I tabel 2 (bilag 3) opsummeres rensegrader for de forskellige renseforanstaltninger på Døstrup Dambrug både ift. fiskeproduktionens bidrag og til det samlede stofbidrag til produktionsanlægget (dvs. inklusiv stofbidraget fra det indtagne vandløbsvand og fra det anvendte grundvand).

Med 52 målinger pr. år i den 2-årige måleperiode er den statistiske dokumentation for resultaterne på Døstrup Dambrug særdeles høj. De to års måleresultater giver stoffjernelsesrater i plantelaguner (og for de øvrige renseforanstaltninger) som er næsten ens trods det, at foderforbruget er øget med ca. 30% i det andet måleår. Der er ikke større forskelle på de tre lagunesystemer ift. rensegrader, men dog således at der er de største rensegrader vedr. NH_3NH_4^+ -kvælstof og fosfor i vandløbs-systemet og de højeste BI_5 -rensegrader i de to søsystemer.

Dokumentation på Døstrup Dambrug giver således et særdeles sikkert billede for forholdene i de to måleår på Døstrup Dambrug under de givne produktions- og indretningsmæssige forhold.

Resultaterne fra Døstrup Dambrug vedr. rensegrader i slamkegler og plantelaguner har været det væsentligste input for de rensegrader som blev anbefalet af en arbejdsgruppe under ”Udvalget vedr. Dambrugserhvervets udviklingsmuligheder” (Dambrugsudvalget, 2002 og Bovbjerg *et al.*, 2003) ift. modeldambrug. Det fremgår af både arbejdsgruppens konklusioner og af bekendtgørelsen om modeldambrug at kvælstoffjernelsen bliver den begrænsende faktor for en foderopskrivning ved etablering af renseforanstaltninger (Bekendtgørelsen om modeldambrug, 2002). Fokus har derfor især været rettet imod, hvordan kvælstoffjernelsen i dambrug kan øges. Her forekommer etablering af plantelaguner at være den mulighed, hvor der er dokumenteret en væsentlig effekt samtidig med, at det pr. tons fjernet kvælstof tilsyneladende har den laveste omkostning. I bekendtgørelsen for modeldambrug gives for modeldambrug af type I, Ia, III og IIIa et tillæg på 10 tons foder pr. 1.000 m^2 i forhold til det beregnede foderforbrug ved anvendelse af R_N for kvælstof, hvor R_N er reduktionsfaktoren for modeldambrug. Dette tillæg bygger på Døstrup erfaringerne med en fjernelsesrate på $1,0 \text{ g N pr. m}^2$ plantelagune per dag (tabel 1B, bilag 3); dvs. 1000 m^2 plantelagune kan fjerne ca. 365 kg kvælstof som svarer til det teoretiske produktionsbidrag fra 10 tons foder med en foderkvotient på 0,93.

Resultater fra andre relevante undersøgelser

Internationalt er der publiceret nogen litteratur omkring renseeffekt af plantelaguner og især rodzoneanlæg på traditionelt spildevand. Effekten på udløbsvand fra fiskeopdrætsanlæg/dambrug er derimod kun beskrevet i ganske få artikler. En af de nyere er kort refereret i det følgende.

Schultz *et al.* (2003) giver resultater fra nogle mindre rodzoneanlæg ($1,4 \times 1 \times 0,7 \text{ m}$) som blev fyldt med 1-2 mm sandpartikler og beplantet med 20 tagrør pr. m^2 . Afløbsvand fra dambrug (traditionel gennemstrømning) blev tilledt disse direkte uden anden rensning forinden. Tre forskellige opholdstider blev undersøgt, nemlig 1,5, 2,5 og 7,5 timer. Den hydrauliske belastning var fra $0,012 \text{ l s}^{-1}\text{m}^{-2}$ (7,5 t) til $0,06 \text{ l s}^{-1}\text{m}^{-2}$ (1,5 t). Belastningen fra fiskeproduktionen var fra $24 \text{ g foderdag}^{-1} \text{ m}^{-2}$ til $119 \text{ g foderdag}^{-1} \text{ pr. m}^2$ svarende til $119 \text{ kg foderdag}^{-1}\text{pr. } 1000 \text{ m}^2$. $119 \text{ kg foder pr. dag}$ svarer til $43,4 \text{ t foder pr. år}$ eller $46,2 \text{ t produktion pr. år}$. Anlægget blev indkørt i to måneder, hvorefter forsøget pågik i yderligere 6 måneder.

Der blev fundet ret stabile, høje til meget høje rensegrader for de fleste parametre: TSS, COD, TP, SRP, TN og $\text{NH}_4\text{-N}$ mens $\text{NO}_3\text{-N}$ øgedes (grundet nitrifikation af NH_4). I tabel 3 i bilag 3 er gennemsnitstal ved anvendelse af ekstruderet foder vist en række parametre.

Generelt blev fjernelse af organisk stof (SS, COD) fundet at være uafhængig af opholdstiden i et sådant system, mens TP og TN fjernelsen øgedes med øget opholdstid. Planterne i systemet spiller en vigtig rolle, idet deres rodsystem (rhizomer) en med til at danne de nødvendige betingelser for fjernelsesprocesserne. Næringsstoffjernelsen i selve planternes assimilering og optag er af mindre betydning, typisk 10-20 % af samlet N og P fjernelse.

Lin et al. (2003) finder tilsvarende rensningsgrader for $\text{NH}_4\text{-N}$ 86-98 %, $\text{NH}_4+\text{NH}_3^++\text{NO}_{23}\text{-N}$ 95-98 % samt P 32-71 % (rensegrad omvendt proportionale af hydraulisk belastning/opholdstid).

Tabel 4 nedenfor er udarbejdet for at kunne sammenligne resultaterne fra Schultz et. al (2003) med de fra Døstrup-projektet fundne (afrundede tal, BI5 beregnet for Schultz et. al, (2003))

Da der i Schultz et. al (2003) ikke er anden rensning inden dambrugs vandet ledes til rodzoneanlægget, er rensningen her sammenlignet med den samlede fjernelse i slamkegler, bundfældningsbassin og plantelaguner på Døstrup Dambrug, da det må antages, at Schultz' "constructed wetland" også vil fjerne de partikler som udtages i slamkegler og bundfældningsbassin.

Tabel 4: Sammenligning af resultater fra Schultz et al. (2003) med tilsvarende resultater fra Døstrup Dambrug. Se tekst for forklaring.

	SS		BI5		Total N		Total P	
	Døstrup	Schultz	Døstrup	Schultz	Døstrup	Schultz	Døstrup	Schultz
Tilført lagune ($\text{g m}^{-2}\text{dag}^{-1}$)	6	9 - 45	7	10 - 50	21	2 - 10	0.3	0.4-1.9
Tilbageholdelse i lagune ($\text{g m}^{-2}\text{dag}^{-1}$)	1,2	0,9-2,1	2.0-2.5	6.0-30	1.0-1.2	0.9-2.1	0.05	0.3-1.0
Fjernelse af samlet tilført	79 %	96 %	51 %	65 %	6 %	20-40%	34 %	52 %

For Schultz et. al (2003) ses en noget større organisk belastning på lagunen (formentlig fra indtag af eksempelvis søvand) og en medfølgende større tilbageholdelse, såvel specifik som af samlet tilførsel. For total-N har Døstrup Dambrug en større belastning (stammende fra vandløb og grundvand) og her er den specifikke tilbageholdelse sammenlignelig. For total-P ligger Døstrup Dambrug noget lavere i specifik fjernelse, men det skal her huskes, at over halvdelen af den samlede P-tilbageholdelse af P på Døstrup Dambrug allerede er fjernet i slamkegler og bundfældningsanlægget.

Overvejelser omkring anvendelse af resultater fra Døstrup Dambrug ift. traditionelle dambrug

Måleprogrammet ved Døstrup Dambrug har med stor statistisk sikkerhed dokumenteret bl.a. rensgraderne på dambruget. Men andre traditionelle dambrug ligner ikke Døstrup Dambrug fuldtud bl.a. fordi indretning, grad af recirkulering, mængde og kemiske sammensætning af indtagne vandløbsvand og hermed stofbidraget fra vandløbs vandet ift. produktionsbidraget varierer betydeligt. Herudover anvendes forskellige fodertyper, foderspildet varierer, der opereres med forskellige fisketætheder og opnås ikke de samme foderkoefficienter. For at sikre ensartethed, mulighed for en bæredygtig øget produktion og en lettelse omkring forvaltningen af dambrug blev modeldambrugskonceptet introduceret og dokumentationsprojektet for forsøgsordningen etableret (Svendsen & Bovbjerg, 2004). Dette vil tilvejebringe et solidt dokumentationsgrundlag fra 8 modeldambrug, der er indrettet med de samme renskomponenter og som er ensartet dimensioneret. Modeldambrugene under forsøgsordningen indtager alene grundvand, hvorfor det overordnet set alene bliver produktionsbidraget, der skal renses fra. Herved kan der tilvejebringes en direkte dokumentation af effekten af de enkelte renskomponenter ift. produktionsbidraget.

Belastningen af plantelagunerne ved de 8 modeldambrug adskiller sig væsentligt fra Døstrup Dambrug fordi modeldambrugene alene indtager grundvand, har en høj recirkulering i produktionsanlægget, har et meget lille vandforbrug pr. kg. produceret fisk og har såvel kontakt- som biofilter. Dette resulterer for en del af modeldambrugene i en lavere hydraulisk belastning af plantelagunerne end på Døstrup Dambrug og væsentligt lavere koncentration af partikelbundne næringsstoffer. Omvendt vil i hvert fald indløbskoncentrationen af ammoniak og opløst fosfor på de 8 modeldambrug være højere. Derfor er det relevant at vurdere mulighederne for at anvende resultaterne fra Døstrup Dambrug ift. anvendelse på traditionel dambrug.

Ved vurdering af, hvordan resultaterne fra Døstrup Dambrug kan overføres til traditionelle dambrug etableret i henhold til dambrugsbekendtgørelsen, skal der tages højde for at resultaterne har været påvirket af følgende forhold:

1. indretning og drift af Døstrup Dambrug
2. indtag af vandløbsvand, herunder den kemiske sammensætning af indtagsvandet
3. plantelagunerne dimensionering og plantesamfund
4. dokumentationperiodens varighed og foderforbruget i forsøgsperioden

ad 1):

I Døstrup Dambrug var den eneste rensesforanstaltning i selve produktionsanlægget slamkegler. Disse har derfor kunne fjerne relativt store mængder af partikulært materiale og tilknyttede næringsstoffer og organisk stof. Det betyder samtidigt, at der har været færre partikler pr. tons foder at fjerne i det nedstrømsbeliggende bundfældningsanlæg, da stof kun kan fjernes en gang. Der er således også målt beskedne fjernelsesrater i dette. Der har ikke været biofilter i produktionsanlægget, hvorfor hovedparten af de opløste fraktioner af næringsstoffer og organisk stof (ud over en evt. egenomsætning i produktionsanlægget) har kunnet føres til plantelagunerne. Samtidigt har koncentrationen af opløst stof i både indtaget vandløbsvand og grundvand været højt. Der har således, sammenlignet med anlæg uden biofilter, været en relativ høj belastning med opløst stof i plantelagunerne. Det skal understreges, at selv med øget foderforbrug i det andet måleår er rensegraderne/-raterne mindst lige så store i plantelagunerne i andet måleår.

Fodringsmåde/-strategi, fodertyper, fiskestørrelse og -tæthed, foderspild m.v. vil påvirke den opnåede foderkoefficient, produktionsbidraget per anvendt tons foder og sammensætningen heraf. Det er ikke vurderet i hvor høj grad disse forhold har påvirket de målte rensegrader, men de opnåede foderkoefficient på Døstrup Dambrug var gode (0,85 som gennemsnit for den 2 årige måleperiode) og noget lavere (bedre) end landsgennemsnittet på 0,94.

Foruden sedimentation af partikler i plantelagunerne grundet lave vandhastigheder og fysisk kontakt med planterne i disse, er der en tilbageholdelse og omsætning af opløste fraktioner af kvælstof, fosfor og organisk stof. I selve planterne optages f.eks. nitrat og orthofosfat. Sammenlignet med den samlede tilbageholdelse og omsætning i plantelagunerne på Døstrup Dambrug har optagelsen været af beskeden betydning for kvælstof (under 10%) og udgjort op til 30% for fosfor. Denne tilbageholdelse vil kun være relevant såfremt planterne høstes/opsamles inden de forlader lagunerne; ellers vil der alene være sket en omdannelse af opløst kvælstof og fosfor til organisk bundet kvælstof og fosfor, som dog er vanskeligere biologisk tilgængeligt. Planternes overflade er vigtig som substrat for de bakterier (den biofilm), der omsætter bl.a. organisk stof under iltforbrug, da den samlede overflade hermed bliver øget væsentligt i lagunerne. Nitrat kan omdannes til frit kvælstof (denitrifikation) og afgasse til atmosfære i det øverste lag af sedimenter i lagunerne i overgangszonen mellem den iltfrie og iltede zone. Opholdstiden i lagunerne er vigtig i forhold til den letomsættelige del af BI₅, da undersøgelserne på Døstrup Dambrug indikerer, at den største del af omsætning sker indenfor 1-2 dage og mest den første dag. Det betyder, at en forøgelse af opholdstiden nedstrøms produktionsanlægget fra de 1-3 timer, som er typisk på mange traditionelle dambrug til 1-2 dage vil have meget stor betydning for BI₅-omsætningen (fjernelsen). Der kan ikke forventes nogen væsentlig ekstra fjernelse af let omsætteligt organisk stof ved at øge opholdstiden yderligere. Det skal dog understreges at resultaterne vedrørende omsætningshastighed af BI₅ er baseret på få prøver. DFU har i en specialerapport konkluderet, at omsætning af BI₅ fra fiskefækalier ikke foregår så hurtigt som fundet på Døstrup Dambrug og at de går op til 2-3 dage før over halvdelen af BI₅ i fækalierne er omsat. Relateret til dambrugsdrift skal der ved vurdering af dette også betænkes, at fækalierne kan/vil have en vis opholdstid i dammene, ligesom det må forventes at evt. slamkegler vil fjerne størstedelen af intakte fækalier. Endelig vil fækalier og andet bundfældeligt materiale naturligt have en opholdstid som er væsentligt længere end vandets gennemsnitlige opholdstid.

På Døstrup Dambrug er det ikke direkte undersøgt, hvilke processer der er vigtigst ift. fjernelse af de forskellige fraktioner af kvælstof, fosfor og organisk stof, men ligesom for rodzoneanlæg er det den mikrobielle omsætning (i biofilm og sedimentet) som er den vigtigste. Optag af N og P i højere planter og alger er kun relevant, hvis planterne/planterester fjernes fra plantelagunerne eller hvis algerne synker til bunds i disse. Plantelagunerne har dog generelt lavere fjernelsesrater når der er få planter tilstede (om vinteren hvor også vandtemperatur er lav) og opholdstiden har stor betydning for omsætning af BI₅. Det kan ikke umiddelbart vurderes, om vandhastigheden indenfor de undersøgte variationer har haft betydning for sedimentationsraten. Endvidere skal iltspændingen være tilstrækkelig for at sikre omsætning af BI₅, mens der i sedimentet på bunden af lagunerne er behov for reducerende ("iltfrie") forhold for at få denitrifikation.

ad 2)

Resultaterne fra Døstrup Dambrug er påvirket af, at der via vandløbsvandet kommer store mængder af stof sammenlignet med fiskeproduktionens bidrag. Vandløbsbidraget er henholdsvis ca. 4 gange større for suspenderet stof og ca. 10 gange større for kvælstof end produktionsbidraget. For BI₅ havde vandløbsbidraget en størrelse svarende til ca. 60% af produktionsbidraget. Der kan ikke direkte skelnes mellem, om en given renseforanstaltning fjerner stof fra vandløbsbidraget og/eller produktionsbidraget. Tilføres der meget partikulært materiale med vandløbsvandet vil slamkeglerne tilbageholde en stor andel af dette og herved give høje fjernelsesrater ift. partikulært materiale med tilhørende fosfor. Ift. BI₅ vil hovedparten af produktionsbidraget være lettere omsætteligt end det BI₅ der indtages med vandløbsvandet, men en del af det indtagne vandløbsvands partikulære BI₅ ender også i slamkeglerne. Vandløbsbidraget påvirker derfor de rensegrader/-rater, som er beregnet i forhold til bidraget fra fiskeproduktionen, som bliver relativt høje, hvorfor rensegraderne også er blevet relateret til det samlede stofbidrag i tabel 2 i bilag 3. Endvidere vil slamkeglerne som omtalt ikke fjerne samme andel af f.eks. et kg suspenderet stof stammende fra produktionsbidraget som et tilsvarende kg der kommer med vandløbsvandet.

Koncentrationen af BI₅ i vandløbsvandet på 2-4 mg/l er relativt højt i Døstrup Bæk sammenlignet med en række andre vandløb med dambrug. Tilsvarende er koncentrationen af total-kvælstof i vandløbsvandet og af nitrat i det indtagne grundvand også højt sammenlignet med forholdene for en række andre dambrug. Dette skal der tages højde for ved anvendelse af resultaterne fra Døstrup Dambrug.

Den samlede recirkuleringsgrad var i begge måleår mellem 33 og 50% i de tre sektioner i produktionsanlægget og samlet 80% for hele produktionsanlægget. Dette er relativt højt sammenlignet med et traditionelt jorddambrug men lavt sammenlignet med modeldambrugene. Øget recirkulering vil umiddelbart give større rensegrader i slamkegler o.l.

ad 3)

Den hydrauliske belastning af plantelagunerne på Døstrup Dambrug var ret stabil mellem 0,017 l s⁻¹ m⁻² til 0,021 l s⁻¹ m⁻² (tabel 1B, bilag 3). Dette svarer til, at der tilføres 1 l/s til 48 - 59 m² plantelagune med den største hydrauliske belastning af vandløbssystemet, hvor strømhastigheden samtidigt var størst. Der har kun været en mindre variation i længde, bredde og dybde på dammene i de tre lagunesystemer, hvor vandløbssystemets volumen på 917 m³ har været 33% mindre end søsystem 2 (tabel 1A, bilag 3). Det har betydet at opholdstiden i vandløbssystemet i gennemsnit har været knap 5 timer mindre eller ca. 40 % lavere end i søsystem 2. Omvendt har dækningsgrad og biomasse af planter været størst i vandløbssystem i måleår 1, men lidt lavere i måleår 2.

Betragtes rensegrader i procent af tilførslen til de tre lagunesystemer har vandløbssystemet især i måleår 1 den største fjernelsesrate for NH₃+NH₄-N, total P og orthofosfat, mens de to søsystemer har en større rensegrad ift. BI₅. Sammenlignes stoffjernelsen i gram pr. overfladeareal pr. dag er der dog ikke nogen signifikant forskel mellem de tre lagunesystemer ift. BI₅.

Der er en række forhold, der spiller en afgørende rolle for omsætningen af det kvælstof, fosfor og let-omsættelige organiske stof, der når frem til plantelagunerne. For kvælstof vil især følgende faktorer være væsentlige:

- omsætning i biofilm (af NH_4^+ -N). Biofilmen kan især sidde på planterne, dvs. tilstedeværelse af planter med stor overflade og tilstrækkeligt med ilt er vigtigt for omsætningen. Denne omsætning vil også ske i det overfladenære sedimentareal på bunden af lagunerne, hvis der er ilt til stede.
- denitrifikation af kvælstof i sedimentet, hvor der skal være "iltfrie" forhold og let omsætteligt organisk stof tilstede. Der skal løbende tilføres nitrat til den zone, hvor denitrifikationen foregår
- sedimentation af partikulært bundet kvælstof, dvs. tilstrækkeligt lave vandhastigheder
- optag af nitrat i selve plantebiomassen via rødderne
- optag af kvælstof i alger som tilbageholdes i lagunerne.

Opholdstiden i lagunerne vurderes kun at have en mindre betydning for kvælstoftilbageholdelsen/-omsætningen.

For fosfor vil især følgende faktorer være væsentlige:

- sedimentation af partikulært bundet fosfor, dvs. tilstrækkeligt lave vandhastigheder
- optag af opløst fosfor i selve plantebiomassen via rødder
- optag af fosfor i alger som tilbageholdes i lagunerne
- fosfor udveksling med lagunernes sediment, herunder redox-potentialet. Tilstedeværelse af nitrat øger redox-potentialet og modvirker fosforfrigivelse fra sedimentet.

For BI5 vil især følgende faktorer være væsentlige:

- opholdstiden for at sikre høj bakteriologisk omsætning
- substrat for biofilm, hvori omsætningen kan ske (dvs. stor planteoverflade og bundareal)
- sedimentation af partikulært bundet organisk stof, dvs. tilstrækkeligt lave vandhastigheder
- høj denitrifikation i sediment, der kræver omsætning af organisk stof (bakterierne anvender organisk stof som energi kilde i denitrifikationsprocessen) og stadig tilførsel af nitrat til zonen, hvor det kan omsættes

Plantelagunerne tilbageholder ikke kun organisk stof, men producerer det også via vækst af plantebiomasse og alger der kan tabes som partikulær stof, såfremt det ikke opsamles før afløb fra lagunerne.

Såfremt der er netto ind- eller udsivning gennem lagunernes bund eller sider kan der tilføres/fjernes opløst kvælstof og fosfor.

Generelt er temperaturen en afgørende faktor for stofomsætningen ligesom lysmængden har betydning for en række planters vækst og for en række alger og bakteriers aktivitet/tilstedeværelse.

ad 4)

Forsøgsprojektet varede "kun" 2 år, hvorfor langtidseffekten af plantelagunerne ikke er dokumenteret. Dog tyder efterfølgende udlederkontrol og faunabedømmelser nedstrøms dambruget ikke på, at plantelagunernes effekt skulle have ændret sig væsentligt. Der har endnu heller ikke været behov for oprensning af lagunerne. I de to måleår har de været anvendt henholdsvis 51 og 65 tons foder, dvs. der er kun lavet undersøgelser indenfor et ret snævert foderinterval. I løbet af 2004 blev foderfordelingen hævet til 107 tons. Der mangler således en vurdering af om lagunerne kan omsætte en bestemt rate uanset belastningen. Ift. modeldambrugene har belastningen af lagunerne på Døstrup

Dambrug været relativt høj, mens der ift. et traditionelt dambrug ikke nødvendigvis er tale om en høj belastning.

I Døstrup Dambrug blev der ikke undersøgt for:

- betydningen af forskellige plantearter, herunder overfladeareal ift. biomasse, hvor forskellige plantearter har størstedele af overfladearealet i vandsøjlen og betydningen heraf ift. det overfladeareal bakterierne kan anvende og for omsætningen af bl.a. BI_5 og $NH_3+NH_4^+-N$
- hvilke arter kan optage størst mængde kvælstof og fosfor og kan aktiv høstning af en del af biomassen fremme tilbageholdelsen?
- kan kunstigt substrat (el. bioblokke) specielt i vinterhalvåret erstatte/supplere vandplanter, og er det måske generelt bedre? Hvilket plantearter kan bedst "overvintre"
- hvad er den maksimale vandhastighed i lagunerne ift. optimering af sedimentationen af partikler?
- betydningen af udformningen af lagunerne dvs. dybde-, længde- og breddeforhold. Generelt kan det antages, at for at sikre stor plantedækningsgrad/-biomasse er en udformning som på Døstrup Dambrug med ikke for bredde (6-8 m) og ikke særlig dybe (0,5-0,7 m) laguner fremmende for høj plantedækning/-biomasse. Længden af dammene har mindre betydning, såfremt der er planter i hele længdeprofilen og iltmætningen i midten af den frie vandsøjle ikke kommer under 2-5 mg/l. Dette sikres bedst ved at have flere laguner/damme, der er serielt forbundet. For at kunne oprense plantelagunerne uden at reducere effekten af disse væsentligt bør lagunerne opdeles i mindst tre adskilte systemer (hver med ca. 1/3 af den samlede laguneoverflade, der skiftevis kan oprensnes)
- betydning af denitrifikation i sedimentet for den samlede kvælstoftilbageholdelse i laguner og hvordan fremmes denitrifikationen uden at reducere den bakteriologiske omsætning i biofilmen på planteoverfladerne
- betydning af øvrige processer i sediment- og vandfasen for omsætning/tilbageholdelse af stof
- om lagunernes renseseffekt vil være uændret over tid dvs. bliver den højere eller lavere med tiden
- hvor ofte skal lagunerne oprensnes for at undgå slamflugt og kan det gøres nænsomt så deres effekt ikke reduceres kraftigt i en længere periode, dvs. oprensning af slam uden at fjerne for mange planter
- om der kan undgås kraftig opblomstring af f.eks. trådalger, når der skal være høj opholdstid i lagunerne. Disse bør i givet fald opsamles inden de forlader plantelagunerne
- betydning af nedsivning til/indsivning af overfladenært grundvand
- generel management af plantelaguner, herunder behov for årlig opsamling af plantedele, regulering af iltniveauer, "pleje" af planter (fjernelse af uønskede arter), fjernelse af større slamaflejringer mv.

Dette er en række forhold som det vil være hensigtsmæssigt at få undersøgt for at kunne give mere præcise værdier for rensesgrader/-rater på især lang sigt for forskellige plantelaguner i forskellige typer af dambrug.

Opsamling vedr. anvendelse af resultaterne på Døstrup Dambrug på andre traditionelle dambrug

Resultaterne fra forsøgsprojekt Døstrup Dambrug giver entydige resultater med meget høj statistisk sikkerhed for rensesgraderne på Døstrup Dambrug. Disse rensesgrader er en dokumentation af de faktiske forhold på Døstrup Dambrug med den givne indretning, den givne foderanvendelse/-håndtering, fiskesammensætning og -tæthed. Resultaterne har været tydeligt påvirket af, at der indtages relativt store vandmængder fra Døstrup Bæk som ift. kvælstof, BI_5 og suspenderet stof maskerer produktionsbidraget. Resultaterne kan kun direkte overføres til et andet dambrug, såfremt forholdene er identiske med Døstrup Dambrug ift. foderforbrug/-håndtering, vandindtag fra vandløb, og den kemiske sammensætning og variation af det indtagne vandløbsvand svarer til ligner det fra Døstrup

Bæk m.v. Dette vil kun være opfyldt i ganske få tilfælde. Dokumentationsprojektet for modeldambrug vil i slutningen af 2007 tilvejebringe dokumentation for rensegrader for forskellige renseforanstaltninger på ensartet indrettede og dimensionerede dambrug og hvor der ikke skal tages højde for indflydelsen af stofbidraget af indtaget vandløbsvand, da der kun anvendes drænvand/-grundvand. Dermed fås reelle rensegrader af forskellige renseforanstaltninger ift. fiskeproduktions stofbidrag.

Mange traditionelle dambrug ligner dog ift. vandindtag fra vandløb, renseforanstaltninger og stofbelastningsmæssigt mere Døstrup Dambrug end modeldambrugene.

DMU og DFU vurderer, at de fundne rensegrader/fjernelsesrater i plantelagunerne ved Døstrup Dambrug er realistiske og ikke specielt høje (dvs. relativt lave) sammenlignet med internationale resultater for sammenlignelige renseforanstaltninger/forhold (f.eks. rodzone-/nedsivningsanlæg). DMU og DFU antager derfor, at rensegrader i plantelagunerne af samme størrelsesorden vil kunne opnås i andre dambrug, hvor forholdene ligner dem ved Døstrup Dambrug. Dette vil også gælde i relation til slamkegler, hvor resultaterne fra Døstrup Dambrug dog er kraftigt påvirket af det store vandløbsbidrag og der derfor er bestemt større rensegrader end der kan forventes på traditionelle dambrug, hvor vandløbsbidraget har mindre betydning.

I næste afsnit gives DMUs og DFUs anbefalinger vedr. anvendelse af resultaterne fra Døstrup Dambrug på traditionelle dambrug etableret i henhold til Dambrugsbekendtgørelsen.

Anbefalinger vedr. anvendelse af resultaterne fra Døstrup Dambrug på traditionelle dambrug etableret i henhold til Dambrugsbekendtgørelsen:

Dambrugsbekendtgørelsen giver mulighed for gennem et års målinger (26 prøvesæt) at dokumentere effekten af f.eks. plantelaguner eller slamkegler for at få en efterfølgende foderopskrivning. Dette er en indlysende mulighed, hvis et dambrug vil sikre sig muligheden for at få en foderopskrivning, som svarer til den faktiske ekstra rensning ved de indførte renseforanstaltninger (såfremt målsætning i vandløbet er opfyldt). Målingerne over en plantelagune bør dog ikke gennemføres før der er etableret et rimeligt plantedække heri. Såfremt der ønskes tildelt ekstra foder for etablering af plantelaguner uden forudgående dokumentation (og tilsvarende ved slamkegler) anbefaler DMU og DFU, dels at der stilles nogle dimensioneringskrav til plantelagunerne, dels at rensegraderne fra Døstrup Dambrug ift. slamkeglerne ikke anvendes med den fulde værdi, grundet manglende sikkerhed for at forholdene ikke er identiske med Døstrup Dambrug, og øvrige forhold, som ikke er blevet undersøgt.

Det skal dog samtidigt understreges, at der ved udarbejdelsen af arbejdsgruppen under Dambrugsudvalgets forslag til forventede rensegrader på modeldambrug også blev anvendt et forsigtighedsprincip, således at rensegraden blev sat lavere end den reelt forventelige gennemsnitlige rensning.

Krav til dimensionering:

- Slamkegler bør indrettes som beskrevet under ”decentrale bundfældningszoner” i bekendtgørelse om modeldambrug (Bekendtgørelse om modeldambrug, 2002)
- Plantelaguner:
 - lagunerne bør opdeles i tre systemer, hver med et antal laguner forbundet i serie (som et langsomt flydende vandløb)
 - opholdstiden i hvert af lagunesystemerne bør minimum være 12 og højst ca. 30 timer, men må ikke være så høj, at der kan dannes trådalger i større omfang. I givet fald bør disse opsamles inden vandet afledes til nedstrøms recipient. Det vil være hensigtsmæssigt at større plantedele også opsamles inden de forlader lagunerne
 - en af de tre lagunesystemer bør årligt på skift oprenses for slam, således at hvert system oprenses hvert tredje år (eller oftere, hvis der er synligt større slamaflejring). Under oprens-

ning ledes alt vand gennem de to andre lagunesystemer. Oprensningen bør foregå nænsomt, således at ikke alle levende planter med rødder bliver fjernet. Det kan eventuelt anbefales at anvende en "slamstøvsuger". Det må tilstræbes, at der hurtigt etableres plantedække i den oprensede lagune

- den hydrauliske belastning bør være max. 1 l/s pr. 75 m² plantelagune (0,01333 l s⁻¹ m⁻²) og middelstrømhastigheden for den enkelte dam, beregnet som vandtilførsel divideret med gennemsnitligt tværsnitsareal, bør ikke være under ca. 0,1 cm/s og ikke over 2-3 cm/s. Endvidere skal man undgå kanaler igennem dammene hvor noget af vandet løber hurtigt
- plantelagunerne bør have en dybde mellem 0,5-0,9 m og de enkelte damme bør ikke være mere end ca. 6-8 m bredde. Længden af den enkelte dam er ikke afgørende, blot krav til opholdstid, middelstrømhastigheder og iltforhold kan overholdes
- iltmætningen målt midt i den frie vandstrøm i dammene (dvs. ikke målt inde mellem planter eller nær bunden) bør i gennemsnit være mindst 5 mg/l og ikke komme under 2 mg/l
- det forhøjede foderforbrug bør først anvendes når der er etableret et rimeligt plantedække i plantelagunerne (i sommerhalvåret typisk mindst 2 måneder efter en oprensning, i vinterhalvåret mere med mindre der i stedet anvendes kunstigt plantemedie).

Anbefaling af rensegrader:

Generelt er der i dette forslag til rensegrader taget det samme forsigtighedsprincip i anbefaling af rensegrader som det, der som beskrevet, blev anvendt for modeldambrug. En kommende dokumentation kan så fastlægge den konkrete rensning:

- der anvendes halvdelen af de fundne rensegrader ift. produktionsbidraget for slamkegler ved Døstrup Dambrug for både kvælstof, fosfor og organisk stof. Forslaget er således 3 % af produktionsbidraget for N, 15 % for P og 17 % for BI₅. Man kan hæve rensegraderne efterfølgende, hvis det viser sig at forholdene ligner Døstrup Dambrug meget eller målinger viser højere rensning over slamkeglerne.
- for fjernelse i plantelaguner, indrettet i overensstemmelse med dimensioneringskravene ovenfor, anvendes 1 g N pr. m² pr. døgn, 20% af produktionsbidraget for fosfor og 40 % af produktionsbidraget for organisk stof (BI₅). Man kan hæve procentsatsen efterfølgende, hvis der gennemføres et års målinger (26 sammenhørende målinger over renseforanstaltningen) som statistisk sikkert dokumentere højere rensegrader.

Maksimalværdien for rensegraderne for slamkegler sættes lavere end for Døstrup Dambrug, da vandløbsbidraget på Døstrup Dambrug bidrager med mange partikler som har givet meget høje rensegrader ift. produktionsbidraget. Endvidere viser alle undersøgelser, at større belastning på renseforanstaltninger giver større specifik rensning. Alternativt kan man anvende op til 75 % af rensegraderne for slamkegler for Døstrup Dambrug beregnet ift. det samlede stofbidrag for de forskellige parametre (SS, TN, TP, BI₅) og sætte dette i relation til det tilsvarende samlede stofbidrag på det dambrug, der vurderes.

Den øvre grænse for hvor meget plantelagune, der kan etableres og gives ekstra foder for reguleres i øvrigt af:

- fysisk plads til overholdelse af de angivne dimensioneringskrav (dybde/bredde, opdeling af lagunerne i tre systemer, gerne flere serielt forbundne damme pr. lagunesystem) samt overholdelse af opholdstid, maksimal hydraulisk belastning og iltkrav
- fosfor- og/eller BI₅-rensegraderne medfører at udlederkrav ikke kan overholdes, således at et af de to stoffer bliver begrænsende for hvor meget foder, der kan godkendes (for modeldambrug under forsøgsordningen (type 3) er det ikke første (N) men anden begrænsende parameter (P) som bestemmer fodertildelingen).

I forhold til hvor meget plantelagune, der kan etableres og gives ekstra foder for ift. dambrug som indrettes som modeldambrug, vil begrænsningen være den samme som angivet i de to dots umiddel-

bart ovenfor. Kombinationen af de to krav vil i sig selv begrænse, dels hvor store plantelagunerne kan blive, dels hvor meget plantelagune pr. 100 tons foder der kan etableres. Der kan evt. suppleres med et krav til maksimalstørrelsen til den enkelte dam i plantelagunerne ud over de stillede krav i dottene ovenover, f.eks. en maksimal overflade pr. dam på 500 m² og et maksimalt volumen på 350 m³. DMU og DFU skal dog understrege, at anbefalingen på en maksimalstørrelse ikke er nærmere dokumenteret og alene bygger på et skøn ud fra Døstrup Dambrugs indretning.

I tabel 5 nedenfor er sammenfattet DMUs og DFUs anbefalinger til rensegrader vedr. slamkegler og plantelaguner for traditionelle dambrug etableret i henhold til dambrugsbekendtgørelsen. For plantelagunerne skal rensegraderne skal suppleres med de angivne dimensioneringskrav til disse.

Dambrugsbekendtgørelsen anvender en standardstoffjernelse for N, P og BI₅ på henholdsvis 7% (egenomsætning), 20% (bundfældning) og 20% (bundfældning og egenomsætning) som angivet i første linie af tabellen. Dette skal der tages højde for i forhold til de anbefalede rensegrader for slamkegler (2. linie i tabel 5), idet en del af den rensning som er godskrevet som rensning i et standarddambrug indgår i de rensegrader, der er fastlagt for slamkegler + bundfældningsanlæg ved Døstrup Dambrug. DMU og DFU vurderer at dette svarer til ca. 50% af standardrensegraden for fosfor og BI₅, men ikke noget af standardrensegraden for kvælstof (som stort set tilskrives egenomsætning).

Det betyder, at anbefalede rensegrader i tabel 5 ved etablering af slamkegler i traditionelt dambrug findes ved til anbefalingerne baseret på Døstrup Dambrugs rensegrader at tillægge 7% point jvf. dambrugsbekendtgørelsen for N, og 10% point for henholdsvis P og BI₅ (linie 4 i tabel 5).

Rensegrader for slamkegler + plantelaguner findes ved at lægge de anbefalede rensegrader fra Døstrup Dambrug for hver af de to foranstaltninger sammen og tillægge 7% point jvf. dambrugsbekendtgørelsen for N, og 10% point for henholdsvis P og BI₅ (linie 6).

Tabel 5: Anbefalede rensegrader for traditionelle dambrug etableret i henhold til dambrugsbekendtgørelsen, som vil etablere slamkegler og eller plantelaguner. Se tekst for yderligere forklaring.

	Kvælstof	Fosfor	BI₅	Kommentar
Standarddambrug	7%	20%	20%	Fra dambrugsbekendtgørelsen
Slamkegler – alene	3%	15%	17%	50% af målt fjernelse v. Døstrup
Plantelagune - alene	1 g m ⁻² dag ⁻¹	20%	40%	Målt ved Døstrup
Slamkegle + standard	10%	25%	27%	Red. af P, BI ₅ ift. standardværdier
Plantelagune + standard	7% + 1 g m ⁻² dag ⁻¹	40%	60%	Ingen reduktion af P og BI ₅ ift. standardværdier
Slamkegler + plantelaguner + standard	10% + 1 g m ⁻² dag ⁻¹	45%	67%	Red. af P og BI ₅ ift. standardværdier

DMU og DFU skal anbefale at der på baggrund af resultaterne fra dokumentationsprojektet for modeldambrug og måleresultater med 26 sammenhørende målinger på et år målt ved andre dambrug, der har etableret plantelaguner, i 2007/2008 foretages en samlet vurdering af de rensegrader der kan anvendes ved etablering af plantelaguner for dambrug etableret under dambrugsbekendtgørelsen.

Litteratur

Bekendtgørelse om ændring af bekendtgørelse om modeldambrug (2004): Bekendtgørelse om ændring af bekendtgørelse om modeldambrug. BEK nr. 328 af 15. marts 2004.

Bovbjerg Pedersen, P., Grønborg, O. & Svendsen, L.M. (reds.) (2003): Modeldambrug. Specifikationer og godkendelseskrav. Rapport fra faglig arbejdsgruppe. Danmarks Miljøundersøgelser. 84 s. – Arbejdsrapport fra DMU nr. 183.

Bekendtgørelse om modeldambrug (2002): Miljøministeriet bekendtgørelse nr. 923 af 11. november 2002.

Dambrugsudvalget (2002): Dambrugsudvalget. Udvalget vedr. dambrugserhvervets udviklingsmuligheder. Rapport. Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, 78 pp.

Fjorback, C., Larsen, S.E., Skriver, J., Svendsen, L.M., Nielsen, P. & Riis-Vestergaard, J. (2003) Forsøgsprojekt Døstrup Dambrug. Resultater og konklusioner. Danmarks Miljøundersøgelser. 272 sider – Faglig rapport fra DMU nr. 434.

Lin Y., Jing S.; Lee D. & Wang T. (2002): Nutrient removal from aquaculture wastewater using a constructed wetlands system” *Aquaculture* 209 p. 169-184.

Schultz C., Gelbrecht J. & Rennert B (2003). Treatment of rainbow trout farm effluents in constructed wetland with emergent plants and subsurface horizontal water flow. *Aquaculture* 217 p. 207-221.

Svendsen, L.M. og Pedersen, P.B (eds.) (2004): En undersøgelse af muligheder for etablering af måleprogram på såkaldte modeldambrug. Teknisk rapport. DFU-rapport nr. 132-04, 120 pp.

Bilag 1: Skriftlige spørgsmål, der ligger til grund for notatet

Fra Skov- og Naturstyrelsen:

SNS skal hermed anmode DMU om et notat, der redegør for i hvilket omfang og under hvilke kriterier det vil være fagligt forsvarligt at godkende foderopskrivninger på baggrund af etableringen af en plantelagune. I den sammenhæng er det vigtigt at have for øje, at der er tale om væsentlige foderopskrivninger med 8 års retsbeskyttelse, hvilket fordrer en høj grad af sikkerhed for plantelagunens effekt.

SNS finder det bla. vigtigt at få præciseret hvilke dimensioneringskrav, som skal efterleves for at sikre samme rensegrad, som er dokumenteret på Døstrup Dambrug, her tænkes f.eks. på om der er en øvre grænse for hvor store lagunerne kan være og stadigvæk opretholde samme effektivitet pr. areal enhed, hvordan skal vandet fordeles til lagunerne, hvordan skal lagunerne etableret i forhold til hinanden (serielt eller parallelt), er der en maksimal opholdstid som bør overholdes mv.

Det er selvfølgelig også vigtigt at præcisere, hvad en plantelagune kan tilbageholde alene - hvis den ikke er tilknyttet et modeldambrug, men blot etableres i forbindelse med et traditionelt dambrug etableret i henhold til dambrugsbekendtgørelsen.

Bilag 2: Skriftlige spørgsmål, der ligger til grund for notatet

Fra Dansk Akvakultur:

Vedr. Foderopskrivninger på dambrug.

Skov- og Naturstyrelsen har i brev af 14. september 2004 til Vejle amt¹ besvaret et spørgsmål, foranlediget af en forespørgsel fra Vejle amt² om, hvorvidt etableringen af en plantelagune på et dambrug, der ikke indretnings- og driftsmæssigt lever op til bekendtgørelsen om modeldambrug, kan danne baggrund for en opskrivning af foderforbruget, efter reglerne i bekendtgørelsen om modeldambrug. Spørgsmålene der stilles af Vejle amt i brevet, er ikke særlig præcise og derfor er Skov- og Naturstyrelsens besvarelse heller ikke særlig entydig.

Problemstillingen er, at i forbindelse med en række ansøgninger om miljøgodkendelse af dambrug, har ansøgeren anvendt den dokumentation for plantelaguner og slamkeglers effektivitet, som blev genereret gennem forsøgsprojektet Døstrup Dambrug. Til gennem en miljøgodkendelse midlertidig, at få hævet det højst tilladelige foderforbrug, gennem etablering af en plantelagune.

En af forudsætningen for den midlertidige opskrivning af foderforbruget i de meddelte godkendelser, der ikke er påklaget, har været, at der igangsættes et omfattende dokumentationsprogram typisk omfattende 26 samhoørende prøver af ind- og afløb fra dambruget pr. år, ind til en tilstrækkelig sikker dokumentation for de pågældende dambrugs rensningseffektivitet foreligger således at det fremtidige foderforbrug kan fastsættes på baggrund af rensningseffektiviteten på det konkrete dambrug, hvilket er i overensstemmelse med anbefalingerne i Dambrugsudvalgets rapport.

Det er specielt mindre og mellemstore dambrug, og dambrug der kan kategoriseres som lavteknologiske, der vælger denne løsning. Dette skyldes, at de pågældende dambrug, ikke ønsker en indretning, eller ikke kan få økonomi i en ombygning efter reglerne i bekendtgørelsen for modeldambrug.

Mange af denne type dambrug står over for nødvendige drifts og indretningsmæssige investeringer i forbindelse med tilpasninger af dambruget til et fremtidig mindre vandindtag. Ved anvendelse af plantelaguner som slutrensning ser dambrugene, at dette kan kombineres med visse udviklingsmuligheder for dambrugene og at der samtidig kan opnås visse drifts- og miljømæssige fordele. Herved sikres at investeringerne i forbindelse med ændret vandindtag ikke bliver kortsigtede fejlinvesteringer, men at disse investeringer giver bedre driftsøkonomi, større produktion, sikre arbejdsplader og en bedre og mindre miljøbelastning m.v.

Der er endvidere en gruppe dambrug der allerede har investeret i yderligere rensningsforanstaltninger, men ikke har haft mulighed for gennem et forøget foderforbrug, at forrente investeringen, der ser tilsvarende muligheder i etableringen af plantelaguner som slutrensning.

For at få afklaret om hvorvidt anvendelsen af den dokumentation der gennem Forsøgsprojektet Døstrup dambrug blev genereret, og som i stor udstrækning har dannet baggrund for bekendtgørelsen om modeldambrug, skal Dansk Akvakultur derfor bede

¹ Vedlagt som bilag

² Vedlagt som bilag

Danmarks Miljøundersøgelser og Danmarks Fiskeriundersøgelser om at besvare følgende spørgsmål:

1. I hvilket omfang kan dokumentationen for renseforanstaltningernes effektivitet på Døstrup dambrug, anvendes på dambrug der ikke er indrettet og drives stringent efter bekendtgørelsen om modeldambrugs retningslinier. Men forudsat at det midlertidige foderforbrug der fastsættes under dokumentationsperioden, tager udgangspunkt i den laveste af de dokumenterede rensegrader for BI.₅ total-P, og total-N.
2. I bekræftende fald bedes anført hvilke dimensioneringskriterier der kan anvendes ved dimensionering af plantelagunerne anvendt enten som mellemrensning eller som slutrensning eller begge dele.

I hensyn til den videre sagsbehandling af en række konkrete sager bedes DMU og DFU om en hurtig besvarelse af de stillede spørgsmål.

Med venlig hilsen

Dansk Akvakultur

Peder Nielsen

CC. Danmarks Fiskeriundersøgelser, Nordsøcentret Hirtshals

Bilag 3: Tabeller med resultater fra Døstrup Dambrug og fra artikel med rodzoneanlæg og som der refereres til i notatet

Tabel 1A: Karakteristik af plantelagunerne ved Døstrup Dambrug. \pm angiver standardafvigelsen omkring middelværdien. Hvor der er angivet to tal adskilt af "/" er der tale om resultater fra 46 sammenlignelige perioder i de to måleår (henholdsvis maj 2000-april 2001 med 44,5 tons foder og maj 2001-april 2002 med 58,6 tons foder).

	Vandløbssystem	Søsystem 1	Søsystem 2	Samlet for alle plantelaguner
Længde (m)	32,5	36,5	39,0	
Bredde (m)	7,2 \pm 0,3	7,9 \pm 0,4	8,0 \pm 0,2	
Overfladeareal (m ²)	1.638	1.730	1.872	5.240
Dybde (m)	0,56 \pm 0,06	0,70 \pm 0,04	0,73 \pm 0,03	
Volumen (m ³)	917	1.211	1.367	3.495
Afløb lagune (l/s)	34,9 \pm 5,1	35,3 \pm 5,1	32,1 \pm 5,9	102 \pm 5,3
Middelhastighed (cm/s)	0,87 \pm 0,13	0,11 \pm 0,02	0,09 \pm 0,02	
Opholdstid	7t30m \pm 1t10m	10t11m \pm 1t21m	12t21m \pm 1t28m	
Max. plantebiomasse sommer (g m ⁻²)	650/600	550/650	500/700	550/650

Tabel 1B: Som tabel 1A med væsentligste resultater for plantelagunerne ved Døstrup Dambrug. Hvor der er angivet to tal adskilt af "/" er der tale om resultater fra 46 sammenlignelige perioder i de to måleår (henholdsvis maj 2000-april 2001 med 44,5 tons foder og maj 2001-april 2002 med 58,6 tons foder).

	Vandløbssystem	Søsystem 1	Søsystem 2	Samlet for alle plantelaguner
Vandtilførsel pr overfladeareal (l s ⁻¹ m ⁻²)	0,021	0,020	0,017	0,019
Tilført suspenderet stof pr. tons foder (kg/tons)	-	-	-	234/129
Tilført total N pr. tons foder (kg/tons)	-	-	-	802/598
Tilført NH ₃ -NH ₄ ⁺ -N pr. tons foder (kg/tons)	-	-	-	16/11
Tilført total P pr. tons foder (kg/tons)	-	-	-	9,5/7/8
Tilført PO ₄ -P pr. tons foder (kg/tons)	-	-	-	6,4/5,2
Tilført BI ₅ pr. tons foder (kg/tons)	-	-	-	236/198
Susp. stof. tilført pr. overfladeareal (g dag ⁻¹ m ⁻²)	6,7/5,1	6,6/4,5	5,4/3,9	6,2/4,5
Total N tilført pr. overfladeareal (g dag ⁻¹ m ⁻²)	23/23	22/21	18/19	21/21
NH ₃ -NH ₄ ⁺ -N tilf. pr. overfladeareal (g dag ⁻¹ m ⁻²)	0,46/0,43	0,44/0,38	0,36/0,36	0,42/0,39
Total P tilført pr. overfladeareal (g dag ⁻¹ m ⁻²)	0,27/0,30	0,26/0,27	0,22/0,24	0,25/0,27
PO ₄ -P tilført pr. overfladeareal (g dag ⁻¹ m ⁻²)	0,19/0,20	0,18/0,18	0,15/0,16	0,17/0,18
BI ₅ tilført pr. overfladeareal (g dag ⁻¹ m ⁻²)	6,8/7,7	6,5/6,8	5,5/6,2	6,2/6,9
Total N tilbageholdelse i % af tilførsel	5/6	4/5	4/6	4/6
NH ₃ -NH ₄ ⁺ -N tilbageholdelse i % af tilførsel	60/57	39/41	42/41	47/47
Total P tilbageholdelse i % af tilførsel	27/22	16/16	15/14	19/17
PO ₄ -P tilbageholdelse i % af tilførsel	19/22	8/8	9/-2	12/9
BI ₅ tilbageholdelse i % af tilførsel	26/32	29/36	32/41	29/36
Tilbageholdelse TN (g m ⁻² døgn ⁻¹)	1,3/1,4	0,9/1,1	0,7/1,0	0,9/1,2
Tilbageholdelse NH ₃ -NH ₄ ⁺ -N (g m ⁻² døgn ⁻¹)	0,29/0,27	0,19/0,17	0,17/0,16	0,20/0,18
Tilbageholdelse TP (g m ⁻² døgn ⁻¹)	0,07/0,07	0,04/0,04	0,04/0,03	0,05/0,05
Tilbageholdelse PO ₄ -P (g m ⁻² døgn ⁻¹)	-	-	-	0,02/0,02
Tilbageholdelse BI ₅ (g m ⁻² døgn ⁻¹)	1,8/2,4	1,9/2,4	1,9/2,5	1,8/2,5

Tabel 2: Stofbidrag fra fiskeproduktionen, stofbidraget fra indtagne vandløbsvand og fra grundvandet, det samlede stofbidrag til produktionsanlægget sammenholdt med tilbageholdelsen i slamkegler, bundfældningsanlæg, plantelaguner og i alt angivet i %. Stoffjernelsen er angivet i henholdsvis % af den samlede stoftilførsel (før ”/”) og i % af fiskeproduktionens stofbidrag (efter ”/”). Tallene er fra Døstrup Dambrug for en 46 ugers periode maj 2001-april 2002 med 58,6 tons foder.

	Susp. stof	Total N	Total P	BI₅
Tilført dambrug fra vandløb (kg)	12.642	22.478	199	5.574
Tilført dambrug via grundvand (kg)	368	10.228	64	513
Tilført dambrug via fiskeproduktionen (kg)	3.450	2.591	288	8.935
Tilført dambruget i alt (kg)	16.460	35.297	551	15.022
Fjernelse via slamkegler (%)	36/171	0/ 5	15/30	19/33
Fjernelse i bundfældningsbassin (%)	20/ 97	0/ 4	4/ 8	4/ 6
Fjernelse i plantelaguner (%)	23/107	6/76	14/27	28/46
Fjernelse i alt (%)	79/100	6/85	34/65	51/85

Tabel 3: Resultater fra mindre rodzoneanlæg med tagrør, der modager afløbsvand fra dambrug (Schultz et al., 2003). Se tekst for forklaring.

	Indløb	Udløb		
		7,5 time	2,5 time	1,5 time
TSS (mg/l)	8,74	0,36	0,34	0,34
Fjernelse i % og i gm ⁻² dag ⁻¹		96 % 9	96 % 26	96 % 43
COD (mg/l)	29,53	10	10	10
Fjernelse i % og i gm ⁻² dag ⁻¹		65 % 20	64 % 59	65 % 99
TP (µg/l)	374	117	190	177
Fjernelse i % og i gm ⁻² dag ⁻¹		69 % 0,26	49 % 0,57	52 % 1,01
TN (mg/l)	1,98	1,15	1,54	1,58
Fjernelse i % og i gm ⁻² dag ⁻¹		42 % 2,0	23 % 6,1	21 % 10,2
NH₄-N (mg/l)	0,58	0,05	0,06	0,06
Fjernelse i % og i gm ⁻² dag ⁻¹		91 % 0,55	90 % 1,60	90 % 2,68
NO₃-N (mg/l)	0,66	0,87	1,26	1,25
Fjernelse i % og i gm ⁻² dag ⁻¹ :		- 31 % - 0,21	- 89 % - 1,82	- 88 % - 3,02