

Løjstrup Dambrug (øst)

- et modeldambrug under forsøgsordningen

Statusrapport for 2. måleår af monitoringsprojektet

med væsentlige resultater fra første måleår

Lars M. Svendsen, Danmarks Miljøundersøgelser, Århus Universitet
Ole Sortkjær, Danmarks Miljøundersøgelser, Århus Universitet
Niels Bering Ovesen, Danmarks Miljøundersøgelser, Århus Universitet
Jens Skriver, Danmarks Miljøundersøgelser, Århus Universitet
Søren Erik Larsen, Danmarks Miljøundersøgelser, Århus Universitet
Per Bovbjerg Pedersen, DTU Aqua
Richard Skøtt Rasmussen, DTU Aqua
Anne Johanne Tang Dalsgaard, DTU Aqua

Februar 2009

0	Sammenfatning	3
1	Indledning	8
2	Beskrivelse af dambruget	11
2.1	Indretning	11
2.2	Måleprogram og måleperiode	12
2.3	Væsentlige vilkår	14
3	Drift og produktion	16
3.1	Foderforbrug, produktion og foderkvotient	16
3.2	Produktionsbidrag	17
4	Temperatur, pH og ilt	20
5	Vandflow i dambruget	27
5.1	Måling af vandflow	27
5.2	Returskyllning af biofiltre og tømning af slamkegler	28
5.3	Vandbalance	29
5.4	Recirkulationsflow	30
5.5	Vandforbrug/fodermængde	31
5.6	Hydraulisk belastning af lagune	31
6	Stofkoncentrationer forskellige steder på dambruget	32
7	Overholdelse af udlederkrav	41
8	Massebalancer	43
8.1	Produktionsbidrag	43
8.2	Massebalancer	43
9	Rensegrader og stoffjernelse	46
9.1	Beregning af rensegrader	46
9.2	Rensegrader over hele dambruget	46
9.3	Rensegrader over produktionsanlægget og over plantelaguner	49
9.4	Sammenligning af stoftab over dambruget	53
9.5	Stofbalance over slambassin	55
10	Vandløbsfauna	57
10.1	Fysiske forhold i Hadsten Lilleå	57
10.2	Smådyrfauna	57
11	Planter i grødefyldte bassiner	59
12	Diskussion	63
13	Litteraturliste	76

0 Sammenfatning

De samlede miljømæssige fordele ved modeldambrug er mangetallige, som blandt andet oplistet vedrørende især uhindret faunapassage i Dambrugsudvalgets rapport:

Vandløbet	Dambruget
<p>Fordele:</p> <p>"Død å"-strækning fjernes</p> <p>Øget vandføring i dambrugen omløb</p> <p>Påvirkning af opstemning opstrøms reduceres, fjernes evt. helt</p> <p>Naturlige variationer i vandløbets vandføring opretholdes i omløbene</p> <p>Indtrængen af naturlig fauna i dambrugene reduceres</p> <p>Passageproblemer ved dambrugen opstemninger og vandindtag, herunder afgitring, indretning af faunapassage (både op- og nedstrøms), opstemning m.v. løses langt nemmere</p> <p>Udledning af medicin og hjælpestoffer reduceres</p> <p>Maksimumskoncentrationer af medicin og hjælpestoffer i vandløbene formindskes</p> <p>Fald i vandløbets iltindhold nedstrøms reduceres/undgås</p> <p>Ulemper:</p> <p>Ingen</p>	<p>Fordele:</p> <p>Stabile produktionsforhold</p> <p>Påvirkninger fra variationer i indløbsvandets kvalitet reduceres eller elimineres</p> <p>Øget effekt af renseforanstaltninger</p> <p>Ved brug af drænvand/grundvand kan opnås højere vandtemperaturer om vinteren og lavere om sommeren</p> <p>Bedre muligheder for styring af management og produktionsmiljøet</p> <p>Reduceret smittepres</p> <p>Reduceret behov for anvendelse af medicin og hjælpestoffer, herunder kalkning</p> <p>Bedre arbejdsmiljø</p> <p>Ulemper:</p> <p>Højere energiforbrug pr. kilo produceret fisk</p> <p>Øget udledning af CO₂</p> <p>Risiko for opbygning af skadelige ammoniakkoncentrationer</p> <p>Øget behov for overvågning og styring af driftsforholdene</p> <p>Øget behov for backup-systemer: strøm, iltforsyning, pumper m.v.</p>

Der er tidligere udgivet en statusrapport for det første måleår ved Løjstrup Dambrug (øst) (Svendsen et al., 2007). I denne statusrapport, som omhandler andet driftsår for Løjstrup Dambrug (øst) som modeldambrug, beskrives de opnåede resultater fra monitoringsprojektets måle- og dokumentationsprogram, der har til formål at fremskaffe dokumentation for dambrugenens rensning og udledning af næringsstoffer og organisk stof. Der er medtaget en række væsentlige resultater fra år 1 for at kunne sammenligne resultater mellem de to måleår. Der er også medtaget resultater fra første måleår for emner, som ikke blev medtaget i statusrapporten for det første måleår. Endvidere er medtaget resultater fra første måleår, hvor der er lavet korrektioner ift. indhold af kvælstof og fosfor i fisk og for produktionsbidraget af COD og BI₅ og forholdet mellem disse. Dette har medført justeringer i produktionsbidraget og hermed i beregnede rensegrader og udlederkontrollen ift. statusrapporten for første måleår, men ændrer ikke væsentligt ved de overordnede resultater for det første måleår. Der drages nogle konklusioner for resultaterne for de to måleår på dambruget. Hermed kan og bør denne status rapport for

andet måleår også anvendes som en samlet rapportering for de væsentligste resultater for de to måleår under forsøgsordningen for Løjstrup Dambrug (øst).

Produktionsforhold

Løjstrup Dambrug (øst) har i perioden 7. september 2006 til 6. september 2007 anvendt 322,53 tons foder i dambrugets modeldambrugsafsnit med en beregnet produktion på 336,7 tons fisk (inkl. døde). Dette giver en samlet foderkvotient (alene baseret på tal i produktionsanlæggene) på 0,957. Der produceres på anlægget store fisk (1 kg) til senere udsætning (omkring april) i havbrug.

På trods af almindelige indkøringsvanskeligheder, tillæring til ny produktionsform, ny teknologi og nye problemstillinger, må selve driften af anlægget generelt betegnes som succesfuldt også i andet driftsår

Vandforbrug

Løjstrup Dambrug (øst) indtager nu vand alene fra boring placeret nær vandløb og plantelagune. Hertil kommer, at vandforbruget i forbindelse med betydelig recirkulering (recirkuleringsgrad ca. 94 %) er nedsat fra ca. 550 l/s før ombygning til nu 34 l/s (andet måleår), svarende til ca. 6 % af før). Med 34 l/s (år 2) har vandindtaget været noget mindre end de tilladte 45 l/s.

Rensegrader

Ved forarbejdet i bekendtgørelse om modeldambrug m.v. blev der forudsat nogle rensegrader for organisk stof og næringsstoffer på modeldambrug. En sammenstilling af de i bekendtgørelsen for modeldambrug forudsatte, når der er mikrosigte, og de opnåede netto rensegrader i 2. måleår på Løjstrup Dambrug (øst) ser således ud:

	Forventet	Opnået 1. år	Opnået 2. år
Organisk stof (BI ₅)	80 %	84 %	88 %
Total kvælstof (inkl. omsætning plantelaguner)	25 %	46 %	46 %
Total Fosfor	65 %	66 %	46 %

De opnåede rensegrader honorerer fint det forudsatte for organisk stof (BI₅), og er væsentligt bedre for total-N, mens fosforrensningen i 2. måleår er betydeligt under forudsætningen. Produktionsanlægget med dets slamkegler, mikrosigte og biofiltre fjerner netto især ammonium (59 %), til dels fosfor (30 %), og 59 % af produktionsbidraget af organisk stof samt 15 % af total kvælstof, når der er taget højde for tab med klaringsvandet fra slambassin. I andet driftsår har stoffjernelsen af især partikulært bundet materiale over produktionsanlægget (slamkegler og mikrosigte) været betydeligt reduceret i forhold til tidligere. Hertil kommer at der returneres relativt store mængder af de frarensede stoffer via slambassinets klaringsvand til plantelagunen. Plantelagunen fjerner især tilført organisk stof (64 % af BI₅) og noget total-fosfor (21 %) og totalkvælstof (26 %) via nitratfjernelse, men intet af tilført ammoniumkvælstof og ortho-fosfat. Hvorvidt der stadig, som i 1. måleår, tilføres ortho-fosfat via frigivelse fra sedimentet i bunden af plantelagunen, kan ikke afgøres.

Rensningen i plantelagunerne har for alle parametrene, total-fosfor, total-kvælstof og organisk stof, ligget betydeligt højere (faktor 3-5) end dem, der blev fundet i tidligere forsøg på Døstrup Dambrug, som udgjorde en del af grundlaget for de forudsatte rensegrader, men lavere for fosfor.

Specifik udledning

Ifølge Miljøstyrelsens opgørelser for ferskvandsdambrug udledtes der i 2003 3.098 t BI₅, 1.119 t total-N og 90 t total-P ved en produktion på 29.434 t ørreder, mens der ifølge den seneste opgørelse i 2006 udledtes 2.515 t BI₅, 839 t total kvælstof og 77,7 t total fosfor ved en produktion på 26.874 t ørreder (*By- og Landskabsstyrelsen, 2007*). Tallene svarer til gennemsnitlige specifikke udledninger som angivet i nedenstående tabel, hvor 2003-tallene er medtaget for at give sammenligningsgrundlag med tidligere rapporter og 2006-tallene er medtaget for at kunne sammenholde med de nyeste tal:

	Specifik udledning – netto (kg/t fisk produceret)			Løjstrup Dambrug (øst) i % af gennemsnit DK	
	Gennemsnit Danmark	Løjstrup Dam- brug (øst) - 1. måleår	Løjstrup Dam- brug (øst) - 2. måleår	År 1	År 2
	Organisk stof (BI ₅)				
-2003	105,3	14,2	11,8	13	11
-2006	93,6			15	13
Total-N					
-2003	38,0	24,1	23,7	63	62
-2006	31,2			77	76
Total-P					
-2003	3,1	1,9	2,7	61	87
-2006	2,9			66	93

Som det fremgår, er der kraftigt reduceret specifik udledning af organisk stof, mens kvælstof og fosfor stadig er bedre end gennemsnittet af danske ferskvandsdambrug.

Overholdelse af udlederkrav jvf. Århus Amts miljøgodkendelse

I miljøgodkendelsen har Århus Amt opstillet en række kontrolparametre med tilhørende kravværdi.

Kontrolparameter	Kravværdi i Miljøgodkendelse	Justeret kravværdi	Teoretiske kravværdier jvnf. Dambrugsbekendtgørelsen	Udledning, beregnet efter Bekendtg. om modeldambrug	
				År 1	År 2
Susp. stof	94 kg d ⁻¹	83 kg d ⁻¹	142 kg d ⁻¹	11,5	10,3
NH₄⁺	3,1 mg l ⁻¹	-	4,9 mg l ⁻¹	4,4	6,4
Total-N	30 kg d ⁻¹	20 kg d ⁻¹	28,5 kg d ⁻¹	17,9	19,9
Total-P	3 kg d ⁻¹	2,3 kg d ⁻¹	2,4 kg d ⁻¹	1,55	2,2
BI₅	8,0 mg l ⁻¹	-	12,2 mg l ⁻¹	5,5	5,0

Ved sammenligning af kolonne et (to) vs. tre ses det, at kravværdierne er skærpede for suspenderet stof, ammonium og BI₅ mens der er fuldt kompenseret for det reducerede vandforbrug vedrørende total-N og total-P.

I fjerde og femte kolonne er opgivet Løjstrup Dambrugs (øst) udledning beregnet efter modeldambrugsbekendtgørelsen, og det ses, at alle udlederkrav er overholdt i begge måleår på nær for ammonium kvælstof, hvor udlederværdien har været henholdsvis 142 % (år 1) og 206 % (år 2) af kravværdien. Såfremt der kompenseres fuldt for reduktionen i vandforbrug (tredie kolonne) overholdes alle udlederkrav, undtagen ammonium i år 2. Det fremgår, at udlederværdierne år 2 er højere end år 1 for henholdsvis ammonium, total kvælstof og total fosfor men samtidig har den været lavere for både suspenderet stof og BI₅.

Fauna og faunaindex

Dansk Vandløbs Fauna Index (DVFI) er opgjort således:

	Hadsten Lilleå, opstrøms	Hadsten Lilleå, nedstrøms
April 2005	7	7
April 2005	7	7
September 2005	7	7
April 2006	7	7
Juni 2006	7	7
Oktober 2006	7	7
December 2006	7	6
April 2007	7	7
Juni 2007	7	6
Marts 2008	7	7

Idet målsætningen på både op- og nedstrømsstationen er 5, med optimal faunaklasse 7, er der målopfyldelse ved alle vandløbsbedømmelser på begge stationer. Overordnet er faunasammensætningen den samme opstrøms såvel som nedstrøms for Løjstrup Dambrug og faunaen er på begge stationer præget af betydelig forekomst af en række rentvandskrævende arter af smådyr.

Diskussion og primære udeståender

De opnåede rensegrader og den resulterende specifikke udledning er overordnet acceptable og modsvarer stort set de opstillede forudsætninger, men for total fosfor samt ammonium er der behov for en forstærket indsats.

Især i år 2 er det tydeligt, at der fjernes for lidt partikulært materiale (organisk stof og fosfor) fra produktionsanlæggets renseenheder. Dette giver to uheldige konsekvenser:

- 1) en reduceret nitrifikation i biofiltrene, hvorved ammonium-tilførslen til plantelagunen stiger markant. Netop ammonium kan plantelagunen dårligt fjerne, hvorfor konsekvensen er, at udledningen af ammonium forøges
- 2) andelen af fosfor på opløst (orthofosfat) form stiger betydeligt, hvorfor også tilførslen til plantelagunen på opløst form stiger. Netop orthofosfat kan plantelagunen dårligt fjerne, hvorfor konsekvensen er, at udledningen af fosfor øges.

Endvidere returneres en større del af den stofmængde, der føres over i slambassinerne fra produktionsanlæggets slamkegler, mikrosigte og biofiltre med klaringsvandet til plantelagunerne. Det vil derfor endvidere være hensigtsmæssigt at forsøge at øge stoftilbageholdelsen/-fjernelsen i slambassinerne.

En forklaring på forholdene år 2 kan bl.a. være ændret fodertype og ingredienser heri samt at der fra begyndelsen af år 2 tilbageføres spulevand fra mikrosigterne til produktionsanlægget. Begge ændringer med det resultat at mere finpartikulært og opløst stof tilføres produktionsanlægget i år 2.

Tilsvarende synes plantelagunernes funktion endnu ikke at være optimal. Dels er lagunen anlagt med tre sø-agtige bassiner endnu uden betydelig og tilstrækkelig vegetation, dels er det samlede areal næsten 30 % mindre end forudsat.

En forbedring i plantelagunernes størrelse, bundforhold og beskaffenhed, samt forøget plantevækst/vegetation må forventes at kunne forbedre funktionen og nedbringe udledningen.

1 Indledning

Som et af resultaterne fra det af fødevareministeriet nedsatte dambrugsudvalg (Udvalget vedr. dambrugserhvervets udviklingsmuligheder) blev der i dette udvalgs rapport, marts 2002 (*Dambrugsudvalget, 2002*), peget på muligheden af etablering af mere ensartede typedambrug eller såkaldte modeldambrug.

Det ensartede koncept i modeldambrugene skulle muliggøre, at dokumentation samt viden og erfaring indhentet herpå, kunne finde anvendelse på andre modeldambrug af samme type, således at såvel drift som sagsbehandling, tilladelser m.v. kunne smidiggøres.

I såvel sideløbende som efterfølgende arbejder (eks.: *Pedersen et al. 2003; Svendsen & Pedersen, 2004*) samt notater og Bekendtgørelser (*Bekendtgørelse om modeldambrug, 2002* og *Bekendtgørelse om ændring af bekendtgørelse om modeldambrug, 2004*) er de nærmere specifikationer og krav til modeldambrug blevet defineret og fastlagt.

Tre typer modeldambrug er beskrevet (type 1, 2 og 3), hvor der for type 2 og 3 er åbnet for en deltagelse under en 2-årig forsøgsordning, i hvilken periode monitorering af den resulterende miljømæssige effekt skulle måles.

Ingen dambrug har ønsket ombygning til type 2 under forsøgsordningen, mens 8 dambrug af type 3 blev udvalgt til deltagelse i denne. Løjstrup Dambrug (øst) er et af disse.

Det skal understreges, at listen over miljømæssige fordele ved modeldambrugsdrift er lang, som opgjort i Dambrugsudvalgets rapport jvf. nedenstående tabel. Disse miljømæssige fordele opnås under alle omstændigheder ved etablering af modeldambrug. Efterfølgende har listen kunnet suppleres med flere fordele og enkelte ulemper (*Dansk Akvakultur, 2008*).

Ifølge projektansøgningen er det projektets hovedformål at få dokumenteret og fastlagt den resulterende, specifikke udledning af kvælstof, fosfor og organisk stof (BI₅) fra modeldambrug. Det er desuden formålet at få dokumenteret og fastlagt rensegraderne af de forskellige rensekomponenter, som finder anvendelse på modeldambrugene (slamkegler, biofiltre (kombifiltre), recirkulering, plantelaguner), herunder at få fastlagt produktionsbidraget under forskellige forhold, ligesom foderspild under daglig drift må kvantificeres. Det er endelig også projektets formål at søge at belyse nogle af de væsentligste processer og sammenhænge, der fører til de resulterende renses effekter. Herved er det intentionen at opfylde dokumentationskravene, herunder at fremskaffe den fornødne dokumentation, således som det fremgår af *Bekendtgørelsen om modeldambrug (2002)* og *Bekendtgørelsen og ændring af bekendtgørelsen om modeldambrug (2004)*. Ifølge bekendtgørelse skal DMU (tidligere under Miljøministeriet nu under Århus Universitet) og DFU som har ændret navn til DTU Aqua opstille et måleprogram, der skal tilvejebringe den omtalte dokumentation.

Vandløbet	Dambruget
<p>Fordele: "Død å"-strækning fjernes Øget vandføring i dambrugenes omløb Påvirkning af opstemning opstrøms reduceres, fjernes evt. helt Naturlige variationer i vandløbets vandføring opretholdes i omløbene Indtrængen af naturlig fauna i dambrugene reduceres Passageproblemer ved dambrugenes opstemninger og vandindtag, herunder afgitring, indretning af faunapassage (både op- og nedstrøms), opstemning m.v. løses langt nemmere Udledning af medicin og hjælpestoffer reduceres Maksimumskoncentrationer af medicin og hjælpestoffer i vandløbene formindskes Fald i vandløbets iltindhold nedstrøms reduceres/undgås</p> <p>Ulemper: Ingen</p>	<p>Fordele: Stabile produktionsforhold Påvirkninger fra variationer i indløbsvandets kvalitet reduceres eller elimineres Øget effekt af renseforanstaltninger Ved brug af drænvand/grundvand kan opnås højere vandtemperaturer om vinteren og lavere om sommeren Bedre muligheder for styring af management og produktionsmiljøet Reduceret smittepres Reduceret behov for anvendelse af medicin og hjælpestoffer, herunder kalkning Bedre arbejdsmiljø</p> <p>Ulemper: Højere energiforbrug pr. kilo produceret fisk Øget udledning af CO₂ Risiko for opbygning af skadelige ammoniakkoncentrationer Øget behov for overvågning og styring af driftsforholdene Øget behov for backup-systemer: strøm, iltforsyning, pumper m.v.</p>

De 8 modeldambrug monitoreres derfor løbende af DMU og DTU Aqua over en 2-årig driftsperiode. På nogle dambrug måles der både over hele dambruget og de enkelte delkomponenter i produktionsanlægget, de såkaldte intensivt monitorerede dambrug, som Løjstrup hører til, mens der på øvrige alene måles over hele dambruget og det samlede produktionsanlæg.

Dette arbejde er blevet udført på baggrund af bevilling fra Fødevareministeriets Direktorat for Fødevarerhverv via FIUF- midler, og er således støttet med 50 % fra den Danske Stat og 50 % fra EU. Der takkes hermed for den tildelte bevilling.

Dokumentations- og monitoringsprojekt følges af en følgegruppe bestående af:

Niels Axel Nielsen, Fmd., direktør for Myndighedsbetjening og Sektorudvikling DTU (tidl.: direktør Danmarks Fiskeriundersøgelser)

Torben Moth Iversen, projektchef DMU, Århus Universitet (tidl. vicedirektør DMU)

Mette Selchau, Fødevareministeriet; erstattede august 2007 Knud Larsen, Fødevareministeriet

Thomas Bjerre Larsen, Miljøstyrelsen; erstattede august 2007 Gitte Larsen, Skov- og Naturstyrelsen

Henrik Haarh, Direktoratet for FødevarerErhverv; erstattede januar 2007
Lars Christensen Clink, Direktoratet for FødevarerErhverv

Jens Ole Frier, Ålborg Universitet

Jacob Larsen, Holstebro Kommune (tidl.: Ringkjøbing Amt)

Lenny Stolborg, Ikast-Brande Kommune; erstattede januar 2007 Henning
Christiansen, Ribe Amt

Lisbeth Jess Plesner, Dansk Akvakultur

Helge A. Thomsen, forskningschef DTU Aqua (tidl.: Danmarks Fiskeri-
undersøgelser)

samt Per Bovbjerg Pedersen, sektionschef DTU Aqua (tidl.: Danmarks
Fiskeriundersøgelser) og Lars M. Svendsen, projektchef Danmarks Mil-
jøundersøgelser, Århus Universitet.

Følgegruppen takkes for et positivt og konstruktivt samarbejde med go-
de input og råd undervejs i projektføreløbet.

I juli 2008 er udgivet en samlet faglig rapport, der kommer med en sam-
let status og konklusioner over 2 års drift og målinger på de 8 model-
dambrug (*Svendsen et al, 2008*). Heri foretages sammenligninger på tværs
af dambrugene og gives de samlede konklusioner for hele måle- og do-
kumentationsprojektet og der gives nogle anbefalinger. Nærværende sta-
tusrapport indeholder derimod alene målinger for Løjstrup Dambrug
(øst) med fokus på 2. måleår med hvor de væsentligste resultater fra 1.
måleår også er medtaget.

Sluttelig skal der lyde en stor tak til alle andre involverede personer, in-
stitutioner m.v. som på hver sin vis har bidraget i det store arbejde. Spe-
cifikt takkes ejerne Niels Dalsgård & Kurt Malmbak-Kjeldsen og fiske-
mester Kaj Larsen samt teknisk personale ved DMU, Århus Universitet:
Uffe Mensberg, Henrik Stenholt, Ane Kjeldgaard, Zdenek Gavor, Marle-
ne Venø Skjærbæk Jessen, Tommy Silberg og Carsten Nielsen og ved
DTU Aqua (DFU): Tommy Nielsen, Peter Faber, Torben Filt Jensen, Ole
Madvig Larsen, Jesper Knudsen, Milan Pavlovic og Erik Poulsen og til
Peder Nielsen (nu Nielsen Consult), Kaare Michelsen og Lisbeth Jess
Plesner, Dansk Akvakultur).

2 Beskrivelse af dambruget

2.1 Indretning

Løjstrup Mølle Dambrug er beliggende ved Hadsten Lilleå i Østjylland (Vester Allé 51, Laurbjerg, 8870 Langå). Hadsten Lilleå er et tilløb til Gudenåen, der har sit udløb i Randers Fjord, og et samlet opland på ca. 2.600 km². Ved dambruget er medianminimumvandføringen på 1050 l/s (*Miljøgodkendelse 2004, Århus Amt*).

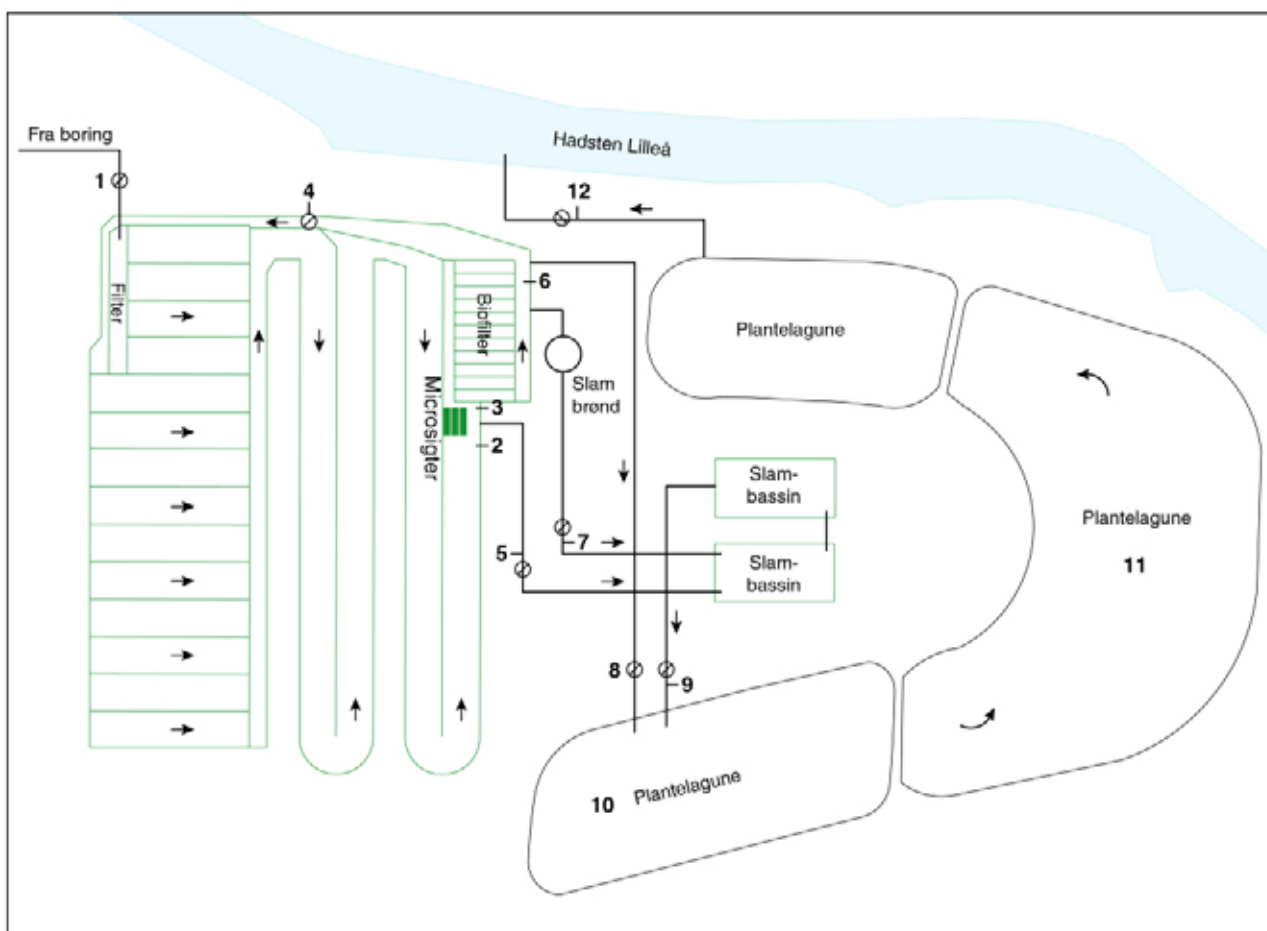
Dambrugets østlige del, Løjstrup Dambrug (øst), dvs. den del der ligger på den østlige side af Hadsten Lilleå, er indrettet som et modeldambrug type III A (*Pedersen et. al., 2003*).

Dambruget består af én sammenhængende produktionsenhed, der er underopdelt i en del med en række parallelt forbundne betonkummer og en lang produktionskanal (raceway) i beton med 7 sektioner. Det recirkulerede vand ledes igennem mikrosigter og efterfølgende biofilter, der er opdelt i 11 sektioner. Figur 1 er en principskitse af dambrugets opbygning med angivelse af vandflow.

Indtagsvandet, der kommer fra en boring, løber igennem et okkerfilter inden det indgår i produktionen. Vandet bringes til at cirkulere i produktionsenhederne via air-lift princippet, hvor den beluftning som tilfører ilt til vandet, også løfter dette nogle centimeter. Beluftningen sker i såkaldte belufter-brønde.

Slam opsamles i pyramideformede slamkegler i bunden af betonkummer og -raceways i produktionsenheden og pumpes tillige med skyllevand fra biofiltrene og mikrosigterne op i 2 slambassiner. De seneste ca. 5 måneder af måleprogrammet blev et bundfældningskar til skyllevandet fra mikrosigterne etableret, og klaringsvandet herfra returneret til produktionsenheden. Afløbsvandet fra produktionsenheden og klaret vand fra slambassinerne ledes til en plantelagune, der har afløb til åen. Plantelagunen er anlagt samtidig med det nye produktionsanlæg.

Produktionskanalen har ca. 2.000 m² overflade med en dybde på ca. 1,5 meter. Samlet er der inkl. kanaler og filtre ca. 5.500 m³ vand i hele produktionsanlægget. Plantelagunen består af tre serieforbundne jorddamme, der dækker et areal på ca. 3.225 m² med en middeldybde på ca. 0,85 m. Totalt har dambruget et vandvolumen på ca. 8.300 m³. Med et samlet vandindtag på gennemsnitligt 37 l/s i det første og 34 l/s i det andet målear (jf. kap. 5) giver det en opholdstid på ca. 62 hhv. 68 timer over dambruget. Opholdstiden for selve produktionsanlægget er på ca. 41 hhv. 45 timer mod en forudsat minimumsofholdstid på 18,5 timer i produktionsanlægget for modeldambrug type III (*Bekendtgørelse som modeldambrug, 2002*).



Figur 1 Løjstrup Dambrug (øst), ikke målfast, opbygning og vandflow. Nr. angiver målesteder som listet i tabel 1.

2.2 Måleprogram og måleperiode

Efter en kort indkøringsfase startede måleprogrammet på Løjstrup Dambrug (øst) som en del af forsøgsordningen officielt den 7. september 2005. Første måleår er derfor fra 7. september 2005 til 6. september 2006 begge dage inklusive, og 2. måleår er fra 7. september 2006 til 6. september 2007.

I hele måleperioden har der kontinuert (hvert 10. minut) været målt vandmængde, vandhastighed, vandstand, nedbør, ilt, temperatur og pH ved en eller flere målepunkter på dambruget (tabel 1). De instrumenter, som måler kontinuert er typisk tilsluttet en datalogger, hvorfra data overføres til en PC som er placeret på dambruget. Data overføres via Internettet fra Pc'en til DTU Aqua (DFU) og lægges ind i en fælles database som DTU Aqua (DFU) og DMU, Århus Universitet anvender i projektet. Vandmængder måles i de fleste målepunkter med en elektronisk måler, et såkaldt vandur. I udløbet er der målt med vandur, da det samlede udløb fra dambruget sker via et rør. Vandstand måles dels med tryktransducer, i slambassinerne med en ultralydsmåler. Vandhastigheden i produktionsenheden måles med dobbler-sensor I *Svensden & Bovbjerg (2004)* findes flere informationer og baggrund og krav til måleprogram og en række tekniske detaljer. Endvidere er der i rapporten, som konkluderer på resultaterne for alle 8 modeldambrug under forsøgsordnin-

gen i bilag kort gjort rede for måleprincipper og hvilke instrumenter, der har været anvendt.

Nr.	Sted på dambruget	Målevariabel
1	Vandindtag fra boring	K, F, S
2	Opstrøms mikrosigter	K, S
3	Opstrøms biofilter/nedstrøms mikrosigter	K, S
4	Cirkulationskanal	H, V, F
5	Spulevand fra mikrosigter	K, F
6	Nedstrøms biofilter/udløb produktionsanlæg	K, S
7	Indløb Slambassin (skyllevand biofilter, tømning slamkegler)	K, F, V
8	Udløb produktionsanlæg	F
9	Udløb klaret slamvand	K, F
10	Plantelagune, øvre del	S
11	Plantelagune, midt	S
12	Udløb plantelagune/dambrug	K, F, S, N

Tabel 1 Oversigt overmålepunkter på Løjstrup Dambrug (øst). Tallene til venstre refererer til det konkrete målepunkt på figur 1. Der anvendt følgende forkortelser: K= Prøvetagning for kemiske analyser, F = Vandmængde, H = Vandhastighed, V = Vandstand, N = Nedbør og S = Ilt, pH og temperatur.

Vandkemiske prøver er for indtagsvand (vandet fra både boringer og kildevæld) målt som en punktprøve (øjebliksprøve) ca. 1 gang pr. måned eller i alt 13 gange i perioden. Vandkemiske prøver fra opstrøms mikrosigte, opstrøms biofilter i produktionsanlægget (svarende til nedstrøms mikrosigte), nedstrøms biofilter (svarende til afløb fra produktionsenheden), for spulevand fra mikrosigte, i klaringsvandet fra slambassinerne samt i afløbet fra plantelagunen (samlet afløb fra dambruget) udtages hver 14. dag med en ISCO-glacier vandprøvetager. En prøve består af en række delprøver, der er puljet over et døgn i en stor flaske. Hver delprøve er på ca. 100 ml som udtages hvert kvarter, svarende til ca. 9,6 l prøve på 24 timer pr. målested. Prøvetageren er udstyret med køleanlæg og prøverne opbevares mørkt. Ved hvert målested er der målt i alt 27 gange i andet målear.

Herudover er der hver 14. dag taget vandkemiske prøver i forbindelse med henholdsvis tømning af slamkegler (samlet for disse) og returskylning af biofiltre (samlet for de sektioner heri der er skyllet under prøvetagningen). Der er ligeledes taget puljede prøver men i 1 liters flasker, hvorfra der puljes til en samlet prøve. Afhængig af, hvor lang tid det tager at tømme henholdsvis slamkegler og returskylle biofiltre, tages en række hyppige delprøver for repræsentativt at dække hele tidsperioden. Disse prøver tages med ISCO 6712-1 vandprøvetagere, hvori prøverne også står koldt (4° C) og mørkt.

De vandkemiske prøver er analyseret for en række kemiske variable fastlagt i *Bekendtgørelse om modeldambrug (2002)*. Det fremgår af tabel 2, hvilke variable der analyseres for, afhængigt af om der er tale om vandprøve taget i indtagsvandet (grundvand), slamvand (ved tømning af slamkegler, returskylning af biofiltre, spulevand mikrosigte), afløb slambassin eller i produktionsanlæg og afløb fra dambruget. Analyserne er gennemført af akkrediteret laboratorium efter de standardanalysemetoder, der er foreskrevet ift. dambrug, herunder modificeret BI₅.

Parametre	Program A	Program B	Program C
	Fuld pakke: Udløb fra dambrug, op- og nedstrøms biofilter, opstrøms mikrosigte	Grundvand (indtagsvand)	Returskylning biofiltre, tømning slamkegler, afløb slam-bassiner, spulevand mikrosigte
Suspenderet stof (SS)	X	(x)	x
Modificeret BI ₅	X	(x)	x
COD	X	(x)	x
Total fosfor (P)	X	[x]	x
Orthofosfat-P	X	x	x
Total kvælstof (N)	X	[x]	x
Nitrat-nitrit_N	X	x	x
Ammonium_N	X	(x)	x

Tabel 2 De vandkemiske parametre der analyseres for på de vandkemiske prøver, der er udtaget 1. og 2. måleår på Løjstrup Dambrug (øst). x i parentes angiver at disse parametre efter at være målt nogle gange kun måles 2-3 gange om året hvis det viser sig at værdien konsekvent er under detektionsgrænsen, mens x i kantet parentes viser at total kvælstof henholdsvis total fosfor ikke måles hver gang, hvis der ikke er signifikant forskel på totalen ift. de opløste fraktioner. BI₅ er et mål for let omsætteligt organisk stof (biologisk iltforbrug over 5 dage). COD er et mere omfattende mål for organisk stof end BI₅, da det er et mål for det kemiske iltbehov for at omsætte det organiske stof. Ammonium er primært NH₄-N.

Ved de målepunkter, hvor der udtages vandkemiske prøver måles hver 14. dag ilt, temperatur og pH med håndholdte præcisionsinstrumenter, som også anvendes ved kalibrering af de kontinuerte måleinstrumenter.

2.3 Væsentlige vilkår

I henhold til dambrugets miljøgodkendelse af 6. september 2004 (*Aarhus Amt, 2004*) må der i forsøgsperioden anvendes 300 tons foder pr. år på den del af dambruget, som er ombygget til modeldambrug (dvs. den østlige del). Foderkvotienten må ikke overstige 1,0 kg foder pr. kg produceret fisk, og der må maksimalt udfodres 2.400 kg foder pr. døgn.

Miljøgodkendelsen angiver det maksimalt tilladelige vandforbrug til 45 l/s under almindelige driftsforhold på modeldambruget. Produktionsvandet indvindes fra boring.

Der må maksimalt udledes følgende stofmængder fra modeldambruget:

- BI₅: 32 kg pr. døgn (8 mg/l ved 45 l/s)
- NH₄⁺-N: 13 kg pr. døgn (3,1 mg/l ved 45 l/s)
- Suspenderet stof: 94 kg pr. døgn
- Total-N: 30 kg pr. døgn
- Total-P: 3 kg pr. døgn

Krav til udledning af letomsætteligt organisk stof og ammonium er omfattet af tilstandskontrol, mens krav til udledning af de resterende stoffer er omfattet af transportkontrol.

Af miljøgodkendelsen fremgår det, at man oprindeligt påtænkte etablering af en plantelagune på 4.500 m². Dambrugets lagune er dog på kun ca. 3.300 m². Af miljøgodkendelsen fremgår det mere specifikt, hvornår disse krav anses for opfyldt.

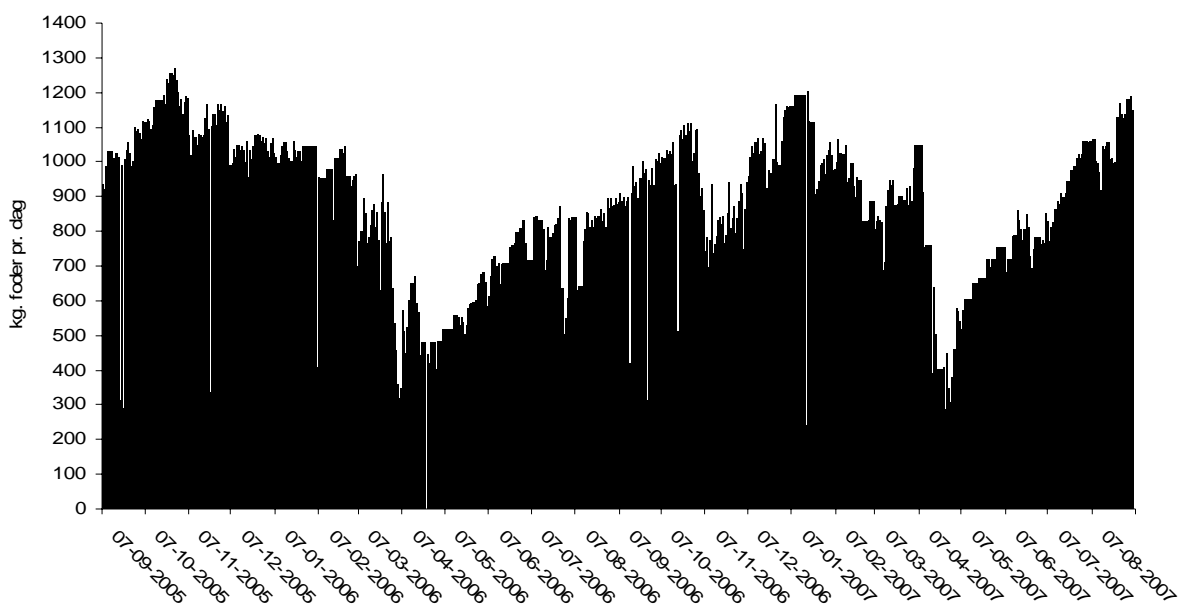
3 Drift og produktion

3.1 Foderforbrug, produktion og foderkvotient

På Løjstrup Dambrug (øst) blev der i første måleår, dvs. perioden 7. september 2005 til 6. september 2006, anvendt 313,5 tons foder i modeldambruget. I andet måleår (7. september 2006 til 6. september 2007) var foderforbruget 322,3 tons. Der har dermed været stort set samme foderforbrug i begge måleår.

På baggrund af oplyste start- og slutbestande, samt ind- og udfiskninger i perioden, blev der beregnet en produktion på 330,0 ton fisk i første måleår. Dette giver en samlet foderkvotient (foderforbrug/fiskeproduktion inkl. døde fisk) på 0,950. I andet måleår er foderkvotienten stort set identisk, nemlig 0,957, med en samlet produktion af fisk på 336,7 tons. I begge måleår har der fra dambrugets side været en meget konsekvent og yderst tilfredsstillende registrering af foderforbrug og ind- og udfiskninger i de enkelte enheder på dambruget.

Den ensartede produktion og foderudnyttelse i begge måleår afspejler en god og jævn produktion uden væsentlige driftsproblemer. Foderkvotienten på Løjstrup Dambrug (øst) er højere end på de fleste andre modeldambrug under forsøgsordningen. Dette skyldes, at man på Løjstrup Dambrug (øst) producerer store fisk (omkring 800-1200 g pr. styk) til efterfølgende udsætning (april) i havbrug, og netop store fisk har naturligt en højere foderkvotient end mindre fisk. Den store udfiskning af fisk til havbrug i foråret afspejles tydeligt i figur 2, der viser et tilhørende dyk i foderforbruget efterfølgende. Foderforbruget stiger derefter jævnt i takt med bestandsopbygningen.



Figur 2 Det samlede daglige foderforbrug på Løjstrup Dambrug (øst) i begge måleår. De store fald i foderforbruget i foråret indikerer tidspunkter for store leverancer af fisk til udsætning i havbrug.

De anvendte fodertyper og fodermængder i dambrugets produktionsanlæg i de to måleår fremgå af tabel 3.

Fodertype	Foderforbrug (kg)	
	1. måleår	2. måleår
Aller Aqua Rep (6 mm)	88	0
Aller Aqua Gluvit (3-4 mm)	23.781	0
Aller 576 (3-4 mm)	0	98.598
Aller Aqua Elips (2-4 mm)	279.106	180.515
Aller 576 LT (2mm)	0	28.878
Aller Aqua Mini (1,3-1,5 mm)	6.363	0
Aller Aqua 493 (1,3 mm)	1.393	0
Aller Aqua Futura (0,8 – 1,5 mm)	1.349	13.063
Aquavet FF/OA/ST (1,2-3 mm)	1.377	1.217
Total	313.457	322.271

Tabel 3 Fodertyper og -mængder anvendt i produktionsanlægget på Løjstrup Dambrug (øst) i første og andet måleår.

3.2 Produktionsbidrag

Udregningen af bidrag af forskellige stoffer fra fiskeproduktionen (produktionsbidraget) er foretaget som beskrevet i *Pedersen et al. (2003)*. Der er udregnet produktionsbidrag for COD (total organisk stof), BI₅ (letomsætteligt organisk stof), total N (total kvælstof), total P (total fosfor) og opløst kvælstof, som overvejende er NH₄⁺-N (ammoniumkvælstof).

På baggrund af de senest opnåede resultater, er produktionsbidragene blevet reviderede ifh. til de tal som er rapporteret i 1. årsrapporten. Det gennemsnitlige indhold af kvælstof (tot N) og fosfor (tot P) i hel regnbueørred er blevet revurderet på baggrund af resultater, som inkluderer den seneste litteratur indenfor området. Således ansættes tallet for kvælstof i hel fisk nu til 2,75 % af fiskens totale vådvægt, og fosforindholdet til 0,43 %. De tidligere anvendte værdier har været henholdsvis 3 % og 0,5 %. Litteraturgennemgangen har vist, at indholdet af kvælstof og fosfor i regnbueørred påvirkes af fiskens størrelse, men at størrelseseffekten er lille. Dette gælder især indenfor de almindelige fiskestørrelser (ca. 300-800 g) der produceres på modeldambrug. Det er vurderet, at selv om der produceres lidt større fisk på Løjstrup Dambrug (øst) har dette ingen eller kun marginal betydning for indholdet af kvælstof og fosfor i fiskene. Der er derfor ikke taget højde for de konkrete fiskestørrelser i udregningen af produktionsbidrag for kvælstof og fosfor. Samlet betyder justeringerne en mindre stigning i produktionsbidragene af kvælstof og fosfor i forhold til de tidligere udmeldte værdier i førsteårsrapporten.

Produktionsbidragene af organisk stof (COD og BI₅) er også blevet reguleret og opjusteret i forhold til førsteårsrapporten. Årsagen er nye data for det stofbidrag og -tab, der sker direkte til vandfasen enten som opløst eller finpartikulært stof. Der er udført nye undersøgelser på disse tab for den mest anvendte fodertype fra hver af foderproducenterne Aller Aqua, Biomar og Dana Feed (se detaljer i *Svendsen et al., 2008*).

Det bemærkes, at dette tab ikke nødvendigvis kan forventes at være permanent for de anvendte fodertyper. Årsagen er, at fiskefoder løbende udvikles og ændres med hensyn til råvarer og sammensætning, og disse forhold vil have betydning for stoftabet til vandfasen og dermed stofbidraget fra fiskeproduktionen.

Udover total kvælstof bidraget fra fiskeproduktionen udregnes også bidraget af opløst kvælstof som hovedsageligt udskilles over fiskenes gæller (primært som $\text{NH}_4^+\text{-N}$). Bidraget svarer til den totale mængde kvælstof som fiskene indtager fradraget det kvælstof som indbygges i fisken (hvor indholdet ansættes til 2,75 %) og det kvælstof, der udskilles i fækalier (partikulært) og dissocieres i vandfasen (opløst):

kg N udskilt som opløst ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) =

kg N indtaget – kg N indbygget i fisk – kg N udskilt via fækalier som partikulært/opløst

Udregningen af produktionsbidrag er sket på dagsbasis i alle 26 af dambrugets sektioner som der er udfodret i, og bidragene er herefter summerede. Udover de konkrete foder mængder er foderets kemiske sammensætning inddraget i udregningerne. Kemisk analyse er foretaget på de fleste foderleverancer (batches), men hvor disse værdier ikke foreligger, er der anvendt gennemsnitstal for de allerede analyserede, repræsentative fodertyper. I få tilfælde, hvor der ikke er foretaget kemisk analyse på fodertypen, er der anvendt deklarerede værdier fra foderproducenten.

I forbindelse med levering er der beregnet et produktionsbidrag af kvælstof på baggrund af generelle tal for stofomsætning hos fodertomme regnbueørreder. Der vurderes kun at være et marginalt bidrag af organisk stof (COD og BI_5) i forbindelse med levering, idet dette forventes udskilt som kuldioxid (CO_2). Ligeledes forventes kun et marginalt fosforbidrag i forbindelse med levering. Bidraget af COD, BI_5 og total fosfor herfra er derfor sat til 0.

Måleår	COD	Mod. BI_5	Tot. N	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	Tot. P	Bidraget kommer fra
1	84.285	29.500	14.821	12.389	1.917	Produktionsanlægget
2	91.065	31.873	14.692	12.344	1.655	Produktionsanlægget
1	0	0	299	283	0	I forbindelse med levering
2	0	0	305	289	0	I forbindelse med levering

Tabel 4 Produktionsbidrag (kg pr. år) for hvert af de to måleår for Løjstrup Dambrug (øst). Det relative store fald i fosforbidrag fra første til andet måleår skyldes et faldende fosforindhold i det anvendte foder.

Trods stort set uændret foderforbrug er der et markant fald i produktionsbidraget af fosfor fra første til andet måleår (tabel 4). Årsagen er især et væsentligt fald i fosforindholdet i det anvendte foder.

Som led i udregningen af produktionsbidrag udføres der fordøjelighedsforsøg på en række af de mest anvendte fodertyper og foderleverancer (batches) til dambrugene i projektet. Princippet i disse kontrollerede forsøg er at undersøge, hvor stor en del af det indtagne foder - specifikt

fedt-, protein- og kulhydrat-indholdet i foderet - der udskilles som fækalier. Disse værdier er indsat i beregningerne af produktionsbidraget for den relevante batch. Hvis batchen ikke er undersøgt mht. fordøjelighed, er der anvendt gennemsnitstal fundet for den relevante fodertype. I enkelte tilfælde, f.eks. i forbindelse med levering af små fodermængder, er der anvendt estimerede værdier for fordøjeligheden af foderet. Fordøjeligheden af træstof er i alle tilfælde sat til 0.

I den samlede toårige måleperiode er der udført fordøjelighedsforsøg på seks forskellige foderleverancer specifikt til dambruget.

Der er i løbet af begge måleår foretaget foderspildsundersøgelser på fire forskellige dage på Løjstrup Dambrug (øst), nemlig den 1. december 2006, den 15. maj 2007, den 27. juni 2007 og den 4. juli 2007. I undersøgelserne er der anvendt forskellige metoder, nemlig opsamling i net af forskellig konstruktion og opsugning med pumper. Generelt kan der være problemer forbundet med begge metoder. Net kan eksempelvis være vanskelige at trække op på en måde der sikrer, at alt foder bibeholdes i nettet, og brugen af pumper kan ødelægge i forvejen mere eller mindre opløste piller. Med omhu i brugen af metoderne kan man dog reducere disse problemer.

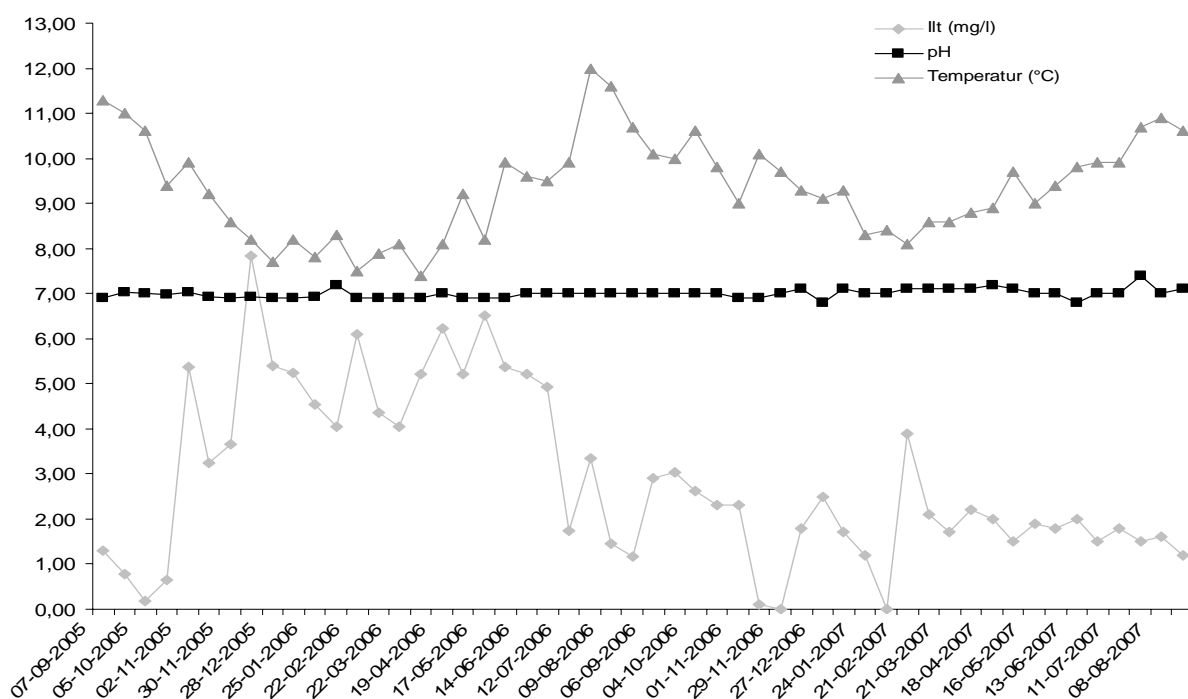
På alle fire undersøgelsesdage var der normale driftsforhold på dambruget, og fiskene havde almindelig, god appetit. På de enkelte dage blev der enten slet ikke registreret nogen foderpiller, eller også blev der kun fundet ganske få piller. I lighed med erfaringen fra andre foderspildsundersøgelser under projektet, kan det konkluderes, at der heller ikke på Løjstrup Dambrug (øst) kan forventes foderspild af nogen betydning under normale driftsforhold. Dette er også den erfaring, som personalet på dambruget har. Der kan dog være situationer på dambrug generelt, hvor foderspild kan forekomme, f.eks. som følge af nedsat appetit hos fiskene. Det tidligere estimat for første måleår på gennemsnitligt 1 % foderspild på Løjstrup Dambrug (øst) fastholdes derfor. Dette begrundes i, at der forekommer et uundgåeligt foderspild fra fiskefoderet på grund af støv & smuld og at der som nævnt undertiden kan risikeres et mindre foderspild i forbindelse med dambrugsdrift. Dette spild estimeres til i alt 1 %.

4 Temperatur, pH og ilt

Der er hvert tiende minut foretaget elektroniske registreringer af temperatur, pH og ilt i produktionsanlægget, i plantelagunen samt i laguneudløbet. Hertil kommer at der i forbindelse med udtagning af vandprøver hver 14. dag måles temperatur, pH og ilt på dambruget med håndholdt instrument. Dataene indsamles blandt andet med baggrund i lovmæssige krav og for bedre at kunne forklare de processer der foregår på dambruget, som f.eks. omsætning af organisk stof.

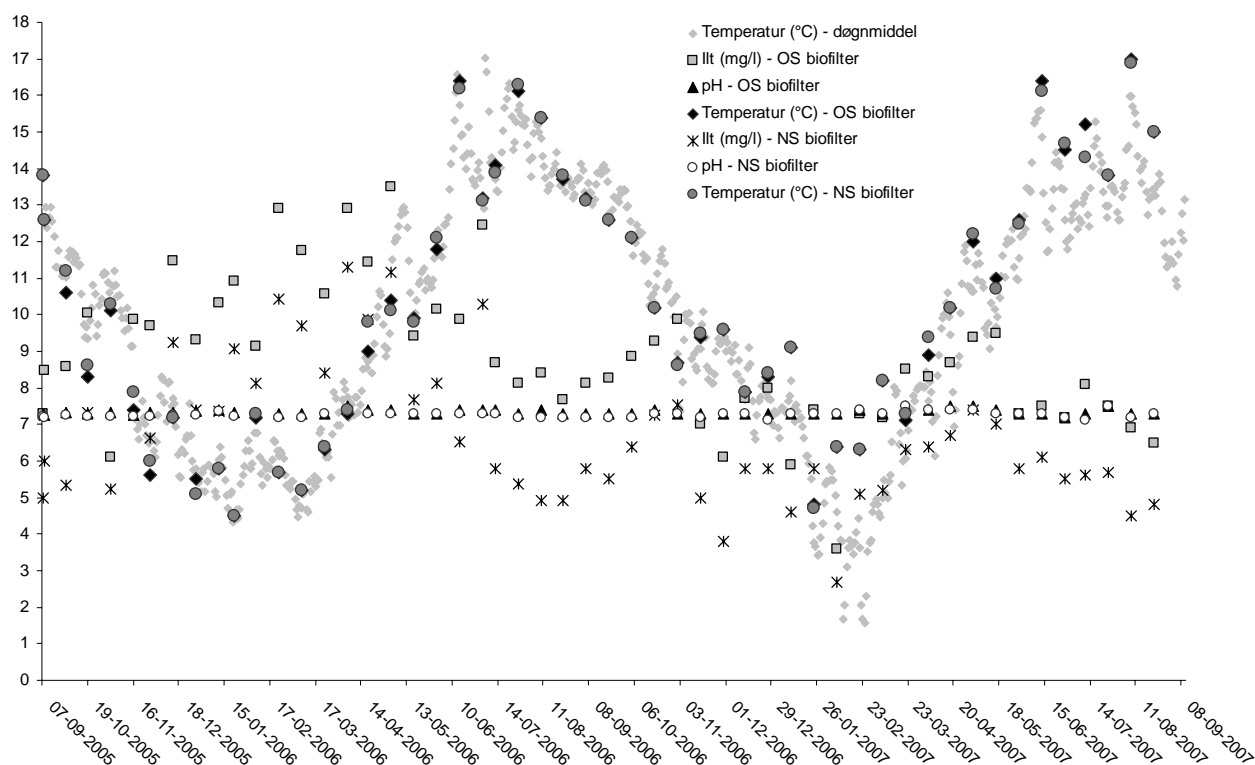
De kontinuerte registreringer har desværre ikke fungeret tilfredsstillende. Især logning af ilt, og til dels pH, har været problematisk, idet sonderne ikke er blevet rengjort tilstrækkelig ofte, og idet de tilsyneladende er relativt følsomme overfor elektronisk støj fra andre kilder. På den baggrund er der kun medtaget kontinuerte målinger for temperatur (døgn-gennemsnit) i dette kapitel. pH- og iltmålinger som er foretaget manuelt hver 14. dag er medtaget i stedet for de kontinuerte registreringer.

Figur 3 viser temperatur (°C), pH og ilt for det vand der indvindes på Løjstrup Dambrug (øst). Figuren viser en ganske svagt varierende pH-værdi og moderate temperaturudsving (7-12 °C), som følger årstiden. Iltindholdet i grundvandet varierer betydeligt (0 til 8 mg/l).



Figur 3 Temperatur, pH og iltindhold målt hver 14. dag i indløbsvandet til anlægget på Løjstrup Dambrug (øst).

I figur 4 er vist data fra dambrugets produktionsanlæg både opstrøms og nedstrøms biofilteret. De kontinuerte temperaturmålinger er kun foretaget nedstrøms biofilteret.



Figur 4 Ilt, pH og temperatur i produktionsanlægget på Løjstrup Dambrug (øst) i begge måleår. Alle målinger er foretaget hver 14. dag, undtagen de kontinuerte temperaturmålinger, der er angivet som døgn-middeltal.

Vandets pH-værdi er stabil igennem hele måleperioden, og der er ikke forskel på pH opstrøms og nedstrøms biofilteret, idet den gennemsnitlige værdi på begge stationer var 7,3.

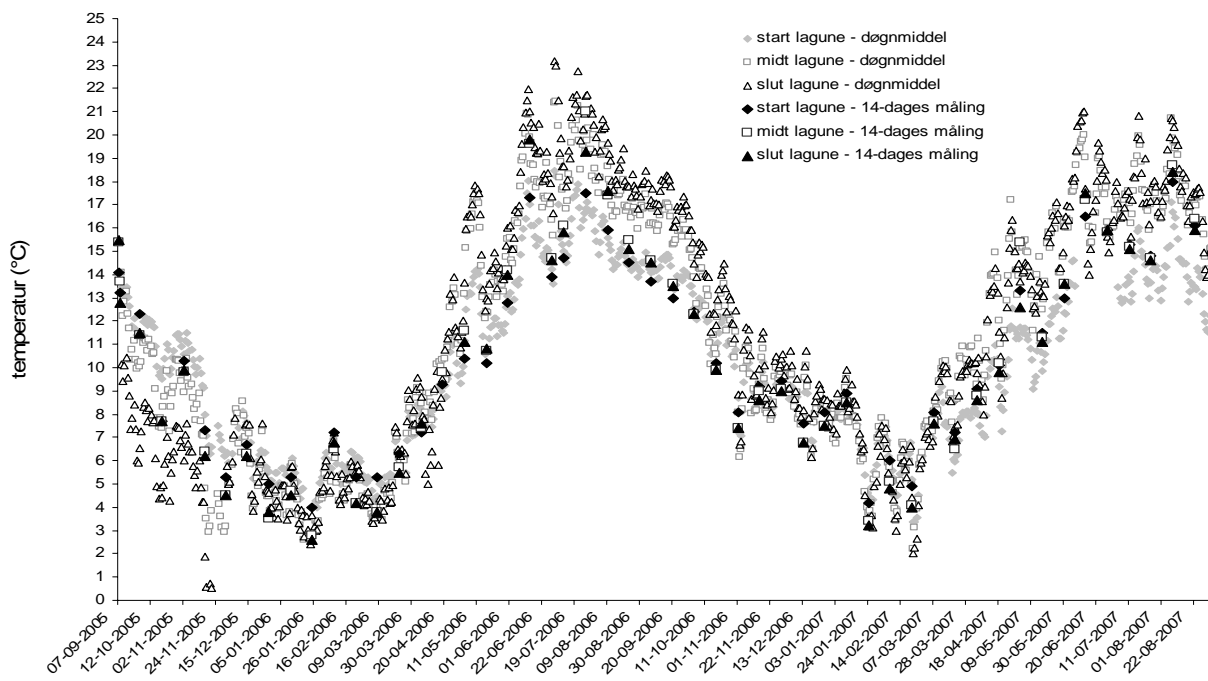
Temperaturmålingerne er ensartede opstrøms og nedstrøms biofilteret, og viser generelt god overensstemmelse med døgnmiddeltallene.

Vandets iltindhold er på grund af bakteriernes iltforbrug generelt noget lavere nedstrøms biofilteret end opstrøms dette. I første måleår var det gennemsnitlige iltindhold opstrøms biofilteret 10,0 mg/l mod 7,6 mg/l nedstrøms (forskul på 2,4 mg/l). I andet måleår var værdierne henholdsvis 7,7 mg/l og 5,7 mg/l (forskul på 2 mg/l). Differencen i absolut iltindhold mellem de to måleår kan skyldes forskelle i beluftning, temperatur, bestand, måle- og fodringstidspunkt etc. Ilt-forbruget (forskellen) over biofilteret er et godt udtryk for iltforbrug i filteret, eftersom man på Løjstrup Dambrug (øst) generelt ikke har beluftet biofilteret i den toårige måleperiode.

Vandtemperaturen i plantelagunen er vist i figur 5 for begge måleår. Der er angivet loggede temperaturer (udregnet som døgn-gennemsnit) i lagunens indløb ("start lagune"), cirka halvejs nede i lagunen ("midt lagune") samt i det sidste afsnit i lagunen inden beluftning af vandet ("slut

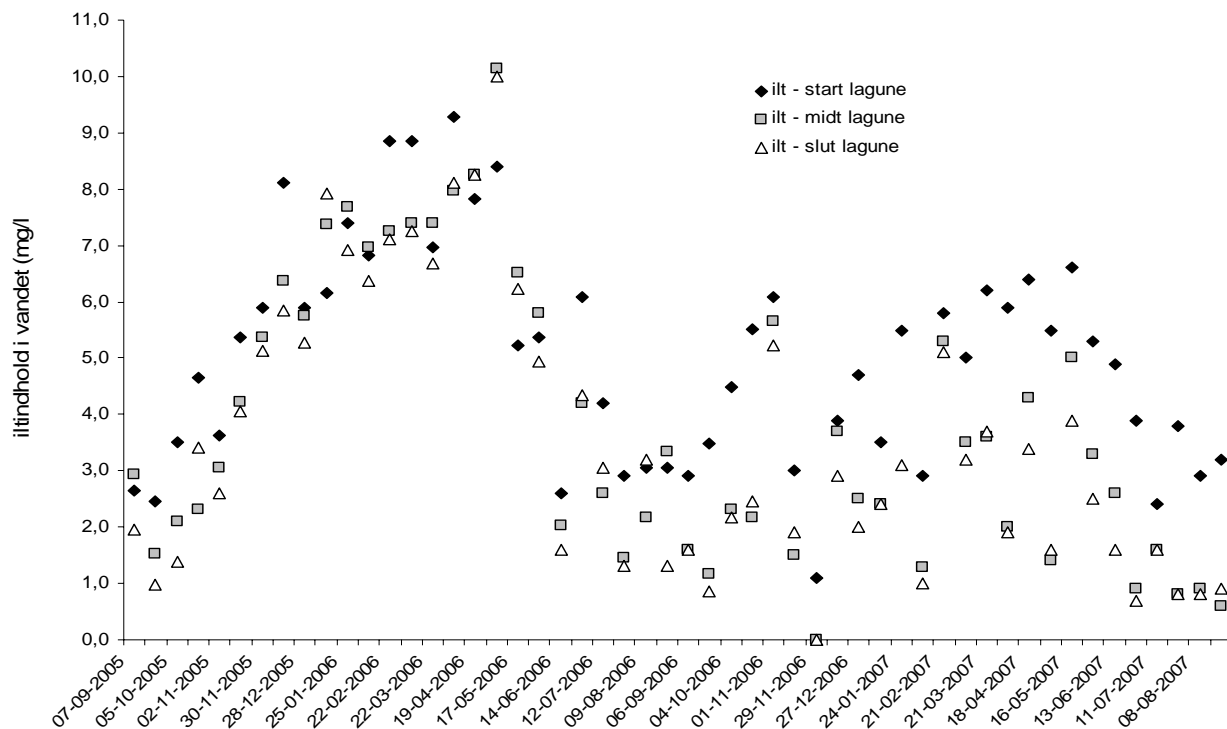
lagune”). Endvidere er der angivet manuelle målinger foretaget hver 14. dag på de samme stationer.

I første måleår er der en tendens til at vandet afkøles let ned gennem lagunen i efterår/vinter perioden, mens der i begge somre sker en mindre opvarmning af vandet ned gennem lagunen.



Figur 5 Vandtemperaturen i plantelagunen på Løjstrup Dambrug (øst) i begge måleår. Der er målt kontinuerligt (døgngennemsnit) og hver 14. dag på forskellige stationer, som angivet i figuren.

Figuren 6 viser iltindholdet målt manuelt 3 steder i plantelagunen. Der kan iagttages et iltforbrug under vandets passage af plantelagunen.



Figur 6 Iltindhold (mg/l) målt manuelt hver 14. dag i plantelagunen på Løjstrup Dambrug (øst). Som angivet på figuren er der målt tre forskellige steder i lagunen.

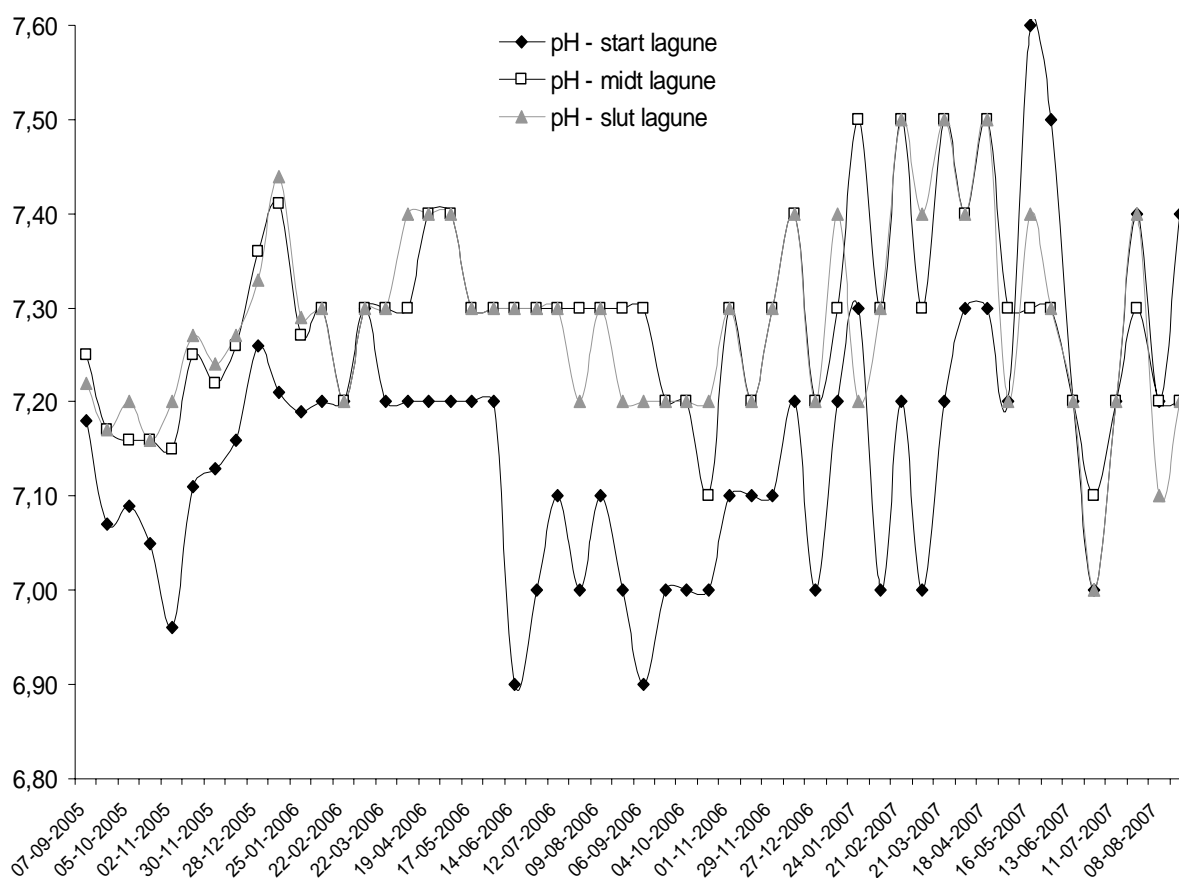
I plantelagunen er vandets pH-værdi (figur 7) lidt fluktuerende med en tendens til stigende værdier under passage heraf. Bl.a. denitrifikationsprocessen forbruger H^+ , hvilket er én årsag til pH-stigningen.

Udover de periodiske iltmålinger er der foretaget andre iltmålinger i dambrugets plantelagune. I det følgende præsenteres iltmålinger foretaget den 7. august 2007. Plantelagunen på Løjstrup Dambrug (øst) består af tre enheder; den første lagune er på omkring 450 m², den efterfølgende noget større, omkring 2.400 m² og endelig følger en mindre enhed på omkring 400 m² inden udløb til åen (se figur 1 i kapitel 2).

I figur 8 vises iltindholdet i den første lagune som modtager produktionsvand direkte. Det ses at lagunen - i det mindste denne dag, men antageligt også generelt - modtager iltfattigt vand fra produktionsanlægget, og at vandet løber i en forholdsvis snæver strøm imod udløbet. Ned imod udløbet sker der en opblanding med det omgivende mere iltholdige vand, hvorved iltindholdet i hovedstrømmen øges. Figuren indikerer at lagunearealet ikke udnyttes ensartet med hensyn til opholdstid, kontakt med lagunens sediment og planter, samt aerob omsætning.

I anden del af plantelagunen (den store enhed), som modtager vandet fra første, opstrøms enhed, indikerer ilttallene også en til dels uens udnyttelse af lagunens areal (figur 9). Vandet følger den hydraulisk nemmeste vej, og dette synes at give anledning til, at det i anden del af lagunen løber fra indløb til udløb i en hovedstrøm langs den ene side af lagunen ligesom et vandløb ville have gjort. Derfor kommer en stor del af produktionsvandet ikke i større omfang i kontakt med det store laguneareal. På figur 9 ses et område tæt på indløbet, som er forholdsvis iltfattigt. Det skyldes formentlig, at der her er en del vegetation, og at der derfor kun

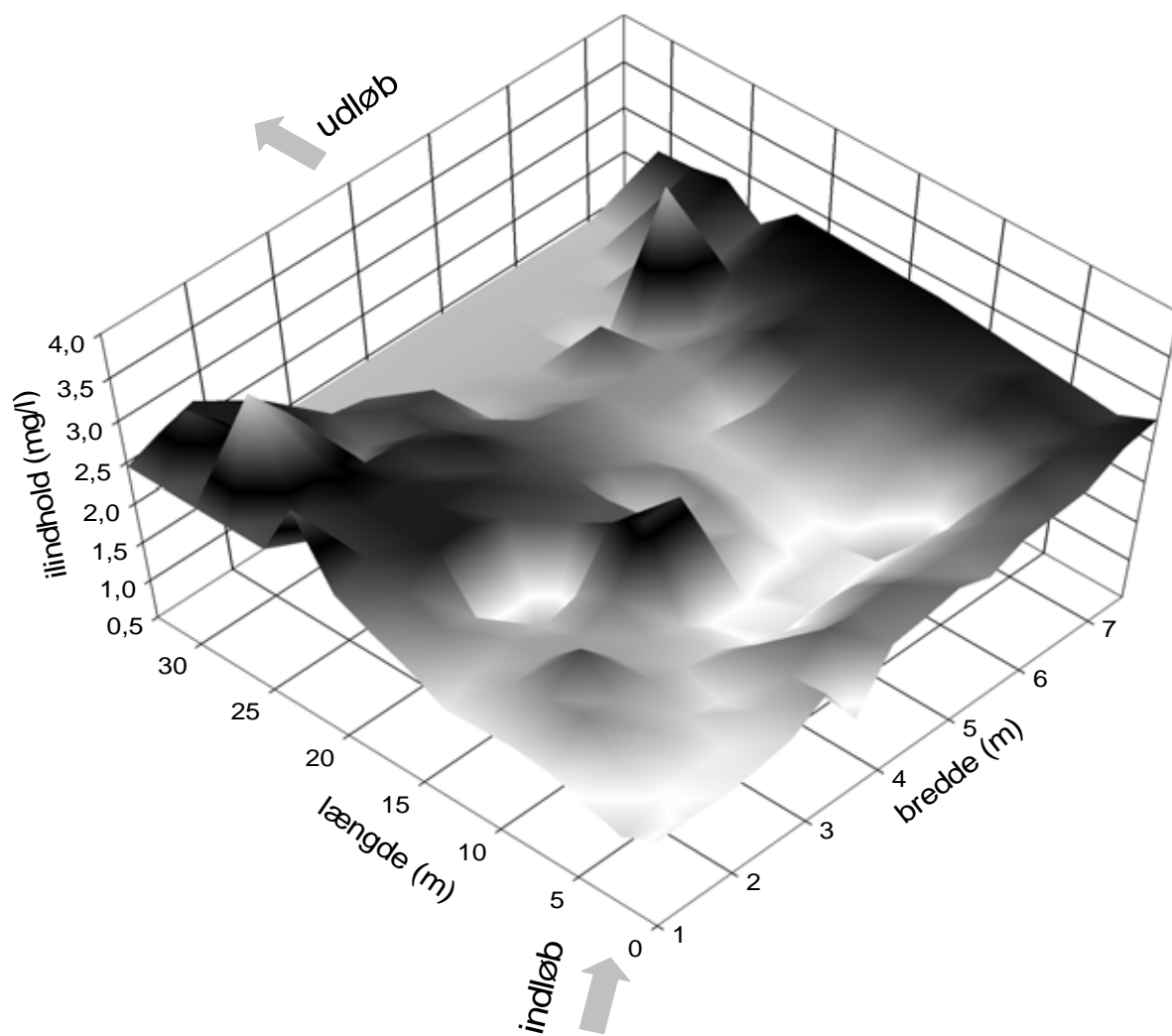
tilledes mindre mængder iltholdigt vand samtidigt med, at sedimentering og aerobe omsætning formentlig er relativ stor.



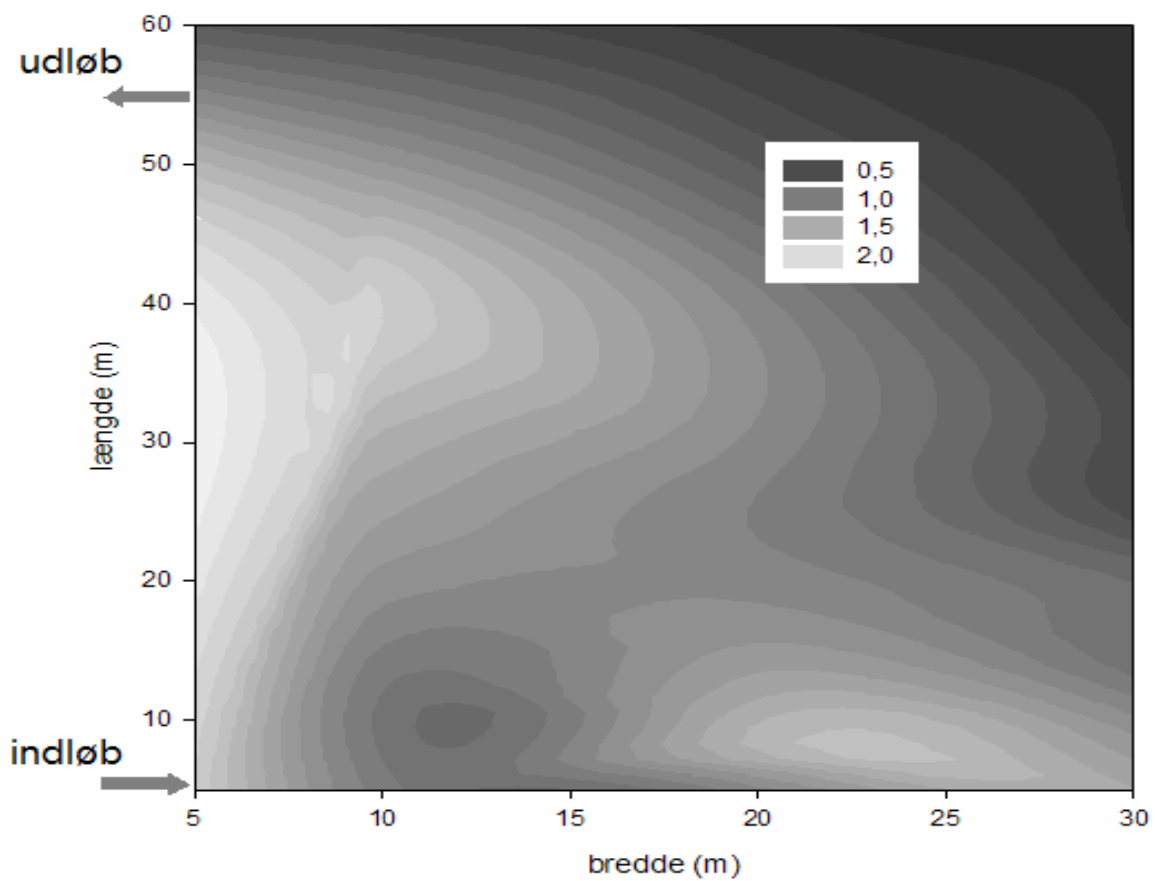
Figur 7 pH målt hver 14. dag i plantelagunen på Løjstrup Dambrug (øst). Som angivet på figuren er der målt tre forskellige steder i lagunen.

Det er uklart, hvilken betydning denne indikation af plantelagunens udnyttelse har for renseseffektiviteten (mere herom senere). I forbindelse med fjernelse af nitrat-kvælstof, er det af betydning, at der også findes iltfrie forhold, hvorunder nitrat kan blive reduceret til N_2 som forureningsfrit kan afgasse til atmosfæren. Omvendt har tilstedeværelsen af ilt betydning for den aerobe nedbrydning af organisk stof og evt. nitrifikation.

Det bør bemærkes, at figurerne 8 og 9 kun repræsenterer værdier opmålt en enkelt dag, nemlig en sommerdag med for plantelagunen på Løjstrup Dambrug (øst) med relativ megen plantevækst, som medvirker til sedimentation men også med den aktuelle forekomst ser ud til at reducere opblanding af vand i lagunen. Selve måden de tre laguner er udformet på fremmer alt andet lige en hovedstrøm gennem disse.



Figur 8 Tredimensionel angivelse af vandets iltindhold (mg/l) i ca. 20 cm's dybde i et hovedudsnit af den første del af lagunen på Løjstrup Dambrug (øst) den 7. august 2007. De lyseste områder angiver lave ilt-niveauer omkring 1,50 mg ilt/l, mens de mørkeste områder svarer til et iltindhold på ca. 2,75 mg ilt/l. Vandtemperaturen var 18 °C.



Figur 9 To-dimensionel gengivelse af iltindholdet i anden del af plantelagunen på Løjstrup Dambrug (øst). Figuren er baseret på 25 målinger foretaget repræsentativt i et hovedudsnit af lagunen i ca. 20 cm's dybde (18 °C). Boksen i figuren angiver de målte ilt-niveauer i mg ilt/l. Denne del af lagunen modtog den pågældende dag vand med et iltindhold på ca. 1,80 mg/l.

5 Vandflow i dambruget

5.1 Måling af vandflow

Flowet bliver registreret kontinuert (hvert 10. minut) 7 steder i dambruget jf. tabel 5. Registreringen sker de 6 af målestederne ved hjælp af elektromagnetiske flowmålere (vandure), der måler nøjagtigt med en usikkerhed på mindre end 1 %. 3 af flowmålerne har haft perioder, hvor data enten er gået tabt eller har været fejlbehæftede. Problemerne har skyldtes fugtproblemer i elektronikken og luftlommer i målerne. I de pågældende perioder er dataserierne korrigeret ved hjælp af interpolation og korrelation til de øvrige målere. Problemerne har medført en mindre forøgelse af usikkerheden, og det vurderes, at usikkerheden på flowdata er mellem 0 og 5 %.

Det recirkulerede flow i produktionsenheden bliver målt med dopplersensor, der registrerer middelstrømhastigheden i et tværprofil kombineret med registrering af vandstanden. Til kalibrering af målingerne bliver flowet (vandføringen) målt med vingearbejdsmiddel ca. en gang pr. måned. Sensorerne er monteret i kanalen efter biofiltret. Disse målinger har også en usikkerhed på ca. 5 %.

I tabel 5 findes det gennemsnitlige flow opdelt på hhv. første og andet måleår. Det samlede vandindtag har i gennemsnit været henholdsvis 37 l/s (år 1) og 34 l/s (år 2). Vandindtaget har således i begge år været noget mindre end de tilladte 45 l/s. Indtaget sker fra en boring, der er placeret på den vestlige side af vandløbet.

Udløbet fra produktionsenheden er i begge måleår lidt mindre end indløbet. Det skyldes, at der bliver ført vand væk herfra i forbindelse med skylning af filtre, tømning af slamkegler, spuling af mikrosigter og at der bliver brugt vand ved udfiskning og sortering. Der synes ikke at ske noget tab af vand fra produktionsanlægget.

I de sidste ca. 5 måneder af forsøgsperioden føres spulevand fra mikrosigterne til en nyetableret bundfældningstank. Det klarede vand herfra returneres herefter til produktionsenheden, og bliver således ikke som før ledt til slambassinerne. Kun det bundfældede materiale tømmes ved behov ud i det ene slambassin. Med henblik på at opretholde monitoreringen af stofbalancerne, blev der i denne sidste periode etableret supplerende prøvetagning i klaringsvandet, som returneres til produktionsenheden.

Målested	Målested	Gennemsnitsflow l/sek.	
		1. måleår	2. måleår
1	Vandindtag fra boring	37	34
4	Cirkulationskanal	530	526
(1+4)	Flow, Produktionsanlæg	567	560
5	Spulevand fra mikrosigter (til slambassin)	1,5	1,6
7	Indløb slambassin (tømning slamkegler/returskyl bio-filtre)	1,1	1,1
8	Udløb produktionsanlæg	34	32,4
9	Udløb, klaret slamvand	2,6	2,2
(8+9)	Samlet tilløb til plantelagune	37	35
12	Udløb plantelagune/dambrug	34	33

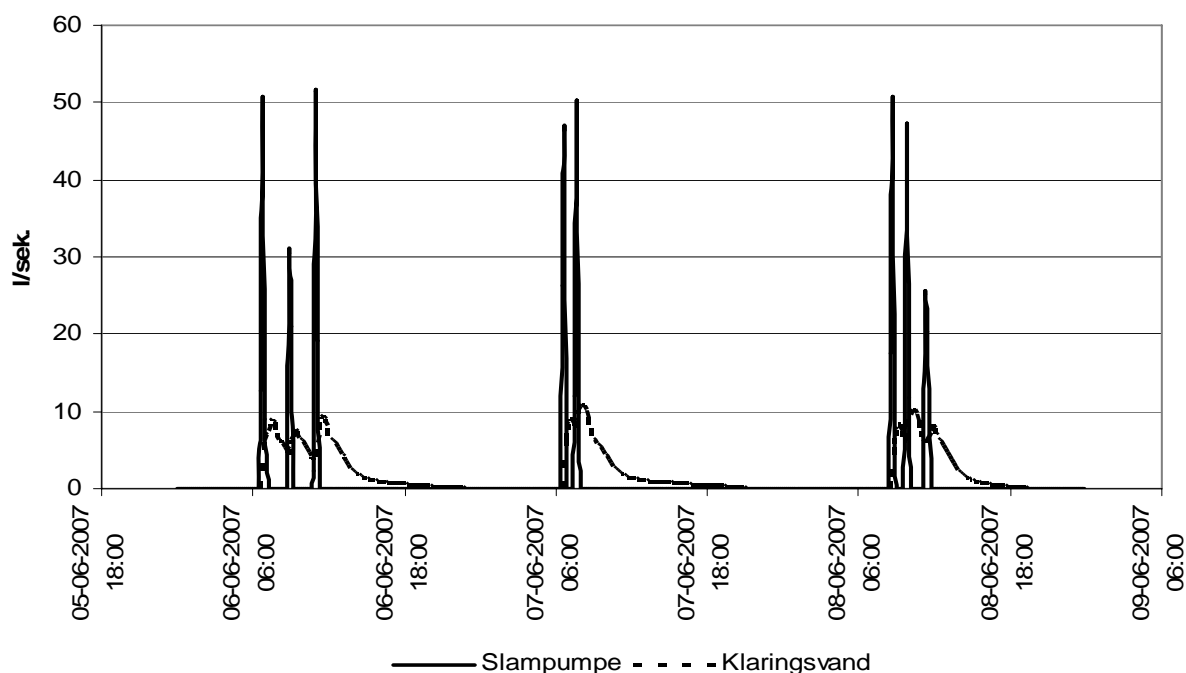
Tabel 5 Vandflow (l/s) som gennemsnit ved de enkelte målesteder for 1. og 2. måleår for Løjstrup Dambrug (øst).

5.2 Returskylning af biofiltre og tømning af slamkegler

For at fjerne partikler bliver slamkeglerne i bunden af produktionsenheden tømt regelmæssigt, og tilsvarende bliver biofiltret (retur)skyllet ved at sende vandstrøm modsat den normale strømretning. Alt slam bliver pumpet til slambassinerne. Slamkeglerne bliver tømt 3 gange om ugen. Proceduren for returskylning af filtre er, at 2 af sektionerne skylles på hverdage i ca. 30 minutter og kun 1 i ca. 15 minutter lørdag og søndag. Afvigelser fra de faste procedurer kan ske i forbindelse med f.eks. flytning af fisk, sygdomsbehandling mv. Mikrosigterne bliver skyllet kontinuerligt.

Under tømning og skylning pumpes ca. 50 l/s til slambassinerne. Pumpeydelsen varierer mellem ca. 47 og 52 l/sek. i løbet af forsøgsperioden. Den samlede vandmængde, der bliver anvendt til tømning og skylning inklusiv skyllevandet fra mikrosigterne er som middel opgjort til 2,6 l/s i første måleår og 2,7 l/s i andet måleår. Det svarer til ca. 7 % af den mængde, der bliver taget ind til dambruget.

Klaringsvandet, der afledes fra slambassinerne til plantelagunen begynder at løbe kort tid efter slampumpningen påbegyndes jf. fig. 10 da slambassinerne ikke er indrettet til at kunne rumme slam- og skyllevand uden samtidigt afløb derfra.



Figur 10 Eksempler på skylning/tømning og afløb af klaringsvand fra slambassin på Løjstrup Dambrug (øst), 3 døgn juni 2007, l/s.

5.3 Vandbalance

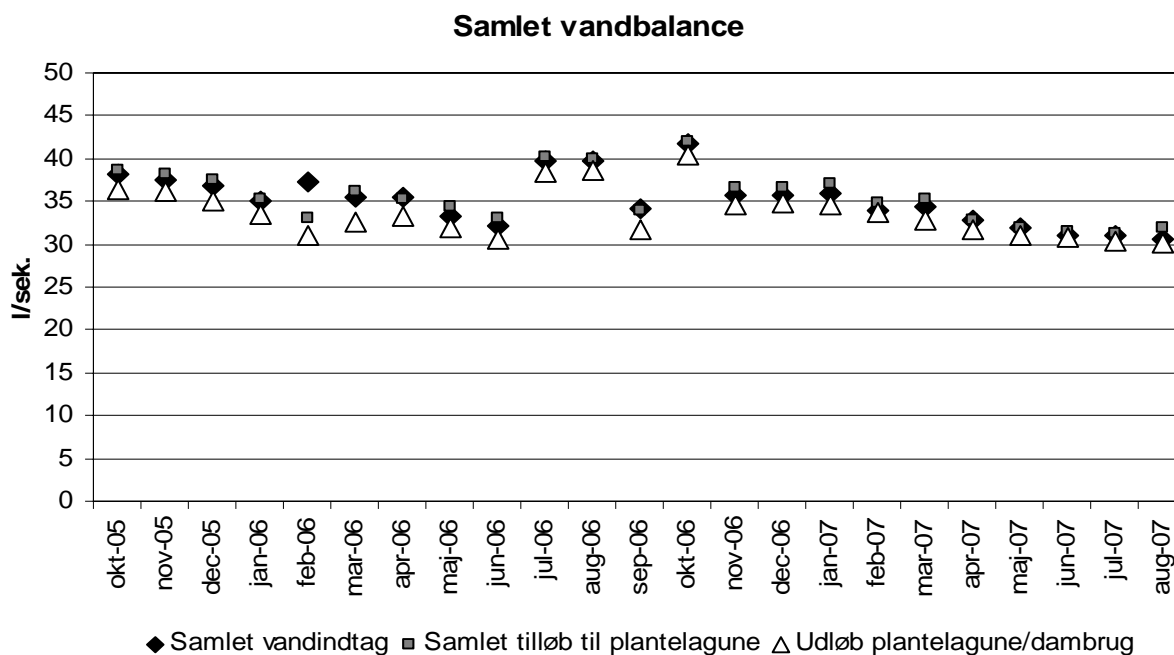
Vandindtaget på i gennemsnit 37 l/s i første og 34 l/s i andet måleår, svarer overens med det samlede tilløb til plantelagunen i det begge år. Der er således ikke noget målbart tab i produktionsenheden.

Nedbør og fordampning i produktionsanlæggene har kun en meget ringe betydning for vandbalancen, da det på årsbasis kun vil tilføre hvad der som middel svarer til maksimalt 0,1 l/s.

Udløbet fra plantelagunen, og dermed dambrugets samlede afledning til vandløbet, var som middel for første måleår på 34 l/s og for andet år 33 l/s. Det samlede tilløb til plantelagunen var som middel på hhv. 37 og 35 l/s, jf. tabel 5. Der kan således konstateres et gennemsnitstab over plantelagunen på ca. 3 l/s i første og 2 l/s i andet år, svarende til et beskedent tab på henholdsvis 8 og 6 %. Det samlede vandindtag til dambruget, indløb til og afløb fra plantelagunen fremgår af figur 11.

Som for produktionsenheden har nedbør og fordampning over selve plantelagunen kun ubetydelig indflydelse på middel-vandbalancen, som på et år maksimalt kan udgøre ca. 0,2 l/s. Kun på enkelte dage kan det medføre at vandbalancen viser mere afstrømning af vand end normalt, hvilket kan ske i forbindelse med kraftigt regnskyl.

På Løjstrup Dambrug (øst) antages der at ske en mindre nedsivning til grundvand/vandløb og evt. tilstrømning til indtagsboringen. Det vil kræve en kortlægning af grundvandsbevægelser under og omkring dambruget, som ligger ud over måle- og dokumentationsprojektet, for at kvantificere vandstrømningerne. Betydningen af dette vandtab er dog temmelig begrænset, da det udgør en lille andel af udledningsmængden.

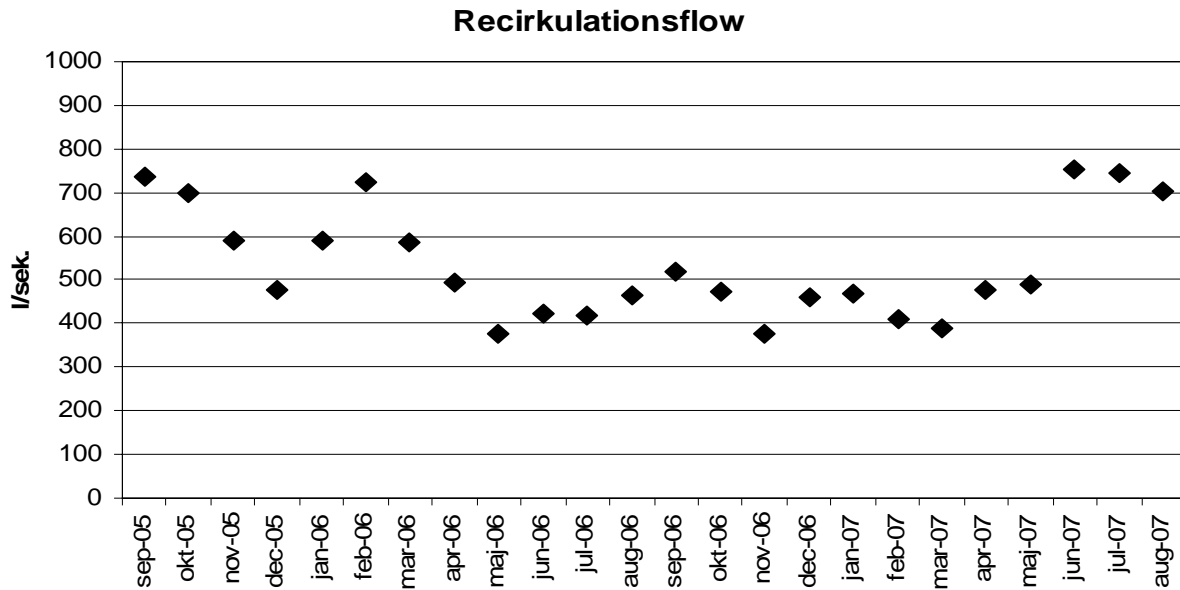


Figur 11 Samlet månedsvandbalance (l/s) over Løjstrup Dambrug (øst) de to måleår.

5.4 Recirkulationsflow

Recirkulationen bliver drevet af luftpumperne i anlægget, og flowet er i gennemsnit for første måleår på 567 l/s og for andet år på 560 l/s (tabel 5). Recirkuleringen varierer betydeligt over året (figur 12), og det vil bl.a. være en funktion af behovet for iltning. Flowet svarer til, at den gennemsnitlige strømhastighed i produktionskanalernes sektioner med fisk er ca. 6 cm/sek.

Med et gennemsnitligt vandindtag på 37 l/s i første og 34 l/s i andet måleår (Q_i) og en samlet recirkulering i produktionsenheden på 567 hhv. 560 l/s (Q_r) (jf. tabel 5), betyder det, at recirkulationsgraden kan opgøres til 93 hhv. 94 %, beregnet som $(Q_r - Q_i) / Q_r$. For modeldambrug type III forudsættes en minimum recirkulationsgrad på 95 %.



Figur 12 Recirkulationsflow angivet som månedsmiddel (l/s) på Løjstrup Dambrug (øst) målt i kanal nedstrøms biofilter de to måleår.

5.5 Vandforbrug/fodermængde

Ved at sammenholde det samlede vandindtag med det samlede foderforbrug kan det opgøres, at der på Løjstrup Dambrug (øst) er brugt ca. 3.720 liter vand pr. kg foder i første måleår og 3.330 liter i det andet, svarende til 3.540 hhv. 3.180 liter vand pr. kg produceret fisk. Dette er en faktor knap 15 lavere end i et traditionelt gennemstrømningsdambrug.

5.6 Hydraulisk belastning af lagune

Baseret på det beregnede areal af plantelagunerne (se kapitel 11) har den gennemsnitlige hydrauliske belastning af plantelagunen været hhv. 0,011 og 0,010 l pr. m² pr. sek. i første og andet måleår. Det er ca. det halve af den forudsatte maksimale belastning på 1 l/s pr. 48 m² plantelagune i modeldambrugsbekendtgørelsen (*Bekendtgørelse om modeldambrug, 2002*).

6 Stofkoncentrationer forskellige steder på dambruget

Dette kapitel gennemgår stofkoncentrationen beregnet i forskellige målepunkter på Løjstrup Dambrug (øst). De forskellige figurer omfatter både første og andet års måleresultater, hvilket giver en præsentation af den samlede måleperiode og muliggør en sammenligning mellem de to måleår i samme graf.

I tabel 6 er beregnet gennemsnitskoncentration for de analyserede, udtagne vandprøver i det andet måleår ved forskellige målestationer på Løjstrup Dambrug (øst). Endvidere er angivet spredningen på koncentrationerne over andet måleår. Det giver et billede af, hvordan der tilføres stof ved fiskeproduktionen i produktionsanlægget og hvordan der fjernes stof via bl.a. slamkegler, biofiltre, mikrosigte, slambassin og plantelagune. Det bemærkes at koncentrationerne fra især tømning af slamkegler er meget høje for alle kemiske variable på nær for nitrit+nitrat kvælstof, men også skyllevand fra biofiltrene er flere gange højere for total kvælstof og fosfor, organisk stof og suspenderet stof end for afløbet af produktionsanlægget. Koncentrationen i spulevand fra mikrosigten er på niveau med koncentrationerne i skyllevandet fra biofiltrene. I det sidste halvår af andet måleår blev spulevandet fra mikrosigten overført til en åben beholder hvor klaret spulevand blev ført tilbage til produktionsenheden. Sammenlignes koncentrationerne i det klarede spulevand med de tilsvarende i skyllevandet fra biofilter i den samme periode er de stort set ens for ammonium- og nitrat+nitrit kvælstof mens de for orthofosfat og total fosfor, suspenderet og organisk stof er ca. 4 gange højere i spulevandet. For total kvælstof er det ca. 50 % højere. I tabellen er der kun vist data for afløb spulevand fra mikrosigte for hele måleåret.

Koncentrationerne af ammonium-kvælstof og opløst fosfor i klaringsvandet fra slambassin er flere gange højere men for organisk stof, total kvælstof og fosfor på niveau med de tilsvarende koncentrationer i skyllevand fra biofiltre.

Gennemsnitskoncentrationen i udløbet fra Løjstrup Dambrug (øst) de to måleår er næsten ens for suspenderet stof, total kvælstof og organisk stof, mens den for ammonium-kvælstof samt opløst- og total fosfor er 30-50 % højere andet måleår, mens den for nitrit-nitrat kvælstof er ca. 20 % lavere.

Spredningen på koncentrationerne i det andet måleår er størst for målepunkter med høje koncentrationer som for skyllevand fra biofiltre, spulevand fra mikrosigten, slam fra tømning af slamkegler samt klaringsvandet fra slambassiner (tabel 6). Spredning på koncentrationerne for indtagsvandet er generelt lave på nær for BI₅.

Spredningen målt som procent af gennemsnitskoncentrationen viser at den største spredning findes for suspenderet stof med 90% og BI₅ med 70 % og lavest for total kvælstof med 24 % (tabel 7).

Den procentvise standardafvigelse på koncentrationerne er for 6 af de 8 parametre større i det andet måleår (tabel 7), dvs. koncentrationsforholdene har varieret lidt mere år 2 i produktionsanlægget.

Målested	Susp. stof		NH ₄ -N		NO ₂₃ -N		Total -N		Ortho-P		Total -P		BI-5		COD	
	Gen	Std	Gen	Std	Gen	Std	Gen	Std	Gen	Std	Gen	Std	Gen	Std	Gen	Std
Vandindtag prod. anlæg	1,1	0,9	0,3	0,0	3,8	0,4	4,4	0,3	0,1	0,0	0,1	0,0	1,3	1,3	11,3	2,8
OS Miokrosigte	4,6	2,2	4,7	2,7	8,1	2,0	14,1	2,3	0,4	0,2	0,5	0,2	5,5	1,6	28,0	7,3
OS biofilter prod. anlæg	16,5	66,7	4,1	2,7	9,1	2,9	15,4	4,5	0,5	0,5	1,1	2,7	11,4	31,1	49,2	116
NS biofilter prod. anlæg	4,0	3,1	3,9	2,8	9,3	2,8	14,6	2,4	0,5	0,1	0,6	0,2	4,5	1,4	25,4	5,4
Skyllevand fra biofilter	575	175	4,7	2,9	6,9	2,9	46,3	7,6	0,8	0,3	11,4	2,9	156	52	578	134
Afløb slamkegler	4.866	2.630	18,7	9,5	0,7	1,0	171	81,0	20,7	15,5	176	110	3.169	1.722	7.969	4.772
Afløb spulevand mikrosigte	394	158	4,1	2,9	5,0	2,6	29,3	11,2	1,0	1,6	10,0	4,7	168	73,0	535	202
Spulevand fra mikrosigte retur til produktionsanlæg	60,2	14,3	2,6	2,3	11,8	1,8	19,5	1,9	0,7	0,1	2,5	0,7	27,3	7,8	95,5	21,6
Klaringsvand fra slambassin	192	138	21,1	10,5	1,1	1,7	35,7	13,0	5,9	2,7	10,5	4,4	139	83,7	438	327
Udløb dambrug (år 2)	6,0	4,3	5,4	2,6	5,5	2,6	12,3	2,4	0,8	0,2	1,0	0,3	4,9	2,1	29,0	5,6
Udløb dambrug (år 1)	6,0	3,3	3,6	2,1	6,9	1,9	12,0	3,0	0,5	0,2	0,7	0,2	5,5	2,1	29,7	8,0

Tabel 6 Gennemsnitskoncentrationen (gen) og standardafvigelsen (std) for de kemiske variable forskellige målesteder på Løjstrup Dambrug (øst) 2. måleår samt for udløbet fra dambruget år 1. OS = opstrøms; NS = nedstrøms.

	Susp	NH ₄ -N	NO ₂₃ -N	Total N	Ortho P	Total P	BI ₅	COD
Std % 1. år	54	68	52	34	43	38	47	38
Std % 2. år	90	57	56	24	58	55	70	55

Tabel 7 Procentvis standardafvigelse på gennemsnitskoncentrationerne ved målepunkterne for hhv. første og andet måleår for Løjstrup Dambrug (øst). Standardafviselserne på gennemsnitskoncentrationen for hvert målepunkt for de enkelte parametre er beregnet. Derefter er gennemsnittet for standardafvigelsen beregnet for hver parameter og den procentuelle standardafvigelse beregnet.

I de efterfølgende figurer 13-18 vises en række koncentrationsforløb for de målepunkter, fra hvilke der udledes betydende stofmængder til plantelagunen, nemlig udløb fra produktionsenheden og klaringsvand fra slambassin over begge måleår. Koncentrationsniveauerne i produktionsanlægget kan også vise noget om hvordan driften er forløbet over tid.

Total kvælstofkoncentrationer i afløbet fra produktionsenheden har ligget på 13-17 mg/l og i begge måleår med de laveste koncentrationer i april - maj på det tidspunkt, hvor fiskebestanden reduceres kraftigt i forbindelse med udsætning af fiskene i havbrug (figur 13). Ammonium kvælstof koncentrationen er også lav i foråret (ca. 1 mg N/l) samtidig med laveste fiskebestand på anlægget, mens den i vinterperioden med størst fiskebestand når op på 5-7 mg N/l i afløbet fra produktionsenheden (nedstrøms biofiltret). Nitrit-nitria koncentrationen varierer i modfase med ammonium koncentrationen. Ved nitrifikationen i biofiltrene oxideres ammonium til nitrit som oxideres videre til nitrat med uorganisk kulstof som energi (kulstof) kilde.

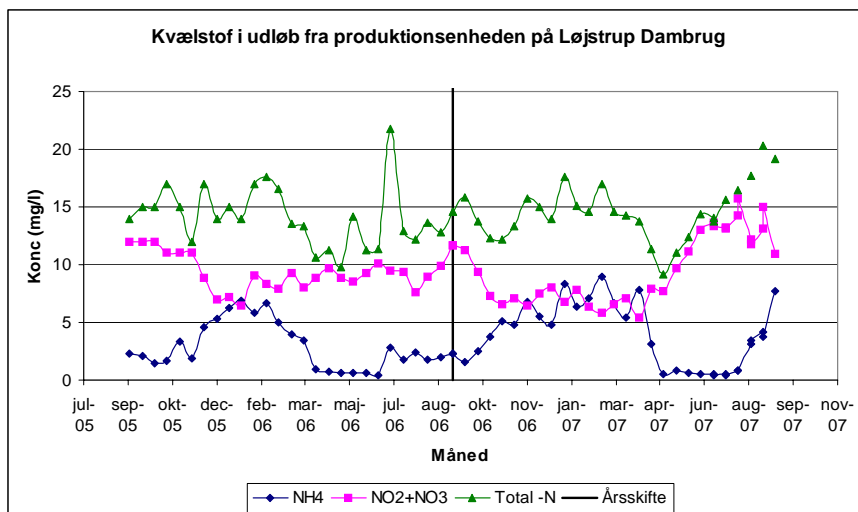
Koncentrationen af orthofosfat- og total fosfor udvikler sig næsten ens gennem de to måleår med en tendens til størst forskel om sommeren (figur 14). Koncentrationen er generelt højere 2. måleår med en tendens til at være højest i februar-marts (ved maksimal biomasse) med en sekundær

koncentrations-top om sommeren. Den maksimale værdi er ca. 0,8 mg P/l i andet måleår mod 0,5 mg P/l i det første måleår trods ca. samme fiskebestand de to måleår. Tilførslen med fosfor fra produktionsenheden til plantelagunen er betydelig højere i det andet måleår.

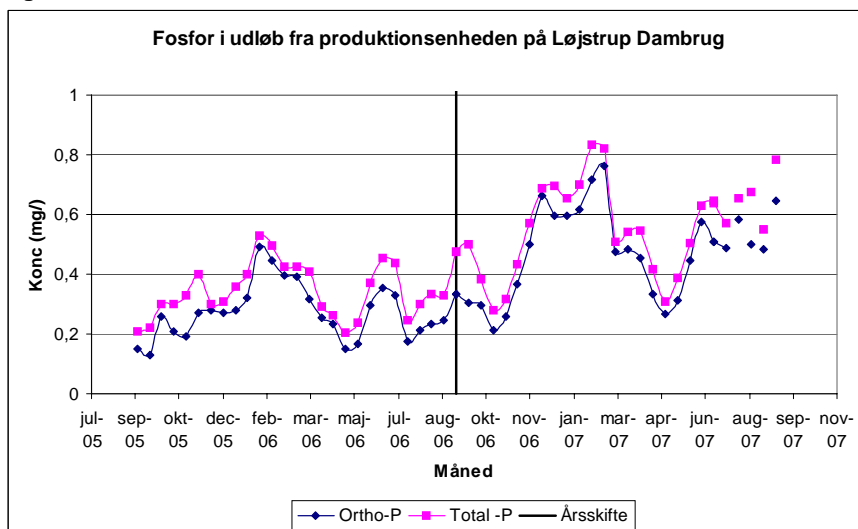
Den organiske stofkoncentration målt som BI₅ nedstrøms biofiltrene i produktionsenheden er temmelig konstant begge måleår på 3-7 mg BI₅/l (figur 15) men COD varierer mere (typisk 15 – 35 mg COD/l) og lidt lavere i andet måleår. COD har tendens til de højeste værdier i vinterperioden hvor fiskebestanden i anlægget er størst. Koncentrationen af suspenderet stof er ret konstant og på det samme niveau begge måleår.

Selv om vandmængderne der tilføres plantelagunen med klaringsvandet fra slambassinerne er beskedent sammenlignet med afløbet fra produktionsenheden er koncentrationerne i klaringsvandet for de fleste kemiske komponenter så høje (figur 16-18) at stofbidraget bliver af relativ stor betydning (mere herom i kapitel 8). Slambassinet modtager slamvand fra henholdsvis slamkegler, biofiltre og mikrosigte. I slambassinet sker der sedimentation af partikler, omsætning af kvælstof (denitrifikation og ammonifikation), omsætning af let omsætteligt organisk stof samt en frigivelse af noget opløst fosfor, som ellers var tilført partikulært bundet.

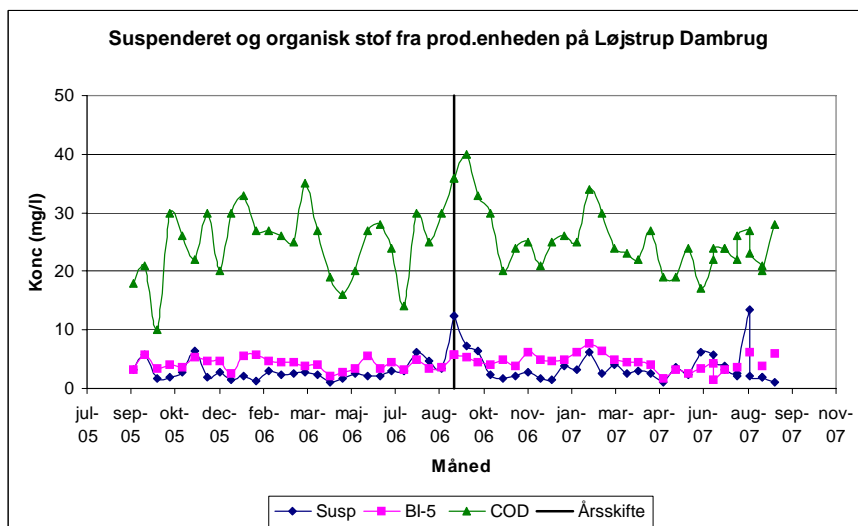
Vandforbruget til spuling af mikrosigter, returskylning af biofilter og tømning af slamkegler varierer kun lidt over et måleår og kan derfor ikke forklare de relativt store koncentrationsændringer der måles for de enkelte parametre gennem måleåret. Koncentrationsforholdene i klaringsvandet afspejler derfor både variationer i foderforbrug, i produktionsforholdene i bredeste forstand og processer i slambassinerne. For alle de målte kemiske parametre er der i første måleår i perioden maj til august op til 4 gange så høje koncentrationer som i resten af første måleår. I andet måleår findes en tilsvarende koncentrationsstigning allerede i marts til juni. Der er kun i kortere perioder nitrit-nitrat-kvælstof, som forekommer hvor total kvælstof koncentrationen også topper ellers er der meget lidt nitrit-nitrat i klaringsvandet. Overordnet er der stort set parallelt koncentrationsforløb af total kvælstof og ammonium kvælstof over de to måleår, på nær under de nævnte koncentrationstoppe. Forskellen mellem total kvælstof og summen af de opløste kvælstoffraktioner angiver koncentrationen af organisk bundet kvælstof, som øges i de to perioder, hvor der ses højeste total kvælstof koncentrationer. Som gennemsnit er koncentrationerne for alle kemiske parametre lidt eller væsentligt højere andet år i klaringsvandet (figur 16 til 18).



Figur 13

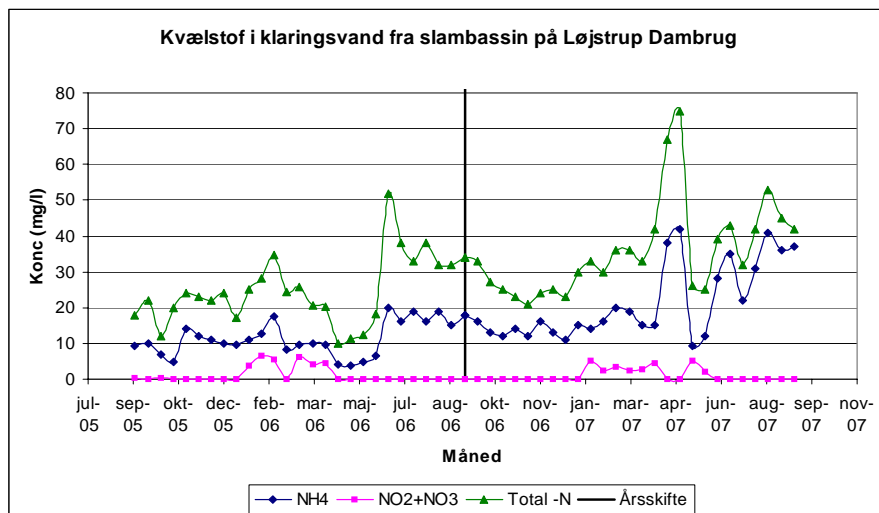


Figur 14

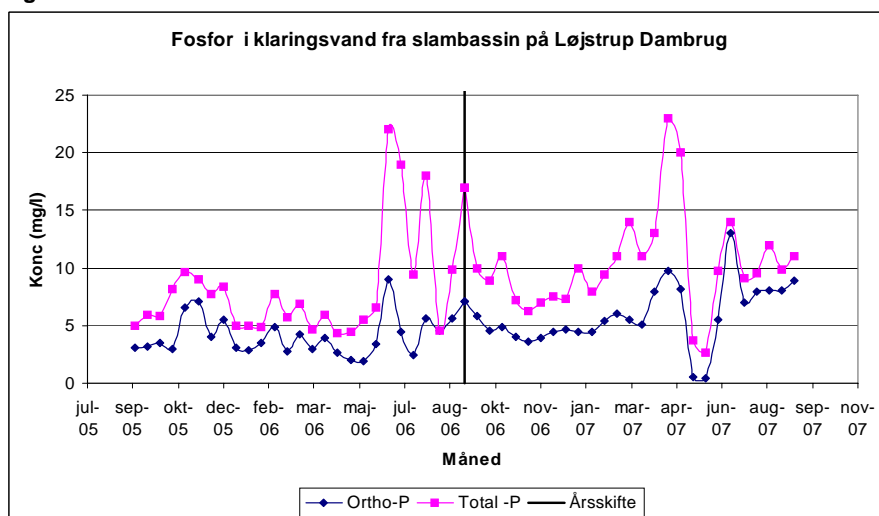


Figur 15

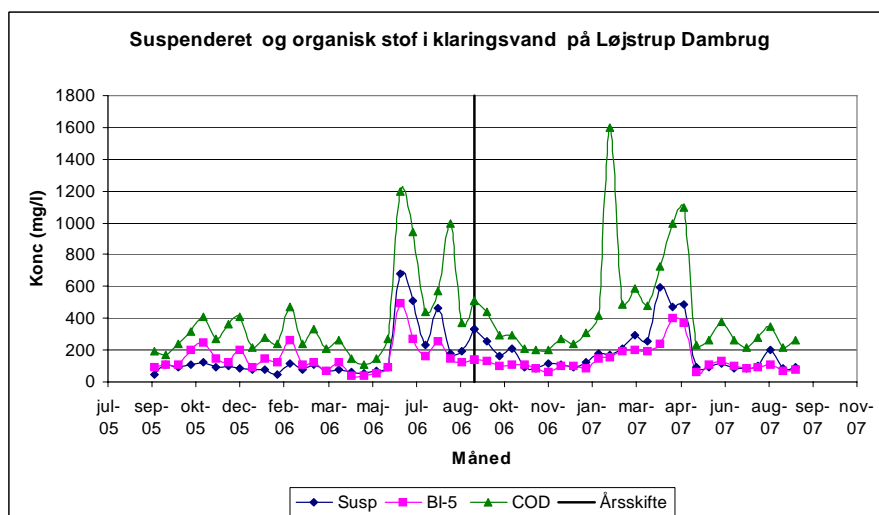
Koncentrationsudvikling (mg/l) i produktionsenheden på Løjstrup Dambrug (øst) over de to måleår for ammonium, nitrat-nitrit og total kvælstof (figur 13) orthofosfat og total fosfor (figur 14) og BI₅ og COD samt suspenderet stof (figur 15) nedstrøms biofilter svarende til koncentrationerne i det vand, der løber ind i plantelagunen fra produktionsenhederne.



Figur 16



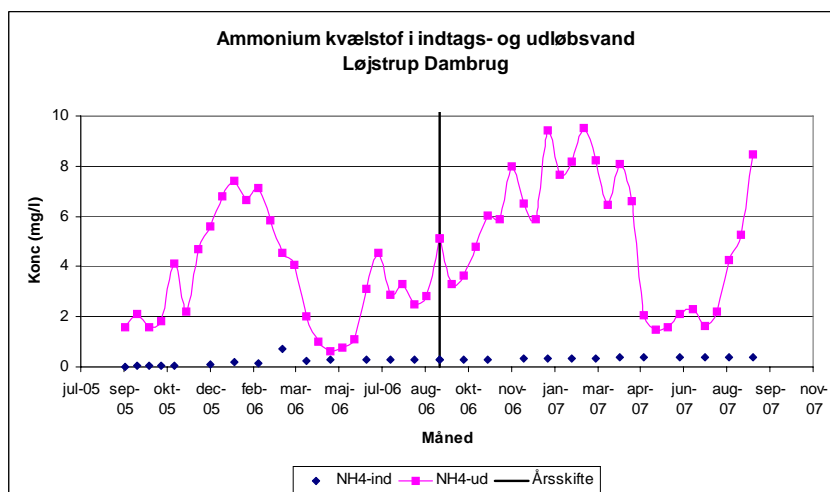
Figur 17



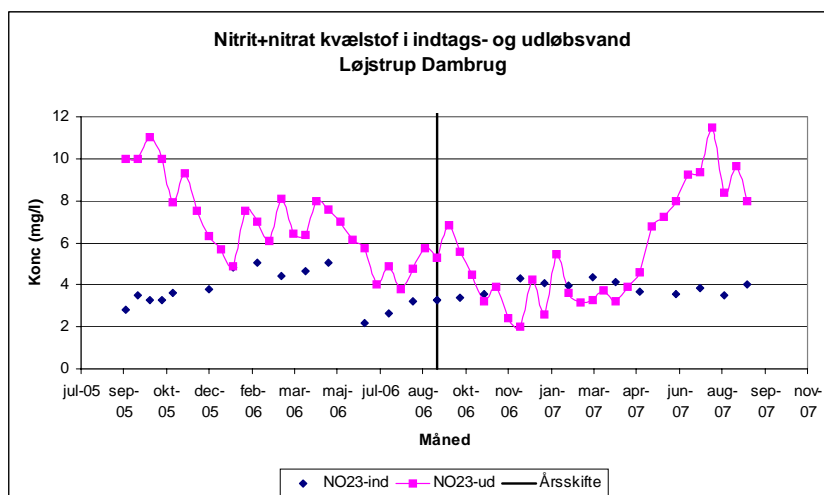
Figur 18

Koncentrationsudvikling(mg/l) i klaringsvandet fra slambassin på Løjstrup Dambrug (øst) over de to mæleår for ammonium, nitrat-nitrit og total kvælstof (figur 16) orthofosfat og total fosfor (figur 15) og BI₅ og COD samt suspenderet stof (figur 16) svarende til koncentrationerne i det vand, der løber ind i plantelagunen fra slambassin.

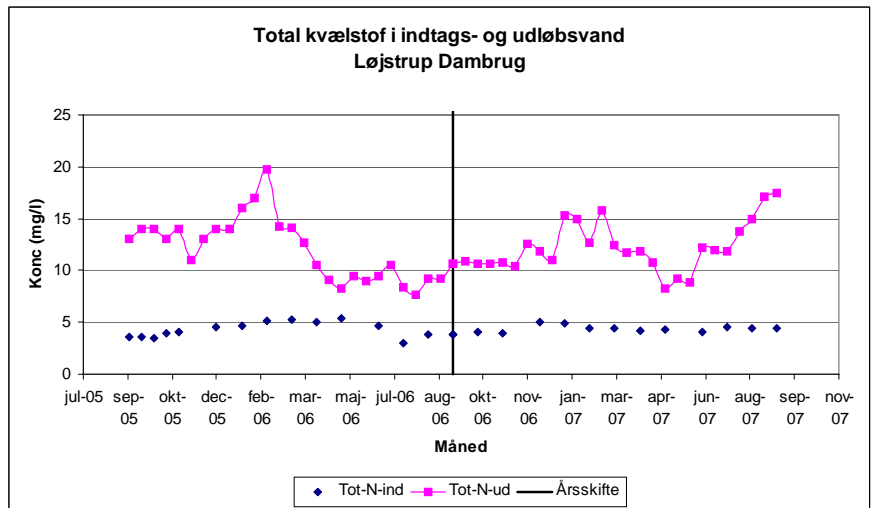
I figur 19 til og med 26 vises koncentrationsforløbet for de målte kemiske parametre i henholdsvis indtagsvandet til dambruget og i udløbet fra plantelagunen (svarende til udløb fra dambruget) for begge måleår. Koncentrationsforskellen i de vægtede koncentrationer i det vand, der ledes til plantelagunen og i udløbsvandet fra denne, afspejler plantelagunes kapacitet til at omsætte/tilbageholde stof.



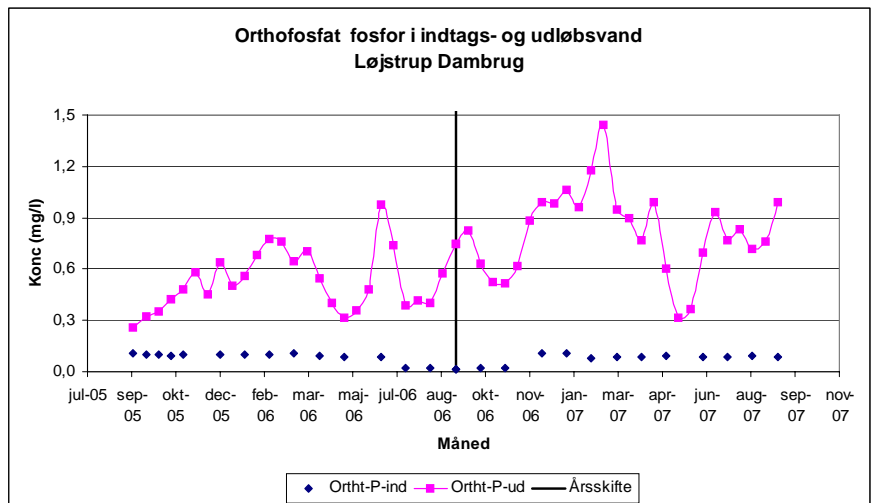
Figur 19 Ammonium kvælstof koncentrationen (mg/l) i indtagsvandet til Løjstrup Dambrug og i udløbet fra dambruget (øst) til Hadsten Lilleå i første og andet måleår.



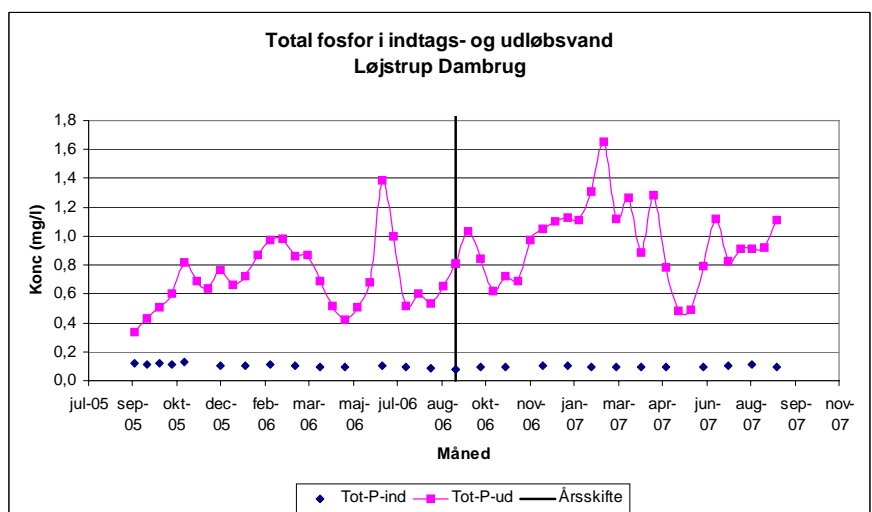
Figur 20 Nitrit+nitrat kvælstof koncentrationen (mg/l) i indtagsvandet til Løjstrup Dambrug og i udløbet fra dambruget (øst) til Hadsten Lilleå i første og andet måleår.



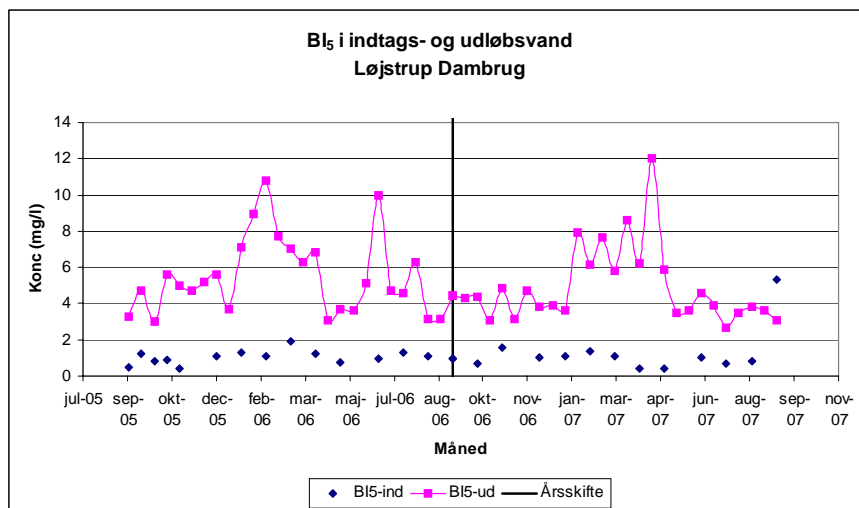
Figur 21 Total kvælstof koncentrationen (mg/l) i indtagsvandet til Løjstrup Dambrug og i udløbet fra dambruget (øst) til Hadsten Lilleå i første og andet måleår.



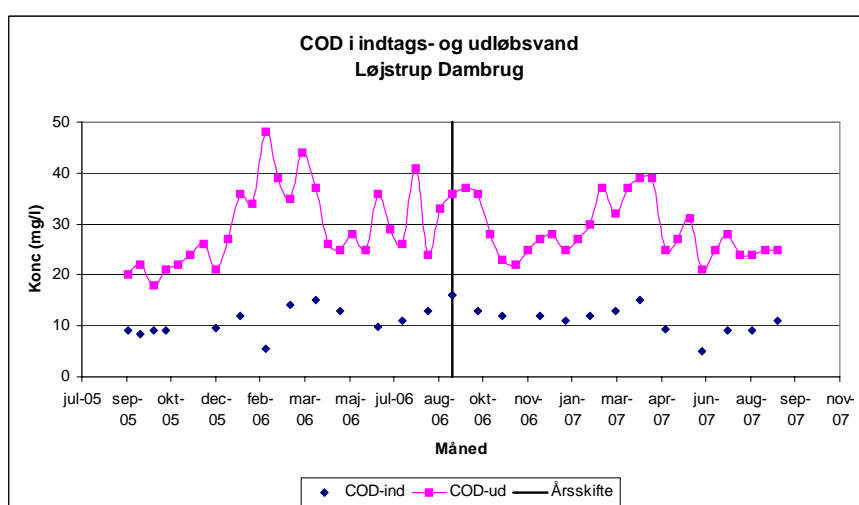
Figur 22 Orthofosfat fosfor koncentrationen (mg/l) i indtagsvandet til Løjstrup Dambrug og i udløbet fra dambruget (øst) til Hadsten Lilleå i første og andet måleår.



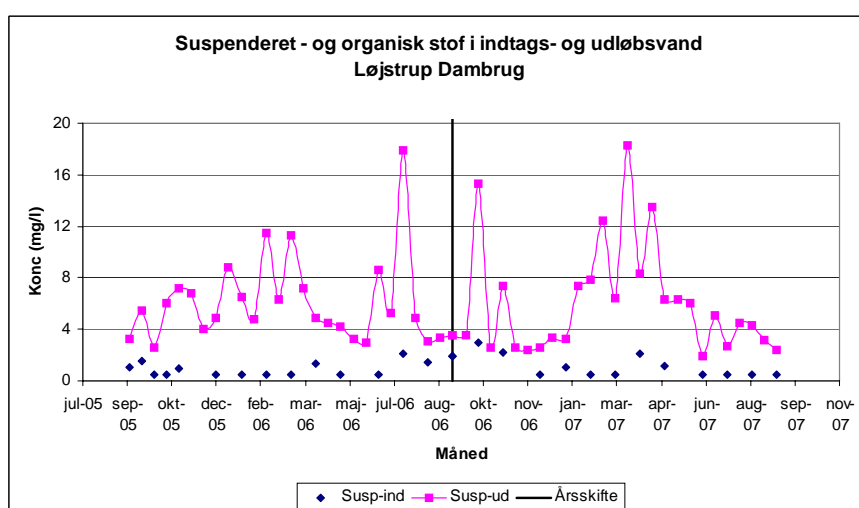
Figur 23 Total fosfor koncentrationen (mg/l) i indtagsvandet til Løjstrup Dambrug og i udløbet herfra til Hadsten Lilleå i første og andet måleår.



Figur 24 BI₅ koncentrationen (mg/l) i indtagsvandet til Løjstrup Dambrug (øst) og i afløbet fra dambruget til Hadsten Lilleå i første og andet måleår.



Figur 25 COD koncentrationen (mg/l) i indtagsvandet til Løjstrup Dambrug (øst) og i afløbet fra dambruget til Hadsten Lilleå i første og andet måleår.



Figur 26 Suspenderet stof koncentrationen (mg/l) i indtagsvandet til Løjstrup Dambrug (øst) og i afløbet til Hadsten Lilleå i første og andet måleår.

I indtagsvandet, der stammer fra boring plus dræn under og omkring plantelagunen er koncentrationsniveauet det samme begge måleår for de kemiske parametre med ingen eller beskednen sæsonvariation (figur 19-26).

Helt overordnet varierer koncentrationen for de kemiske parametre i udløbet fra plantelagunen som de tilsvarende variationer beskrevet for afløb fra produktionsenheden og for klaringsvandet (figur 13-18) og der er for de fleste stoffer tale ret stor variation i koncentrationen i hver af de to måleår. Ammonium kvælstof toppe i vinterhalvåret (op til ca. 9 mg N/l) og er lavest om foråret (ned til ca. 1 mg N/l) umiddelbart efter at størstedelen af fiskebestanden er flyttet ud i havbrug. Omvendt er nitrit-nitrat kvælstof koncentrationen højest om sommeren (op til 10 - 12 mg N/l) og især andet måleår lavest om vinteren (2-4 mg N/l). Orthofosfat- og total fosfor og i mindre omfang organisk stof og suspenderet stof har koncentrationstoppe sen vinter start forår (nær maksimale fiskebestand) og især i det andet måleår (figur 21-26). Nogle af koncentrationstoppe i klaringsvandet synes at have influeret på koncentrationen i afløbet fra Løjstrup Dambrug (øst).

Gennemsnitskoncentrationen i udløbet fra dambruget har i andet måleår være højere for ammonium kvælstof samt ortho- og total-fosfor end i første måleår, mens den omvendt for nitrit-nitrat kvælstof har været lavere. For de øvrige stoffer er der kun mindre forskelle de to måleår.

Der har kun været få planter i plantelagunen ved Løjstrup Dambrug (øst) idet planterne først gradvist etableres i 2. måleår og især de sidste par måneder heraf. Planternes indflydelse på omsætning og sedimentation samt evt. optag af opløste næringsstoffer i plantelagunen må derfor være begrænset. Koncentrationsforholdene diskuteres yderligere i kapitel 12.

7 Overholdelse af udlederkrav

I miljøgodkendelsen for Løjstrup Dambrug (øst) er der opstillet en række udlederkrav i forsøgsperioden (Århus Amt, 2004). Miljøgodkendelsen beskriver, at udlederkontrollen skal foretages med to forskellige kontrolmetoder. Kontrolstofferne BI_5 og ammonium-kvælstof skal kontrolleres ved tilstandskontrol, dvs. på størrelsen af den generelle overkoncentration. De resterende 3 kontrolstoffer - suspenderet stof, total kvælstof og total fosfor - skal kontrolleres efter transportkontrol, hvor kravværdierne, udtrykt som nettodøgnudledning, skal justeres som beskrevet i Pedersen et al. (2003). Justeringen foretages ved anvendelse af beregnede standardafvigelse for de observerede nettoudledninger for det første måleår og fremgår af tabel 8. Kravværdierne fra miljøgodkendelsen er angivet i kapitel 2.3 tabel 2.

I tabel 8 er resultaterne af udlederkontrollen for de to måleår angivet. Det antages at sikkerheden for overholdelse af udlederkravene skal være 95 % (sikkerheden for miljøet) som forudsat i Dambrugsbekendtgørelsen og anbefalet i Pedersen et al. (2003). Sædvanligvis regnes 95 % statistisk sikkerhed for at være temmelig høj.

Kontrolparameter	Kravværdi jf. Miljøgodk.	Justeret kravværdi	Udledning efter Bekendt. Modeldambrug år 1/ år 2	Teoretiske kravværdier fra Dambrugsbekendtgørelsen
Susp. Stof	94 kg d ⁻¹	83 kg d ⁻¹	11,5 / 10,3	142 kg d ⁻¹ (3)
NH ₄	3,1 mg l ⁻¹	-	4,4 / 6,4	4,9 mg l ⁻¹ (0,4)
Total-N	30 kg d ⁻¹	20 kg d ⁻¹	17,9 / 19,9	28,5 kg d ⁻¹ (0,6)
Total-P	3 kg d ⁻¹	2,3 kg d ⁻¹	1,55 / 2,20	2,4 kg d ⁻¹ (0,05)
BI ₅	8,0 mg l ⁻¹	-	5,5 / 5,0	12,2 mg l ⁻¹ (1,0)

Tabel 8 Kontrol på udledningerne fra Løjstrup Dambrug (øst) for første og andet måleår med beregnede statistiske udlederværdier beregnet efter miljøgodkendelsen udlederkrav, som anbefalet i Bekendtgørelsen om modeldambrug, jf. Larsen og Svendsen (1998). Der er beregnet efter en statistisk sikkerhed på overholdelse af udledninger på 95 %. Med kursiv er vist, hvor udlederkravene ikke er overholdt de to måleår. Sidste kolonne er de beregnede udlederkravværdier, hvis dambrugsbekendtgørelsens vejledende udlederkravværdier (som er angivet i parentes i mg l⁻¹) ganges med forholdet mellem tilladt vandindtag før ombygning og max. vandindtag efter ombygning ($550/45 = 12,2$).

Den statistisk beregnede udlederværdi, der sammenholdes med udlederkravet, findes som gennemsnits overkoncentrationen (nettoudledningen) i kontrolperioden (her henholdsvis måleår 1 og 2) plus spredningen på overkoncentrationerne (nettoudledningerne) i kontrolperioden ganget med en statistisk justeringsfaktor, som beregnes jf. Larsen og Svendsen (1998) og Pedersen et al. (2003). Kursiv i tabel 8 angiver, hvor udlederkravene ikke har været overholdt for en given kemisk variabel ved den angivne kontrolmetode. Udlederkontrollen viser, at Løjstrup Dambrug (øst) har overholdt alle udlederkrav i begge måleår på nær for ammonium kvælstof, hvor udlederværdien har været henholdsvis 142 % (år 1) og 206 % (år 2) af kravværdien. For total kvælstof er udlederkravet år 2

med 99 % af kravværdien lige overholdt. Udlederkontrollen viser, at i andet måleår har udlederværdierne været højere end år 1, henholdsvis 45 % for ammonium, 42 % for total fosfor og 11 % for total kvælstof. Samtidig har den været 9 % lavere for både suspenderet stof og BI₅.

I tabel 8 er også angivet, hvad kravværdien teoretisk ville blive efter Dambrugsbekendtgørelsens vejledende udlederkravværdier, såfremt hele reduktionen i vandindtaget sammenlignet med før ombygningen til et modeldambrug, blev godskrevet dambruget, svarende til en faktor 12,2 (forholdet mellem tidligere vandindtag, der har været lidt højere end medianminimum ved dambruget på 550 l/s og tilladte vandindtag efter ombygning på 45 l/s) på udlederkravværdier. I så fald ville Løjstrup Dambrug (øst) overholde alle udlederkrav ved 95 % statistisk sikkerhed på nær for ammonium kvælstof andet måleår, hvor udlederværdien er 131 % af udlederkravet ved fuld kompensation for reduceret vandindtag.

Det fremgår i øvrigt, at for suspenderet stof og BI₅ og især ammonium kvælstof har amtet i miljøgodkendelsen skærpet kravværdierne, men for de to resterende stoffer er kravværdierne stort set lig (lidt over) de teoretiske kravværdier efter dambrugsbekendtgørelsen, dvs. med fuld kompensation for reduktionen i vandindtag.

8 Massebalancer

8.1 Produktionsbidrag

I følge den førte driftsjournal er foderforbruget i det andet måleår i produktionsanlægget i alt 322,3 tons hvilket er 8,8 tons mere end i det første måleår. Der er beregnet en produktion på 336,7 tons fisk (inkl. døde) svarende til en foderkvotient for hele produktionsanlægget på 0,957 sammenlignet med 0,950 år 1, hvor der alt i alt er produceret 330,0 tons fisk. I kapitel 3.2 er det redegjort for beregning af produktionsbidraget, som er angivet i tabel 9 for måleår 1 og 2 med en antagelse om 1 % foder-spild. For måleår 1 er produktionsbidraget ændret (justeret op) jf. diskussionen i kapitel 3.2.

Produktionsbidrag	NH ₄ - N		Total N		Total P		BI ₅		COD	
	År 1	År 2	År 1	År 2	År 1	År 2	År 1	År 2	År 1	År 2
I kg	12.672	12.633	15.120	14.997	1.917	1.655	29.500	31.873	84.285	91.065
I kg pr. tons foder	40,4	39,2	48,2	46,5	6,1	5,1	94,1	98,9	268,9	282,6
I kg pr. tons fisk	38,4	37,5	45,8	44,5	5,8	4,9	89,4	94,6	255,4	270,4

Tabel 9 Beregnede produktionsbidrag for henholdsvis første og andet måleår på Løjstrup Dambrug (øst) opgjort i kg pr. tons samlet foderforbrug og kg pr. tons produceret fisk. I produktionsbidraget indgår et lille bidrag af ammonium og total kvælstof fra leveredam.

Det bemærkes, at produktionsbidraget beregnet i forhold til foderforbrug og produktion af fisk i det samlede produktionsanlæg er lidt lavere år 2 for ammonium og total kvælstof, noget lavere for total fosfor, men til gengæld lidt højere for BI₅ og COD. Indholdet af fosfor i foderet er lavere andet måleår, mens delvis brug af andre fodertyper og ændret sammensætning i foder forklarer det højere produktionsbidrag ift. organisk stof.

8.2 Massebalancer

For at kunne beregne hvor meget stof der fjernes i forskellige dele af dambruget kræves opgørelser over, hvor store stofmængder der er tilført og afledt forskellige steder på dambruget. Herved kan der opstilles massebalancer hen over produktionsenheden, plantelagunen, slambassinerne og over hele dambruget. Stofmængderne er (fraset produktionsbidraget) beregnet ved at gange en daglig vandmængde et givent målested med en tilhørende døgnmiddelkoncentration. Vandmængderne måles som beskrevet i kapitel 2 kontinuert i en række målepunkter, for hvilke der er beregnet en døgnmiddel vandmængde. De døgnlige stofkoncentrationer er fundet ved lineær interpolation mellem de målte døgnmiddelkoncentrationer fra prøvetagning af vandkemiske prøver hver 14. dag. Stofmængderne forskellige steder på dambruget fremgår af tabel 10.

Der er to kilder til stofinput: boringen (indtagsvandet = I) og foder (produktionsbidraget P). Produktionsbidraget ses som et stofbidrag fra mikrosigte, slamkegletømning, returskylling af biofiltre i produktionsan-

lægget, spulevand fra mikrosigten samt via de forøgede stofmængder, der løber ud af produktionsanlægget til plantelagunerne ift. indtagsvandet. Produktionsbidraget er opgjort samlet for produktionsanlægget. Det fremgår tydeligt, at produktionsbidraget er hovedkilden til stoftilførsel til Løjstrup Dambrug (øst) for alle stoffer, da det udgør mellem 94 og 97 % af ammonium kvælstof, total fosfor og BI₅, 88 % af COD og 76 % af total kvælstof af den samlede stoftilførsel. Kun ift. nitrat har indtagsvandet altså en vis betydning.

Som omtalt i kapitel 5.3 er der en netto nedsivning over plantelagunen år 2 på ca. 6 %. Denne er så beskeden at selv om der kan følge nogle opløste stoffer med nedsivningsvandet tages der ikke højde for det i de følgende beregninger. I den faglige slutrapport (*Svendsen et al, 2008*) er der søgt korrigeret for de meget beskedne stofmængder, der kan tabes over plantelagunen med nedsivningsvandet. Der er en vis usikkerhed på den vandmængde, der tilføres og afledes fra slambassiner, idet der kun tilføres vand i visse perioder, således at beregningerne er afhængige af korrekte tidsangivelser for, hvornår pumper fra slambrende til slambassiner har kørt, jf. kap. 5.1, men dette har været registreret meget omhyggeligt på Løjstrup Dambrug (øst).

	Vand 1000m ³	Susp kg	NH ₄ -N kg	NO ₂₃ -N kg	Total N kg	Ortho-P kg	Total P kg	BI ₅ kg	COD kg
Indtagsvand (I)	1.073	1.242	366	4.103	4.683	80	105	1.190	11.991
Produktionsbidrag (P)	-	-	12.344	-	14.692	-	1.655	31.873	91.065
Samlet stofinput (I+P)	1.073	1.242	12.710	4.103	19.375	80	1.760	33.063	103.056
Slamkegler produktionsenhed	2	10.291	39	1	354	46	382	6.604	16.089
Biofilterskyl produktionsenhed	27	15.377	131	177	1.258	21	308	4.233	15.704
Ekstra skyllevand	5	22	22	38	66	2	3	26	131
Spulevand mikrosigte i alt	51	19.410	226	249	1.499	53	512	8.483	27.175
Klaret spulevand retur prod. enhed [*]	19	1.107	55	220	371	12	46	505	1.758
Tilført slambassin i alt	66	43.992	363	245	2.806	110	1.159	18.840	57.341
Udløb prod. enhed til plantelagune	1.021	3.463	4.192	9.264	14.820	479	563	4.610	25.880
Klaringsvand fra slambassin	70	13.237	1.279	78	2.304	378	704	9.573	31.049
Tilført plantelagune i alt	1.091	16.700	5.471	9.343	17.124	857	1.266	14.183	56.930
Udløb dambrug 2. måleår	1.042	6.459	5.612	5.599	12.664	843	1.000	5.162	30.186
Udløb dambrug 1. måleår	1.086	6.656	3.831	7.504	13.025	576	762	5.907	32.124

Tabel 10 Beregnede samlede stofmængder i andet måleår ved forskellige målesteder på Løjstrup Dambrug (øst). I = stofmængder i indtagsvandet. P = produktionsbidrag fra fiskeproduktionen (foder). Der kan ikke beregnes produktionsbidrag for suspenderet stof, nitrat og orthofosfat. Det gennemsnitlige vandindtag har været ca. 34 l/s. ^{*} Fra 30-03-07 klares spulevandet i beholder og det klarede spulevand ledes tilbage til produktionsenheden, hvorfor denne stofmængde fratrækkes, hvad der tilføres slambassinerne.

I tabel 10 er beregnet stofmængderne over de enkelte dele af dambruget. I det første måleår var stofmængden i afløbet fra slambassinet (klaringsvand) for suspenderet stof, orthofosfat fosfor og BI₅ flere gange større end de tilsvarende stofmængder, der tilførtes plantelagunerne ved afløb fra produktionsenheden (*Svendsen et al, 2007*). I det andet måleår udgør stofmængderne i klaringsvandet fortsat en væsentlig større andel ift. suspenderet stof og det dobbelte for BI₅ mens det for fosfor er af samme størrelsesorden. Tilførslen af total kvælstof, total fosfor og især organisk

stof til slambassinerne er noget lavere år 2 trods et 3 % højere foderforbrug. Der skal tages højde for at beregningerne af tilførslerne til slambassin er forbedrede i andet måleår og ikke mindst at spulevandet fra mikrosigterne fra den 30 marts 2007 blev ledt op i en fældningsbeholder, hvor overskydende, klaret spulevand med tilhørende stof blev ført tilbage til produktionsenheden nedstrøms mikrosigten, mens det opsamlede materiale blev ført til slambassin. Trods forbedringer i andet måleår føres fortsat en betydelig del af det stof, der er tilført slambassinerne tilbage til plantelagunen med klaringsvandet (mere herom i kapitel 9).

Spulevandet fra mikrosigterne udgør år 2 henholdsvis ca. 40 % af det suspenderede stof, 40-50 % af ammonium og total kvælstof, total fosfor samt BI₅ og COD som tilføres slambassinerne.

Der ledes noget mere ammonium kvælstof (46 %), orthofosfat (46 %) og total fosfor (31 %) fra Løjstrup Dambrug (øst) 2. måleår, men lidt mindre af de øvrige stoffer og især af nitrat-nitrit kvælstof (25 %) sammenlignet med år 1.

9 Rensegrader og stoffjernelse

9.1 Beregning af rensegrader

I dette kapitel beregnes stoffjernelsen over hele dambruget og over del-elementerne i produktionsanlæg, plantelagune m.v. Rensegraden beregnes ud fra to beregningsmetoder. Rensegraden R_N for en given kemisk variabel er bestemt ud fra anvisningen i *Bekendtgørelsen for modeldambrug (2002)*, som

$$R_N (\%) = ((P - U_N) / P) * 100, \text{ hvor} \quad (1)$$

P = produktionsbidraget

U_N = dambrugets nettoudledning, dvs. målte udledning U_M minus I = input fra indtagsvand (boringer).

Denne metode kan kaldes nettorensesegraden, som svarer til at stoftilbageholdelsen over hele dambruget S_N for en given kemisk variabel bestemmes i procent af produktionsbidraget P for det samme stof, dvs.

$$R_N (\%) = S_N / P * 100$$

Endvidere beregnes en bruttorensesegrad R_B hvor stoftilbageholdelsen over dambruget S_N for en given kemisk variabel bestemmes i procent af den samlede stoftilførsel dvs. ift. produktionsbidraget P plus stofbidraget fra indtagsvand (I), dvs.

$$R_B (\%) = (S_N / (I + P)) * 100 \quad (2)$$

Brug af ovenstående formler forudsætter at vanindtaget til dambruget udgør mindre end eller lig med 10 % af vandløbets medianminimumsvandføring, hvilket er opfyldt for Løjstrup Dambrug (øst), der i de to måleår i gennemsnit har udledt svarende til 3,2 % af Hadsten Lilleås medianminimumsvandføring på 1.050 l/s på strækningen ved dambruget.

9.2 Rensegrader over hele dambruget

Målinger og beregninger for andet måleår viser at nettorensesegraden (R_N) over hele dambruget har været 46 % for både total kvælstof (N) og total fosfor (P) og 88 % for organisk stof udtrykt som BI_5 . For total kvælstof og BI_5 er det noget højere end forudsætningerne i *Bekendtgørelse for modeldambrug (2002)* for type III modeldambrug, mens det for total fosfor er noget lavere end forudsætningen. Bekendtgørelsen forudsætter rensegrader på henholdsvis 15 %, 65 % og 80 % for de tre kemiske variable for et type III modeldambrug med mikrosigter. For total kvælstof skal der til de 15 % dog tillægges, at plantelagunerne forudsættes at fjerne 1 g N pr. m^2 pr. dag, dvs. 365 g pr. m^2 pr. år eller med de ca. 3.300 m^2 plantelagune på Løjstrup Dambrug (øst) (jf. kapitel 11) 1.205 kg total kvælstof pr. år.

Omregnet svarer dette til at netto-rensesgraden for kvælstof mindst skal være 23 %, hvilket til fulde er opfyldt.

Rensegraderne for første måleår er genberegnet og indsat i tabel 11. De viser, at netto-rensesgraderne indenfor få procentpoint er de samme begge måleår for total kvælstof og organisk stof, mens henholdsvis 13 procentpoint lavere for ammonium kvælstof og 20 procentpoint lavere for total fosfor i det andet måleår. Brutto-rensesgraderne er i andet måleår tilsvarende 14 % lavere for ammonium kvælstof og 20 procentpoint lavere for total fosfor samt lidt (3-4 %) lavere for BI₅ og COD sammenlignet med første måleår. Total kvælstof er uforandret i de 2 måleår på 35 %.

I de beregnede rensegrader indgår det stof, der kan være tabt grundet nedsivning fra plantelagunerne, men korrigeres for de ganske beskedne vandtab der er målt grundet nettoudsivning fra plantelagunerne ved en worst case beregning, nemlig at der følger opløste stoffer med nedsivningsvandet i samme koncentration som de tilføres plantelagunen, reducerer det kun rensegraderne med 1-2 procentpoint, hvilket må betragtes som indenfor måle- og beregningsusikkerheden begge måleår. De beregnede rensegrader antages derfor at være et realistisk mål for netto stoffjernelse/-omsætning over Løjstrup Dambrug (øst).

Man skal være opmærksom på, at for modeldambrugene under forsøgsordningen er der dispenseret ift. kvælstofudledninger således at det er den forventede rensegrad for fosfor, der initielt har bestemt den tilladte fodermængde. Anvendes formlen for beregning af maksimal fodertildeling for et modeldambrug, som den fremgår i *Bekendtgørelsen for modeldambrug (2002)* ville dambruget med de fundne rensegrader år 2 kunne øge foderforbruget ift. før ombygning med en faktor 1,72 hvis det var total-kvælstof rensegraden som regulerede fodertilladelsen, mens det ville give henholdsvis en faktor 1,48, hvis det var total fosfor og en faktor 6,67 hvis det var BI₅ som regulerede det. Hvis netto-rensesgraden fra første måleår kunne opnås vil det give en faktor 2,74. Løjstrup Dambrug (øst) har under den 2-årige forsøgsperiode fået godt fordoblet sin fodertilladelse til nu 300 tons foder inkl. overførsel af noget foder fra et andet dambrug. Det fremgår heraf, at både netto-rensesgraden for total kvælstof og total fosfor skal øges i forhold til resultaterne fra år 2 for at kunne opnå øget produktion.

Der er ikke udregnet rensegrader for suspenderet stof, da det ikke giver mening at beregne et produktionsbidrag for suspenderet stof. Udledningen af suspenderet stof er dog generelt meget lav.

Forskellen mellem netto- og brutto-rensesgraderne afspejler, hvor meget stofbidraget fra indtagsvandet udgør af produktionsbidraget. Det har mindst betydning for BI₅, ammonium-kvælstof og total fosfor, hvor de to mål for rensegrader er næsten ens og størst ved total kvælstof, hvor brutto-rensesgraden er 11 procentpoint lavere end netto-rensesgraden., hvilket skyldes nitratindholdet i indtagsvandet.

I tabel 11 er der endvidere angivet den specifikke udledning (stofudledning i g pr. kg produceret fisk) beregnet både ift. den faktiske udledning fra dambruget (brutto) og ift. nettoudledningen fra dambruget det andet måleår (netto) og de tilsvarende værdier er vist for første måleår. Netto-stofudledningen er kun større andet år for ammonium-kvælstof og total

fosfor, hvorimod det for de øvrige parametre er lidt lavere. Nettoudledningen for total fosfor er større 2. måleår trods lavere fosfor produktionsbidrag (lavere fosforindhold i foderet), hvilket understreger den væsentlig lavere rensegrad for total fosfor år 2. Medregnes stofindholdet indtagsvandet dvs. som i bruttoberegningen, er stofudledningen i andet måleår pr. kg produceret fisk også større for ammonium-kvælstof og total fosfor og mindre for de øvrige stoffer.

	Vand (1000 m ³)	NH ₄ -N Kg	Total -N kg	Total -P kg	BI ₅ kg	COD kg
Indtagsvand (I)	1.073	366	4.683	105	1.190	11.991
Produktionsbidrag (P)		12.344	14.692	1.655	31.873	91.065
Samlet stof bidrag (I+P)	1.073	12.710	19.375	1.760	33.063	103.056
Målte udledninger fra dambrug (Um)	1042	5.612	12.664	1.000	5.162	30.186
Netto udledning fra dambrug Un (Um-I)	-31	5.246	7.981	895	3.972	18.195
Nettorensesegraden R _n (%) jf. formel 1		58	46	46	88	80
Bruttorensesegraden R _B (%) jf formel 2		56	35	43	84	71
Stofudledningen netto i g/ kg produceret fisk		15,6	23,7	2,7	11,8	54,0
Stofudledningen brutto i g/ kg produceret fisk		16,7	37,6	3,0	15,3	89,6
Reviderede resultater fra 1. måleår						
Nettorensesegraden R _n (%) jf. formel 1		71	46	66	84	77
Bruttorensesegraden R _B (%) jf formel 2		70	35	63	81	67
Stofudledningen netto i g/ kg produceret fisk*		10,8	24,1	1,9	14,2	59,0
Stofudledningen brutto i g/ kg produceret fisk*		11,6	39,5	2,3	17,9	97,4

Tablet 11 Udledninger til vandløb og over Løjstrup Dambrug (øst) for andet måleår, ud fra henholdsvis samlede stofinput til dambruget (brutto) og ud fra produktionsbidraget (netto). Endvidere er stofudledningerne beregnet brutto og netto ift. mængde produceret fisk. Til sammenligning er indsat genberegneede rensegrader og udledninger for første måleår.

Sammenlignes udledningerne år 2 fra Løjstrup Dambrug (øst) med de tilsvarende netto stofudledninger pr. gram produceret fisk for Døstrup Dambrug (*Fjorback et al., 2003*), som var:

- NH₄-N: 4-6 g pr. kg produceret fisk
- Total N: 5-11 g pr. kg produceret fisk
- Total P: 2 g pr. kg produceret fisk
- BI₅: 20-28 g pr. kg produceret fisk

er de en faktor ca. 3 højere for kvælstof, lidt højere for total fosfor og på godt det halve for BI₅. Det skal i den forbindelse erindres, at Løjstrup Dambrugs (øst) produktion er baseret på store fisk til havbrug (ca. 800-1.200 g) med deraf følgende dårligere foderudnyttelse (højere foderkvo-
tient) og en stor vinter/forårsbestand.

9.3 Rensegrader over produktionsanlægget og over plantelaguner

I dette afsnit vises resultaterne for stoftilbageholdelse og rensegrader over produktionsanlægget (tabel 12) og over plantelagunerne (tabel 13). Stoffjernelsen i produktionsanlægget er et mål for, hvad der fysisk opsamles i slamkeglerne og biofiltrene og som føres over i slambassinet. Det dækker endvidere også en omsætning af stof som giver anledning til et stoftab i produktionsenhederne samt i biofiltrene og evt. i slamkeglerne. Stoffjernelsen i produktionsanlægget er fundet som forskellen mellem det stof, der tilføres produktionsanlægget via boringsvandet og med produktionsbidraget minus det stof, der er målt i udløb fra produktionsenheden til plantelagunen.

For plantelagunen beregnes stoftilbageholdelsen som forskellen mellem det stof, der tilføres med afløbsvand fra produktionsanlægget og med klaringsvandet fra slambassin minus det stof som løber ud fra dambruget (afløb plantelaguner).

Rensegraderne er både i tabel 12 og 13 beregnet på to måder:

- stoffjernelse i procent af stoftilførslen til produktionsanlægget (tabel 12) og til plantelagunerne (tabel 13)
- stoffjernelse i procent af det samlede produktionsbidrag (tabel 12 og 13)

For plantelagunen beregnes stoffjernelse endvidere i procent af den samlede stoftilførsel til dambruget (dvs. i procent af I + P fra tabel 11).

For produktionsanlægget er stoffjernelsen desuden blevet beregnet som angivet i de to dots ovenfor, men hvor der er kompenseret for at en større del af det stof, der overføres til slambassinet via tømning af slamkegler, returskylning af biofiltre og spuling af mikrosigte, efterfølgende ledes til plantelagunen med klaringsvandet fra slambassiner (tabel 12). Dette stof er dermed reelt ikke fjernet/tilbageholdt i slambassinet. Dette er et mål for netto stoffjernelse i slamfælder, biofiltre og mikrosigten, mens stoffjernelsen udregnet uden der tages højde for afløb af stof med klaringsvandet, er et mål for brutto tilbageholdelse/omsætningen i slamfælder, biofiltre og mikrosigten (hvad de har tilbageholdt/fjernet og ført over i slambassinet). Jo bedre man bliver til at reducere stofmængderne i klaringsvandet, des tættere vil netto og brutto tallene komme på hinanden og desto større reel rensning vil renseforanstaltningerne i produktionsanlægget kunne præstere. Samtidig vil plantelagunen skulle tilbageholde mindre stof og udledninger kan antages at blive reduceret.

For plantelagunerne er stoftilbageholdelsen/omsætningen også udtrykt i gram per m² plantelagune pr. dag for at kunne sammenligne bl.a. med andre dambrug (tabel 13).

Ved sammenligning af resultaterne i tabel 12 og 13 skal man være opmærksom på, at stof, der fjernes i produktionsanlægget og ikke senere tilføres plantelagunerne via klaringsvandet fra slambassinerne, ikke også kan fjernes i plantelagunerne. Det betyder, at plantelagunerne sandsyn-

ligvis kan fjerne mere af nogle stoffer end de faktisk gør, hvis de blev belastet hårdere.

	Vand 1000m ³	Susp. kg	NH ₄ -N kg	Total – N kg	Total -P kg	BI ₅ kg	COD kg
Indtagsvand (I)	1.073	1.242	366	4.683	105	1.190	11.991
Produktionsbidrag (P) eks. leveredam	-	-	12.344	14.692	1.655	31.873	91.065
Samlet stofinput (I+P) eks. leveredam	1.073	1.242	12.710	19.375	1.760	33.063	103.056
Udløb fra produktionsanlægget	1.021	3.463	4.192	14.820	563	4.610	25.880
Stoffjernelse over produktionsanlæg	-	-	8.518	4.555	1.197	28.453	77.175
Stoffjernelse i % af input			67	24	68	86	75
Stoffjernelse i % af produktionsbidraget			(78)	(26)	(97)	(86)	(73)
			69	31	72	89	85
			(80)	(34)	(103)	(90)	(84)
Stoffjernelse med spulevand i mikrosigten minus returskyl	321	18.302	171	1.128	466	7.978	25.417
Stoffjernelsen i mikrosigten i % af input	3	1.474	1	6	26	24	25
	(4)	(1.561)	(1)	(5)	(18)	(25)	(21)
Stoffjernelsen i mikrosigten i % af produktionsbidrag			1	8	28	25	28
			(1)	(7)	(19)	(26)	(24)
Stoffjernelse i slamkegler	21	10.291	39	354	382	6.604	16.089
Stoffjernelsen i slamkegler i % af input	0	829	0	2	22	20	16
	(1)	(25.06)	(1)	(5)	(38)	(78)	(44)
Stoffjernelsen i slamkegler i % af produktionsbidrag			0	2	23	21	18
			(1)	(6)	(40)	(81)	(51)
Stoffjernelse via biofilter-skyl	27	15.377	131	1.258	308	4.233	15.704
Stoffjernelsen via biofilter-skyl i % af input	3	1.238	1	6	18	13	15
	(2)	(1.246)	(1)	(6)	(15)	(15)	(15)
Stoffjernelsen via biofilter-skyl i % af produktionsbidrag			1	9	19	13	17
			(1)	(8)	(16)	(15)	(17)
Beregnet omsætning i produktionsanlæg (inkl. evt. akkumulation heri)			8.177	1.814	41	9.638	19.966
Stoftilførsel til slambassin	62	43.970	341	2.740	1.157	18.815	57.210
Stoffjernelse med klaringsvand	70	13.237	1.279	2.304	704	9.573	31.049
Tilbageholdelse i slambassin	-8	30.733	-938	436	453	9.241	26.161
Stoftilbageholdelsen i slambassin i % af tilførslen	-14	70	-275	16	39	49	46
	(-6)	(76)	(-222)	(35)	(52)	(65)	(58)
Stoftilbageholdelsen i % af input	-1	2475	-7	2	26	28	25
	(0)	(4.041)	(-5)	(6)	(37)	(76)	(47)
Stoftilbageholdelsen i % af produktionsbidrag			-8	3	27	29	29
			(-5)	(8)	(39)	(79)	(54)
Samlet stoffjernelse over hele produktionsanlæg minus tab med klaringsvand			7.239	2.250	493	18.879	46.126
Stoffjernelse over produktionsanlæg i % af samlet input (I+P)			57	12	28	57	45
			(70)	(15)	(63)	(76)	(47)
Stoffjernelse over produktionsanlæg i % af samlet prod. bidrag (P)			59	15	30	59	51
			(72)	(20)	(67)	(47)	(45)

Tabel 12 Stoffjernelse over hele produktionsanlægget og de tilhørende rensegrader for det andet måleår ved Løjstrup Dambrug (øst) for kemiske variable. I parentes er angivet tal fra første måleår. Se tekst for nærmere forklaring.

Umiddelbart fjernes godt 2/3 af stofinputtet i produktionsanlægget af ammonium-kvælstof, total fosfor og noget højere for organisk stof (BI₅ 86 % og COD 75 %). Andelen er yderligere lidt højere, hvis stoffjernelsen

alene beregnes ift. produktionsbidraget. Til gengæld er stoffjernelsen af total kvælstof betydeligt lavere (24 % af det samlede input og 31 % af produktionsbidraget). Imidlertid bliver en væsentlig del af det stof, der er ført over i slambassinet ved returskylning af biofiltre og tømning af slamkegler, efterfølgende udledt til plantelagunen med klaringsvandet fra slambassinene. Ses på den reelle nettofjernelse af stof i produktionsenheden, så er denne set ift. produktionsbidraget på 51 -59 % for ammonium kvælstof og organisk stof, men kun 15 % for total kvælstof og 30 % for total fosfor. For især total fosfor men også ammonium-kvælstof har nettostoffjernelsen over produktionsanlægget i procent været lavere i andet måleår men den er til gengæld højere for organisk stof og total-kvælstof.

Generelt har nettostoftilbageholdelsen over slambassinet været noget lavere i 2. måleår. Der er tilført godt 20 % mindre vandmængde i andet måleår, og der er en tilsvarende reduktion i mængden af tilført suspenderet stof, total kvælstof og total fosfor. For ammonium-kvælstof er tilførslen øget med ca. 16 % trods den reducerede vandtilførsel, mens den for BI_5 er halveret og for COD reduceret med 26 %. På trods af de reducerede vand- og stoftilførsler for de fleste kemiske parametre er nettostoffjernelsen i procent over slambassinet væsentlige lavere andet måleår. I absolutte mængder er tilbageholdelsen i slambassinet for de fleste stoffer halveret eller mere i andet måleår. Der dannes netto ammonium-kvælstof over slambassinet.

Af tabel 12 fremgår, at sammenlignes stoffjernelsen med henholdsvis spulevand fra mikrosigter, slamvand fra slamkegler og returskyllevand fra biofiltre fjernes der mest stof med spulevandet for alle stoffer på nær total kvælstof, hvor der fjernes mest med returskyllevandet. Dette uddybes i kapitel 9.5.

Herudover viser tabel 12, at der sker en omsætning af f.eks. ammonium kvælstof (nitrifikation) og BI_5 i produktionsanlægget ikke mindst i biofiltrene. Over 64 % af ammonium-kvælstof (8.117 kg af et stofinput på 12.710 kg) og næste 30 % af BI_5 omsættes (evt. akkumuleres) således i produktionsanlægget andet måleår mod 76 % af ammonium-kvælstof første måleår. Denne opgørelse er forbundet med en vis usikkerhed, da den findes ved at trække en række tal fra hinanden, som hver har en vis usikkerhed, således at den samlede usikkerhed på massebalancerne akkumuleres i den beregnede størrelse for stofomsætningen.

Fjernelsen af ammonium i produktionsenheden er et udtryk for at dette omdannes til nitrat i biofiltrene. Dermed fjernes der ikke kvælstof, men der sker i stedet en tilførsel af nitrat til plantelagunerne. Nitraten kan optages i planter men især omsættes til frit kvælstof, da der på bunden af plantelagunerne er letomsætteligt organisk stof og iltfattige forhold. En smule nitrat kan også sive med vandet ud af bunden på plantelagunerne (se kapitel 12) og endeligt kan det udledes med udledningerne fra dambruget.

Tilførslen til plantelagunen (tabel 13) har andet måleår været af samme størrelsesorden for suspenderet stof og nitrit-nitrat kvælstof, men noget højere for ammonium-kvælstof (46 %) og opløst fosfor (43 %), og noget lavere for total kvælstof (-12 %), total fosfor (-19 %), BI_5 (-16 %) samt COD (-56 %) sammenlignet med 1. måleår.

	Vand 1000 m ³	Susp. Kg	NH ₄ - N kg	NO ₂₃ -N kg	Total N kg	Ortho P kg	Total P kg	BI ₅ kg	COD kg
Tilført plantelagune i alt	1.091	16.700	5.471	9.343	17.124	857	1.266	14.183	56.930
Udløb dambrug	1.042	6.459	5.612	5.599	12.664	843	1.000	5.162	30.186
Tilbageholdelse i plantelagune	49	10.241	-140	3.744	4.460	14	267	9.021	26.744
Tilbageholdelse i plantelagune i % af input hertil	5 (6)	61,3 (59,3)	-2,6 (-2,5)	40,1 (23,3)	26,0 (22,9)	1,7 (-71,7)	21,0 (-0,1)	63,6 (65,0)	47,0 (45,2)
Tilbageholdelse i plantelagune i % af produktionsbidrag (P)			-1,1		30,4		16,1	28,3	29,4
Tilbageholdelse i % af brutto input dambrug (I+P)	5		-1,1		23,0		15,1	27,3	26,0
Tilbageholdelse i g pr. m ² pr. dag (3.300 m ²) i andet måleår		8,50	-0,12	3,11	3,70	0,01	0,22	7,49	22,20
Tilbageholdelse i g pr. m ² pr. dag i første måleår		8,04	-0,08	1,90	3,21	-0,20	0,00	9,10	22,03

Tabel 13 Beregnet stoftilbageholdelse/-fjernelse i andet måleår over plantelagunen (3.300 m²) (inklusive evt. opløst stof i det vand, der siver ud af bunden på denne) og de tilhørende rensegrader for kemiske variable for andet måleår. Den samlede tilførsel til plantelagunen består af afløbsvand fra produktionsanlægget og klaringsvand fra slambassinerne. I parentes er angivet resultater fra første måleår og i nederste række er tilbageholdelsesraterne angivet for første måleår.

Da der kun har været et ubetydeligt nettovandtab i 2. måleår (ca. 6 %) over plantelagunen er der i det følgende ikke taget højde for et evt. meget lille stoftab med nedsivningsvand. Af tilførslerne til plantelagunen tilbageholdes/omsættes 40 % af nitrat kvælstof, 26 % af total kvælstof og 21 % af total fosfor. Der er ingen netto tilbageholdelse/omsætning af ammonium-kvælstof eller opløst fosfor i plantelagunen.

Der omsættes (tilbageholdes) meget let-omsætteligt organisk stof (63 % af tilført BI₅) og lidt mindre af det tilførte COD, nemlig 47 %. I andet måleår er den procentuelle tilbageholdelse af belastningen på plantelagunen for suspenderet stof, ammonium og total kvælstof samt organisk stof stort set lig med det fundne i første måleår, men betydeligt højere for nitrit +nitrat kvælstof (17 procentpoint) og total fosfor (21 procentpoint).

Sammenlignes rensegraden i plantelagunen beregnet i forhold til produktionsbidraget med de tilsvarende (netto) rensegrader i produktionsanlægget (når der er taget højde for stoftab med klaringsvandet) fjernes der i produktionsanlægget en langt større del af produktionsbidraget af ammonium (59 %) og total fosfor (30 %) end i plantelagunerne, hvor der kun fjernes henholdsvis 0 % og 16 %. Tilsvarende er nettorensesgraden af produktionsbidraget større i produktionsanlæg for BI₅ og COD (henholdsvis 59 % og 51 %) sammenlignet med plantelagunerne (henholdsvis 28 % og 29 %). I modsætning hertil er nettorensesgraden for total kvælstof højere i plantelagunerne (30 %) end i produktionsanlægget (15%)

Sammenlignes nettostoffjernelsen (dvs. reguleret for tab med klaringsvandet) med brutto input til dambruget fjerner produktionsanlægget en væsentlig højere andel af alle stoffer på nær for total kvælstof.

Stoffjernelsen ift. overfladearealet af plantelagunen er på 3,7 g N pr. m² pr. døgn for total kvælstof, hvilket er over tre gange mere end forudsætningen for modeldambrugene på 1,0 g pr. m² pr. døgn. Der blev i øvrigt fundet en næsten lige så stor fjernelsesrate (3,2 g N pr. m² pr. døgn) i det

første måleår. Det er den relativt beskedne nettofjernelse af kvælstof andre steder i dambruget herunder den reducerede nitrifikation, som medfører at den samlede fjernelse af kvælstof tilsyneladende ikke er helt tilstrækkelig over hele dambruget til at kunne overholde udlederkravene kontrolleret efter DS2399. For total fosfor har stoffjernelsen på 0,22 g P pr. m² plantelagune været ca. gange 5-10 højere og for BI₅ med 7,5 g BI₅ været 3-5 gange højere end resultaterne fra Døstrup Dambrug, som var (Fjorback et al., 2003):

- 0,16 - 0,29 g NH₄-N pr. m² plantelagune pr. døgn
- 0,03 - 0,07 g fosfor pr. m² plantelagune pr. døgn
- 1,8- 2,5 g BI₅ pr. m² plantelagune pr. døgn.

Der er ingen netto omsætning/fjernelse af ammonium-kvælstof i plantelagunen på Løjstrup Dambrug (øst).

Stoffjernelserne/stoftilbageholdelserne pr. m² plantelagune er for alle stoffer på nær BI₅ højere end de fundne første års (genberegnete) resultater til trods for at det i forvejen beskedne vandtab er mindsket lidt i det andet måleår. Den højere omsætning/tilbageholdelse af fosfor og kvælstof i andet måleår har fundet sted samtidig med en højere belastning af nitrit-nitrat kvælstof og opløst fosfor, og samtidigt med der gradvist i 2. halvdel af andet måleår er etableret en vis plantevækst i de sø-agtige damme, som plantelagunen består af (se kapitel 12).

9.4 Sammenligning af stoftab over dambruget

I dette afsnit sættes summen af stoffjernelse forskellige steder på dambruget til 100 % for direkte at kunne sammenligne stoffjernelsen over:

- Produktionsanlæg, hvor der henholdsvis er taget højde for stoffjernelse med klaringsvandet (tabel 14) og ikke tages højde for det (figur 27). Der er i dette ikke lavet en opdeling af, hvor meget stof der er fjernet i henholdsvis slamkegler, biofiltre og mikrosigter (se afsnit 9.2)
- Plantelaguner
- til vandløbet, dvs. hvad der tilføres af stof til Lilleåen ved udløb fra dambruget

I tabel 14 findes værdierne ved:

$$\text{Samlet nettostoffjernelse} = (PA_s - KV_s) + PL_s + VL_s, \text{ hvor} \quad (3)$$

PA_s = stoffjernelse over produktionsanlægget brutto, dvs. uden kompen- sation for stoftab fra slambassiner med klaringsvandet

KV_s = stoffjernelse med klaringsvandet fra slambassinerne

PL_s = stoffjernelse over plantelagunerne

VL_s = stoffjernelse fra dambruget til vandløbet via udløbet fra dambru- get

Nettostoffjernelsen i ligning (3) svarer til den samlede stoftilførsel via produktionsbidraget og indtagsvandet.

Idet den samlede nettostoffjernelse sættes til 100 % beregnes de tre andre størrelser i ligning 3 som procent af den samlede nettostoffjernelse.

I figur 28 er ligning 3 ændret til:

$$\text{Samlet bruttostoftab} = \text{PA}_s + \text{PL}_s + \text{VL}_s \quad (4)$$

og den samlede bruttostoffjernelse er sat til 100 %. En del af det stof der fjernes i produktionsanlægget ved overførsel til slambassinene tabes igen med klaringsvandet, og denne andel er vist som en negativ fjernelse i figur 28.

Nettofjernelsen over produktionsanlægget (dvs. når der er kompenseret for stoftab fra slambassinet med klaringsvandet) andet måleår er med 57 % af den samlede fjernelse/tab af ammonium-kvælstof og organisk stof over Løjstrup Dambrug (øst), den vigtigste renseforanstaltning for disse stoffer (tabel 14). For total kvælstof og total fosfor er det tabet til vandløbet, der har størst betydning, da det udgør henholdsvis 65 og 57 %, dvs. rensesforanstaltningerne fjerner således kun 1/3 af det totale kvælstof, der er tilført med produktionsbidrag og indtagsvand, mens 2/3 ledes til Lilleåen. Andelen af tilført ammonium-kvælstof, som ikke fjernes over dambruget, men tabes til vandløbet udgør ca. 44 %. For COD udgør stoftabet til vandløbet 29 % og for BI₅ dog kun 16 % af den samlede stoftilførsel. Samlet er det procentuelle stoftab til Lilleåen blevet omkring 50 % større i andet måleår for både ammonium-kvælstof og total fosfor men uændret for total kvælstof. Kun for det organiske stof er det procentuelle tab til Lilleåen lidt mindre det andet år.

Samlet viser tabel 14, at der for kvælstof og fosfor, fortsat er potentiale for øget stoffjernelse i dambruget/yderligere rensesforanstaltninger, hvilket der også arbejdes på.

	NH ₄ -N		TN		TP		BI ₅		COD	
	(%)		(%)		(%)		(%)		(%)	
	År 1	År 2	År 1	År 2	År 1	År 2	År 1	År 2	År 1	År 2
Produktionsanlæg – klaringsvand (PA_s – KV_s)	70,4	57,0	15,1	11,6	62,6	28,0	45,1	57,1	39,5	44,8
Fjernelse i plantelagune (PL_s)	-0,7	-1,1	19,5	23,0	0,0	15,1	35,7	27,3	27,4	26,0
Til vandløb (VL_s)	30,3	44,2	65,4	65,4	37,4	56,8	19,2	15,6	33,1	29,3

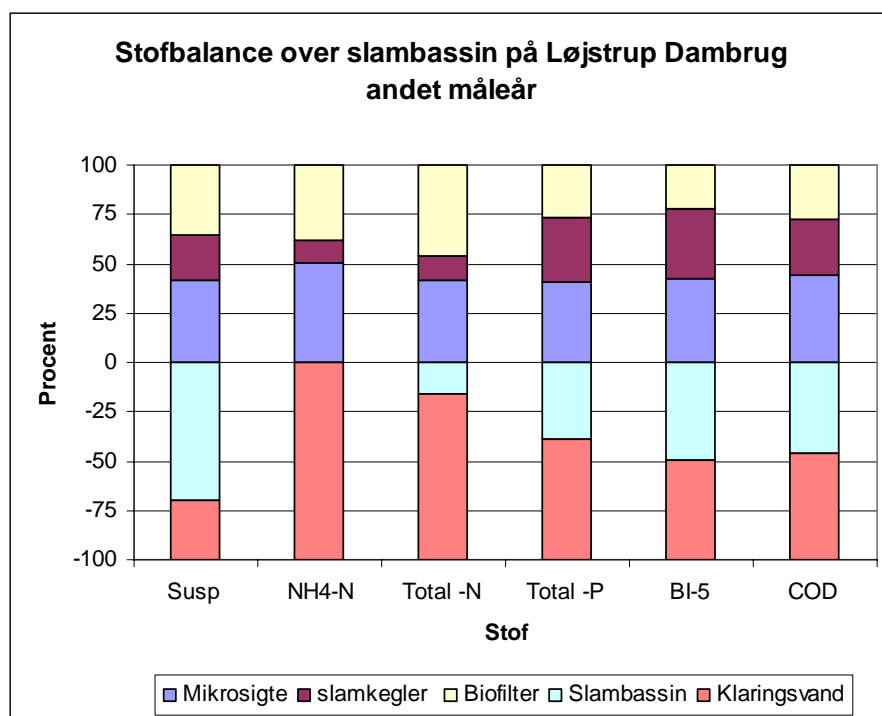
Tabel 14 Sammenligning af netto stoffjernelse/stoftab over produktionsanlægget (dvs. hvor der er kompenseret for stoftab med klaringsvandet til plantelagunerne), plantelagunen og stoftilførsel (stoftabet) til vandløb angivet for begge måleår (kaldet år 1 og år 2) ved Løjstrup Dambrug (øst). Tal fra tabel 12 og 13, tal for første måleår er genberegnet i forhold til Svendsen et al, 2007. Summen af de tre nettostoffjernelser/stoftab er lig med stoftilførslen via produktionsbidrag og indtagsvand.

På Løjstrup Dambrug (øst) er der etableret mikrosigte før biofilteret. Spulevand fra mikrosigten er i hovedparten af måleperioden ført direkte op i slambassinet, men i sidste halvdel af andet måleår blev spulevandet ført op i en 2-3 m³ sedimentations tank, hvorfra overløbsvandet føres tilbage til produktionsenheden. Det bundfældede materiale føres over i slambassinet ved at trække i et skot. Som det diskuteres i kapitel 12 har denne ændring formentlig haft negativ betydning for driftsparametre og anlæggets interne rensning.

9.5 Stofbalance over slambassin

Stoftilførslen til slambassinet kommer fra spulevandet fra mikrosigterne, slamvand fra slamkegler og returskyllevandet fra biofilterne. Sættes dette til 100 % som i figur 27 fremgår det, at spulevandet fra mikrosigterne udgør den største andel for alle stoffer på nær for total kvælstof, hvor det er returskyllevand fra biofilterne, der har størst betydning. Spulevandet står for tilførslen af henholdsvis 42 % af suspenderet stof, 50 % af ammonium-kvælstof, 41 % af total kvælstof, 40 % af total fosfor, 42 % af BI₅ samt 44 % af COD, mens returskyllevand fra biofilterne bidrager med henholdsvis 35 % af suspenderet stof, 38 % af ammonium-kvælstof, 46 % af total kvælstof, 27 % total fosfor, 23 % af BI₅ samt 27 % af COD. Mikrosigterne fjerner noget af det stof som ellers kunne fjernes enten over slamkeglerne eller i biofilterne.

Stofbalancen over slambassinet viser at tilbageholdelsen i slambassinet er på 70 % for suspenderet stof og 45-49 % for organisk stof, mens 61 % af det tilførte totale fosfor og 84 % af det tilførte kvælstof bliver udledt med klaringsvandet til plantelagunen. Samtidig er der en netto produktion af ammonium-kvælstof over slambassinet.

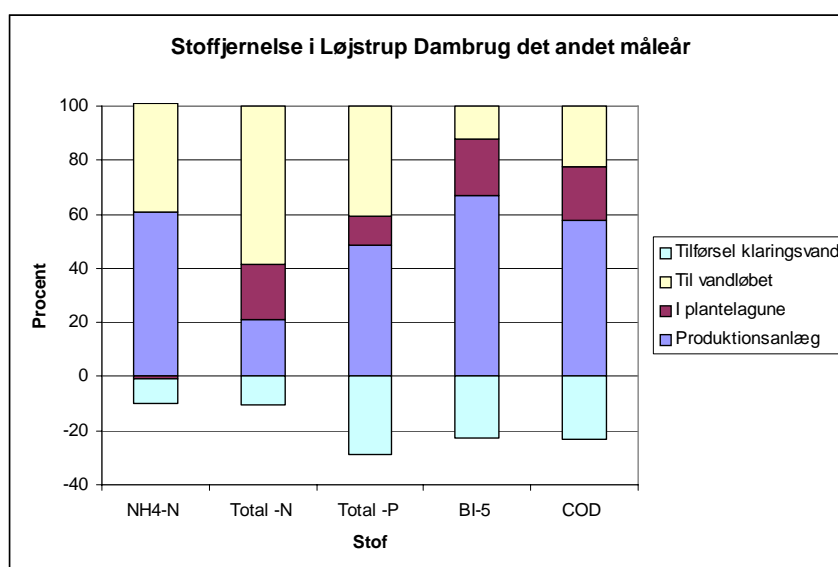


Figur 27 Kilder til stoftilførsel og stoffjernelse over slambassinet på Løjstrup Dambrug (øst) det andet måleår. Stofinput til slambassinene kommer fra returskylling af biofiltere, tømning af slamkegler samt spulevand fra mikrosigterne. Stofindholdet i klaringsvandet er udtryk for den stofmængde, der tabes fra slambassin til plantelagune.

Stoftilførslen til slambassinet var i første måleår betydeligt større, 10-20 %, for suspenderet stof, total kvælstof og total fosfor og 50-100 % større for organisk stof end i andet måleår (tabel 12). Sammenlignet med første måleår er det procentuelle tab med klaringsvandet 7 til 19 procentpoint højere andet måleår.

Tabet med klaringsvand for total fosfor er fortsat så stort, at det svarer til næsten 3 gange den mængde, der fjernes over plantelagunen og for total

kvælstof udgør det ca. 50 %. Det er ikke optimalt, at så stor en andel af stof, som allerede er blevet fjernet i slamkegler, biofiltre og mikrosigte og ført over i slambassiner, ledes tilbage til plantelagunerne. Figur 28 viser det relativt store potentiale, der er for yderligere stoffjernelse i produktionsanlægget inklusiv slambassin for nogle stoffer, hvis tabet via klaringsvandet kunne reduceres, herunder også hvis kvælstof- og fosforandelene på henholdsvis ammonium og opløst form reduceres. Man skal dog være opmærksom på, at en del af stoftabet med klaringsvandet fjernes efterfølgende i plantelagunerne, dvs. den absolutte stoffjernelse i disse kan blive reduceret ved en lavere belastning. Endvidere indgår det organiske stof i denitrifikationen i plantelagunen, hvorved kvælstoffjernelsen forbedres.



Figur 28 Stoffjernelse på Løjstrup Dambrug (øst) i det andet måleår. Summen af stof, fjernet i produktionsanlægget og over plantelagunerne samt tilført vandløbet er sat til 100 %. Stoffjernelsen i produktionsanlægget er vist som brutto tilført slambassinerne, men da der bliver tilbageført stof med klaringsvandet til plantelagunerne er dette bidrag vist som en negativ stoffjernelse, dvs. nettofjernelsen (%) er forskellen mellem den mørkeblå og den lyseblå søjle. Baseret på tabel 12 og 13.

10 Vandløbsfauna

Der er foretaget indsamling af smådyrfaunaen i Hadsten Lilleå med henblik på en biologisk vurdering af tilstanden på to stationer op- og nedstrøms for Løjstrup Mølle Dambrug. Indsamling og resultatbehandling er foretaget efter retningslinierne i *Miljøstyrelsen (1998)*. Den opstrøms station er beliggende ved Bidstrup Bro ca. 2,5 km opstrøms for dambruget. Den nedstrøms station er beliggende ca. 400 m nedstrøms dambruget umiddelbart inden Hadsten Lilleå løber under jernbanelinien Århus- Langå. I tilknytning til den biologiske prøvetagning foretages en vurdering af vandløbets fysiske forhold, og der beregnes et fysisk indeks (Pedersen *et al.* 2007).

10.1 Fysiske forhold i Hadsten Lilleå

På strækningen ved Bidstrup Bro er vandløbet 6-8 meter bredt med en dybde på 40-70 cm. Vandløbet forløber som helhed lysåbent og mæandrerende gennem engområder. På strækningen ved prøvetagningslokaliteten er der dog skov langs vandløbets nordlige side. Strømmen er god over en vandløbsbund domineret af sand, men med betydelig andel af både grus og sten. Der er en vegetationsdækning om sommeren på ca. 30 %. Det fysiske indeks har i perioden ligget på 25-28 svarende til moderat kvalitet.

Strækningen af Hadsten Lilleå nedstrøms for Løjstrup Mølle Dambrug er lysåben og forløber parallelt med jernbanen. På prøvetagningslokaliteten er vandløbet 5-6 meter bredt med en dybde på 30-80 cm. Strømmen er god til frisk over en varieret vandløbsbund med en del grus og sten. Om sommeren er der en vegetationsdækning på ca. 20 %. Det fysiske indeks har i perioden ligget på 27-31 svarende til moderat kvalitet.

10.2 Smådyrfauna

I alt 82 forskellige taxa af smådyr er registreret i Hadsten Lilleå op- og nedstrøms for Løjstrup Mølle Dambrug ved de fem prøvetagninger foretaget af DMU i perioden april 2005 til juni 2007. De artsrigeste fauna-grupper har været vårfluer, døgnfluer, biller og slørvinger med henholdsvis 16, 11, 11 og 9 arter. De antalsmæssigt dominerende arter ved de fem prøvetagninger op- og nedstrøms for dambruget var ferskvandstangloppen *Gammarus pulex*, døgnfluer af slægten *Baetis*, kvægmyg (Simuliidae) og dansemyg fra gruppen Orthocladiinae. I prøverne fra 2005 har endvidere børsteorme (Oligochaeta) og klobillen, *Elmis aenea* været talrige, mens døgnfluen *Ephemerella ignita* forekom talrigt i juni 2007 og døgnfluen *Ephemera danica* var talrig ved de to sidste prøvetagninger i december 2006 og juni 2007. Ved de fem prøvetagninger har ovenstående 8 taxa tilsammen udgjort henholdsvis 70-77 % af individerne opstrøms for dambruget og 67-92 % af individerne nedstrøms dambruget. Der er registreret en række rentvandsarter i faunaen i Hadsten Lilleå, bl.a. døgnfluerne *Heptagenia* spp. (2 arter), *Paraleptophlebia submarginata*, *Brachycercus harrisella* og slørvingerne *Isoperla grammati-*

ca og *Perlodes microcephalus*, billerne *Elmis aenea* og *Limnius volckmari*, samt vårfluerne *Rhyacophila nubila*, *Ecclisopteryx dalecarlica* og *Sericostoma personatum*. Derudover er habitatarten Grøn Kølleguldsmed, *Ophiogomphus ceciliae* i tre tilfælde registreret opstrøms for dambruget.

Tilstanden udtrykt som Dansk Vandløbsfaunaindeks (Miljøstyrelsen, 1998 og Skriver *et al.*, 1999) har gennem hele perioden april 2005 til marts 2008 været DVFI 7 opstrøms for Løjstrup Mølle Dambrug (tabel 15). Nedstrøms for dambruget har tilstanden været DVFI 7 i 8 ud af 10 tilfælde og DVFI 6 de sidste to gange DMU har bestemt DVFI. Vurderet ud fra DVFI er der således målopfyldelse på begge stationer i vandløbet gennem hele perioden (tabel 15).

	DMU/amt/kommune	Hadsten Lille Å, opstrøms	Hadsten Lille Å, nedstrøms
April 2005	Århus Amt	7	7
April 2005	DMU	7	7
September 2005	DMU	7	7
April 2006	Århus Amt	7	7
Juni 2006	DMU	7	7
Oktober 2006	Århus Amt	7	7
December 2006	DMU	7	6
April 2007	Favrskov Kommune	7	7
Juni 2007	DMU	7	6
Marts 2008	Favrskov Kommune	7	7

Tabel 15 Tilstanden i Hadsten Lilleå op- og nedstrøms Løjstrup Mølle Dambrug udtrykt som Dansk Vandløbsfaunaindeks. Målinger foretaget af henholdsvis Århus Amt, DMU og Favrskov kommune.

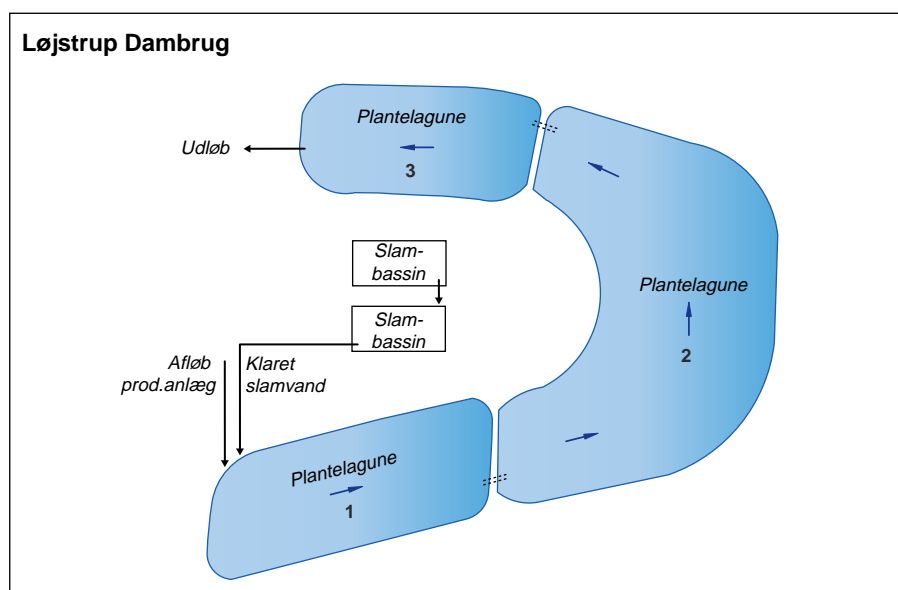
Ud over DVFI værdierne angivet ovenfor er der heller ikke ud fra en rent kvalitativ betragtning på baggrund af faunaens sammensætning nogen væsentlige tegn på påvirkning af tilstanden i Hadsten Lilleå som følge af dambrugets drift. Der var en del børsteorme Oligochaeta i prøverne i april 2005, men dette var tilfældet både op- og nedstrøms for dambruget. Overordnet betragtet er faunasammensætningen den samme opstrøms såvel som nedstrøms for Løjstrup Dambrug og faunaen er på begge stationer præget af betydelig forekomst af en række rentvandskrævende arter af smådyr.

11 Planter i grødefyldte bassiner

På baggrund af opmålinger af de grødefyldte bassiner som udgør plantelagunen (en del af de tidligere produktionsdamme og føde-/bagkanaler) er plantelagunen blevet karakteriseres som angivet i tabel 16. Figur 29 er en principskitse af plantelagunen.

Løjstrup Dambrug Øst	
Antal grødefyldte bassiner/kanaler	3 bassiner
Samlet areal	3.325 m ²
Middeldybde	0,85 m
Samlet volumen	2.826 m ³
Gennemstrømning	Måleår 1: 37 l/s Måleår 2: 35 l/s
Beregnet opholdstid (middel)	Måleår 1: 21 timer Måleår 2: 23 timer

Tabel 16 Antal bassiner/kanaler, samt areal, middeldybde og volumen af de tre grødefyldte bassiner som plantelagunen består af på Løjstrup Dambrug (øst). På baggrund af den målte gennemstrømning er den gennemsnitlige opholdstid beregnet.



Figur 29 Principskitse af plantelagunen på Løjstrup Dambrug (øst) med de tre søagtige bassiner. Se også figur 1 i kapitel 2.

Med henblik på registrering af plantedækning og forekomst af de enkelte arter blev der i de tre bassiner plantelagunen består af, foretaget registrering af vegetationens samlede dækning, samt dækning af forekommende plantearter på en 6 trins skala (0-5, 5-10, 10-25, 25-50, 50-75, 75-100 % dækning). Ved maksimal udvikling af vegetationen i september 2006 og 2007 er der udtaget prøver fra de dominerende plantearter til bestem-

melse af tørvægt pr. m². Efterfølgende er de udtagne planter blevet analyseret for indhold af kvælstof og fosfor, således at planternes samlede indhold af kvælstof og fosfor gennem året kan beregnes. En oversigt med indholdet af kvælstof og fosfor pr. gram tørvægt af de enkelte plantearter er vist i tabel 17.

Art	Kvælstof	Fosfor
	(g N pr. kg tørvægt)	(g P pr. kg tørvægt)
Sødgræs (n = 26)	32,9	4,2
Liden Andemad (n = 28)	49,6	8,7
Trådalger (n = 5)	41,1	8,5

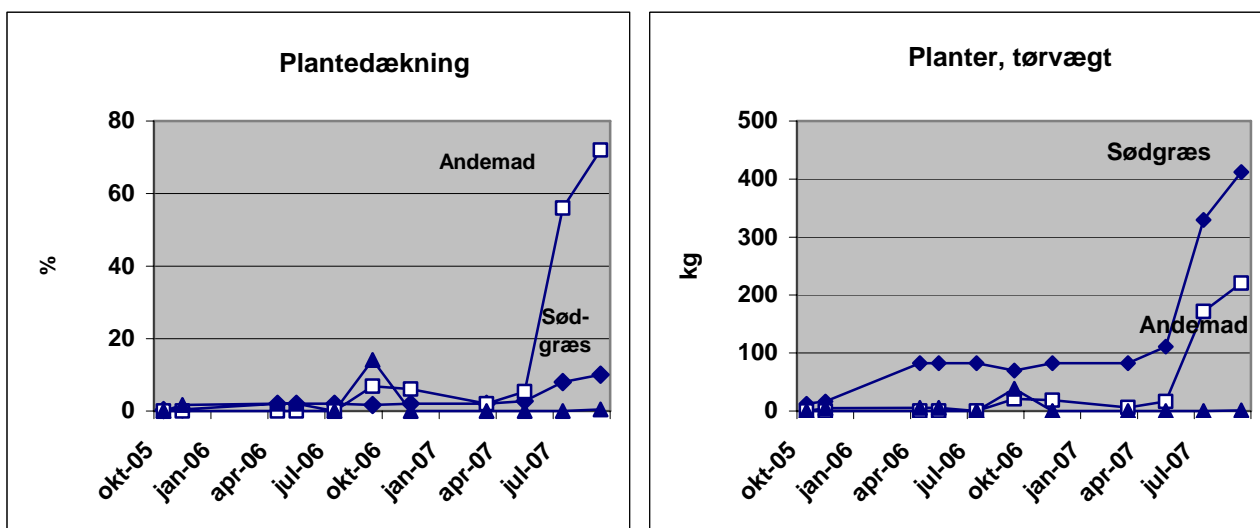
Tabel 17 Indhold af kvælstof og fosfor i de tre dominerende plantearter i plantelagunen ved Løjstrup Dambrug (øst). Indholdet af kvælstof (N) og fosfor (P) er målt i prøver ved maksimal plantedækning (september 2006 og 2007). Antallet af prøver for hver plantearter er angivet (n). Sødgræs i de grødefyldte bassiner består udelukkende af Manna Sødgræs.

I alt 23 arter af vandplanter er registreret i de tre bassiner i perioden oktober 2005 til september 2007. Der er gennem hele perioden registreret vandplanter i dammene, men i 2005 og 2006 kun i en smal bræmme i bredzonen. Planternes dækning var derfor lav i hele 2005 og 2006 og udgjorde for Andemad på intet tidspunkt mere end 7 %, mens Sødgræs maksimalt nåede op på 2 % dækning (tabel 18). Der var i september 2006 et kortvarigt maksimum af trådalger på 14 % af dækningen. Hen gennem 2007 øgedes dækningen af Andemad og Sødgræs imidlertid betragteligt og udgjorde i september henholdsvis 72 % og 10 %. Ingen af de øvrige arter havde kvantitativ betydning.

På tørvægtsbasis var det ligeledes kun Andemad og Sødgræs, der havde kvantitativ betydning. I efteråret 2005 var planternes samlede tørvægt på under 20 kg for anlægget som helhed for disse to arter (tabel 18). Og ligeledes i 2006 var den samlede tørvægt af disse to arter lav og nåede kun op på omkring 100 kg i hele anlægget. Heraf udgjorde Sødgræs langt hovedparten. I 2007 øgedes tørvægten af Sødgræs og Andemad, og udgjorde i juli og september 2007 henholdsvis ca. 400 kg og ca. 230 kg. Sødgræs havde altså ca. den dobbelte tørvægt i forhold til Andemad (figur 30). På arealbasis nåede den samlede tørvægt af Sødgræs og Andemad i september 2007 op på ca. 190 g m⁻². Dette er forholdsvis lavt sammenlignet med den maksimale tørvægt i hovedparten af de øvrige modeldambrugs plantelaguner.

Art	Dækning (%)		Tørvægt (g m ⁻²)	
	april-maj	sept.-nov.	april-maj	sept.-nov.
Sødgræs	2-3	0,3-10	25-33	4-124
Liden Andemad	0-5	0-72	0-5	0-66
Trådalger	0-2	0-14	0-2	0-12

Tabel 18 Dækning og tørvægt af de 3 hyppigst forekommende planter i plantelagunen ved Løjstrup Dambrug (øst) i perioden oktober 2005 til september 2007.

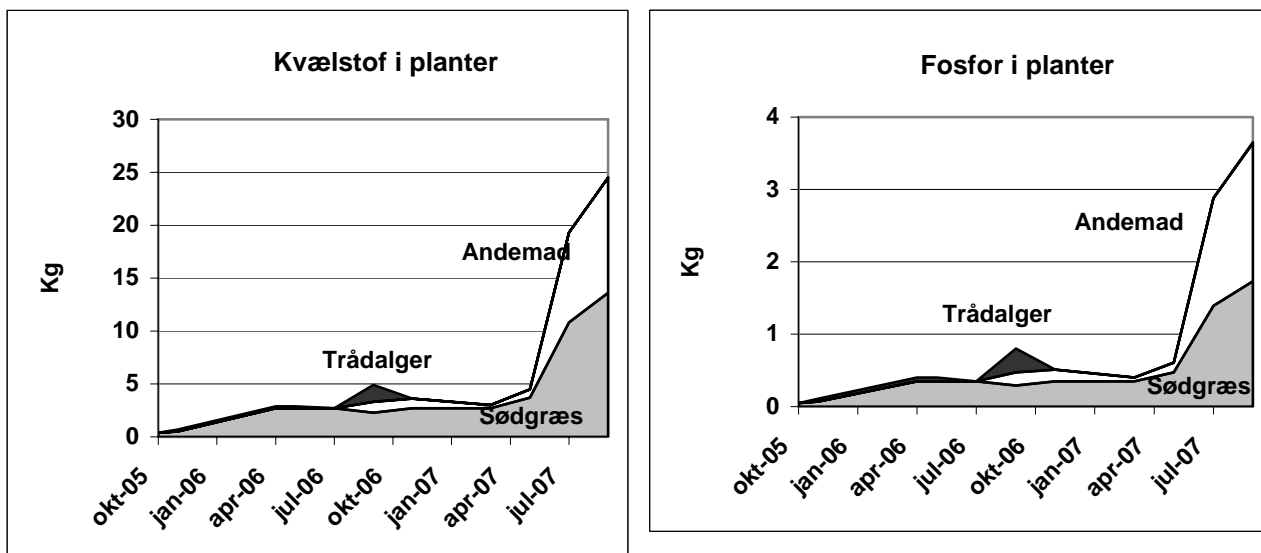


Figur 30 Planternes forekomst i plantelagunen på Løjstrup Dambrug (øst) i de grødefyldte bassiner udtrykt som plantedækning i % (venstre figur) og som kg tørvægt i hele systemet (højre figur). Både Sødgræs og Andemad har kvantitativ betydning ved periodens afslutning når sammenstillingen foretages på basis af tørvægten. Linien med "trekant" som symbol er for trådalger.

Indholdet af kvælstof og fosfor i de dominerende plantearter i de grødefyldte bassiner er illustreret i figur 31. Kun Sødgræs og Andemad var som helhed betydende. I september 2006 ses dog et mindre maksimum for trådalger. Samlet var indholdet af kvælstof og fosfor meget lavt og udgjorde frem til sommeren 2007 kun 3-5 kg kvælstof for anlægget som helhed, mens fosfor i den tilsvarende periode lå på under 1 kg (tabel 19). I forbindelse med forøgelsen af Sødgræs og Andemad gennem sommeren 2007 steg den samlede kvælstofmængde i planterne i september 2007 til ca. 25 kg, mens det for fosfor var ca. 3,5 kg.

	Tørvægt		Kvælstof		Fosfor	
	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.
Hele anlægget (kg)	12	634	0,4	24,5	0,05	3,7
Gram pr. m ²	4	191	0,1	7,4	0,02	1,1

Tabel 19 De minimale og maksimale værdier af planternes tørvægt samt indhold af kvælstof og fosfor for hele det grødefyldte afsnit i Løjstrup Dambrug (øst) i perioden oktober 2005 til september 2007. Den minimale og maksimale tørvægt af de tre dominerende plantearter samt planternes indhold af N og P er endvidere angivet pr. m² for bassinerne som helhed.



Figur 31 Kvælstof og fosfor bundet i plantebiomassen i de seks dominerende plantearter i plantelagunen ved Løjstrup Dambrug (øst).

Det må forventes, at grøden i bassinerne i de kommende år vil øge dækningen yderligere, og at tørvægt, kvælstof og fosfor tilsvarende vil forøges efterhånden som plantelagunerne gror yderligere til.

12 Diskussion

I dette kapitel er der en kort diskussion omkring nogle væsentlige problemstillinger omkring måleresultaterne for det andet måleår ved Løjstrup Dambrug (øst) som supplerer de enkelte kapitler i statusrapporten. Endvidere foretages der nogle sammenligninger med hovedresultater fra første måleår, således at de overordnede resultater for hele den toårige forsøgsperiode ved dambruget vurderes og diskuteres. Hvor det er fagligt muligt drages konklusioner ift. resultaterne for Løjstrup Dambrug (øst). Det er ikke hensigten i statusrapporten at gå i dybden omkring en række resultater, dette er foretaget i den faglige samlerapport for de otte modeldambrug (Svendsen et al. 2008). Sammenligninger med resultaterne fra de andre modeldambrug under forsøgsordningen sker også kun i den faglige samlerapport, som indeholder tværgående analyser og overordnede generelle konklusioner og faglige anbefalinger for hele måle- og dokumentationsprojektet.

Første måleår på Løjstrup Dambrug (øst) (år 1) omfatter 7. september 2005 til 6. september 2006 og andet måleår (år 2) 7. september 2006 til 6. september 2007. I forhold til første måleår er der sket en genberegning af produktionsbidraget, som igen betyder at de beregnede rensegrader, der er relateret til produktionsbidraget, er blevet justeret ift. første års statusrapport (Svendsen et al., 2007).

Vandforbrug, -flow og opholdstid

Der er i gennemsnit indtaget hhv. 37 l/s (år 1) og 34 l/s (år 2) eller henholdsvis 18 % og 25 % mindre end indvindingstilladelsen. Vandhastigheden internt i produktionsanlægget har begge år været ca. 6 cm/s. Det interne flow (recirkulationsflowet) i produktionsanlægget har i gennemsnit været ca. 567 l/s (år 1) og ca. 560 l/s svarende til recirkuleringsgrader på 93 og 94 %. For modeldambrug type III er forudsat en recirkuleringsgrad på mindst 95 %. Vandforbruget er med hhv. 3.720 l og 3.180 l vand pr. kg produceret fisk i de to måleår reduceret med ca. en faktor 15 sammenlignet med gennemsnittet for traditionelle gennemstrømningsanlæg. Sammenlignet med tidligere tilladt vandindtag til dambruget er reduktionen også ca. en faktor 15.

I første måleår tilføres plantelagunen på Løjstrup Dambrug (øst) i gennemsnit 37 l/s mens der fra plantelagunen til vandløbet måles et udløb på 34 l/s, dvs. et nettotab over plantelagunen på ca. 8 % af tilførslen hertil. I andet måleår tilføres 35 l/s til plantelagunen og der måles i udløbet til vandløb 33 l/s, dvs. et tab på knap 6 % af vandtilførslen. Dette vandtab er ganske beskedent, men dog så systematisk, at der må antages at være en mindre nedsivning til grundvand/vandløb og evt. tilstrømning til indtagsboringen.

Det lidt lavere vandtab over plantelagunen i andet måleår kan bl.a. skyldes at der er faldet knap 50 % mere nedbør, hvilket også har påvirket grundvandsstanden i ådalen især i vinterperioden. Endvidere vil det være forventeligt, at der sker en vis reduktion i infiltrationskapaciteten, når der ophobes fine partikler i den øvre del af sand- og grusaflejringerne

under plantelagunen, således at denne med tiden får et reduceret stoftab ud af bund og sider.

Med det nedsivende vand kan der følge opløste næringsstoffer (nitrat, nitrit og ammonium-kvælstof, opløst fosfor, opløst organisk stof) og meget små partikler. Stofferne i det nedsivende vand kan omsættes eller bindes i jorden, noget kan nå grundvandet, noget kan genindvindes via dræn og borer og noget kan evt. nå frem til Hadsten Lilleå. Ved beregningerne af stofomsætning/stoftilbageholdelse i plantelagunen vil denne kunne blive lidt overestimeret, hvis der har været stoftab sammen med det omtalte vandtab, hvorfor der for nogle beregninger er søgt taget højde for vandtabet, da det har været så forskelligt de to år, at det uden korrektioner er svært at sammenligne de to måleår. Betydningen af dette vandtab er dog meget begrænset, da det udgør en så lille andel af udledningsmængden. I den faglige samlerapport er der på tværs af dambrugene givet en vurdering af betydningen af stoftab med nedsivningsvandet for de beregnede rensegrader og for stoftabet.

Opholdstiden i produktionsanlægget inkl. slambassiner har i gennemsnit været ca. 41 timer (år 1) og ca. 45 timer (år 2). *Bekendtgørelsen for modeldambrug (2002)* forudsætter en opholdstid på mindst 18,5 timer i produktionsanlægget. Den samlede opholdstid over dambruget har været hhv. 62 (år 1) og 68 timer (år 2), dvs. knap 3 døgn, hvorfor man umiddelbart kan forvente at en stor del af det let omsættelige organiske stof (BI₅) når at blive omsat på dambruget (*Fjorback et al., 2003*).

Plantelaguner

Den hydrauliske belastning af plantelagunerne på henholdsvis 0,011 (år 1) og 0,010 (år 2) l pr. sekund pr. m² er ca. det halve af den maksimalt tilladte belastning (*Bekendtgørelse om modeldambrug, 2002*). Det vurderes således ikke at være noget problem ift. til hovedparten af de omsætningsprocesser, der sker i plantelagunerne og det vil kunne øge sedimentation af partikler. Opholdstiden i plantelagunen er ikke specielt høj for et modeldambrug, i gennemsnit er den beregnet til kun hhv. 21 timer (år 1) og 23 timer.

Plantelagunerne består af tre sø-agtige damme forbundet i serie, som blev gravet i forbindelse med etablering af modeldambruget. Der har ikke tidligere været jorddamme eller kanaler, hvor plantelagunen blev etableret og det kan forklare den langsomme indvandring af vandplanter ikke mindst rodfæstede planter, da der ikke har været en frøpulje i jorden eller nærliggende arealer, planterne har kunnet sprede sig fra. Såfremt plantevæksten er beskeden vil dette kombineret med en lav vandhastighed øge risikoen for en opblomstring af trådalger især om foråret, og der blev registreret nogle trådalger i foråret/sommeren 2006 men især i sensommeren/tidlige efterår 2006. Opholdstiden i plantelagunen er beregnet for de to måleår til henholdsvis 21 og 22 timer, hvilket er blandt de korteste for modeldambrugene (*Svendsen et al., 2008*). Kampagne målinger af iltkoncentrationen tyder på at grundet beskeden mængde vegetation dannes er præferentielt flow gennem plantelagunen, således at ikke hele vandvoluminet heri inddrages i omsætnings- og sedimentationsprocesserne. Det vil være hensigtsmæssigt dels at sikre øget opholdstid i plantelagunen dels at sikre hele voluminet aktivt udnyttes i denne f.eks. ved at sætte kunstige "vægge" ud i plantelagunen så der skabes mere

mæandrerende strømningsmønstre for at give potentiale for større omsætning af næringsstoffer og øget sedimentation.

Der var fra starten af første måleår en meget lav plantedækningsgrad. Dækningsgrad og biomasse er steget langsom gennem de første 20-21 måneder af den samlede måleperiode for de sidste 3-4 måneder fra maj/juni 2007 at vokse betydeligt med maksimalt målte dækningsgrader i slutningen af 2. måleår. Det antages, at plantedækningen vil vokse yderligere i 2007 og 2008, da de rodfæstede planter (især Sødgræs) ved afslutningen af år 2 kun havde en dækningsgrad på ca. 10 %, resten var Andemad (over 70 % dækning i september 2007), der ligger i overfladen og som vil blive udkonkurreret af de rodfæstede planter med tiden. De relativt milde vintre medfører, at en større del af planterne overvintrer og kan etableres på et stadigt større areal. Biomassen ved afslutning af år 2 når kun op til ca. 190 gram pr. m² (svarende til godt 0,6 tons tørvægt i plantelagunen), mens der fra starten af år 1 var et minimum på kun ca. 4 gram pr. m². Der er registreret 23 plantearter, som i starten primært alene stod i en smal zone langs bredden af de tre damme plantelagunen består af. Der er reelt kun tre betydende arter Andemad, Sødgræs og trådalger, hvor sidstnævnte har en kortvarig top på 14 % dækning i september 2006. I 2005 har Andemad og Sødgræs max. dækning på nogle få procent hver, men får som omtalt stigende betydning gennem de to måleår. Sødgræs og Andemad har ved starten af år 1 tørvægt på få g pr. m² som stiger til henholdsvis 66 g pr. m² (Andemad) og over 120 g pr. m² (Sødgræs) i september 2007, hvor de to arter udgør 99 % af tørvægten.

Baseret på bestemmelse af indholdet af kvælstof og fosfor i de tre mest forekomne plantearter (Sødgræs, Liden Andemad og trådalger) er det beregnet, at på det tidspunkt, hvor biomassen er størst i plantelagunen i (september 2007) har planterne akkumuleret knap 25 kg kvælstof (ca. 7,4 g N pr. m²) og knap 4 kg fosfor (1,1 g P pr. m²). Senere i dette kapitel sammenholdes disse tal med den samlede fjernelse/tilbageholdelse af kvælstof og fosfor i plantelagunerne for at kvantificere planternes begrænsede betydning for selve massebalancen, men betydningen er yderst beskednen for Løjstrup Dambrug (øst). Det skal dog erindres, at planterne herudover skaber muligheder for de organismer, der omsætter bl.a. nitrat, ligesom planterne er med til at tilbageholde partikler og stabilisere aflejret materiale i bunden af plantelagunen.

Foder og produktionsbidrag

I det første måleår har Løjstrup Dambrug (øst) med anvendelse af 313,5 tons foder haft en produktion 330,0 tons fisk (inkl. døde) i produktionsanlægget og opnået en foderkvotient på 0,950. I det andet måleår er anvendt 322,3 tons foder og produceret 336,7 tons fisk og hermed en foderkvotient på 0,957. Løjstrup Dambrug (øst) producerer store fisk (800 - 1.200 g) til efterfølgende udsætning i havbrug (april) og derfor er foderkvotienten naturligt højere end på modeldambrug som producerer fisk på 300-400 g. Den årlige tilladte fodermængde er på 300 tons. Der har været en god og jævn produktion uden væsentlige driftsproblemer og modeldambruget er særdeles veldrevet med meget gode registreringer af foderforbrug m.v.

Produktionsbidraget for første år er genberegnet, da det gennemsnitlige indhold af kvælstof og fosfor i regnbueørred er blevet revideret ud fra

resultater og litteraturstudier. Der anvendes nu lidt lavere værdier end anvendt i Dambrugsbekendtgørelsen, idet der er regnet med 2,75 % kvælstof af fiskens totale vådvægt for hel fisk på 300-800 gram (mod hidtil anvendt 3 %) og tilsvarende for fosfor 0,43 % mod hidtil 0,5 % (se *Svendsen et al., 2008*). Selv om der produceres lidt større fisk end de nye tal er fundet for, så vurderes den lidt større fiskestørrelse på Løjstrup Dambrug (øst) kun at have marginal betydning for indholdet af kvælstof og fosfor i fiskene. Justeringerne giver en mindre stigning i produktionsbidraget ift. de oprindeligt opgivne værdier i rapporten for første måleår (*Svendsen et al., 2007*), hvilket også betyder, at de beregnede rensegrader stiger lidt.

Endvidere er produktionsbidraget for organisk stof (BI₅ og COD) også opjusteret ift. rapporteringen af resultaterne fra første måleår (*Svendsen et al., 2007*). Nye undersøgelser, foretaget på de mest anvendte fodertyper, af det stofbidrag/-tab, der sker direkte til vandfasen som opløst eller finpartikulært og derfor ikke indgår i den partikulære fækaliedel, har vist, at der oveni tabet med bundfældeligt/partikulært stof (fækalier) skal tillægges 43,5 % som mål for bidraget som opløst/finpartikulært stof.

Produktionsbidraget, der er baseret på foderanalyser af næsten alle batches og fordøjelighedsforsøg på en række af de mest anvendte fodertyper, er beregnet for ammonium-kvælstof, total-kvælstof, total fosfor, BI₅ og COD. Selv om konkrete målinger af foderspild under forsøgsprojektet bl.a. på fire forskellige dage på Løjstrup Dambrug (øst) har vist, at dette er minimalt ved normal drift, er det sat til 1 % for tab med støv og smuld og et antaget, mindre spild f.eks. ved unormale driftsforhold.

Trods lidt højere foderkvotient år 2 er produktionsbidraget i kg pr. tons foder og i kg pr. tons produceret fisk faldet knap 3 % for ammonium og total kvælstof fra år 1 til år 2, og med 16 % total fosfor. Generelt er indholdet af fosfor lavere i foderet år 2. Omvendt er produktionsbidraget af BI₅ og COD steget med 6 % fra år 1 til år 2, grundet delvis anvendelse af andre fodertyper og grundet ændret indhold i foderet.

Produktionsbidraget er som ventet klart hovedkilden for stoftilførsel til dambruget, idet stoftilførsel med indtagsvandet kun udgør 2-6 % for ammonium-kvælstof, BI₅ og total fosfor, 12-13 % for COD og 24-26 % for total kvælstof af den samlede stoftilførsel til Løjstrup Dambrug (øst) i begge måleår.

Stofkoncentrationer

De klart højeste koncentrationer og største variationer heri findes i slamvandet ved tømning af slamkegler, på nær for nitrit-nitrat kvælstof. Koncentrationerne i skyllevandet fra biofiltrene og spulevandet fra mikrosigterne er også høje og ret ens for de forskellige kemiske komponenter, men dog væsentligt lavere end i slamvand fra tømning af slamkegler fra set koncentrationen af nitrat-nitrit kvælstof, der er højere. Endelig er der høje koncentrationer i klaringsvandet fra slambassinerne for de fleste parametre og ikke mindst for ammonium-kvælstof, dog undtagen for nitrat-nitrit kvælstof, hvor koncentrationen er meget lav. Dette indikerer en omfattende denitrifikation i slambassinerne, herunder en dissimilatorisk nitrat reduktion (hvor nitrat reduceres tilbage til ammonium) grun-

de stærkt iltfattige forhold, men endvidere kan ammonificering (omsætning af organisk kvælstof til ammonium kvælstof) også bidrage hertil. Overordnet set er gennemsnitskoncentrationen for alle stoffer på nær nitrat-nitrat kvælstof højere år 2 for de omtalte målesteder. Tilsvarende er gennemsnitkoncentrationen år 2 også højere i afløbet fra produktionsenheden sammenlignet med år 1, mens den i udløbet fra dambruget er højere år 2 for ammonium-kvælstof (50 %), orthofosfat fosfor (60 %), total fosfor (43 %) og lavere for nitrat-nitrit kvælstof (20 %), men stort set ens for total kvælstof, organisk stof og suspenderet stof. Foderforbruget har været en smule højere år 2 (under 3 %) og kan ikke forklare det generelt højere koncentrationsniveau og den årlig udfiskning er foregået stort set på samme tidspunkt.

I afløbet fra produktionsenheden (nedstrøms biofilter) varierer koncentrationen af ammonium-kvælstof i modfase med koncentrationen af nitrat-nitrat kvælstof. Ammonium-kvælstof koncentrationen er meget lav i forårmånederne umiddelbart efter den årlige store udfiskning (og dermed lav fodertilførsel), hvor hovedparten af fiskebestanden overføres til havdambrug. Ammonium-kvælstof koncentrationen er under 0,5 mg N/l i foråret og når op til 6-8 mg/l om vinteren ved høj fiskebestand. Nitrat-nitrit kvælstof varierer mellem 5 og 15 mg N/l, mens organisk kvælstof er på op til 2-3 mg N/l. Der på trods af et lavere fosforindhold i foderet år 2 væsentlig højere koncentration i afløbet fra produktionsenheden år 2 med en markant koncentrationstop for opløst fosfor (og dermed også total fosfor) i januar-marts 2007 på op til 0,8 mg P/l. BI_5 koncentrationen i afløbet varierer kun lidt over de to måleår og er på 3-7 mg/l i hovedparten af perioden. Ud over tilbageførsel af en del af det klarede spulevand til produktionsenheden er der ikke umiddelbar nogen forklaring på hvorfor ammonium-kvælstof koncentrationen er højere år 2 i afløbet fra produktionsenheden og nitrifikationen over biofiltret lavere (se senere). Med pH stabilt på 7,3 gennem de to måleår kan det ikke forklare en evt. ændring i nitrifikationen og pH vil ikke virke hæmmende for den. Til gengæld er den gennemsnitlige ilt koncentration 7,7 mg/l år 2 men kun 5,7 mg/l år 2 nedstrøms biofiltret, mens iltforbruget år 1 over biofiltret er 2,4 mg/l mod 2,0 mg/l år 2. Da biofiltret generelt ikke beluftes på Løjstrup Dambrug (øst) er denne forskel et godt mål for iltforbruget i filtret. Den gennemsnitlige ledningsevne nedstrøms biofiltret var år 1 605 μ S pr. cm mod 613 μ S pr. cm år 2, og dermed næsten uændret, således at der næppe heller er en ændring i alkaliniteten, der kan forklare den lavere nitrifikation.

Meget tyder således på, at det primært er den forøgede belastning af biofilteret med organisk stof, som har reduceret nitrifikationen.

Denne forøgede belastning med organisk stof har to hovedårsager:

- 1) slamfælderne har fjernet meget mindre (under halvdelen) organisk stof i år 2. Dette kan formentlig delvist tilskrives driftsforhold men nok især fodertype og -ingredienser. I løbet af år 2 er der sket et skift i anvendt fodertype, ligesom de i fodertyperne anvendte råvarer kan have varieret.

- 2) tilbageførslen af skyllevand fra det mekaniske filter retur til produktionsanlægget har skabt ændringer, dels i vandkvalitetsparametre internt

på anlægget men også i fordelingen af kvælstof og fosfor på partikulær/opløst form.

Denne manglende fjernelse i slamkegler og det interne loop med mikrosigte-spulevandet har formentlig ført til, at betydelige dele af det partikulære materiale er blevet enten findelt, resuspenderet eller opløst og enten ikke fjernet eller ført tilbage til produktionsanlægget. Hermed er umiddelbart fulgt to negative konsekvenser:

- 1) store dele af det oprindeligt partikulært bundne fosfor er endt på opløst (orthofosfat) form. Dette understreges af, at det gennemsnitlige indhold af orthofosfat ift. total fosfor i produktionsanlægget stiger fra 0,3 ift. 0,3 i år 1 til 0,5 ift. 0,6 i år 2. Tilsvarende stiger spredningen (std) også meget, fra 0,1 til 2,7. Denne meget højere fosfor-del på opløst form får så efterfølgende den negative konsekvens, at der tilføres meget mere opløst fosfor til plantelagunen (fra 336 til 857 kg) i hvilken det er svært at fjerne opløst fosfor. Derved stiger også udledningen af fosfor til Lilleåen, trods et lavere produktionsbidrag i år 2.
- 2) Ligeledes bringes store dele af det oprindeligt partikulært bundne organiske stof også over på finpartikulær og opløst form. Dette understreges af, at det gennemsnitlige indhold af BI₅ i produktionsanlægget opstrøms ift. nedstrøms biofilteret stiger fra 4,8 ift. 4,2 mg BI₅/l i år 1 til 11,4 ift. 4,5 mg BI₅/l i år 2. Tilsvarende stiger spredningen (std) f.eks. opstrøms filteret også meget, fra 1,3 til 31 mg BI₅/l!

Til understregning heraf, føres der således også betydeligt mindre mængder organisk stof over i slambedet, i år 2 kun ca. 50 % af år 1.

Det generelle iltniveau i anlægget falder således også i år 2, fra 10,0 til 7,7 opstrøms og fra 7,6 til 5,7 mg/l nedstrøms biofilteret. Dette skyldes formentlig især det betydeligt højere interne BI₅-niveau, der kræver ilt til bakteriel omsætning i såvel vandfasen som i biofiltrene.

Såvel det forhøjede BI₅-niveau som det lavere iltniveau har begge direkte uheldige virkninger på nitrifikationen. Dels bliver denne proces hæmmet af den lavere iltspænding, dels hindrer væksten og omsætningen blandt de heterotrofe bakterier (der nedbryder organisk stof) de nitrificerende bakteriers antal og aktivitet.

Ammonium-indholdet stiger således, ligesom andelen af kvælstof på ammonium-form gør det. Det har den negative konsekvens, at der tilføres mere N på ammoniumform til plantelagunen (fra 3.736 til 5.471 kg), som netop har svært ved fjerne ammonium. Derved stiger også udledningen af ammonium til Lilleåen i år 2.

Der måles også væsentlig højere koncentrationer af især ammonium kvælstof, fosfor og COD i klaringsvandet fra slambassin.

De tidligere omtalte højere koncentrationer i udløbet fra dambruget år 2 for ammonium kvælstof og fosfor hænger således nøje sammen med at der også tilføres mere af disse stoffer til plantelagunen via afløbet fra produktionsenheden og med klaringsvandet. Koncentrationsudviklingen afspejler i høj grad den tilsvarende udvikling i tilførslerne til plantelagunen. Plantelagunen ved Løjstrup Dambrug (øst) har kun haft få

planter indtil de sidste par måneder af 2. måleår, hvorfor disse ikke har haft nogen større indflydelse på hverken omsætning, sedimentation og evt. optag i biomassen af næringsstoffer m.v. Samtidig tyder undersøgelser af iltforholdene på, at der er tendens til at dannes præference løb af tilledt vand gennem de tre sø-bassiner som plantelagunen består af, hvorfor ikke hele vandvoluminet i plantelagunen aktivt deltager i omsætnings- og sedimentationsprocesserne. Dette vil ændres efterhånden som de rodfæstede planter etableres i plantelagunen.

Koncentrationerne i indtagsvandet varierer kun lidt i løbet af de to måleår og udviser ikke nogen tendens til stigning eller fald. De er generelt noget lavere end i udløbet fra dambruget på nær for nitrit-nitrat kvælstof hvor den i periode er på niveau med koncentrationen i afløbet fra dambruget.

Stofudledning pr. kg produceret fisk

Der er ikke korrigeret for den stoftab der kan have været i forbindelse med netto nedsivningen på henholdsvis 8 (år 1) og 6 % (år 2) over plantelagunen, da den selv ved den mest, fagligt urealistiske antagelse - at der med nettonedsivningen følger stoffer med samme opløste koncentration som i det vand, der løber ind i plantelagunen og at dette stof når direkte i vandløbet uden nogen stofomsætning/-tilbageholdelse - kun påvirker nettorensesgraden og stofudledningerne med 1-2 % og dermed indenfor måleusikkerheden.

Det målte netto stoftab i g pr. kg fisk har for ammonium-kvælstof været henholdsvis 10,8 (år 1) og 15,6 (år 2) og for total kvælstof henholdsvis 24,1 og 23,7 (dvs. fraset ammonium er tallet 13,3 hhv. 8,1) og dermed 2-3 gange højere end hvad der blev bestemt for Døstrup Dambrug (*Fjorback et al., 2003*). Der er en forøgelse fra første til andet måleår ift. udledning af ammonium, men en lille reduktion for total kvælstof. Netto stoftabet til vandløbet af total fosfor (1,9 hhv. 2,7 g kg fisk) er på niveau med og BI₅ (14,2, hhv. 11,8 g pr. kg fisk) på ca. det halve af, hvad der blev fundet ved Døstrup Dambrug. Da Løjstrup Dambrug (øst) producerer fisk til havbrug og dermed store fisk (800 – 1.200 g) vil der være en mindre god foderkvotient samt en stor fiskebestand om vinteren og i det tidlige forår. Stoffabet er øget for ammonium kvælstof og total fosfor fra år 1 til år 2, for hvilke kemiske parametre der også er sket en væsentlig reduktion i netto rensesgraden (formodet årsag beskrevet ovenfor).

Ifølge Miljøstyrelsens opgørelser for ferskvandsdambrug udledtes der i 2003 3.098 t BI₅, 1.119 t total-N og 90 t total-P ved en produktion på 29.434 t ørreder, mens der ifølge den seneste opgørelse i 2006 udledtes 2.515 t BI₅, 839 t total kvælstof og 77,7 t total fosfor ved en produktion på 26.874 t ørreder (*By- og Landskabsstyrelsen, 2007*). Tallene svarer til gennemsnitlige specifikke udledninger som angivet i nedenstående tabel, hvor 2003-tallene er medtaget for at give sammenligningsgrundlag med tidligere rapporter og 2006-tallene er medtaget for at kunne sammenholde med de nyeste tal:

	Specifik udledning – netto (kg/t fisk produceret)			Løjstrup Dambrug (øst) i % af gennemsnit DK	
	Gennemsnit Danmark	Løjstrup Dam- brug (øst) - 1. måleår	Løjstrup Dam- brug (øst) - 2. måleår	År 1	År 2
	Organisk stof (BI ₅)				
-2003	105,3	14,2	11,8	13	11
-2006	93,6			15	13
Total-N					
-2003	38,0	24,1	23,7	63	62
-2006	31,2			77	76
Total-P					
-2003	3,1	1,9	2,7	61	87
-2006	2,9			66	93

Tabel 20 Specifikke udledninger netto som gennemsnit for ferskvandsdambrug i Danmarks (i 2003 og 2006) og målte, specifikke udledninger for Løjstrup Dambrug (øst) i første og andet måleår. I sidste kolonne er de specifikke tab ved Løjstrup Dambrug (øst) angivet i procent af gennemsnittet for ferskvandsdambrug i Danmark for de to år.

Løjstrup Dambrug (øst) har haft markant reducerede specifikke udledninger af organisk stof og en noget mindre reduktion for total kvælstof og total fosfor sammenlignet med det teoretiske gennemsnit af ferskvandsdambrug.

Det fremgår tydeligt, at rensningen over produktionsanlægget andet måleår har været noget lavere for især ammonium-kvælstof og total fosfor og at plantelagunerne som tidligere beskrevet ikke har kunnet fjerne hele den øgede tilførsel heraf, hvorfor den specifikke udledning af ammonium-kvælstof og total fosfor er steget andet måleår.

Udlederkrav

Ifølge miljøgodkendelsen kontrolleres udledningen af BI₅ og ammonium-kvælstof ved tilstandskontrol (dvs. på koncentrationsforøgelse over dambruget) mens de øvrige stoffer kontrolleres efter transportkontrol udtrykt som justerede nettodøgnudledninger (se kapitel 7), hvor der anvendes faktiske vandindtag i hver af de to måleår frem for det tilladte vandindtag. Miljøgodkendelsens udlederkrav har i begge måleår været overholdt for alle forurenende stoffer på nær for ammonium-kvælstof, som er overskredet. Ved fuld kompensation for det reducerede vandforbrug på modeldambruget ifh. til det gamle anlæg (svarende til en faktor 12 da medianminimum er 550 l/s og det tilladte vandforbrug efter ombygning til modeldambrug 45 l/s), ville alle udlederkrav på nær ammonium-kvælstof år 2 være opfyldt. Udtrykkes de beregnede udlederværdier som procent af udlederkravværdierne er de henholdsvis 142 % år 1 og 206 % år 2 for ammonium-kvælstof, mens de for total kvælstof er 90 % år 1 og 99,5 % år 2 og for total fosfor 67 % år 1 og 96 % år 2.

Udledningen af kvælstof og herunder ammonium fra Løjstrup Dambrug (øst) er den mest kritiske parameter for overholdelse af udlederkravene jf. ovenstående. Ved fodertildeling til modeldambrug under forsøgsordningen er der set bort fra kvælstof (N) som begrænsende parameter for fodertildelingen under forsøgsordningen (*Bekendtgørelse om modeldambrug (2002) og Pedersen et al. (2003)*). Det betyder, at det er vigtigt at sikre

en tilstrækkelig fjernelse af kvælstof for at kunne bevare/øge den under forsøgsordningen tildelte foderkvote.

Endvidere ligger udledningen af total fosfor meget tæt på udlederkravet år 2 selv hvis der beregnes efter fuld kompensation for reduceret vandforbrug efter ombygning til modeldambrug (92 %). Det diskuteres senere, at det især skyldes den lavede tilbageholdelse af fosfor i plantelagunen, som igen er begrundet i den større andel på opløst form (forklaret tidligere).

Stoffjernelse, rensegrader, vandtab og potentielt foderforbrug

De forskellige renseforanstaltninger har forskellig effektivitet ift. til de forskellige stoffer, der tilføres, hvorfor den andel af stoftilførslen til dambruget, som via afløbet fra dambruget tabes til Lilleåen er ret forskellig. 30 % af det samlede tilførte (produktionsbidrag plus med indtagsvandet) ammonium-kvælstof i første måleår og 44 % i det andet år Lilleåen. De tilsvarende værdier for total kvælstof er begge år ca. 65 % (40 % heraf er ammonium kvælstof), 37 % (år 1) og 57 % (år 2) af total fosfor tilførslen, 19 % (år 1) og 16 % (år 2) af BI₅ tilførslen samt 33 % (år 1) og 29 % (år 2) af COD. 75 % (år 1) og 84 % (år 2) af den fosfor, som udledes til Lilleåen er på opløst og dermed biotilgængelig form. På nær nitrit-nitrat kvælstof (73 %) er det kun en mindre andel af tilførslen til Lilleåen, som stammer fra det indtagne vand, der ellers ville være nået frem til vandløbet længere nedstrøms.

Stoftab af opløste stoffer grundet nettoudsivning over plantelagunen må anses for at være ganske ubetydeligt, da vandtabet år 2 kun er på ca. 6 %. Det faktiske tab til vandmiljøet kan være en anelse større i første måleår end målt i udløbet, da vandtabet over plantelagunen her var ca. 9 %, men der er stadig tale om et potentielt meget beskedent tab, da en del af det nedsivende stof kan omsættes eller bindes i den umættede zone under plantelagunen, genindvindes med indtagsvandet, samt såfremt noget stof når grundvandet også delvist omsættes heri.

De opnåede, målte nettorensgrader (dvs. stoffjernelsen relateret til produktionsbidraget) over hele Løjstrup Dambrug (øst) har i år 1/år 2 for total fosfor været 66 % / 46 %, 84 % / 88 % for BI₅ samt 46 % / 46 % for total kvælstof. Nettorensgraden for BI₅ og total kvælstof er dermed noget over forudsætningerne for modeldambrugene (*Bekendtgørelse for modeldambrug, 2002*) på henholdsvis 80 % og 23 % for et modeldambrug type III med mikrosigter og med den plantelagune størrelse, der er ved Løjstrup Dambrug (øst). For total fosfor opfyldes forudsætningen på 65 % netop år 1, mens netto-rensgraden år 2 er en del lavere end forudsætningen. Renseforanstaltningerne på Løjstrup Dambrug (øst) har været effektive begge år ift. organisk stof både målt som BI₅ og COD. For total kvælstof har renseforanstaltningerne også fuldt ud leveret den forventede stoffjernelse/-omsætning begge måleår, men den samlede nettorensgrad for ammonium-kvælstof er dog faldet noget fra første måleår (71 %) til det andet (58 %), hvilket dog kompenseres af en bedre nitratfjernelse over plantelagunen andet måleår. Den lavere ammoniumfjernelse andet måleår forekommer over produktionsanlægget, hvor der i øvrigt også måles en væsentligt lavere fjernelse af BI₅ ift. stofinput (76 % år 1 mod 57 % år 2) og ikke mindst af total fosfor (63 % år 1 mod 28 % år 2). For ammonium-kvælstof er nitrifikationen over produktionsanlægget

faldet fra 76 % år 1 til 64 % år 2 svarende til en nitrifikationsrate på henholdsvis ca. 0,17 og 0,15 g m⁻² dag⁻¹. Der er tilsyneladende ikke sket ændringer ift. driftspraksis, så som frekvens og længde af returskylning, ændret beluftning eller ændring i pH (gennemsnit 7,3 begge måleår) og foderforbruget har været næste ens de to år. Til gengæld skiftede man fodertype og ændrede praksis ift. spulevandet fra mikrosigterne, hvor spulevandet ledes til en klaringsbeholder og det klarede vand blev tilbageført til produktionsanlægget, hvor det indtil da var blevet ledt til slambassin sammen med frasigtet stof.

Som det tidligere er beskrevet har disse to ændringer sandsynligvis medført de uheldige konsekvenser, at oprindeligt partikulært materiale er blevet fundet el. opløst og returneret til produktionsanlægget igen. Herved er såvel ortho-fosfat som ammonium-indholdet øget betydeligt, og netop disse to stoffer er plantelagunen ikke effektiv mod.

Den lave rensegrad for total fosfor år 2 skyldes således både at der fjernes mindre fosfor med renseforanstaltningerne i produktionsanlægget og at der tabes en større andel af det tilførte fosfor med klaringsvandet år 2.

I det andet måleår fjernes der over Løjstrup Dambrug (øst) mellem 56 og 84 % af det ammonium-kvælstof og organiske stof, der tilføres dambruget med indtagsvandet og produktionsbidraget, mod henholdsvis 35 % og 43 % af total kvælstof og total fosfor. Sammenlignet med første måleår er den procentuelle fjernelse næsten 14 procentpoint lavere i andet måleår for ammonium-kvælstof og 20 procentpoint lavere for total fosfor men næsten uændret for de øvrige. Dette understreger den lavere nitrifikation i 2. måleår og den mindre tilbageholdelse af total fosfor, som reelt er af opløst fosfor. Disse tal dækker over at der 2. måleår fjernes en væsentligt mindre andel fosfor over produktionsanlægget (28 % år 2 mod 63 % år 1) mens plantelagunen modsat øger andelen af fosforfjernelsen fra 0 % år 1 til 15 % år to, formentlig grundet øget belastning i år 2 samt en øget plantevækst i plantelagunen og let øget opholdstid heri.

For alle stoffer på nær total kvælstof fjernes/omsættes procentuelt den største andel i produktionsanlægget, mens der fjernes mest total kvælstof (reelt nitrat kvælstof) i plantelagunen. Hele ammonium-fjernelsen foregår over produktionsanlægget og der er ca. dobbelt så stor total fosfor og organisk stoffjernelse heri (år 2) som i plantelagunen. Omvendt fjernes der år 2 dobbelt så meget total kvælstof (nitrat) i plantelagunen som i produktionsanlægget. Potentialet for yderligere stoffjernelse i plantelagunerne er vanskelig at vurdere fuldt ud, da renseforanstaltningerne i produktionsanlægget fjerner en del stof, som plantelagunerne potentielt kunne fjerne, men med de øgede stofudledninger i andet måleår tyder det på, at plantelagunen har kunnet fjerne en del af den øgede belastning. Hvis man samtidigt sørgede for at bibeholde stofferne mest muligt på partikulær- hhv. nitrat-form og optimerede flowet igennem plantelagunen og fik en øget plantevæksten heri, vil der være basis for væsentligt øget tilbageholdelse/omsætning af nitrat, fosfor og BI₅.

Plantelagunen tilbageholder en ganske stor andel af tilført suspenderet stof, nitrat, BI₅, COD (40-64 %) og 21 til 26 % af tilført total kvælstof og total fosfor (andet måleår). 2/3 af tilført fosfor er på opløst form, mens det i afløbet fra plantelagunen er 84 % af fosfor, der er på opløst form. Det er

altså det partikulært bundne fosfor, som primært tilbageholdes. Kampagnemålinger af iltkoncentrationen i plantelagunen viser, at iltniveauet få meter nedstrøms indløbet af vand fra produktionsanlægget i hovedparten af tiden er under 1-2 mg/l og at iltindholdet tæt ved bunden af plantelagunen er nær 0 mg/l. Der er således ved bunden af plantelagunerne gode muligheder for denitrifikation grundet de iltfrie forhold, og tilstedeværelse af nitrat og letomsætteligt organisk stof, mens der i den øvre del af vandmassen og i biofilmen på planterne også foregår en vis aerob omsætning af organisk stof og ammonium-kvælstof. Herudover optager planterne nitrat og opløst fosfor, dette er dog massebalancemæssigt af marginal betydning. Der er endvidere et tydeligt præference flow gennem de tre sø-agtige bassiner som udgør plantelagunen, hvor hovedparten af vandet tilsyneladende passerer i en snæver strøm således at en større del af voluminet er mindre aktiv ift. stofomsætningen/stoftilbageholdelsen.

Ved maksimal biomasse er det beregnet, at der kun er indbygget ca. 25 kg kvælstof svarende til 0,6 % af det total kvælstof, der fjernes/tilbageholdes i plantelagunen i andet måleår. Tilsvarende er der indbygget knap 3,5 kg fosfor ligeledes svarende til 1,3 % af tilbageholdt fosfor og dermed reelt ubetydeligt. Da der sker både tab og opbygning af biomasse gennem vækstsæsonen er dette et minimumsmål for optaget af kvælstof og fosfor i planterne, men der vil kun være tale om en reel tilbageholdelse, hvis plantematerialet høstes og biomassen fjernes fra plantelagunen. Betydningen af næringsstoffoptaget i planter er lavere end målt på Døstrup Dambrug (*Fjorback et al., 2003*). Omsætningen af organisk stof i Løjstrup Dambrugs (øst) plantelagune kunne øges gennem en længere opholdstid.

Generelt fjerner renseforanstaltningerne i produktionsanlægget meget fosfor og organisk stof, men en ganske stor del af det stof der tilføres slambassinet tabes især i 2. måleår med klaringsvandet, hvorfor det vil være af betydning at sikre at udledninger fra slambassinerne reduceres. Således ledes ca. 50 % af det BI_5 og 61 % af det fosfor, som ellers var ført over i slambassinerne fra slamkegletømning, returskylning af biofiltrene og spulevand fra mikrosigterne videre over i plantelagunen med klaringsvandet i år 2. For kvælstof er det ca. 86 % af tilførslen til slambassinet, der tabes med klaringsvandet år 2, fordi en del af nitraten og i mindre omfang det partikulære kvælstof, omdannes til ammoniumkvælstof ved henholdsvis dissimilatorisk nitrat reduktion og i mindre omfang ved ammonificering af organisk kvælstof. Mængdemæssigt udgør total kvælstof med klaringsvandet i andet måleår godt 14 %, for ammonium kvælstof 23 %, for total fosfor 56 % og for BI_5 68 % af stoftilførslen til plantelagunen. Dermed bliver tilførslen med klaringsvandet en meget betydende stofkilde for plantelagunen. Det er u hensigtsmæssigt at stof, der reelt er fjernet og opsamlet i slambassinet i så store mængder ledes til plantelagunen, men det skal dog erindres, at det er nødvendigt med en vis tilførsel af organisk stof til plantelagunen for at drive denitrifikationen deri.

Det kunne også være hensigtsmæssigt såfremt slamvand fra slamkegler, returskylning af biofilter og spulevandet fra mikrosigten kunne opholde sig i slambassinerne i nogle timer, inden der blev åbnet for tilledning af klaringsvand til plantelagunen. Det skal understreges, at dambruget er særdeles veldrevet og har kørt med stabile driftsforhold, herunder pH, at

der ikke sker udfiskning men en gradvis opbygning af besætning, da der opdrættes store fisk til udsætning i havbrug og derfor alene udfiskes en gang om året (foråret).

Plantelagunen har fuldt ud opfyldt forventninger og forudsætningerne til stoffjernelse, selv om der, sammenlignet med Døstrup Dambrug, er opstrøms renseforanstaltninger som biofiltre, mikrosigter m.v. F.eks. har total kvælstoffjernelsen med 3,2 (år 1)– 3,7 (år 2) g N pr. m² pr. dag ligget mere end 3 gange over forudsætningerne i begge måleår. For fosfor har raten med 0,22 g P pr. m² pr. dag i år 2 været ca. 4 gange højere end målt på Døstrup Dambrug. For BI₅ har den med 9,1 – 7,5 g BI₅ pr. m² pr. dag været ca. 3-5 gange højere. De højeste rater er fundet i andet måleår på nær for BI₅ og generelt har den mængdemæssige stoftilførsel været højere år 2 til plantelagunen. Den manglende/beskedne plantevækst har reduceret omsætning/tilbageholdelse ligesom et præferentielt flow i plantelagunen heller ikke er optimalt for renseeffektiviteten.

Tilledningen af klaringsvand skal optimalt ske så opstrøms som muligt i plantelagunen, hvilket også er tilfældet.

Med de fundne rensegrader kan der beregnes, hvad der ud fra reglerne i modeldambrugsbekendtgørelse kunne gives at foder hvis henholdsvis rensegraderne for total kvælstof, total fosfor eller organisk stof var begrænsende. I *Bekendtgørelsen for modeldambrug (2003)* angives hvordan det højest tilladelige foderforbrug F fastlægges for modeldambrug:

$$F = ((1 - R_n) / (1 - R_N)) * F_{\text{till}}$$

Hvor R_n er nettorensegraden for et standarddambrug:

- Total kvælstof = 0,07 (7 %)
- Total fosfor = 0,20
- Organisk stof, BI₅ = 0,20,

og R_N er nettorensegraden for et modeldambrug, som for type III og IIIa er sat til:

- Total kvælstof = 0,11 og med mikrosigte 0,15
- Total fosfor = 0,60 og med mikrosigte 0,65
- Organisk stof, BI₅ = 0,75 og med mikrosigte 0,80.

Der gives tillæg på 10 tons foder pr. 1.000 m² plantelagune under forudsætning af at plantelagunen fjerner 1 g N m² plantelagune pr. dag (0,365 kg N pr. m² pr. år). Med rensegrader for andet måleår på 46 % total kvælstof (og 3.325 m² plantelagune), 46 % total fosfor og 88 % BI₅ ville det give følgende fodermængde ift. til et standarddambrug med 100 tons foder:

205 tons hvis total kvælstof var begrænsende, hvor de 33 tons tildeles grundet plantelagunen
148 tons hvis total fosfor var begrænsende
667 tons hvis BI₅ var begrænsende.

Der er behov for yderligere kvælstoffjernelse, hvis der skal sikres en udvidelse af produktionen uden at øge udledningerne af kvælstof men ikke mindst en bedre fosforfjernelse, hvor rensegraden 2. måleår var noget under det forudsatte. På Løjstrup Dambrug (øst) bør nitrifikationen i

produktionsenhederne og evt. i separat biofilter, derfor efterfølgende forbedres. Det oplagte første skridt er at sikre en skånsom og effektiv fjernelse af allerede partikulært materiale, både via slamkeglerne men også ved at undgå tilbageførsel af findelt partikulært materiale med spulevandet til produktionsanlægget, hvorved det organiske indhold i produktionsanlægget kan reduceres. Ligeledes kunne en beluftning af biofiltrene understøtte nitrifikationen. På afløbsvandet fra produktionsenhederne eller fra plantelagunen kunne et specifikt denitrifikationsfilter eventuelt være relevant. Tilbageførelsen af klarer spulevand det sidste ½ år af andet måleår til produktionsenheden har ikke været hensigtsmæssig.

Endvidere bør der ske en forbedring af tilbageholdelsen over slambassinnet, som især år 2 er blevet dårligere. Ikke mindst fosfortilbageholdelsen bør forbedres, igen er det oplagte første skridt at sikre en skånsom og effektiv fjernelse af allerede frænsset, partikulært materiale. Efterfølgende kan udfældningen forbedres f.eks. ved tilsætning af fældningsmiddel.

Endelig bør plantelagunens opholdstid øges (større lagune), vandet mæandrer mere i plantelagunen så hele rumfanget i denne udnyttes og det skal sikres, at der etableres yderligere en stor mængde rodfæstede planter. Dette vil bl.a. kunne øge tilbageholdelsen/omsætningen af både nitrat, fosfor og organisk stof.

Vandløbsfauna

Målsætningen i Hadsten Lilleå op- og nedstrøms Løjstrup Dambrug er DVFI 5 med en optimal faunaklasse på 7. Den er opfyldt ved alle 10 vandløbsbedømmelser såvel op- og nedstrøms dambruget i perioden april 2005 til marts 2008. DFVI-værdien har været 7 på nær nedstrøms i december 2006 og marts 2007, hvor den var 6.

Der er heller ikke ud fra en rent kvalitativ betragtning baseret på faunens sammensætning nogen væsentlige tegn på påvirkning af tilstanden i Hadsten Lilleå som følge af dambrugets drift, hvor det skal erindres at Løjstrup Dambrug (vest) med traditionel dambrugsdrift også udleder opstrøms for prøvetagningsstedet nedstrøms. Der var en del børsteorme Oligochaeta i prøverne i april 2005, men dette var tilfældet både op- og nedstrøms for dambruget. Overordnet betragtet er faunasammensætningen den samme opstrøms som nedstrøms Løjstrup Dambrug og faunaen er på begge stationer præget af betydelig forekomst af en række rentvandskrævende arter af smådyr trods de moderate fysiske forhold i vandløbet på strækningerne.

13 Litteraturliste

Bekendtgørelse om modeldambrug (2002). Bekendtgørelse om modeldambrug. 10 s. - BEK nr. 923 af 08/11/2002 pp.

Bekendtgørelse om ændring af bekendtgørelse om modeldambrug (2004). Bekendt om ændring af bekendtgørelse om modeldambrug. 2 s. - BEK nr. 328 af 15/03/2004.

By- og Landskabsstyrelsen (2007): Punktkilder 2006. Det nationale program for overvågning af vandmiljøet. Fagdatacenter rapport. Miljøministeriet, 154 pp.

Dambrugsudvalget (2002). Dambrugsudvalget. Udvalget vedr. dambrugs-erhvervets udviklingsmuligheder. 78 s. Rapport. Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri.

Dansk Akvakultur (2008). Drift- og fiske sygdomme i modeldambrug. Master Management System. 44 pp.

Dansk Standard (1999). DS 2399 Afløbskontrol. Statistisk kontrolberegning af afløbsdata.

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 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 260.

Larsen, S.E. & Svendsen, L.M. (1998). Afløbskontrol af dambrug. Statistiske aspekter og opstilling af kontrolprogrammer. Danmarks Miljøundersøgelser. 86 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 260.

Larsen, S.E. & Svendsen, L.M. (1998). Notat vedr. tilpasning af udlederkontrol ved overgang fra tilstandskontrol til transportkontrol. Notat fra Danmarks Miljøundersøgelser.

Miljøstyrelsen (1998). Biologisk vandløbsbedømmelse af vandløbskvalitet. Miljø- og Energiministeriet. 39 s. - Vejledning nr. 5/1998.

Pedersen, M. L., Baattrup-Pedersen, A & Wiberg-Larsen, P. (red) (2007). Økologisk overvågning i vandløb og på vandløbsnære arealer under NOVANA 2004-09. 3. udgave. Danmarks Miljøundersøgelser. 150 s. - Teknisk anvisning fra DMU nr. 21.

Pedersen, P.B. Grønberg, O., & Svendsen, L.M. (red.) (2003). Modeldambrug. Specifikationer og godkendelseskrav. Rapport fra faglig arbejdsgruppe. 82 s. - Arbejdsrapport fra DMU, nr. 183

Skriver, J., Riis, T., Carl, J., Friberg, N., Ernst, M.E., Frandsen, S.B., Sode, A. & Wiberg-Larsen, P. (1999). Biologisk overvågning i vandløb 1998-2003. Biologisk vandløbskvalitet (DVFI). Udvidet biologisk program. NOVA2003. Danmarks Miljøundersøgelser. 41 s. – Teknisk anvisning fra DMU nr. 16.

Svendsen, L.M. & Pedersen, P.B. (reds.) (2004). En undersøgelse af muligheder for etablering af måleprogram på såkaldte modeldambrug. 118 s. - DFU-rapport nr. 132-04,118 p.

Svendsen, L.M., Sortkjær, O., Ovesen, N.B., Skriver, J., Larsen, S.E., Pedersen, P.B., Rasmussen, R.S. & Dalsgaard, A.J.T. (2007). Løjstrup Dambrug – et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 1. målear af monitoreringsprojektet. 55 s. DFU-rapport nr. 172-07

Svendsen, L.M., Sortkjær, O., Ovesen, N.B., Skriver, J., Larsen, S.E., Bouttrup, S., Pedersen, P.B., Rasmussen, R.S., Dalsgaard, A.J.T. & Suhr, K. (2008). Modeldambrug under forsøgsordningen. Faglig slutrapport for "Måle- og dokumentationsprojektet for modeldambrug". 225 s. DTU AQUA-rapport nr. 193-08.

Thomsen, L., Bo-Holm Andersen, L. (2006). Udvikling af metoder til opsamling af foderspild i modeldambrug. Speciale på Fiskeriteknologuddannelsen, Aalborg Universitet Esbjerg, juni 2006, 76 pp.

Aarhus Amt (2004). Miljøgodkendelse og dispensation fra naturbeskyttelsesloven for Løjstrup Dambrug, 55s.

DTU Aqua-rapportindex

Denne liste dækker rapporter udgivet i indeværende år samt de foregående to kalenderår. Hele listen kan ses på DTU Aquas hjemmeside www.aqua.dtu.dk, hvor de fleste nyere rapporter også findes som PDF-filer.

- Nr. 169-07 Produktion af blødskallede strandkrabber i Danmark - en ny marin akvakulturproduktion. Knud Fischer, Ulrik Cold, Kevin Jørgensen, Erling P. Larsen, Ole Saugmann Rasmussen og Jens J. Sloth.
- Nr. 170-07 Den invasive stillehavsøsters, *Crassostrea gigas*, i Limfjorden - inddragelse af borgere og interessenter i forslag til en forvaltningsplan. Helle Torp Christensen og Ingrid Elmedal.
- Nr. 171-07 Kystfodring og kystøkologi - Evaluering af revlefodring ud for Fjaltring. Josianne Støttrup, Per Dolmer, Maria Røjbek, Else Nielsen, Signe Ingvarsdén, Per Sørensen og Sune Riis Sørensen.
- Nr. 172-07 Løjstrup Dambrug (øst) - et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 1. måleår af monitoringsprojektet. Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen og Anne Johanne Tang Dalsgaard.
- Nr. 173-07 Tingkæravad Dambrug - et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 1. måleår af monitoringsprojektet. Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen og Anne Johanne Tang Dalsgaard.
- Nr. 174-07 Abildtrup Dambrug – et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 1. måleår af monitoreringsprojektet. Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen, Anne Johanne Tang Dalsgaard.
- Nr. 175-07 Nørå Dambrug – et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 1. måleår af monitoringsprojektet. Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen, Anne Johanne Tang Dalsgaard.
- Nr. 176-07 Rens Dambrug – et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 1. måleår af monitoringsprojektet. Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen og Anne Johanne Tang Dalsgaard.
- Nr. 177-08 Implementering af mere selektive og skånsomme fiskerier – konklusioner, anbefalinger og perspektivering. J. Rasmus Nielsen, Svend Erik Andersen, Søren Eliassen, Hans Frost, Ole Jørgensen, Carsten Krog, Lone Grønbæk Kronbak, Christoph Mathiesen, Sten Munch-Petersen, Sten Sverdrup-Jensen og Niels Vestergaard.

- Nr. 178-08 Økosystemmodel for Ringkøbing Fjord - skarvbestandens påvirkning af fiskebestandene. Anne Johanne Dalsgaard, Villy Christensen, Hanne Nicolajsen, Anders Koed, Josianne Støttrup, Jane Grooss, Thomas Bregnballe, Henrik Løkke Sørensen, Jens Tang Christensen og Rasmus Nielsen.
- Nr. 179-08 Undersøgelse af sammenhængen mellem udviklingen af skarvkolonien ved Toftesø og forekomsten af fladfiskeyngel i Ålborg Bugt. Else Nielsen, Josianne Støttrup, Hanne Nicolajsen og Thomas Bregnballe.
- Nr. 180-08 Kunstig reproduktion af ål: ROE II og IIB. Jonna Tomkiewicz og Henrik Jarlbæk
- Nr. 181-08 Blåmuslinge- og stillehavsøstersbestandene i det danske Vadehav 2007. Per Sand Kristensen og Niels Jørgen Pihl
- Nr. 182-08 Kongeåens Dambrug – et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 2. måleår af monitoringsprojektet med væsentlige resultater fra 1. måleår. Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen og Anne Johanne Tang Dalsgaard.
- Nr. 183-08 Taskekrabben – Biologi, fiskeri, afsætning og forvaltningsplan. Claus Stenberg, Per Dolmer, Carsten Krog, Siz Madsen, Lars Nannerup, Maja Wall og Kerstin Geitner.
- Nr. 184-08 Tvilho Dambrug – et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 2. måleår af monitoringsprojektet med væsentlige resultater fra 1. måleår. Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen og Anne Johanne Tang Dalsgaard.
- Nr. 185-08 Erfaringsopsamling for muslingeopdræt i Danmark. Helle Torp Christensen, Per Dolmer, Hamish Stewart, Jan Bangsholt, Thomas Olesen og Sisse Redeker.
- Nr. 186-08 Smoltudvandring fra Storå 2007 samt smoltdødelighed under udvandringen gennem Felsted Kog og Nissum Fjord. Henrik Baktoft og Anders Koed.
- Nr. 187-08 Tingkæravad Dambrug - et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 2. måleår af monitoringsprojektet med væsentlige resultater fra første måleår. Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen og Anne Johanne Tang Dalsgaard.
- Nr. 188-08 Ejstrupholm Dambrug - et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 2. måleår af monitoringsprojektet med væsentlige resultater fra første måleår. Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen og Anne Johanne Tang Dalsgaard.
- Nr. 189-08 The production of Baltic cod larvae for restocking in the eastern Baltic. RESTOCK I. 2005-2007. Josianne G. Støttrup, Julia L. Overton, Sune R. Sørensen (eds.)
- Nr. 190-08 User's manual for the excel application "TEMAS" or "Evaluation Frame". Per J. Sparre.
- Nr. 191-08 Evaluation Frame for Comparison of Alternative Management Regimes using MPA and Closed Seasons applied to Baltic Cod. Per J. Sparre.

- Nr. 192-08 Assessment of Ecosystem Goods and Services provided by the Coastal Zone System Limfjord. Anita Wiethüchter.
- Nr. 193-08 Modeldambrug under forsøgsordningen. Faglig slutrapport for "Måle- og dokumentationsprojekt for modeldambrug". Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Susanne Bouttrup, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen, Anne Johanne Tang Dalsgaard og Karin Suhr.
- Nr. 194-08 Omsætning af ammonium-kvælstof i biofiltre på Modeldambrug. Karin Isabel Suhr, Per Bovbjerg Pedersen, Lars M. Svendsen, Kaare Michelsen og Lisbeth Jess Plesner.
- Nr. 195-08 Fangst, opbevaring og transport af levende danske jomfruhummere (*Nephtys norvegicus*). Preben Kristensen og Henrik S. Lund.
- Nr. 196-08 Udsætning af geddeyngel som bestandsophjælpning i danske brakvandsområder – effektivitet og perspektivering. Lene Jacobsen, Christian Skov, Søren Berg, Anders Koed og Peter Foged Larsen.
- Nr. 197-08 Manual to determine gonadal maturity of herring (*Clupea harengus L*) Rikke Hagstrøm Bucholtz, Jonna Tomkiewicz og Jørgen Dalskov.
- Nr. 198-08 Can alerting sounds reduce bycatch of harbour porpoise? Lotte Kindt-Larsen.
- Nr. 199-08 Udvikling af produktionsmetoder til intensivt opdræt af sandartyngel. Svend Steinfeldt og Ivar Lund.
- Nr. 200-08 Opdræt af Tunge (*Solea solea*) - undersøgelse af mulighederne for kommercialisering. Per Bovbjerg Pedersen, Ivar Lund, Svend Jørgen Steinfeldt, Julia Lynne Overton og Mads Nunn.
- Nr. 201-08 Produktion af vandlopper til anvendelse ved opdræt af marin fiskeyngel. Svend Steinfeldt.
- Nr. 202-09 Vurdering af markedsudsigter for akvakulturproduktion i Danmark. Erling P. Larsen, Jens Henrik Møller, Max Nielsen og Lars Ravensbeck.
- Nr. 203-09 Løjstrup Dambrug (øst) - et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 2. måleår af monitoringsprojektet med væsentlige resultater fra første måleår. Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen og Anne Johanne Tang Dalsgaard.