Danmarks Miljøundersøgelser
Miljøministeriet

Forsøgsprojekt Døstrup Dambrug

Resultater og konklusioner

Faglig rapport fra DMU, nr. 434

[Tom side]

Danmarks Miljøundersøgelser
Miljøministeriet

Forsøgsprojekt Døstrup Dambrug

Resultater og konklusioner

Faglig rapport fra DMU, nr. 434
2003

Carsten Fjorback
Søren Erik Larsen
Jens Skriver
Lars M. Svendsen
Danmarks Miljøundersøgelser

Peder Nielsen
Dansk Dambrugerforening

Jørgen Riis-Vestergaard
Danmarks Fiskeriundersøgelser

Datablad

Titel:	Forsøgsprojekt Døstrup Dambrug
Undertitel:	Resultater og konklusioner
Forfattere:	Carsten Fjorback[1], Søren Erik Larsen[1], Jens Skriver[1], Lars M. Svendsen[2], Peder Nielsen[3], Jørgen Riis-Vestergaard[4]
Afdelinger:	[1]Afdeling for Ferskvandsøkologi, [2]Overvågningssektionen, [3]Dansk Dambrugerforening, [4]Danmarks Fiskeriundersøgelser
Serietitel og nummer:	Faglig rapport fra DMU nr. 434
Udgiver:	Danmarks Miljøundersøgelser© Miljøministeriet
URL:	http://www.dmu.dk
Udgivelsestidspunkt:	Juli 2003
Redaktionen afsluttet:	Juli 2003
Finansiel støtte:	Rådets forordning (EU) nr. 3699193 og 3792/1999 (50%) og Bekendtgørelse 1.3.71.1996 og 10/2001 fra Direktoratet for FødevareErhverv
Bedes citeret:	Fjorback, C., Larsen, S.E., Skriver, J., Svendsen, L.M., Nielsen, P. & Riis-Vetergaard, J. 2003: Forsøgsprojekt Døstrup Dambrug. Resultater og konklusioner. Danmarks Miljøundersøgelser. 272 sider –Faglig rapport fra DMU nr. 434.

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse.

Sammenfatning: Baseret på et meget omfattende 2-årigt måleprogram er der for et lavteknologisk dambrug (Døstrup Dambrug) tilvejebragt ret omfattende dokumentation for renseeffekten af slamkegler, bundfældningsbassin og 3 forskellige plantelagunesystemer. Endvidere er der fra en 9 ugers intensiv periode undersøgt fisketilvækst, foderkonvertering, produktion af affaldsstoffer og optimering af slamhåndtering. Der er gennemført statistiske analyser af overholdelse af udlederkrav. Endvidere er belyst udviklingen i planteforhold i lagunerne og i de biologiske forhold op- og nedstrøms dambruget.

Emneord:	Dambrug, kvælstof, fosfor, organisk stof, tilstandskontrol, transportkontrol, udledninger, miljøtilstand, plantelaguer, slam, slamhåndtering, foderkonventering, omsætning, produktionsbidrag, renseforanstaltninger.
Layout:	Karin Balle Madsen
Tegninger/fotos:	Grafisk Værksted, Silkeborg
ISBN:	87-7772-722-3
ISSN (trykt):	0905-815x
ISSN (elektronisk):	1600-0048
Papirkvalitet:	Cyclus Print
Tryk:	Schultz Grafisk Miljøcertificeret (ISO 14001) og kvalitetscertificeret (ISO 9002)
Sideantal:	272
Oplag:	300
Pris:	kr.150,- (inkl. 25% moms, ekskl. forsendelse)
Internet-version:	Rapporten kan også findes som PDF-fil på DMU's hjemmeside http://www.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_fagrapporter/rapporter/[FR434.pdf]

Købes hos:

Miljøministeriet
Frontlinien
Strandgade 29
1401 København K.
Tlf.: 3266 0200
Frontlinien@frontlinien.dk
www.frontlinien.dk

Indhold

Forord 7

1 Formål, dambrugets indretning og projektindhold 11

1.1 Baggrund for projektet 11
1.2 Projektets formål 11
1.3 Dambrugets indretning 12
1.4 Danmarks Miljøundersøgelsers (DMU's) undersøgelsesaktiviteter 17
1.5 Danmarks Fiskeriundersøgelsers (DFU´s) undersøgelsesaktiviteter 22

2 Forsøgsvilkår, drift og produktion 23

2.1 Projekt vilkår jvf. miljøgodkendelsen 23
2.2 Dambrugets drift og produktion 24
2.3 Foderforbrug: kvalitet, teoretisk produktionsbidrag 26
2.4 Medicin og hjælpestoffer 28
2.5 Energiforbrug 29

3 Vandføringer og klimatiske forhold 31

3.1 Vandstand og vandføring 31
3.2 Vandføringsserier, herunder medianminimum 32
3.3 Vandbalanceusikkerhed 35
3.4 Klimatiske forhold i undersøgelsesperioden 37

4 Kemiske analyser og massebalancer 39

4.1 Indledning 39
4.2 Koncentrationsudvikling af kemi variabler over Døstrup Dambrug 41
4.3 Produktionsanlæg 54
4.4 Stoffjernelse i slamkegler og bundfældningsanlæg 57
4.5 Plantelaguner 63
4.6 Samlet stofflux beregninger over dambrugets enheder 72
4.7 Usikkerheder på massebalancer 79

5 Vækst og foderkonvertering, samt massebalancer for kvælstof og fosfor i produktionsafsnittet 83

5.1 Indledning 83
5.2 Driftsforhold i den intensive undersøgelsesperiode 83
5.3 Metoder til beregning af produktionsbidrag, opdrætsbidrag, egenomsætning og massebalancer i produktionsafsnittet 84
5.4 Foderkonvertering og foderudnyttelse 86
5.5 Produktionsbidrag, opdrætsbidrag og massebalancer for kvælstof og fosfor 89

6 Omsætning af organisk stof i produktionsafsnittet 99

6.1 Indledning 99
6.2 Vækstmodeller for regnbueørred 99
6.3 Test af modellernes brugbarhed på Døstrup Dambrug 102
6.4 Metoder til beregning af produktionsbidrag med organisk stof 106
6.5 Metoder til beregning af massebalance og egenomsætning for organisk stof i produktionsafsnittet 108
6.6 Energibudgetter, egenomsætning og massebalancer for organisk stof i produktionsafsnittet 109

7 Slam og slamhåndtering i produktionsafsnittet 121

7.1 Indledning 121
7.2 Metoder vedrørende udvidede slamanalyser 121
7.3 Karakteristik af slam fra Døstrup Dambrugs slamfælder 122
7.4 Effekten af tidsinterval mellem tømning af slamfælder 126
7.5 Slamfældernes effektivitet 128
7.6 Stoftab fra slamdepoter ved afdræning af overskudsvand 130

8 Planteforekomster i lagunerne 133

8.1 Indledning 133
8.2 Målemetoder 133
8.3 Planteforekomst i lagunerne 134
8.4 Næringsstofindhold i planterne 137

9 Vejledende udlederkrav, tilstands-kontrol for kontrolvariable samt iltkrav 143

9.1 Indledning 143
9.2 Udlederkrav 143
9.3 Statistiske metoder 144
9.4 Analyse af overholdelse af udlederkrav 146
9.5 Afløbskontrol med tilpassede kravværdier ved transportkontrol 149
9.6 Konklusion af overholdelse af udlederkrav 152
9.7 Iltforhold ved Døstrup Dambrug 152
9.8 Konklusion af iltkrav for Døstrup Dambrug 157

10 Faunatilstand i Døstrup Bæk i perioden 1998 -2002 159

10.1 Metode til indsamling og vurdering af den biologiske vandløbskvalitet 159
10.2 Indsamlingslokaliteter i Døstrup Bæk 159
10.3 Faunatilstanden i Døstrup Bæk i perioden marts 1998 til marts 2002 160

11 Diskussion, sammenfatning og perspektivering 169

11.1 Indledning 169
11.2 Baggrundsoplysninger og -målinger 170
11.3 Produktion, energiforbrug, foder, medicin og hjælpestoffer 173
11.4 Udfodring, tilvækst, producerede affaldsstoffer 176
11.5 Perspektiver fra den intensive undersøgelse vedr. udfodring, tilvækst og slamhåndtering 177
11.6 Plantelaguner: dækningsgrad og biomasse 180
11.7 Stofkoncentrationer af kontrolvariable 183

11.8 Overholdelse af udlederkrav 186
11.9 Stofbalance for rensekomponenter og for Døstrup Dambrug og produktionsbidrag 188
11.10 Sammenligning af tilbageholdelse mellem plantelagunesystemerne 198
11.11 BI5 henfaldsforsøg og problemer med analysemetoden 201
11.12 Iltforhold i Døstrup Bæk 208
11.13 Overholdelse af målsætning i Døstrup Bæk 208
11.14 Overholdelse af vilkår i miljøgodkendelsen 211
11.15 Afrunding og forhold der bør yderligere undersøges 213

12 Referencer 217

Bilag 1: Miljøgodkendelsens tabel med justeringsfaktorer $k(n)$ for antallet af stikprøver *n* i intervallet fra 6 til 52. 221

Bilag 2: Tilstand- og transportkontrol 222

Bilag 3: Koncentrationer og stofmængder: gennemsnit, standard afvigelser, varianskoefficienter, minimum og maximum for balancen: 510 + 520 + 530 –(20 + 30). 224

Bilag 4: Udledte stofmængder og udlederkrav 228

Bilag 5: Fauna 231

Bilag 6: Ordliste 266

Appendiks 1: Beregning af COD for fisk og foder fra Døstrup Dambrug 269

Appendiks 2: Formler for beregning af forskel i koncentrationen i udløbet og i indløbet samt formler for beregning af gennemsnit, standard afvigelse og varianskoefficient 270

Danmarks Miljøundersøgelser 271

Faglige rapporter fra DMU/TERI Technical Reports 272

[Tom side]

Forord

Denne rapport omhandler resultater og konklusioner for projektet "Forsøgsprojektet Døstrup Dambrug". Formålet med projektet var at afdække nogle af de behov og anbefalinger som var nævnt i "Perspektivplan for akvakultur i Danmark" (*Hassager & Prince, 1997*). Det drejer sig blandt andet om at fremskaffe dokumentation i forhold til miljømæssige og renere teknologi mål for lavteknologiske renseforanstaltninger, direkte opsamling af fækalier, slamhåndtering og efterbehandling af slamvand i plantelaguner for hermed at bidrage til opfyldelse af recipientmålsætninger i vandløb og søer. Endvidere nogle produktionsmæssige mål for at sikre bl.a. optimal foderudnyttelse, miljømæssige optimale opdrætsbetingelser, minimere forbrug af medicin og hjælpestoffer, minimere produktionsomkostninger for hermed at bidrage til at udvikle et rentabelt opdrætssystem for mindre og mellemstore dambrug og skabe grundlag for at øge dambrugsproduktionen i Danmark.

Projektet blev oprindeligt igangsat 20. august 1997 med ombygning af dambruget. Et omfattende to-årigt måleprogram foregik i perioden 5. april 2000 til 3. april 2002. Der har dog været foretaget nogle undersøgelser både før og efter de to måleår og disse resultater er også medtaget i denne rapport.

Projektet var oprindeligt planlagt til opstart af målinger i sommeren 1998, hvor anlægget var bygget og hele forsøgsopstillingen var klar. Nordjyllands Amt gav i skrivelse af 16. april 1997 miljøgodkendelse til forsøgsprojektet. Godkendelsen blev anket af Danmarks Sportsfiskerforbund først til Miljøstyrelsen (siden overgik sagen til Skov- og Naturstyrelsen) og siden til Miljøklagenævnet. Miljøklagenævnet stadfæstede herefter i skrivelse af 11. november 1999 Nordjyllands Amts godkendelse med en række vilkårsændringer.

Der skulle efterfølgende ske nogle justeringer af både anlæg og måleprogram samt foretages en genkalibrering af de opstillede instrumenter.

I rapporten beskrives forsøgsanlægget, produktionsforhold og –resultater og det måleprogram, der gennemføres. Endvidere gennemgås og fortolkes måleresultaterne fra det to-årige måleprogram og der er lavet en perspektivering i forhold til de væsentligste konklusioner.

Det skal understreges, at det ligger udenfor projektets formål og denne rapport at foretage en fuldstændig udtømmende behandling af alle data med alle mulige kombinationer af de forskellige variable, der har været målt. Det er der ganske enkelt for store datamængder og kombinationsmuligheder til. Til gengæld er de aspekter og formål der er beskrevet i projekts formålsbeskrivelse grundigt gennemgået og behandlet, og de er suppleret med en række ekstra aspekter i naturlig forlængelse heraf. Det vil være hensigtsmæssigt om der efterfølgende kan ske en yderligere udnyttelse og foretaget yderligere analyser af den omfattende og gode datamængde, som dette projekt

har frembragt. Det vurderes, at en del af resultaterne også vil have international interesse.

Der er tidligere udgivet to rapporter med foreløbige resultater fra Forsøgsprojekt Døstrup Dambrug. I *Svendsen et al. (2000)* beskrives dambruget og forsøgsprojektets indhold og gives nogle foreløbige resultater for fase 1 og fase 2 af projektet. I *Fjorback et al. (2001)* er der ud over fase 1 og 2 også en rapportering af fase 3 og statusrapporten omfatter projektets opstart og resultater fra det første måleår. Resultaterne fra projektet har på en del områder i væsentlig grad givet input til forsøgsordningen om modeldambrug som Dambrugsudvalget har anbefalet (*Dambrugsudvalget, 2002*), og som er beskrevet i en rapport om modeldambrug fra en arbejdsgruppe under Dambrugsudvalget (*Bovbjerg et al., 2003*) og som har medført at der etableres en forsøgsordning med et antal modeldambrug *(Bekendtgørelse om modeldambrug, 2002*)

Den foreliggende rapport omfatter de målinger af vandmængder og kemiske parametre der er foretaget forskellige steder på dambruget og i vandløbet op- og nedstrøms dambruget. Herudover gennemgås målinger fra en intensiv måleperiode vedrørende udfodring, tilvækst og forhold vedrørende affaldsstoffer i nogle kummesektioner i produktionsanlægget ligesom der er en lang række resultater fra planteundersøgelser i plantelaguner, biologisk tilstand i Døstrup Bæk, iltmålinger i dambruget og i Døstrup Bæk , klimatiske forhold mv.

Rapporten beskriver dambruget og de væsentligste vilkår i den midlertidige miljøgodkendelse og beskriver dambrugets indretning og instrumentering samt giver en oversigt over måleprogrammet.

Rapporten består af 12 kapitler plus appendiks og bilag. Danmarks Miljøundersøgelser (DMU) har ansvaret for rapporten og har skrevet forordet, kapitel 1, 3, 4, 8, 9, 10 og hovedparten af 11 og 12, bilagene samt dele af appendiks samt bidraget til kapitel 2. Danmarks Fiskeriundersøgelser har skrevet kapitel 5, 6 og 7, bidraget med afsnit til kapitel 1, 11 og 12. Dansk Dambrugerforening (DDF) har skrevet hovedparten af kapitel 2 og bidraget til kapitel 11 og 12 og har assisteret med visse beregninger og en række nyttige diskussioner til andre kapitler. Alle i projektgruppen (se nedenfor) herunder observatører har bidraget med forslag og konstruktive bemærkninger undervejs i projektet og de forskellige rapporteringer, der har været.

Rapporten er opbygget således:

- I kapitel 1 redegøres for projektets formål og dambrugets indretning herunder opholdstider forskellige steder i dambruget og der redegøres for indholdet af det gennemførte måleprogram.
- I kapitel 2 gennemgås nogle af de væsentlige vilkår i den midlertidige miljøgodkendelse. Endvidere gennemgås kort dambrugets drift og produktionsforhold og der redegøres for foderforbrug, produktion af fisk, foderkoefficienter samt forbrug af medicin og hjælpestoffer og hvilke stoffer, der er anvendt. Endeligt redegøres for energiforbrug i relation til fiskeproduktionen.
- Kapitel 3 omhandler vandstands- og vandføringsmålinger og usikkerheden på opgørelse af vandmængder forskellige steder i

dambruget. Der redegøres for vandindtag fra Døstrup Bæk samt gives en overordnet karakteristik af de klimatiske forhold i måleperioden.

- Kapitel 4 redegør for de kemiske målinger der er foretaget på dambruget og op- og nedstrøms dambruget i måleperioden. For en række målestationer gennemgås måleresultater for de forskellige kemiske parametre, herunder koncentrationsudviklingen gennem dambruget. Der vises koncentrationsniveauer over produktionsanlægget og der er opstillet massebalancer for det. Fjernelse af stof i henholdsvis slamkeglerne, bundfældningsanlægget og i de tre plantelagunesystemer gennemgås opdelt for de to måleår og for to perioder af 46 uger, hvor der har været anvendt henholdsvis 44,5 og 58,6 tons foder. Den samlede tilbageholdelse af forskellige stoffer i dambruget beregnes og sættes i forhold til produktionsbidrag og produktionsbidrag plus bidrag fra det indtagne vand (vandløb plus grundvand) samt i forhold til produktion af fisk.
- Kapitel 5 omhandler resultater fra en intensiv måleperiode i produktionsanlægget, hvor der i kapitlet fokuseres på fodring og vækst herunder foderkonvertering og foderudnyttelse, produktionsbidrag samt i dannelse af uorganiske affaldsstoffer.
- Kapitel 6 indholder resultater fra den intensive måleperiode i produktionsanlægget vedrørende omsætning af organisk stof. I kapitlet sammenlignes resultater med vækstmodeller for regnbueørred og der vurderes forskellige beregningsmetoder til beregning af produktionsbidrag, massebalance og egenomsætning for organisk stof og der redegøres for energibudgetter i produktionsafsnittet.
- I kapitel 7 gives resultater fra den intensive måleperiode i produktionsanlægget vedrørende fjernelse af slam, herunder karakteristik af slam, slamkeglernes effektivitet og indflydelse af tømningshyppigheden af slamkegler.
- Kapitel 8 omhandler hvilke planter der forekommer i plantelagunerne, plantedækningsgrad og –biomasse og mængden af næringsstoffer i plantelagunerne gennem måleperioden.
- I kapitel 9 findes resultaterne vedrørende overholdelse af de vejledende udlederkrav for kvælstof, fosfor, ammoniak, suspenderet stof og BI_5, opdelt for de to måleår, sommer- og vinterhalvår. Endvidere gennemgås overholdelse af de iltkrav, der har været opstillet i forbindelse med den midlertidige miljøgodkendelse.
- Kapitel 10 omhandler de biologiske forhold op- og nedstrøms Døstrup Dambrug, hvor der redegøres for udvikling i og sammensætningen af smådyrsfaunaen i vandløbet (som DVFI) i måleperioden som anvendes som kriterium for opfyldelse af vilkårene om den biologiske miljøtilstand.
- Endelig er der en relativ omfattende diskussion, sammenfatning og perspektivering i kapitel 11.

Desuden er der referencer i kapitel 12, en række bilag relateret til kapitel 9 (bilag 1-4) og kapitel 10 (bilag 5) samt en kort ordliste (bilag 6) og et appendiks med nogle beregningsmetoder.

Følgende organisationer og institutioner har deltaget i projektet.:

Projektansvarlig
Dansk Dambrugerforening (DDF), Vejlsøvej 51, 8600 Silkeborg.

Projektdeltagere
Danmarks Miljøundersøgelser (DMU), Afd. for Ferskvandsøkologi og Overvågningssektionen, Vejlsøvej 25, 8600 Silkeborg.

Døstrup Dambrug (DDa), Døstrupvej 135 A, 9500 Hobro.

Faglig underleverandør til projektet
Danmarks Fiskeriundersøgelser (DFU), Nordsøcentret, 9850 Hirtshals.

Observatør
Nordjyllands Amt (NJA), Niels Bohrsvej 30, 9220 Aalborg Ø.

Ansvaret for driften af projektet har siden igangsætningen af måleperioden 5. april 2000 og frem til dets afslutning den 3. april 2002 været varetaget af en projektgruppe bestående af repræsentanter fra ovenstående organisationer og institutioner. Indtil da og efterfølgende har projektgruppen ikke haft noget ansvar for driften på dambruget. Projektgruppen har i måleperioden afholdt møder ca. 8 til 10 gange om året og også afholdt nogle møder i den efterfølgende rapporteringsfase.

Medlemmer af projektgruppen er:
Peder Nielsen (DDF)
Lars M. Svendsen (DMU)
Erik Ugilt Hansen (DDa)
Jørgen Riis-Vestergaard (DFU).

Observatører/konsulenter, der deltager i projektgruppemøderne:
Ann Amitzbo (NJA) indtil april 2001
Richard Skøtt Rasmussen (NJA) fra april 2001
Carsten Fjorback (DMU)
Bjarne Jensen (DDa)
Jens Kristian Nielsen, konsulent (AQUA-DAM).

Projektets to første faser har i medfør af Rfo. 3699/93 og bekendtgørelse nr. 1137/1996 været finansieret af Strukturdirektoratet (Det nuværende Direktoratet for FødevareErhverv) jvf. skrivelse 93S-2454-00035 som hermed takkes for støtten. Finansieringsforholdene for perioden fra efter august 2000 blev afklaret i oktober 2001. Der er givet støtte finansieret af EU's FIUF 2000-2006 program i medfør af Rådets Forordning nr. 2792/1999 og i medfør af bekendtgørelse nr. 10/2001 af Direktoratet for FødevareErhverv jvf. skrivelse 93S-24471-00002. Der takkes også for denne støtte. Herudover har DDF, DFU og DMU bidraget udover finansieringen hvilket der også takkes for.

Endelig takkes Døstrup Dambrug ved Erik Hansen for at stille dambruget til rådighed for projektet og fiskemester Bjarne Jensen for samarbejdet i dagligdagen og bidrag til at tilse instrumenter og assistance med noget af prøvetagningen.

Lars M. Svendsen, Silkeborg februar 2003

1 Formål, dambrugets indretning og projektindhold

1.1 Baggrund for projektet

Danske ferskvandsdambrug består hovedsagelig af ca. 400 traditionelle brug der er etableret som jorddamme eller kanaler. Mange af disse anlæg er etableret for 30 – 50 år siden og baserer sig hovedsagelig på anvendelse af den energi der kan genereres ved en opstemning i de vandløb som dambrugene er placeret ved. Mange af disse anlæg er efterhånden ved at være nedslidte og en implementering af mere tidssvarende teknologier er nødvendig for erhvervets fremtidige udviklingsmuligheder. For at udnytte udviklingspotentialet i de danske ferskvandsdambrug er det nødvendigt at forbedre den videnskabelige dokumentation af miljømæssige effekter for de teknologier der ønskes implementeret.

1.2 Projektets formål

Forsøgsprojektet Døstrup Dambrug har i følge projektbeskrivelsen til formål at afdække nogle af de behov og anbefalinger der er nævnt i "Perspektivplan for akvakultur i Danmark" (*Hassager & Prince, 1997*). Fra projektbeskrivelsen kan fremhæves:

De miljømæssige og renere teknologimål :
- At bidrage til recipientmålsætninger for søer og vandløb.
- At minimere ressourceforbruget pr. kg produceret fisk.
- At fremskaffe dokumentation for effekten af direkte opsamling af fækalier.
- At fremskaffe dokumentation for effekten af lavteknologiske renseforanstaltninger.
- At fremskaffe dokumentation for slamhåndtering.
- At fremskaffe dokumentation for efterbehandling af slamvand.

De produktionsmæssige mål er følgende:
- At udvikle et opdrætssystem der sikrer en rentabel drift af de mindre og mellemstore dambrug.
- At kunne øge produktionen og dermed eksporten af danske ørreder.
- At minimere omkostningerne til mandtimer pr. kg produceret fisk.
- At minimere omkostningerne og ressourceforbruget pr. kg. produceret fisk.
- At sikre miljømæssig optimale opdrætsbetingelser i anlægget.
- At minimere forbruget af medicin og hjælpestoffer til produktionen.
- At sikre optimal foderudnyttelse.

- At projektet kan danne baggrund for udarbejdelse af en beregningsmodel for 3 forskellige typer af dambrugsproduktioner, yngelanlæg, sættefiskeanlæg og konsumfiskeanlæg.

Herudover giver projektet med det omfattende måleprogram et overordentligt godt materiale til statistiske analyser af udledninger, for effekt af bundfældningsanlægget og af tre typer af plantelaguner. Der måles så hyppigt, at den statistiske usikkerhed minimeres og materialet kan danne grundlag for optimering af prøvetagningsprogrammer for kontrol af dambrugsudledninger. Der skaffes et dokumentationsgrundlag, der kan danne basis for generalisering til andre sammenlignelige dambrug.

1.3 Dambrugets indretning

En skitse af hele dambruget og af produktionsanlægget fremgår af figur 1.1 og 1.2.

Forsøgsanlæggets produktionsafsnit er inddelt i 3 sektioner (produktionsenheder) og indløbsvandet kan indretningsmæssigt ledes direkte til de enkelte sektioner. Under normale driftsforhold ledes hele den indtagne vandmængde fra åen og omfangsdræn til sektion 1 med 40 kummer til yngelopdræt. Efter gennemløb af sektion 1 ledes vandet til geniltning i 5,4 m dybe beluftningssektioner, hvorefter en delmængde af vandet recirkuleres ved hjælp af en mammutpumpe, mens resten af vandet fra sektion 1 genanvendes i sektion 2 og efterfølgende i sektion 3 efter samme princip som i sektion 1. Efter vandets passage af sektion 3 ledes vandet til et centralt bundfældningsbassin. Sektion 2 har 20 kummer og er beregnet til sættefisk mens sektion 3 med 10 kummer er beregnet til konsumfisk.

For perioden 5. april 2000 til 3. april 2002 er det ikke alle kummer i produktionsafsnittet der har været i brug. For sektion 1, 2 og 3 har der i gennemsnit været henholdsvis 26, 14 og 7 kummer i brug.

Den interne vandtransport på produktionsanlægget (se figur 1.2) sker ved gravitation og ved at benytte beluftningssystemets udformning. Pumpemetoden integrerer således to processer, pumpning og beluftning. Metoden er energiøkonomisk optimal ved løftehøjder op til ca. 0,5 m.

Renseforanstaltningerne inde på selve produktionsanlægget består af sedimentationskegler (slamfælder) i hver enkelt produktionskumme for alle tre sektioner. Slamkeglerne er placeret i produktionskummernes udløbsende umiddelbart inden vandet ledes til den aktuelle sektions bagkanal/afløbskanal. Der er en sedimentationskegler pr. kumme i sektion 1, to i sektion 2 og fem i sektion 3, svarende til at hele bredden/tværsnittet er dækket i hver enkelt kumme. Tømning af sedimentationskeglerne sker ved bundudtræk til et rørsystem, der er direkte forbundet til en central pumpesump. Herfra ledes slamperkulatet til separate betonslamdepoter for de tre produktionsenheder (figur 1.1, st. 150, 250 og 350). Efter sedimentation i slamdepoterne ledes det klarede overfladevand tilbage i tilløbskanalen til det cen-

trale bundfældningsbassin (st. 410). Tømningshyppigheden for sedimentationskeglerne i de enkelte sektioner har i hele forsøgsperioden, april 2000 – april 2002, generelt været 2 gange om ugen med henholdsvis 3 og 4 dages interval. Afdræning af slamdepoterne er gennemført en gang om ugen.

Efter vandets passage af sektion 3 ledes afløbsvandet fra produktionsanlægget (st. 400) til et centralt bundfældningsbassin, der er etableret med selvkørende slampumpe. Det oppumpede slamperkulat ledes direkte til separat slamdepot (st. 430).

Nedstrøms bundfældningsbassinet (st. 450) fordeles vandet ligeligt til efterpolering i 3 forskellige lagunesystemer. Fordelingen af afløbsvandet sker ved hjælp af et rørsystem, der er dimensioneret således, at hvert af de tre systemer modtager ca. 1/3 af den samlede afledte vandmængde. Alle lagunesystemerne er etableret i de gamle jorddamme hvor den tidligere dambrugsproduktion fandt sted. Det ene system, kaldet vandløbssystem (hvor afløbet er st. 510), består af 7 jorddamme, der er serielt forbundne. Det andet og tredje system, kaldet søsystemerne (afløbet fra st. 520 er søsystem 1 og afløbet fra st. 530 er søsystem 2), består hver af 6 jorddamme hvortil vandstrømmen tilledes parallelt, dvs. 1/6 af den tilledte vandmængde til systemet pr. dam. Al vegetation fjernes i lagunerne ved projektets opstart i april 2000 og beplantningen i hver af de tre systemer sker ved naturlig indvandring af planter.

I tilknytning til slamdepoterne er der etableret separat depot til henfaldende planter fra lagunesystemerne.

Efter vandets passage fra lagunesystemerne via st. 510, 520 og 530 ledes det via rislefiltre for beluftning tilbage til recipienten (opstrøms st. 600).

Inde på selve produktionsanlægget er de enkelte produktionskummer etableret med central udfiskning, der via et rørsystem leder fiskene til et udsorteringsbassin, hvorfra videre håndtering og sortering foregår. Distributionen af fisk fra udfiskningsbassinet foregår med vakuumpumpe.

For fiskene betyder dette, at den tid hvor fiskene er ude af vandet under sortering minimeres med en nedsat stresspåvirkning til følge.

Det samlede vandvolumen i hele dambruget er godt 5.000 m^3 ved en gennemsnitlig opholdstid på ca. 13 timer (tabel 1.1). I produktionsanlægget er der et volumen på omkring 1200 m^3 og i bundfældningsanlægget knap 300 m^3. Vandets opholdstid i produktionsanlægget er godt 2½ time og herefter bruger det ca. 20 minutter på at nå til plantelagunerne, hvor det har en gennemsnitlig opholdstid på mellem 7½ til 12 timer afhængig af hvilket plantelagunesystem vandet løber igennem.

Tabel 1.1 Fysiske rammer for Døstrup Dambrug for perioden 5. april 2000 til 3. april 2002. Kummer i sektion 1, 2 og 3 er både angivet som totaler og som det gennemsnitlige antal kummer der har været brugt (se [a]), hvilket går igen i volumen beregningen (se [b]). Opholdstider, opgjort i timer og minutter, er beregnet på baggrund af gennemsnitsvandindtaget 103 l s^{-1} ± standard afvigelsen og angivet ift. antal kummer i brug. Vandflowet gennem de tre sektioner er både angivet som gennemsnitlig målt vandføring samt den maksimalt mulige vandføring (se [c]).

Enhed	Antal kummer eller damme	Dimensioner	Volumen	Opholdstid timer og minutter ± standard afvigelsen i	Aktuelt /maksimalt vandflow
		m	m^3	timer og min	l s^{-1}
Sektion 1	40/26[a]	L: 7,00 B: 0,88 D: 1,00	Ca. 246/160[b]	25 min. ± 3 min.	164 / 250[c]
Sektion 2	20/14[a]	L: 7,00 B: 1,88 D: 1,00	Ca. 263/184[b]	60 min. ± 4 min.	188 / 350[c]
Sektion 3	10/7[a]	L: 8,00 B: 3,88 D: 0,90	Ca. 279/217[b]	35 min. ± 6 min.	169 / 450[c]
I alt			**Ca. 788/561[b]**	**1 t 30 min. ± 8 min.**	
Fødekanaler	3	L: 40,00 B: 0,80 D: 1,00	Ca. 96	15 min. ± 2 min.	
Bagkanaler	3	L: 40,00 B: 0,80 D: 0,95	Ca. 91	14 min. ± 2 min.	
I alt			**Ca. 975/748[b]**	**2 t 1 min. ± 5 min**.	
Belufterenhed	1	L:27,45 B: 1,60 D: 5,20	Ca. 228	37 min. ± 5 min.	
I alt			**Ca. 1.203/976[b]**	**2 t 38 min. ± 10 min**	
Bagkanal (før og efter bundfældningsbassin)		L:100 B:2,5 D:0,5	ca.125	21 min. ± 3 min.	
Bundfældningsbassin	1	L: 28,30 B: 10,00 D: 1,00	283	46 min. ± 6 min.	
Plantelagune 510	7	L:32,5 B: 7,2 D: 0,56	917	7 t 30 min.	
				± 1 t 10 min.	
Plantelagune 520	6	L:36,5 B: 7,9 D: 0,70	1211	10 t 11 min.	
				± 1 t 21 min.	
Plantelagune 530	6	L:39,0 B: 8,0 D: 0,73	1367	11 t 51 min.	
				± 1 t 52 min.	
Total			**Ca. 5.106/4879[b]**	**13 t 9 min.**	
				± 2 t 35 min.	

[a] det gennemsnitlige antal kummer der har været i brug for hele forsøgsperioden.
[b] volumen beregnet fra det gennemsnitlige antal kummer der har været i brug.
[c] maksimalt mulige vandflow.

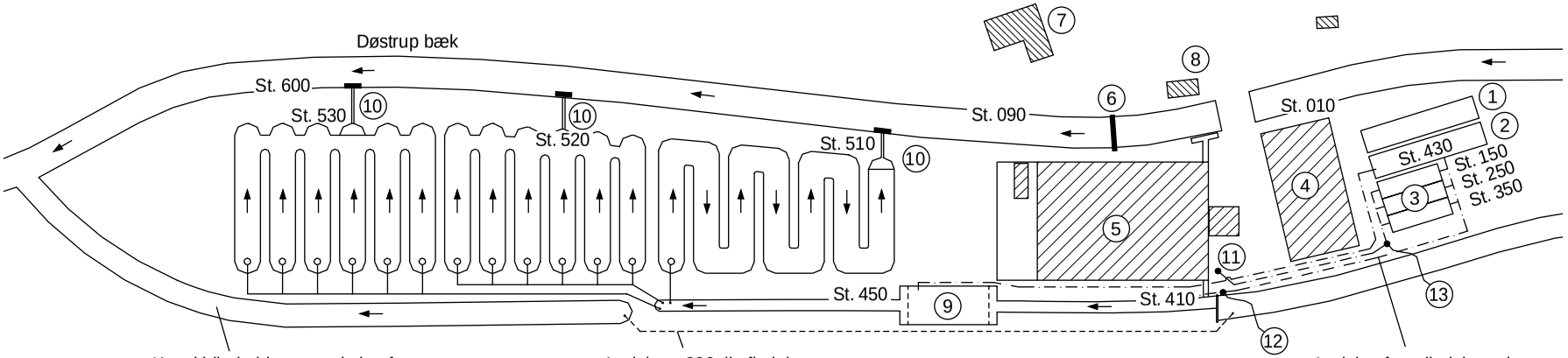


Fig. 1.1 Oversigt over hele Døstrup Dambrug.

1. Slamdepot for laguner
2. Slamdepot for bundfældning m.v.
3. Slambassiner for slamkegler
4. Eksisterende klækkehus
5. Anlæg
6. Eksisterende stemmeværk
7. Eksisterende beboelse
8. Kontor og foderhus
9. Bundfældningsbassin
10. Udløb via rislefilter
11. Pumpebrønd for slamkegler
12. Målerbrønd for overløb
13. Målerbrønd for slam

AQUA-DAM
Jens Kristian Nielsen
Toftvej 14 – dk 6950 Ringkøbing
TELF. 97 32 60 77 FAX 97 32 61 77
e-mail : aquadam@post9.tele.dk
CN-Tegnestuen
TELF. 97 32 60 88 FAX 97 32 60 99

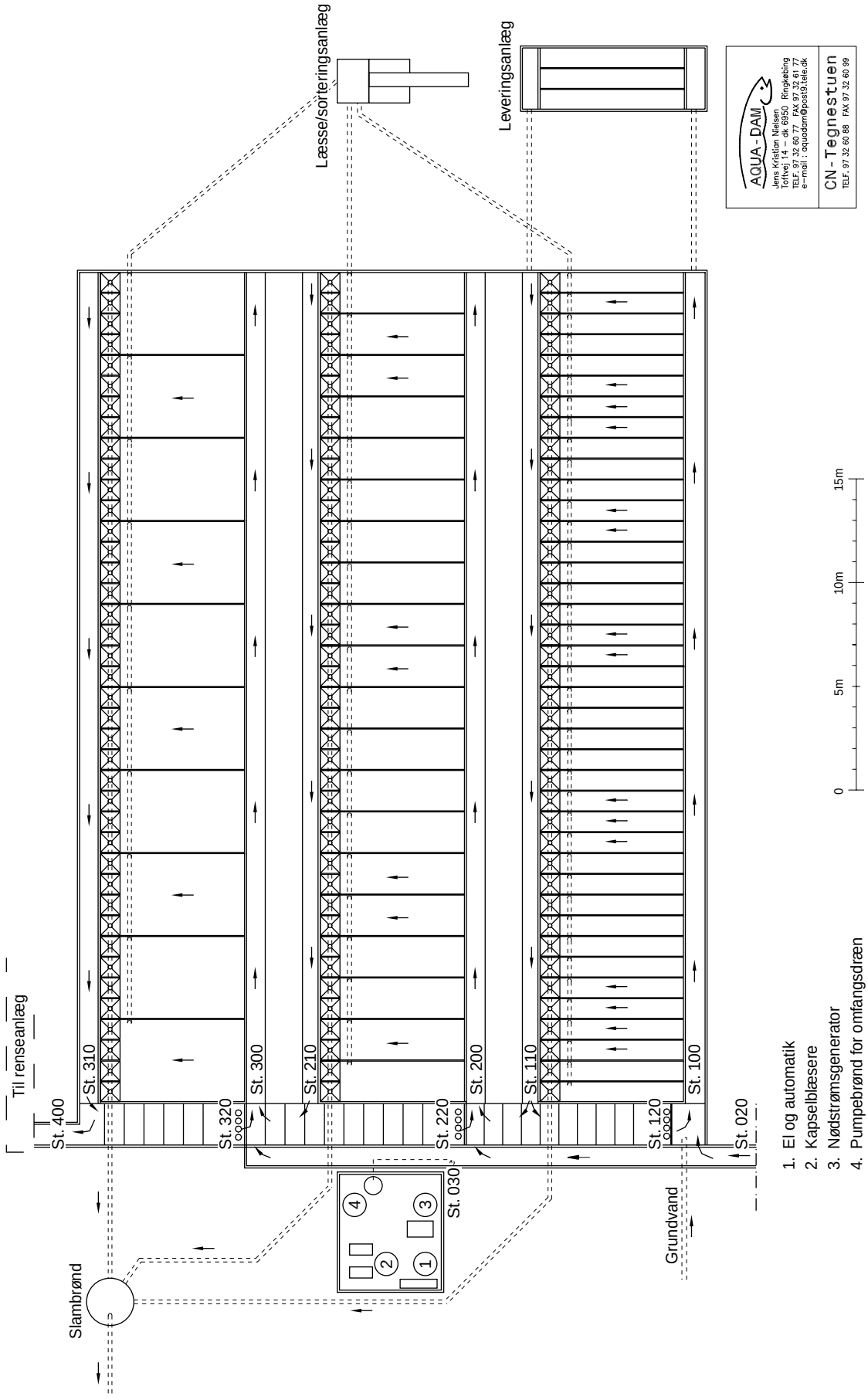


Fig. 1.2 Oversigt over produktionsanlægget på Døstrup Dambrug. I sektion 3 (st. 300 – st. 310) er der 5 slamkegler pr. dam og ikke 4 som angivet på tegningen.

1.4 Danmarks Miljøundersøgelsers (DMU's) undersøgelsesaktiviteter

DMU's undersøgelsesprogram og øvrige aktiviteter består af følgende elementer:

1. måling af parametre, der er nødvendige for dambrugsdriften men som også anvendes i selve undersøgelsesprogrammet
2. måling af vandstand og vandføring samt klimatiske parametre
3. vandkemiske målinger
4. slamkemiske målinger
5. faunaprøver
6. bestemmelse af plantedækningsgrad i plantelaguner
7. opbygning, drift og vedligeholdelse af online datasystem og dataoverførsel
8. beregning af vandføringer, stoftransporter, stofudledninger, massebalancer og kontrolværdier
9. koordinering og mødedeltagelse, formidling, rapportering mv.

Undersøgelsesprogrammet fremgår af tabel 1.2 og tabel 1.3 og de stationsnumre, der refereres til fremgår af figur 1.1 og 1.2.

Der er i projektet lagt stor vægt på datasikkerhed. Der er lagt strøm (220V) ud til alle instrumenter og dataloggerne som indbyrdes er koblet sammen. Der er trukket adskillige kilometre kabel (strøm og instrumentledninger på i alt 5-6 km) til de 50 måleinstrumenter og 14 vandprøvetagere.

Der overføres øjebliksværdier af luft- og vandtemperatur, vandstand, ilt, pH, relativ luftfugtighed, globalstråling, vindhastighed og nedbør fra de fire dataloggere som instrumenterne er forbundet til over til en PC'er, der står på Døstrup Dambrug. Fra en femte datalogger placeret ca. 950 m nedstrøms dambruget sendes data fra st. 990's instrumenter via GSM nettet til DMU Silkeborg en gang i døgnet. DMU kan fra Silkeborg også gå ind og se øjebliksværdier på PC'eren på Døstrup Dambrug og se om der er driftsproblemer. Data lagres hos DMU i databaser gennem en daglig overførsel af data fra dataloggerne og dambrugets PC'er.

På dambrugets PC'er kan data løbende ses som plot på skærm eller via udskrift på en printer ved PC'en.

DMU laver også backup af foder- og driftsprogrammet (D-journal) og af den logbog, der føres på PC'eren.

Iltværdier kan på dambruget desuden læses direkte på en instrumentkasse og iltsonderne er tilsluttet alarmer, hvilket også gælder for udvalgte vandstandsmålere.

Tabel 1.2 Oversigt over målepositioner og målefrekvens af de vandkemiske og fysiske parametre DMU måler.

	DMU	Kort nr.	Ilt+temperatur	Vandstand	pH	Kemiprogram	Klima	Vandføring (1)
QH station opstr. dambrug	171010	10		kont.+ 10 min. (2)				12-18 pr. år
Indløb dambrug	171020	20	kont. + 10. min.	kont.+ 10 min. (2)	kont. + 10. min.	A: 52 pr. år		12-18 pr. år
Grundvand	171030	30				C: 6 pr. år		kontinuert (døgn)
Klimamast	171050	50					kontinuert + 10. min	
Nedstrøms stemmeværk	171090	90		kont.+ 10 min. (2)				12-18 pr. år
Bagkanal sektion 1	171110	110	kont. + 10. min.			A: 52 pr. år		
Efter luft bagkanal 1	171120	120		kont.+ 10 min. (2)		B: 13 gange i 1 år		12-18 pr. år
Slamperkulat sektion 1	171150	150				D: 26 pr. år + ekstra		mængde*
Slamdepot 1	171155	155		kont.+ 10 min. (3)		D: ved tømning		
Forkanal sektion 2	171200	200	kont. + 10. min.					
Bagkanal sektion 2	171210	210	kont. + 10. min.			A: 52 pr. år		
Efter luft bagkanal 2	171220	220		kont.+ 10 min. (2)		B: 13 gange i 1 år		12-18 pr. år
Slamperkulat sektion 2	171250	250				D: 26 pr. år + ekstra		mængde*
Slamdepot 2	171255	255		kont.+ 10 min. (3)		D: ved tømning		
Forkanal sektion 3	171300	300	kont. + 10. min.					
Bagkanal sektion 3	171310	310	kont. + 10. min.					
Efter luft bagkanal 3	171320	320		kont.+ 10 min. (2)		B: 13 gange i 1 år		12-18 pr. år
Slamperkulat sektion 3	171350	350				D: 26 pr. år + ekstra		mængde*
Slamdepot 3	171355	355		kont.+ 10 min. (3)		D: ved tømning		
Udløb produktion anlæg	171400	400	kont. + 10. min.	kont.+ 10 min. (2)	kont. + 10. min.	A: 52 pr. år		12-18 pr. år
Afdrænet slamvand fra slambede	171410	410				A: 52 pr. år		
Bassin slam bundfældningsbassin	171430	430				D: 26 pr. år + ekstra		mængde*
Indløb til 3 efterpoleringssektioner	171450	450	kont. + 10. min.	kont.+ 10 min. (2)		A: 52 pr. år		12-18 pr. år
Udløb 1. Efterpoleringssektion	171510	510	kont. + 10. min.	kont.+ 10 min. (2)		A: 52 pr. år		12-18 pr. år
Udløb 2. Efterpoleringssektion	171520	520	kont. + 10. min.	kont.+ 10 min. (2)		A: 52 pr. år		12-18 pr. år
Udløb 3. Efterpoleringssektion	171530	530	kont. + 10. min.	kont.+ 10 min. (2)		A: 52 pr. år		12-18 pr. år
20 m nedstr. 3. efterbh.	171600	600	kont. + 10. min.	kont.+ 10 min. (2)	kont. + 10. min.	A: 52 pr. år		12-18 pr. år
950 m nedstrøms dambrug	171990	990	kont. + 10. min.	kont.+ 10 min. (2)	kont. + 10. min.			

(1) Der måles vandføringer 12-26 gange pr. år. Ud fra en relation mellem vandstand og vandføring beregnes en kontinuert vandføring
(2) Med tryktransducer
(3) Med vandstandsskriver
* de afledte voluminer mængde estimeres ved hver eneste tømning
kont. = kontinuert
Ilt, vandtemperatur og vandstand måles kontinuert og opsamles på datalogger. Data midles over ti minutter og sendes til opsamling på komputer i kontorbygning.
Klimaparametre (vindhastighed, global stråling, lufttemperatur, relativ luftfugtighed, nedbør) måles kontinuert på datalogger, 10minutters værdier overføres til komputer.
Vandprøver til kemiprogram (på nær for slam) udtages med ISCO-vandprøvetager, 1 delprøve i timen døgnet rundt, puljes til en ugeprøve eller døgnprøve (BI5, ammoniak, orthofosfat)
Vandprøver til kemiprogram står mørkt og koldt (3-5°C) i ISCO-vandprøvetageren
Kemi A = Tot N, nitrat, ammoniak, Tot P, opløst P, BI_5 og tørstof/glødetab (uge eller døgn puljet, afhængig af parameter og prøvetype)
Kemi B = Tot N, ammoniak, Tot P, BI_5 (uge eller døgn puljet afhængig af parameter)
Kemi C = Tot N, ammoniak, nitrat, Tot P, opløst P (øjebliksprøve)
Kemi D = Tot N, Tot P, BI_5 samt tørstof/glødetab (øjebliksprøve)
Klimamast: lufttemperatur, globalstråling, relativ luftfugtighed, vindhastighed og nedbør

Tabel 1.3 Oversigt over hvilke kemiske parametre der udtages på Døstrup Dambrug i forsøgsperioden 5. april 2000 til 3. april 2002.

	Vandprøver	Ekstra vandprøver	Slamperkulat	Pejlerør	Grundvand	Slamvand	Slam
Suspenderet stof - SS	x		x		x	x	x
Glødetab - GR	x		x		x	x	x
Ammonium kvælstof - NH_3+NH_4^+-N	x	x	x	x	x	x	x
Nitrat - NO_{23}-N	x		x	x	x	x	x
Total kvælstof - TN	x	x	x	x	x	x	x
Orthofosfat - PO_4-P	x		x	x	x	x	x
Total fosfor - TP	x	x	x	x	x	x	x
BI_5	x	x	x		x	x	x
antal pr. gang	9	3	1	2	1	1	3
hyppighed	hver uge	hver uge i intensiv måleperiode[a]	hver uge 2 gange per uge i intensiv periode delt i prøver fra hvert slamdepot	2 gang om året	hver 1½ måned	hver anden uge plus hver uge i intensiv periode fra hvert slamdepot	ved tømning af slamdepoter fra hvert slamdepot

[a] intensiv måleperiode: 3. okt. - 6. dec. 2001 (kap. 5, 6 og 7)

Det samlede måleprogram kan sammenlignes med hvad et middelstort amt måler under Vandmiljøplanens Overvågningsprogram (NOVA-2003) i dets vandløb. Alene dataloggermåling hvert 10. minut for 50 forskellige instrumenter giver en uhyre stor datamængde, ligesom der indsamles en meget stor mængde vandkemiske data, omkring 10.000 enkelte kemiprøver. En frekvens på 52 vandprøver pr. år er også meget høj sammenlignet med vandløbsstationer, hvor der typisk tages 12-26 prøver pr. år. Det har derfor været et omfattende arbejde at konstruere, opstille, teste og vedligeholde hele målesystemet.

Måling af fysiske parametre

Måling af en række parametre i tabel 1.2 på nær vandføring sker ved kontinuert målinger af:

- ilt og vandtemperatur 13 steder
- vandstand 16 steder
- pH 3 steder
- vindhastighed, lufttemperatur, globalstråling, nedbør og relativ luftfugtighed 1 sted.

Af fysiske parametre måles vejrforhold (nedbør, lufttemperatur, vindhastighed, global stråling og relativ luftfugtighed) samt vandstand, vandtemperatur, vandets iltkoncentration og pH. Hvor de forskellige parametre måles på Døstrup Dambrug fremgår af tabel 1.2 samt figur 1.1 og figur 1.2. Instrumenterne til måling af de fysiske parametre er koblet på dataloggere, som der er 5 af i alt. Nedbøren akkumuleres over 10 minutter, vindhastigheden er et middel over 10 minutter, mens resten af parametrene måles hver 10. sekund og middles for hvert 10. minut som en værdi der kaldes øjebliksværdi. Øje-

bliksværdierne registreres på den datalogger de enkelte instrumenter er tilsluttet.

På DMU foretages den videre bearbejdning af data. Kalibrering af de forskellige måleinstrumenter sker ved direkte manuelle feltmålinger og hyppigheden varierer afhængig af måleparameter. Generelt gennemføres der kalibreringsmålinger for målestationernes vandstande hver anden uge mens ilt, pH, vandtemperatur og vejrparametrene kalibreres ca. en gang om måneden. Måleinstrumenterne tilses hver uge og iltelektroder renses generelt 2 til 3 gange om ugen.

Vandføringsmålinger foretages på dambruget og i Døstrup Bæk. I begyndelsen af projektet foretages hyppige målinger (2-4 gange pr. måned) indtil der er etableret en god sammenhæng mellem vandstand og vandføring. Vandstand og vandføring (kap. 3) måles ved 17 stationer (se tabel 1.2). Der er etableret overfald ved st. 400, 510, 520 og 530. Frekvensen af vandføringsmålinger reduceres i det 2. måleår til ca. 1 gang pr. måned.

De målte vandføringer lægges i DMU's database for hydrometriske målinger. Forinden behandles data med programmet HYMER der bl.a. kan udføre hydrometriske vandføringsberegninger.

Måling af vand- og slamkemiske stoffer

For at overvåge og kontrollere udviklingen af kritiske driftsparametre samt koncentrationer og mængder i udledningen af essentielle stoffer, er der placeret 27 målestationer på Døstrup Dambrug samt en målestation 1 km nedstrøms dambruget (se tabel 1.2 og figur 1.1 og 1.2).

Til fastlæggelse af koncentration af forskellige stoffer (se tabel 1.3) og beregning af stoftransport og – balancer for disse stoffer, udtages der automatisk vandprøver hver time gennem hele døgnet ved de vandkemiske prøvetagningsstationer (se tabel 1.2). De automatiske vandprøvetagere er anbragt i termostaterede skabe hvor prøverne opbevares køligt (3-5 °C) og mørkt.

På en uge udtages 168 (7 dage * 24 timer) delprøver i 21 flasker pr. station. Fra hver af en stations 21 flasker udtages lige store delmængder, der puljes til en 2 liters prøve og som analyseres for totalkvælstof (TN), totalfosfor (TP) og suspenderet stof (SS), orthofosfat (PO_4-P), nitrat-nitrit (NO_{23}-N) og glødetab. Fra de sidste 3 flasker (sidste prøvetagningsdøgn) udtages i alt 2 liter prøve pr. station til en puljet prøve som analyseres for NH_3+NH_4^+-N og BI_5. Der udtages prøver 52 gange pr. år gennem to måleår. De kemiske undersøgelser er udført af akkrediteret laboratorium, DMU validerer analyseresultaterne, laver kontrolberegninger og indlægger resultaterne i en database på en server.

De vandkemiske målinger gennemføres som en del af kontrolprogrammet til opstilling af massebalancer over de forskellige renseforanstaltninger og hele dambruget, samt som input til DFU's massebalanceberegninger over produktionsafsnittet.

Der udtages som minimum en flowproportional prøve hver fjortende dag ved tømning af slamkegler i hver produktionssektion.

Der udtages en tidsproportional prøve på st. 410 ved afdræning af slamvand fra de tre slambede (st. 150, 250 og 350). I den intensive periode (se afsnit 1.5) udtages en separat prøve fra hver af slambedene ellers en puljet for de tre slambede.

Ved tømning af bundfældningsbassinet (hver 14. dag) udtages der med automatiske vandprøvetager flow/tidsproportionale prøver, der puljes til en repræsentativ prøve.

Ved oprensning af slambede udtages slamprøver til analyse.

Plantedækningsgrad i lagunerne

En gang om måneden måles plantedækningsgrad og plantearter bestemmes i de tre lagunesystemer. For hver dam måles 5 tværprofiler, hvor der for hver 50 cm bestemmes dækningsgrad og plantearter (svarende til at der opmåles knap 1400 felter). Oplysninger puljes for hver af de tre systemer så dækningsgrad og plantearter kan sammenlignes. Endvidere fås en indikation af variation i dækningsgrad mellem de enkelte damme.

Ved enkelte lejligheder udtages prøver til biomassebestemmelse og der analyseres for indhold af total kvælstof og fosfor i de mest udbredte plantearter.

Faunaprøver

DMU udtager faunaprøver 4 gange om året til bestemmelse af faunaindeks efter DVFI (Dansk VandløbsFauna Indeks) på en station opstrøms og en station umiddelbart nedstrøms Døstrup Dambrug samt ved st. 990 knap 1 km nedstrøms dambruget. Prøver udtages som udgangspunkt ultimo marts, ultimo juni, ultimo september og ultimo december. Nordjyllands Amt supplerer med at udtage faunaprøver, de samme steder 4 gange så der måles på forskellige tidspunkter i løbet af et år.

Beregninger m.v.

På baggrund af målte vandstande (H) og målte vandføringer (Q) etableres der QH-sammenhænge for hver enkelt målestation. Ud fra denne QH-sammenhæng og kontinuerligt målte vandstandsserier med en tidsopløsning på 10 minutter (der defineres som øjebliksværdier), beregnes vandføringsserier ved de forskellige målestationer. Øjebliksværdier midles til døgnmiddelvandføringer. De kemiske analyseresultater anvendes herefter til beregning af udledte mængder, kontrol af om udlederkrav er overholdt mv.

Stoffluxe ved de forskellige stationer hvor der udtages vandkemiske prøver beregnes som kg per uge, så der efterfølgende kan beregnes stofbalancer for ønskede perioder over produktionsanlægget, slamdepoterne, bundfældningsbassinet og for hver af de tre plantelaguner samt for dambruget som helhed.

Måleresultater og stofberegninger leveres til DFU til deres videre beregninger i relation til produktion, fodertildeling, tilvækst af fiskebiomasse og stofstrømme i produktionsafsnittet (kap. 5, 6 og 7).

Beregnede vandføringer og stoftransporter lagres ligeledes i en database på DMU.

1.5 Danmarks Fiskeriundersøgelsers (DFU´s) undersøgelsesaktiviteter

DFU bidrager til måleprogrammet ved at varetage kemisk analyse af producerede fisk (vådvægt, tørvægt, askevægt samt indhold af energi, protein, fedt og fosfor), samt udvidede analyser af slam fjernet fra produktionsafsnittet (vådvægt, tørvægt, askevægt, energi). Disse data kombineres med data leveret fra DMU vedrørende vandstrømme og stofkoncentrationer i produktionsafsnittet, i beregninger af stoffluxe og massebalancer separat for hver kummesektion og for produktionsafsnittet i sin helhed. Massebalancerne fokuserede på parametrene TN (total kvælstof), TP (total fosfor) og organisk stof (COD). Vækstmodeller for regnbueørred indgår i beregning af massebalancerne for organiske stof, hvorved egenomsætningen i kummesektionerne kan beregnes.

2 Forsøgsvilkår, drift og produktion

2.1 Projekt vilkår jvf. miljøgodkendelsen

Forsøgsprojektets vejledende udlederkravværdier er i tabel 2.1 sammenlignet med Dambrugsbekendtgørelsens kravværdier. Miljøgodkendelsen indebærer således en skærpelse af Dambrugsbekendtgørelsens generelle udlederkrav, idet udlederkravene skal kontrolleres i forhold til en vandmængde på 107,7 l s^{-1}, der er summen af medianminimum på 80 l s^{-1} fastlagt af Nordjyllands Amt og 27,7 l s^{-1} som er den tilladte oppumpede mængde grundvand, hvor Dambrugsbekendtgørelsen sædvanlige kontrolregler bygger på den dimensionerede og udledte vandmængde. Endvidere er koncentrationskravene for ammoniumkvælstof og BI_5 også skærpet i forhold til Dambrugsbekendtgørelsen. Dambrugsbekendtgørelsen kravværdier er beregnet for Døstrup Dambrug på basis af den maksimal tilladte udledte vandmængde fra bundfældningsanlægget som dette var etableret før ombygningen af dambruget, hvor den maksimal hydrauliske kapacitet af bundfældningsbassinet efter retningslinierne i Dambrugsbekendtgørelsen, var beregnet til 267 l s^{-1}. Samme beregning er ligeledes foretaget efter ombygningen af Døstrup Dambrug og fundet til 170 l s^{-1}. Miljøgodkendelsens krav er således skærpet op til 3 ½ gange sammenlignet med Dambrugsbekendtgørelsens almindelige kravværdier før ombygningen og omkring 2 gange for kravværdierne efter ombygningen (tabel 2.1).

I kapitel 9 er der nærmere redegjort for afløbskontrol i forhold til miljøgodkendelsen.

Tabel 2.1 Oversigt over Miljøgodkendelsens vejledende kravværdier sammenlignet med Dambrugsbekendtgørelsens kravværdier. Til beregning af stofmængder er der for miljøgodkendelsens vejledende kravværdier brugt 107 l s^{-1}, for Dambrugsbekendtgørelsens kravværdier henholdsvis 267 l s^{-1} for før og 170 l s^{-1} for efter ombygningen, som er den maksimale tilladte afledte vandmængde fra dambrugets oprindelige bundfældningsbassin, beregnet efter dambrugsbekendtgørelsen retningslinier.

Parameter	Miljøgodkendelsens kravværdier	Dambrugsbekendtgørelsens kravværdier (før ombygning)	Dambrugsbekendtgørelsens kravværdier (efter ombygning)
Suspenderet stof (SS)	3 mg l^{-1}	3 mg l^{-1}	3 mg l^{-1}
	325 mg s^{-1}	801 mg s^{-1}	510 mg s^{-1}
BI_5	0,7 mg l^{-1}	1 mg l^{-1}	1 mg l^{-1}
	75 mg s^{-1}	267 mg s^{-1}	170 mg s^{-1}
Ammoniumkvælstof (NH_3+NH_4^+ – N)	0,3 mg l^{-1}	0,4 mg l^{-1}	0,4 mg l^{-1}
	32 mg s^{-1}	106 mg s^{-1}	68 mg s^{-1}
Total kvælstof (TN)	0,6 mg l^{-1}	0,6 mg l^{-1}	0,6 mg l^{-1}
	65 mg s^{-1}	168 mg s^{-1}	102 mg s^{-1}
Total fosfor (TP)	0,05 mg l^{-1}	0,05 mg l^{-1}	0,05 mg l^{-1}
	5,4 mg s^{-1}	13,4 mg s^{-1}	8,5 mg s^{-1}

Der er stillet et vejledende krav om at iltkoncentrationen op- og nedstrøms dambruget skal være mindst 7 mg l^{-1}. Det er et krav at iltkoncentrationen altid skal være mindst 6 mg l^{-1}. Det er også et krav, at 50% af de daglige minimumsværdier ved såvel st. 20 som ved st. 600 skal være mindst 9 mg l^{-1}. Endelig er der et krav om at iltmætningsprocenten umiddelbart nedstrøms dambruget altid skal være mindst 70%.

Inden ombygningen af dambruget var det maksimalt tilladelige foderforbrug på Døstrup Dambrug 74 t/år fastsat efter dambrugsbekendtgørelsens retningslinier.

Miljøgodkendelsen fastsatte første års maksimale foderforbrug til 50 t/år, med mulighed for opskrivning af foderforbruget i det andet år af forsøgsperioden til de oprindelige 74 t/år.

Med baggrund i første års analyseprogram ansøgte dambruget i foråret 2001 om en regulering af foderforbruget. Udvidelsen af foderforbruget fra de 50 t/år til 74 t/år blev godkendt af amtet i slutningen af juni 2002.

Miljøgodkendelsen stiller også krav til en fordeling af den årlige tilladte fodermængde på 60% anvendt i sommerhalvåret og 40% i vinterhalvåret. Endvidere er der opstillet krav til maksimale foderkvotienter i de enkelte produktionssektioner. Kravene til foderkvotienter fremgår af tabel 2.2.

Tabel 2.2 Miljøgodkendelsens krav til foderkvotienter (kg foder pr. kg produceret fisk) i de enkelte produktionssektioner.

Sektion 1	< 0,70
Sektion 2	< 0,85
Sektion 3	< 0,90

I dambrugsbekendtgørelsen er kravet til foderkvotienten på 1,0. Kravet i den midlertidige miljøgodkendelse er således skærpet med 10 - 30% i forhold til dambrugsbekendtgørelsen.

2.2 Dambrugets drift og produktion

Produktionsdata, herunder fodring og tilvækst, indsamles og lagres i dambrugets driftsstyringsprogram og består af beregnede og målte værdier. Til driftsstyringen er D-Journal programmet blevet anskaffet til projektet. Individvægten af fiskene beregnes således først og kontrolleres derefter ved prøvevejninger eller udfiskning af de enkelte kummer. Herefter korrigeres de beregningsmæssige forudsætninger i programmet. Tabel 2.3 er genereret på baggrund af udskrifter fra D-Journal programmet.

Tabel 2.3 Produktionsdata for fase 2 ,3 og 4 fordelt på de enkelte sektioner. FK = foderkvotient inklusiv døde fisk. År 1: 5. april 2000 – 4. april 2001. År 2: 5. april 2001 – 4. april 2002.

	Foderforbrug i kg	Produktion inkl. døde fisk kg	Døde fisk kg	FK	FK jv. miljøgodkendelse	Bestand i kg og g/stk. Min.	Mid.	Maks.	Gens. tæthed i kg/m^3	Recirkuleringsgrad i %	Omsætningshastighed ud fra gens. bestand
Sektion 1											
År 1	14.171	17.015	707	0,833	< 0,7	1.125:	5.332:	18.196	21,7	40,8	3,19
År 2	14.852	17.331	376	0,857		0 :	4655:	7900	18,9	33,5	3,72
År 1 + år 2	29.022	34.346	1.082	0,844							
G/stk. år 1 + år 2						3,5 g:	12,7g:	35,2 g			
Sektion 2											
År 1	21.821	26.742	979	0,816	< 0,85	2.972:	7.734:	12.684	29,4	70,6	3,46
År 2	27.124	32.417	365	0,837		6.096:	12446:	19.087	47,3	71,0	2,61
År 1 + år 2	48.945	59.159	1.344	0,827							
G/stk. år 1 + år 2						18,4 g:	61,5 g:	148,7 g			
Sektion 3											
År 1	15.178	17.826	310	0,851	< 0,9	1.000:	5.551:	14.660	17,9	79,5	3,21
År 2	23.358	26.220	289	0,891		4.365:	9.623:	15.695	31,0	80,9	2,73
År 1 + år 2	38.536	44.046	599	0,875							
G/stk. år 1 + år 2						11,5 g:	118,3 g:	471,5 g			
Sek. 1, 2 & 3											
År 1	51.170	61.583	1.996	0,831			18.617		22,7	79,5	3,31
År 2	65.333	75.968	1.031	0,860			26.724		32,6	80,9	2,84
År 1 + år 2	116.504	137.550	3.027	0,847			23.348		28,5		2,94

For at tilnærme driften en normal driftssituation med den givne fodertildeling, har projektgruppen valgt kun at besætte en del af kummerne med fisk. Det har medført at især ved minimums- og middelbesætning af dambruget, har flere kummer i de enkelte sektioner ikke været i anvendelse, mens de fleste kummer har været i drift ved maksimal besætning. Den maksimale bestand har for hele anlægget været

på 34.696 kg beregnet som: (start bestand + slutbestand) divideret med 2 svarende til ca. 42 kg fisk pr. m^3. I det første måleår (april 2000 – april 2001) har der i middel været en stående bestand på 18.617 kg fisk. I det andet måleår (april 2001 – april 2002) har middelbestanden været 26.724 kg. En række produktionsdata er gengivet i tabel 2.3.

Fodringen styres af fiskestørrelse og vandtemperatur ved at der anføres en ønsket udfodringsprocent, som defineres af driftslederen under hensyntagen til de eksisterende fodertabeller, der er udarbejdet med baggrund i vækstmodellerne for regnbueørred (*From & Rasmussen, 1984*; *Rasmussen & From, 1991*). Ud fra disse variable er der dagligt udarbejdet en vejledende foderplan.

Størrelsessammensætningen har som følge af en forsinket opstart af projektet afveget fra det oprindeligt planlagte. Miljøgodkendelsens vejledende krav til foderkoefficienterne er overholdt for sektion 2 & 3. Foderkoefficienten i sektion 1 er meget afhængig af hvilken størrelse fisk der anvendes. Fiskene i sektion 1 har gennemsnitligt været en del større end forudsat, hvilket giver en højere foderkoefficienten i sektion 1 end Miljøgodkendelsens vejledende krav.

Miljøgodkendelsens krav på fordeling af foderet som 60% i sommerhalvåret og 40 % i vinterhalvåret er overholdt i både år 1 og 2. Den 14. maj 2001 blev foderforbruget reguleret med henblik på at ramme det ansøgte foderforbrug på 74 t/år, reguleringen udgjorde ca. + 33 kg foder på dagsbasis.

2.3 Foderforbrug: kvalitet, teoretisk produktionsbidrag

Der har været anvendt tre typer foder i det første måleår på dambruget, alle produceret af Dana Feed. Fordelingen mellem fodertyperne fremgår af tabel 2.4.

Dambrugsbekendtgørelsen opstiller krav om et maksimalt indhold af kvælstof og fosfor i de anvendte fodertyper med baggrund i ønsket om at mindske miljøbelastningen. De generelle krav til foderstoffer tager udgangspunkt i at sikre de ernæringsmæssige behov hos de dyr foderet er lavet til.

Produktionen af foderstoffer til fisk er primært baseret på marine råvare, hvorved den færdige foderblanding afspejler de naturlige svingninger i råvaresammensætningen, der for fiskefoder primært er industrifiskearter.

Medio forsøgsprojektets første år blev der indført et forbud mod anvendelse af benmel i foderstoffer, hvilket gav anledning til en ændret sammensætning af fiskefoderet. Fodertyperne der har været anvendt på Døstrup Dambrug under forsøgsprojektet, har dog ved alle leverancer overholdt foderstoflovgivningens kontrolkrav for kvælstof og fosfor.

Tabel 2.4 Anvendte fodertyper (Dana Feed). Typebetegnelsen på foderet refererer til fedt/proteinbalancen, dvs. at i type 16/56 kommer 16% af vægten fra fedt og 56% af vægten fra protein. År 1: 05/04/2000 – 04/04/2001. År 2: 05/04/2001 – 03/04/2002. I forbindelse med standardafvigelsen (Std. afv.) er angivet n som er antallet af batchanalyser.

Type	Pille størrelser	Mængde i kg	Vægt % kvælstof	Vægt % fosfor	Indhold af TN i kg	Indhold af TP i kg
År 1.						
16/56	GR1,3 – 1,8	10.400	8,89	1,51	924	157
Std.afv./n			*0,307/19*	*0,075/19*		
30/45[a]	2, 3 & 4 mm	27.125	7,41	1,09	2.011	297
Std.afv./n			*0,159/21*	*0,075/21*		
30/44	2, 3 & 4 mm	13.645	7,03	0,99	984	138
Std.afv./n			*0,303/5*	*0,030/5*		
I alt		*51.170*			3.919	592
År 2.						
16/56	GR1,3 – 1,8	1.691	8,77	1,58	148	27
Std.afv./n			*0,1/3*	*0,1/3*		
19/46	1,5 mm	6.463	7,90	1,47	511	95
Std.afv./n			*0,2/5*	*0,04/5*		
30/44	2, 3 & 4 mm	57.179	7,18	0,99	4.105	566
Std.afv./n			*0,19/28*	*0,07/28*		
I alt		*65.333*			4.765	688

[a]: indeholder blodmel.

Det gennemsnittelige indhold af kvælstof har i år 1 været 7,66% kvælstof og 1,16% fosfor. I år 2 har det gennemsnittelige indhold været 7,29 % kvælstof og 1,05% fosfor, hvoraf ses at især fosforindholdet i år 2 i gennemsnit har været noget lavere end i år 1.

Foderkvotienten
Foderkvotienten (FK) var som gennemsnit på landsplan i 2001 0,95, baseret på indberetningerne til amterne fra ferskvandsdambrugene. Foderkvotienten er påvirket af flere forskellige faktorer herunder fiskestørrelse, temperatur samt arvelige egenskaber. Foderkvotienterne der er opnået under forsøgsprojektet viser en samlet foderkvotient for alle 3 sektioner for hele forsøgsperioden på 0,847, hvilket er sammenlignelig med foderkvotienten på landsplan.

Omsætningshastighed
Omsætningshastigheden beregnes som den gennemsnitlige stående bestand divideret med den årlige produktion i den specifikke sektion. Tallet er et udtryk for størrelsen af tilvæksten. Den gennemsnitlige omsætningshastighed på landsplan ligger omkring 2,5 – 3.

Recirkuleringen i de enkelte sektioner
Recirkuleringsgraden er i tabel 2.5 beregnet for år 1 og år 2 i de enkelte sektioner ud fra gennemsnittet af vandføringsmålinger i de tre sektionerne som:

$$\left(1 - \frac{Vandindtag}{Flow\ i\ sektion}\right) \cdot 100\%$$

Tabel 2.5 Beregninger af recirkuleringsgrader ud fra gennemsnitlige flowmålinger.

	Sektion 1	Sektion 2	Sektion 3	Total
År 1:				
Totalt vandflow l/s	174	176	153	503
Vandindtag St. 020 + 030 l/s	103			
Recirkulation l/s	71	73	50	
Recirkulation %	41	41	33	
Samlet recirkulationsgrad				80
År 2:				
Totalt vandflow l/s	155	200	185	540
Vandindtag St. 020 + 030 l/s	103			
Recirkulation l/s	52	97	82	
Recirkulation %	34	49	44	
Samlet recirkulationsgrad				81

2.4 Medicin og hjælpestoffer

Der er udelukkende udsat vaccinerede fisk i produktionsanlægget, hvilket var opstillet som vilkår i Miljøgodkendelsen. Det har dog i løbet af den 2-årige forsøgsperioden været nødvendigt at behandle i sektion 1 og 2 for ERM (rødmundssyge) som der vaccineres mod. I sektion 1 er der behandlet to gange mod YDS (yngel dødelighedssyndrom) som der ikke for nuværende kan vaccineres mod.

Det har også været nødvendigt at behandle for hudsnyltere og bakteriel gælleinfektion i alle tre sektioner.

En samlet oversigt over sygdomme og behandling fremgår af tabel 2.6 og 2.7.

Tabel 2.6 Anvendt medicin og hjælpestoffer i perioden april 2000 til april 2002. ERM = rødmundssyge. YDS = yngel dødelighedssyndrom.

Medikament	Behandlet mod	Anvendt mængde
Branzil	ERM	1140 g aktivt stof i foderet
Florfenicol	YDS	160 g aktivt stof i foderet
Kloramin-T	Bakteriel gælleinfektion	650 mg Kloramin-T
Formalin 24%	Hudsnyltere	124 l fordelt over 3 behandlinger
Detarox	Hudsnyltere	36 l

Tabel 2.7 Anvendelse af medicin og hjælpestoffer på kummeniveau for perioden april 2000 til april 2002.

Periode	Kumme nr.	Behandlet mod	Medikament	Anvendt mængde
19/04/00-26/04/00	18 - 40	ERM	Oxolinsyre (Branzil)	240 g
27/04/00	20 - 26	Bakteriel gælleinfektion	Kloramin-T	650 mg
01/05/00-08/05/00	18 - 40	YDS	Florfenicol	160 g
14/05/00	18 - 40	Hudsnyltere	24% formalin	46 l
20/06/00	9 - 16	Hudsnyltere	24% formalin	18 l
27/07/00	9 - 40	Hudsnyltere	24% formalin	60 l
16/08/00 & 18/08/00	12 - 40	Hudsnyltere	Detarox	36 l
24/09/00 – 29/09/00	18 - 40	ERM	Oxolinsyre (Branzil)	900 g
17/11/00	0 – 40	Hudsnyltere	Detarox	14 l
07/05/01 – 17/05/01	14 -23	YDS	Florfenicol	70 g
05/06/01 – 08/06/01	14 -23	Hudsnyltere	Detarox	6,4 l
02/07/01 – 03/07/01	24 - 30	Hudsnyltere	Detarox	6 l
13/07/01	1 - 40	Hudsnyltere	Detarox	10 l
31/08/01	1 - 40	Gælleinfektion	Divosan	12 l

Detarox som er en vandig opløsning af brintoverilte (H_2O_2) og eddikeperoxydsyre fungerer som oxidationsmiddel. Der var ikke i den oprindelige godkendelse givet tilladelse til brug af dette stof, men tilladelse er efterfølgende indhentet ved godkendelsesmyndigheden. Erfaringerne med Detarox har været så gode, at der ikke har været anvendt Formalin eller kloramin-T til behandling af hudsnyltere og gælleinfektion efterfølgende.

En sammenligning af forbruget af medicin og hjælpestoffer mellem forsøgsperioden og tidligere driftsperioder er vanskeligt og ikke umiddelbart muligt, da produktionstype og produktionsvilkår herunder vandkvalitet, klima og anvendte fiskestammer på dambruget er dårligt beskrevne for det tidligere dambrug. Generelt kan det konstateres at der er en tendens til et faldende forbrug af medicin og hjælpestoffer ved en stabilisering af de interne miljøforhold og en stringent driftsstyring. Denne tendens ses også på Døstrup Dambrug specielt i andet år af forsøgsprojektet, hvor der i sidste halvår af forsøgsperioden ikke er anvendt medicin og hjælpestoffer.

2.5 Energiforbrug

Energiforbruget til kapselblæser og pumpen til omfangsdrænet er løbende blevet målt. For det øvrige driftsmateriel er driftstiden ret kortvarigt og af et sådant omfang, at det ingen betydning har for det samlede forbrug. Forbruget er derfor opgjort som:

<u>År 1. 05/04/2000 – 04/04/2001</u>	
Kapselblæser	127.020 kWh
Pumpe til omfangsdræn	13.140 kWh
Total	140.160 kWh ≈ 2,28 kWh/kg fisk

<u>År 2. 05/04/2001 – 03/04/2002</u>	
Kapselblæser	131.400 kWh
Pumpe til omfangsdræn	13.140 kWh
Total	144.540 kWh ≈ 1,9 kWh/kg fisk

Det højere energiforbrug første år af forsøgsprojektet skal ses som udtryk for at dimensioneringen af kapselblæserne på dambruget er sket ud fra en optimal energiudnyttelse ved en produktion på ca. 125 t/år. En lavere produktion end den dimensionerede giver således ikke optimal udnyttelse af driftsmateriellet, hvilket har medført at energiforbruget er 15 - 20% større end det ville have været, såfremt kapselblæserne og tilhørende frekvensomformere havde været dimensioneret til den produktion, der er realiseret under forsøget.

3 Vandføringer og klimatiske forhold

Vandføringen er en essentiel parameter i beregningen af vand- og stofbalancer over Døstrup Dambrug. Kvantificeringen af vandføringen er derfor tillagt stor bevågenhed for at opnå maksimal datakvalitet og -sikkerhed på denne grundlæggende parameter. For at bestemme vandmængder forskellige steder i dambruget er der opsat vandstandsmålere, der kontinuerligt registrerer vandstanden. En til tre gange om måneden er der foretaget manuelle vandføringsmålinger på disse stationer (tabel 1.2).

3.1 Vandstand og vandføring

Vandstanden (H) måles ved brug af en tryktransducer hvor målt tryk omsættes til en vandstand. Vandstanden registreres som en øjebliksvandstand hvert 10. minut. Ved den efterfølgende databehandling kontrolleres de registrerede vandstandsserier ved at sammenligne de registreret øjebliksvandstande med manuelt aflæste vandstandsmålinger en gang om ugen. Er der forskel justeres målingerne.

Vandføringen (Q) er den mængde vand der pr. tidsenhed passerer et givet tværsnitsareal vinkelret på vandstrømningens retning. Vandføringen er målt med et vingeinstrument, hvor antallet af omdrejninger en propel drejer i løbet af 30 sek. omsættes til en hastighed i det målte punkt. Der måles typisk fra 12 til 40 punkter i et profil på tværs af vandets strømning. Vandføringen er opgivet i l s^{-1}. Fra marts 2000 til april 2002 er der foretaget mellem 30 og 45 enkelte vandføringsmålinger pr. station (tabel 3.1). Normalt regnes der med en usikkerhed på 5-10% for den enkelte vandføringsmåling i et tværprofil i naturlige vandløb afhængig af givne forhold (*Rantz, 1982*). Hovedparten af målestationerne på Døstrup Dambrug har et fast måletværsnit ved måling i render støbt i beton eller lavet i støbejern. Der er desuden ikke påvirkning af grøde eller sandvandring. Det betyder at usikkerheden for en vandføringsmålinger højest er 5%. Denne vurdering understøttes af en sammenligning af vandføringer udført meget detaljeret (mange målepunkter) med vandføringer efter den måleprocedure (antal målepunkter) som der bruges på de enkelte vandføringsstationer på Døstrup Dambrug.

Tabel 3.1. Gennemsnitlig afvigelser (%) mellem målte- og beregnede vandføringer for forsøgsperioden 4. april 2000 – 3. april 2002.

Station	10	20	90	400	510	520	530	600
Antal observationer	34	45	30	34	36	36	36	32
Afvigelse mellem målt-beregnet vandføringer	4%	9%	3%	5%	5%	6%	5%	2%

3.2 Vandføringsserier, herunder medianminimum

QH-relationen er betegnelsen for sammenhængen mellem vandføringen (Q) og vandstanden (H) for en målestation i et givet tværprofil. QH-relationer for hver enkelt station på Døstrup Dambrug er etableret ved brug af vandføringsberegningsprogrammet Hymer, som er udviklet af Hedeselskab A/S (*Hymer*). Ved hjælp af QH-relationen omregnes den enkelte stations vandstandsserie til en vandføringsserie med øjebliksværdier (l s^{-1}) for hvert 10. minut (kontinuert tidsserie). Fra disse tidsserier af øjebliksvandføringer beregnes døgnmiddel- og ugemiddelvandføring som anvendes i beregningerne af stoftransport og –balance (kap. 4 og 9). Usikkerheden på de enkelte vandføringsserier af døgnmiddelværdier er beregnet til 6%.

Den oppumpede mængde grundvand, som tilføres produktionsanlægget ved st. 30 måles med et kvalitets grundvandsur, der har en opgivet usikkerhed på 2%.

Til at undersøge kvaliteten af de beregnede vandføringsserier sammenlignes de målte vandføringer med de tilsvarende beregnede øjebliksvandføringer. Gennemsnittet af de numeriske procentuelle afvigelser for de enkelte målestationer i tabel 3.1 er beregnet efter formlen:

$$\%\ \text{afvig.} = \frac{\sum_{i=1}^{n} 100 \left| \frac{x_{målt} \div x_{beregnet}}{x_{målt}} \right|}{n}$$

hvor,

% afvig. = gennemsnitlige afvigelse i % mellem målte og beregnede vandføringer for en station

n = antal observationer

$x_{målt}$ = målt vandføring (l s^{-1})

$x_{beregnet}$ = beregnet vandføring (l s^{-1}).

De gennemsnitlige afvigelser mellem de målte- og beregnede vandføringer er 2 til 9% afhængig af målestation (tabel 3.1). Det vurderes som et tilfredsstillende resultat, da alle stationer med undtagelse af st. 20 ligger indenfor den samlede måleusikkerhed på 8% beregnet efter:

$$\sigma_{samlet} = \sqrt{\sigma^2_{målt\ vandføring} + \sigma^2_{beregnet\ vandføring}}$$

hvor

σ_{samlet} = den samlede måleusikkerhed i procent mellem den målt vandføring

$\sigma_{målt\ vandføring}$ = usikkerheden på målt vandføring, som er 5%

$\sigma_{beregnet\ vandføring}$ = usikkerhed på beregnet vandføring, som er 6%.

Beregning af st. 20's vandføringsserie

Vandindtaget til dambruget fra Døstrup Bæk (st. 20) indgår i stofbalanceberegningen på Døstrup Dambrug (kap. 4 og 9) så kvaliteten af stationens vandføringsserie er derfor vigtig. Den fysiske placeringen

af st. 20 betyder at det ikke umiddelbart er muligt at etablere en god relation mellem vandstand og vandføring. Det skyldes grundvandstilførslen nedstrøms station 20 (figur 1.2) stuver og også skaber hvirvelstrømninger som periodisk påvirker målingerne i måleprofilet ved station 20 og dermed også de enkelte vandføringsmålinger. Længden af kanalen til vandindtagets gør det ikke muligt at flytte stationen til et bedre måleprofil. Da produktionsanlægget er et lukket system vil mængden af vand ud af produktionsanlægget (st. 400) være lig med vand indtaget, dvs. st. 20 + st. 30. Station 20's vandføringsserie etableres derfor ud fra st. 400 (udløbet fra produktionsenheden) minus st. 30 (det oppumpede grundvand som tilledes produktionsanlægget). Afvigelsen mellem st. 20's målte- og beregnede vandføringer er bestemt til 9% (se tabel 3.1). Da den samlede måleusikkerhed fra en vandføringsserie og enkelte vandføringsmålinger er bestemt til 8% er afvigelsen mellem målte og beregnede vandføringer overordnet set tilfredsstillende. Ved at trække beregnede vandføringer ved st. 90 fra de tilsvarende vandføringer ved st. 10 kan der også ske en kontrol af vandføringen ved st. 20. Dette giver en gennemsnitlig afvigelse på 14%. Afvigelsen er højere end ved beregningen af st. 20 ud fra st. 400 og st. 30, hvilket bl.a. skyldes at vandføringen ved st. 10 numerisk er 2½ gange større end ved st. 400 samt at usikkerheden på grundvandstilførsler ved station 30 kun er 2%. Derfor vil den absolutte vandføringsusikkerhed også blive større og dermed også give en relativ (procentuel) større forskel mellem de beregnede (st. 10 minus st. 90) og de målte vandføringer for st. 20.

Vandforbrug i Døstrup Dambrug og medianminimum i Døstrup Bæk

Ved st. 10 måles vandføringen i Døstrup Bæk før indtaget til dambruget. Grundet påvirkning af st. 10's vandstandsregistreringer fra det stemmeværk, der sikrer et næsten konstant vandindtag til dambruget (st. 20) etableres st. 10's vandføringsserie ud fra en sammenhæng mellem vandføringerne (en QQ-relation) ved st. 10 og st. 600. Dette kan være en medvirkende årsag til den større usikkerhed ved sammenligning af st. 90 minus st. 10 med st. 20 end ved at sammenligne st. 400 minus st. 30 med st. 20. Der er en signifikant sammenhæng (korrelations koefficient - r = 0,95, konfidensniveau $P < 0,01$) mellem 30 samtidige vandføringsmålinger (synkronmålinger) for de to stationer 10 og 600.

Den gennemsnitlige vandføring i Døstrup Bæk har været 246 l s^{-1} (min. 171 l s^{-1} og max. 489 l s^{-1}) for måleperioden april 2000 til april 2002 (figur 3.1). Der er i gennemsnit taget 31% (min. 11% og max. 59%) svarende til 76 l s^{-1} af vandet i Døstrup Bæk til produktion i dambruget. I gennemsnit er der oppumpet 26 l s^{-1} (min. 22 l s^{-1} og max. 38 l s^{-1}) grundvand. Sammenlagt har grundvandsindtaget i 63 dage af forsøgsperiodens to år været større end de tilladte maksimal grundvandsindtag på 27,7 l s^{-1} jvf. Miljøklagenævnets afgørelse. Overskridelsen er i gennemsnit på 1,8 l s^{-1} (varierende mellem 0,1 l s^{-1} og 9,8 l s^{-1}). De største overskridelser på over 5 l s^{-1} i forhold til det tilladte maksimale grundvandsindtag forekommer på 5 dage hvor der har været klimatiske eller medicineringsmæssige begrundelser for et kortvarigt højere grundvandsindtag.

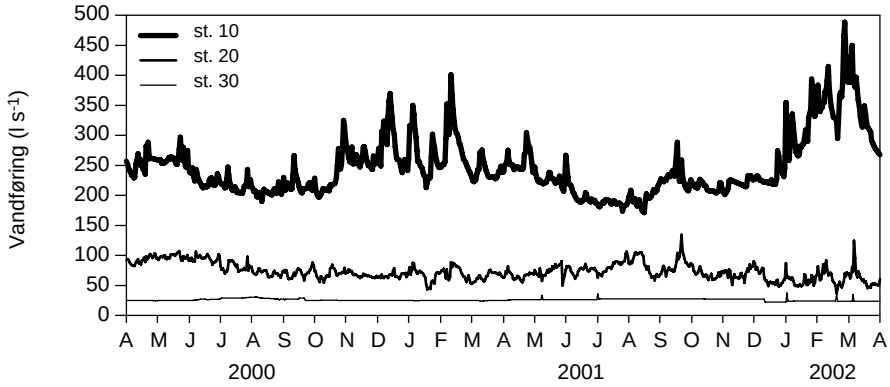


Fig. 3.1 Vandindtag fra Døstrup Bæk (st. 20) til Døstrup Dambrug sammen med indtag af grundvand (st. 30) og vandføring i Døstrup Bæk opstrøms Døstrup Dambrug (st. 10).

Medianminimum for Døstrup Bæk ved st. 10 lige opstrøms Døstrup Dambrug er under forsøgsprojektet bestemt ved brug af referencestationen Simested Å (st. 17.3 og 17.05) med en samlet vandføringsserie på 28 år. De to vandføringsstationer ligger i samme vandløbssystem, Simested Å med et opland på 230 km^2 og Døstrup Bæk som et opstrøms tilløb med et opland på 27 km^2. Døstrup Bæk st. 10 har en vandføringsserie på knap 4 år (DMU startede målinger i 1998). Daglig middelvandføring for de to stationer har en statistisk signifikant sammenhæng ($r = 0{,}75$, $P < 0{,}01$) for perioden juli 1998 til april 2002. Den relativ moderate korrelation ($r = 0{,}75$) skyldes at vandføringen i Døstrup Bæk er mere grundvandspræget end i Simested Å. Fire årsminima i Døstrup Bæk er fundet for de fire måleår (1998, 1999, 2000 og 2001) og disse er korreleret med de tilsvarende minimumsvandføringer i Simested Å. Forholdet mellem den årlige arealspecifikke minimumsvandføring i l s^{-1} km^{-2} (vandføringen opgjort per km^2 opland) for Simested Å og Døstrup Bæk er henholdsvis 77, 78, 79 og 83% for de fire år eller i gennemsnit 79%. Simested Å's median minimum er 7,0 l s^{-1} km^{-2} baseret på en vandføringstidsserie på 28 år. Ved at bruge det gennemsnitlige forhold på 79% mellem de to vandløbs minimumsvandføring kan medianminimum baseret på 28 års vandføringsserie fra Simested Å bruges til at bestemme medianminimum for Døstrup Bæk ved st. 10 til 5,5 l s^{-1} km^{-2} som svarer til 149 l s^{-1}.

Recirkulation i produktionsanlægget

De tre sektioner i produktionsafsnittene er serieforbundet og hver sektion har egen justerbare installation til vandrecirkulation (kapitel 1.3). Der er statistisk signifikant sammenhæng ($r = 0{,}7 – 0{,}8$, $P < 0{,}01$) mellem vandføringsmålinger i fødekanalen og vandstanden i beluftningskassen.

Vandføringsserierne for hver af de tre sektioners fødekanaler er etableret udfra kontinuerlige vandstandsregistreringer i den enkelte sektions beluftningskasse og vandføringsmålinger i fødekanalen (tabel 3.2). De beregnede vandføringer afviger gennemsnitlig 7% fra de målte vandføringer, hvilket er et ganske tilfredsstillende resultat under de givne forhold.

Recirkulationen er den mængde vand der genbruges i de enkelte sektioner og defineres som vandvolumen i sektionens fødekanal minus vandvolumen der tages ind på dambruget (st. 20 + 30).

Variationer i recirkuleringen er udtryk for forskellige tiltag som 100% recirkulation ved brug af medicin, nedkøling af fiskene på ekstrem varme sommerdage, ingen recirkulation i perioder hvor der ikke er fisk i en sektion etc. Ved at recirkulere vandet opnås der også en forøgelse af iltkoncentrationen i vandet (kap. 7).

Tabel 3.2. Gennemsnitlig vandføring (l s^{-1}) ± standardafvigelsen, minimum og maksimum vandføringer for fødekanalerne i de tre sektioner i produktionsanlægget for statusperioden 5. april 2000 – 3. april 2002 samt de gennemsnitlige, minimale og maksimale recirkulerede vandføringer gennem beluftningskasserne i de enkelte sektioner. Recirkuleringen er også beregnet som recirkuleringsgrad der definers som: ((vandvolumen i fødekanalen – indtaget vandvolumen i produktionssektionen) / vandvolumen i fødekanalen) * 100, og er en dimensionsløs størrelse.

	Sektion	1 l s^{-1}	2 l s^{-1}	3 l s^{-1}
Fødekanal	vandføring	165	188	169
	standardafvigelse	±31	±19	±35
	minimum / maksimum	70 / 230	145 / 243	52 / 247
Recirkulering	vandføring	66	84	71
	minimum / maksimum	0 / 140	21 / 160	0 / 159
	recirkuleringsgrad	40	47	42

3.3 Vandbalanceusikkerhed

Ved "samlede udledte stofmængder fra dambruget" (kap. 4 og 9) forstås den samlede stofmængde i udløbene fra de tre plantelagunesystemer før iltning (summen af st. 510, 520 og 530) minus summen af den samlede stofmængde i vandindtaget som er indtaget åvand (st. 20) og oppumpet grundvand (st. 30). I vandbalancen, der bruges i beregningen af de samlede udledte stofmængde, indgår således fem forskellige vandføringsstationer, hvor den teoretiske usikkerhed fra hver enkelt vandføringsserie er 6% for st. 20, 510, 520 og 530 samt 2% for st. 30, der er oppumpet grundvand. Den samlede måleusikkerhed for vandbalancen beregnes efter følgende formel:

$$X\ (l\ s^{-1}) = \sqrt{\sigma_{st.20}^2 + \sigma_{st.30}^2 + \sigma_{st.510}^2 + \sigma_{st.520}^2 + \sigma_{st.530}^2}$$

hvor X er den samlede usikkerhed på vandbalancen i l s^{-1} og σ er usikkerhed i l s^{-1} på den enkelte stations gennemsnitlige vandføring i perioden april 2000 til april 2002.

Usikkerheden på den samlede vandbalance grundet måle- og beregningsusikkerhed bliver i gennemsnit 7 l s^{-1}. Vandbalancen for sum-

men af st. 510, 520 og 530 minus summen af vandindtaget af åvand (st. 20) og oppumpet grundvand (st. 30) ses i figur 3.2. I en periode (juli – november 2001) var tryktransducerer ved st. 400 ustabil, således at vandføringen ved st. 20 er blevet afstemt ift. vandbalancen. Det betyder, at balancen i denne periode bliver 0. I 67 % af tiden er vandbalancen afstemt inden for måleusikkerheden. Når den afstemte vandbalance ligger udenfor måleusikkerheden så er den gennemsnitlige afvigelse på mindre end 3 l s^{-1} (min. 0,02 l s^{-1} max. 19 l s^{-1}svarende til fra < 1% til 19% af den samlede vandbalance).

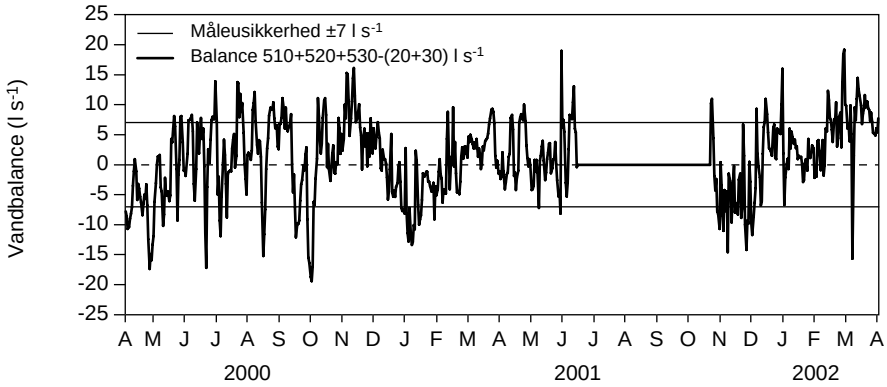


Fig. 3.2. Vandbalance (l s^{-1}): (st. 510 + 520 + 530) – (st. 20 + 30) for perioden april 2000 – april 2002.

Mellem st. 20 og 30 (indløbsvandet til dambruget) og til udløbsvandet fra de tre plantelagunerne (st. 510, 520 og 530) kommer der et mindre grundvandsbidrag ind i dambruget. At vandbalancen går fra negativ til positiv (figur 3.2) fra januar 2001 til april 2001 og fra november 2001 til april 2002 stemmer overens med et stigende grundvandsbidrag fra et stigende grundvandspejl i løbet af vinteren og foråret.

De vandføringsserier der bruges i udregningen af stofbalancerne (kap. 4 og 9), er afstemt for eventuelle afvigelser i den samlede vandføring mellem det vand der tages ind (summen af st. 20 og st. 30) i dambruget og det som løber ud af de tre laguner (summen af st. 510, 520 og 530). Vandføringen ind og ud af dambruget for en given tidsperiode (f.eks. et døgn eller en uge) skal være den samme for at beregningerne af stofbalancen over dambruget ikke påvirkes af ændringer i vandvolumen over dambruget. Hvis summen af vandføringer ved stationerne 510, 520 og 530 er større end summen ved st. 20 og st. 30 bruges den halve forskel til at trække lige store mængder (1/3 til hver station) vand fra de tre stationer 510, 520 og 530, mens den anden halvdel af vandbalancedifferencen lægges til st. 20 og st. 30 fordelt med henholdsvis ¾ og ¼. Ved denne fremgangsmåde er der etableret en procedure, der sikrer at eventuelle differencer i dambrugets vandbalancer ikke får betydning når stofmængder ved de forskellige stationer skal sammenholdes i forbindelse med stoffluxe over dambrugets enheder (kapitel 4) samt ved den statistiske analyse af overholdelse af udlederkrav (kapitel 9).

3.4 Klimatiske forhold i undersøgelsesperioden

Gennem hele forsøgsperioden er der målt klimatiske parametre som bl.a. global indstråling, lufttemperatur, vandtemperatur og nedbør (tabel 3.3). De er i denne rapport præsenteret på baggrund af døgnmiddelværdier der er lavet på basis af 10 minutters værdier over det pågældende døgn.

Tabel 3.3 Klimatiske forhold på Døstrup Dambrug under forsøgsperioden april 2000 – april 2002. Værdierne i tabel 3.3 er baseret på døgnmiddelværdier og præsenteret som gennemsnit ± standardafvigelsen samt som minimum og maksimum for pågældende periode af døgnmiddelværdier. Nedbør er dog periodesum under gennemsnit.

	april 2000 – april 2001			april 2001 – april 2002		
	gns.	min.	maks.	gns	min.	maks.
Global indstråling (kJ m^{-2})	98,4 ± 89,8	2,1	330,4	102,6 ± 91,9	1,4	327,0
Vandtemperatur (Cº)	9,0 ± 4,1	1,5	17,9	8,9 ± 4,5	0,7	17,6
Lufttemperatur (Cº)	8,1 ± 6,0	-8,7	21,8	8,2 ± 6,1	-12,2	22,4
Nedbør (mm)	618	0	22	774	0	38

Begge måleår har været præget af temperaturer over normalen og relativ milde vintre. Nattefrosten kom meget sent i 2000, nemlig midt i december. Efteråret 2001 var mildt med en rekordvarm oktober. Både 2000 og 2001 var kun lidt vådere end normalt på landsplan med megen nedbør i september.

Den globale indstråling har en naturlig døgnlig variation og en årscyklus med højere indstråling om sommeren end om vinteren (figur 3.3). Den globale indstråling varierer mere i sommer halvåret i forhold til vinterhalvåret.

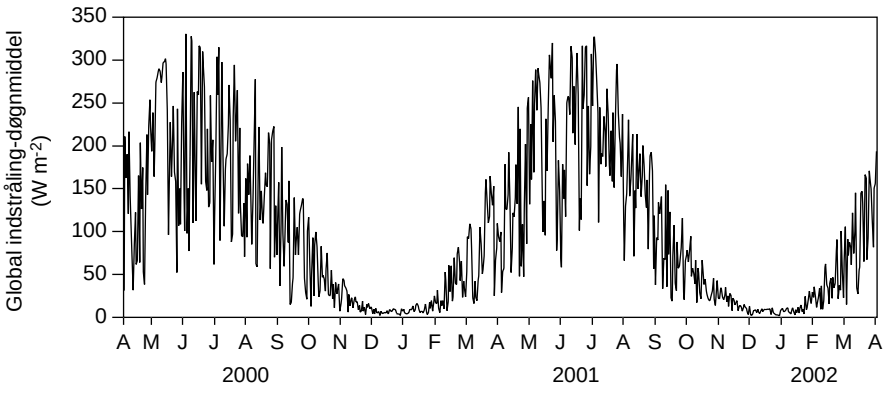


Fig. 3.3 Global indstråling ved Døstrup Dambrug (døgnmidler).

Årstidsvariationen for den globale indstråling genfindes i både luft- og vandtemperaturen (figur 3.4 og 3.5) som begge er direkte afhængig af indstrålingen: Både luft- og vandtemperaturen har en god

overensstemmende for de to perioder som forsøgsperioden er inddelt i (tabel 3.3).

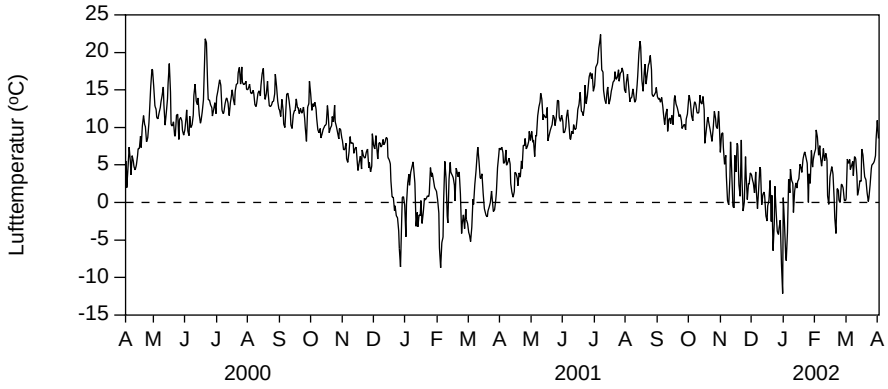


Fig. 3.4 Lufttemperatur ved Døstrup Dambrug (døgnmidler).

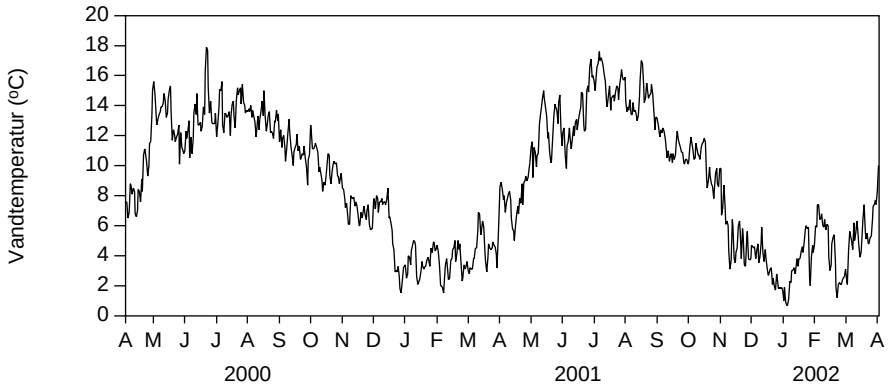


Fig. 3.5 Vandtemperatur i Døstrup Dambrug ved st. 210 (døgnmidler).

Den målte nedbør (i 1,5 m's højde) er for de to årsperioder april 2000 – april 2001 og april 2001 – april 2002 målt til henholdsvis 617 mm og 774 mm (tabel 3.3 og figur 3.6).

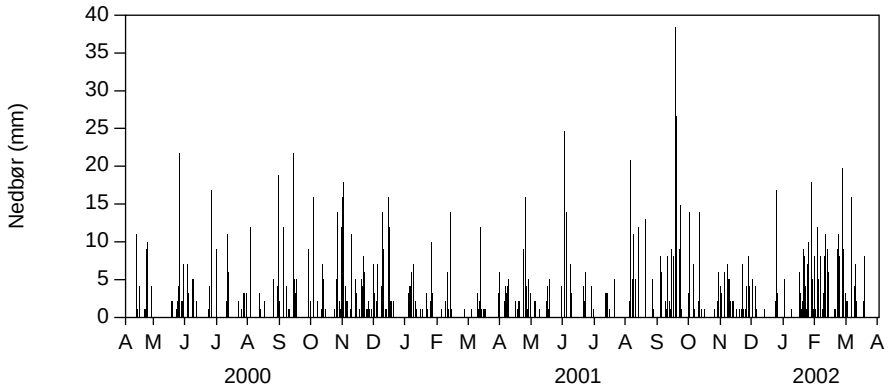


Fig. 3.6 Nedbør ved Døstrup Dambrug (døgnsum).

4 Kemiske analyser og massebalancer

4.1 Indledning

Dette kapitel omhandler kemiske analyser foretaget på Døstrup Dambrug i perioden april 2000 til april 2002. Koncentrationen af udvalgte parametre beskrives og der opstilles massebalancer for stoffluxe over de forskellige enheder Døstrup Dambrug består af og for hele Døstrup Dambrug.

Definition af perioder med forskellig fodertildeling

Fra starten af forsøgsprojektet i april 2000 var den årlige tilladte fodertildeling på 50 tons fordelt med 60% i sommerhalvåret (april – september) og 40% i vinterhalvåret (oktober – marts). Fra den 27. juni 2001 blev den tilladte årlige fodertildeling ændret til 74 tons stadig med en 60:40 fordeling mellem sommer og vinter. I praksis blev fodertildelingen gradvist øget fra 15. maj 2001 under hensyntagen til den tilladte fodertildeling. Det er i dette forsøgsprojekt væsentligt at sammenligne effekter af forskellige foderniveauer for bl.a. stofbalancer over dambrugets forskellige enheder, udledninger, overholdelse af udlederkrav m.v. Der er derfor lavet en række beregninger for to perioder på hver 46 uger, 17. maj 2000 – 4. april 2001 hvor den årlig tilladte fodertildeling var 50 tons, og 16. maj 2001 – 3. april 2002 hvor den årligt tilladte fodertildeling indtil 27. juni var 50 tons og herefter 74 tons. De to perioder vil efterfølgende blive omtalt som henholdsvis periode 1 og 2 (forkortet P1 og P2 i tabeller). Den faktisk anvendte fodermængde baseret på dambrugets D-Journal program er opgjort til henholdsvis 44.459 kg i periode 1 og 58.634 kg i periode 2. Dette svarer omregnet til 52 uger til henholdsvis 50.400 kg i periode 1 og 66.300 kg i periode 2. Der er således brugt 32% mere foder i periode 2 sammenlignet med periode 1.

Outliers

Der er udført knap 10.000 kemiske analyser på de vandprøver der gennem de to måleår er udtaget på hele dambruget. Det kan ikke undgås at der vil være nogle resultater, der er fejlbehæftet ud over den sædvanlige måle- og analyseusikkerhed. Fejlkilder kan være:

- fejl ved prøvetagning
- fejl ved prøvenummereringen
- fejl ved selve laboratorieanalysen
- fejl ved beregning af analyseresultatet
- fejl ved resultatindtastning på laboratoriet eller overførsel til analyseskemaet, der sendes til DMU
- fejl ved indtastning af resultater i database på DMU.

For at finde eventuelle fejlværdier i kemiresultaterne der kan henføres til ovenstående eventuelle fejlkilder, er der gennemført en systematisk feljsøgningsrutine. For et givent stof ved en given station er hver eneste enkeltværdi sammenlignet med de øvrige værdier for stoffet som er indsamlet over to hele måleår. Det vil sige at der generelt er kontrolleret 104 (2*52 uger) enkelte værdier for hvert enkelt

stof ved en station. Som regel er der nogle få store negative eller positive koncentrationer, såkaldte outliers. En koncentration x_i defineres til at være en outlier, hvis MNR-værdien (Maximal Normal Residual):

$$\text{MNR} = \frac{\left|x_i - \bar{x}\right|}{s * \sqrt{n-1}}$$

er større end 5% eller 1% signifikansniveauet, hvor x_i er koncentrationen, $\bar{x}$ er gennemsnitskoncentrationen, s er spredningen og n antal observationer (tabel A15 i *Larsen & Svendsen, 1998*).

MNR værdier større end 5% defineres herefter som outliers. En outlier er altså koncentrationsværdien af et enkelt stof i en vandprøve ved en målestation. De værdier der identificeres som outliers, kontrolleres for fejl ved indtastningen i forsøgsprojektets database i forhold til tilsendte resultatskemaer fra det laboratorium, der har udført alle de kemiske analyser. Hvis der ikke findes en fejl her kontrolleres outlieren i laboratoriets datajournaler for om der er sket en indtastningsfejl i laboratoriet, eller om der er sket fejl i beregninger af outlierens koncentration. Findes der stadig ikke nogen fejl ved ovenstående procedure vurderes outlieren herefter med de øvrige stoffer, der er målt i den pågældende stations vandprøve. Her anvendes tommelfingerregler som at ammonium-kvælstof eller nitrat hver for sig eller tilsammen ikke kan være større end total kvælstof, at orthofosfat skal være mindre end total fosfor, at glødetabet ikke må være større end suspenderet stof eller BI_5 osv. Der sammenlignes for en given prøve også om der er koncentrationer for flere stoffer, der er høje samtidigt, f.eks. suspenderet stof og fosfor. Endvidere undersøges koncentrationsforløbet af de målte stoffer på stationen. Ved brug af disse regler sammenholdes også med de forskellige stoffers koncentration på opstrøms og nedstrøms stationer. Hvis en outlierværdi stadig ikke kan forklares anses målingen som fejlagtig.

Hvis en koncentrationsværdi identificeres som en outlier og målinger er fejlagtig ændres værdien for den undersøgte uge til middelværdien for denne parameter af de øvrige kemimålinger for det pågældende stof for målestationen før videre beregninger gennemføres.

En analyse for outliers gav omkring 150 mistænkelig værdier. Af disse var ca. 100 indtastningsfejl mens omkring 50 værdier svarende til 5 promille vurderes til med stor sikkerhed at være usandsynlige og derfor er blevet erstattet med middelværdien af hele måleserien for det undersøgte stof på den pågældende målestation. En dataværdi kan dog godt stadig være fejlagtig selv om den ikke er identificeret som en outlier.

Koncentrationen for de kemiske parametre der efterfølgende bruges i dette kapitel og i kapitel 9 (brugt enten som koncentrationer eller som indgår i stofmængde- og massebalanceberegninger) er således baseret på koncentrationsdata, der er korrigeret for outliers som beskrevet ovenfor.

4.2 Koncentrationsudvikling af kemi variabler over Døstrup Dambrug

Der måles stofkoncentrationer (mg l^{-1}) i puljede døgnprøver for BI_5 og ammoniumkvælstof (NH_3+NH_4^+-N) og i ugepuljede prøver for total kvælstof (TN), nitrat-nitrit (NO_{23}-N), total fosfor (TP), orthofosfat (PO_4-P) glødetab og suspenderet stof (SS) (kap 1.3).

I de følgende afsnit gennemgås koncentrationsudviklingen for de stationer der indgår i kontrolberegningen (kapitel 9), som er indløbsvand ved st. 20 og 30 og udløbsvand ved st. 510, 520 og 530 fra de tre plantelaguner. Endvidere gennemgås koncentrationsudviklingen ved st. 400 som er udløbet fra produktionsanlægget og st. 450 som ligger nedstrøms bundfældningsbassinet men samtidigt er indløb til plantelagunerne (se afsnit 1.3 figur 1.1 og 1.2). Præsentation af koncentrationsudviklingen sker for alle de ovenfor omtalte kemivariable for perioden 5. april 2000 – 3. april 2002. I bilag 3 og 4 findes tabeller og figurer med bl.a. koncentrationen for balancer (st. 510 + 520 + 530) – (st. 20 + 30).

BI_5 er et mål for hvor meget organisk materiale der kan omsættes på 5 dage målt som et iltforbrug, og regnes dermed som et mål for let omsætteligt organisk stof.

BI_5 udledninger fra produktionsanlægget (st. 400) er større end de mængder der indtages med vandløbsvandet (st. 20) og grundvand (st. 30). I de første tre måneder april, maj og juni 2000 er der meget store variationer i BI_5-koncentrationen i udløbene fra de tre lagunesystemer (figur 4.1 og 4.2).

I denne periode er der en stor produktion af organisk materiale som trådalger i plantelagunerne, der i klumper driver ud af disse. Der produceres netto organisk stof i plantelagunerne i nogle af ugerne i projektets opstartsfase. Sammenfaldende med at der kommer markant flere planter i lagunerne i juni/juli, reduceres og stabiliseres udledningen af let omsætteligt organisk stof. Plantebiomassen bliver stadig større i sommeren 2000 (jvf. kapitel 8), mens mængden af trådalger reduceres. Det skal bemærkes at BI_5-koncentrationen fra september 2000 til februar 2001 er større i indløbsvandet ved st. 20 end ved udløbet af dambruget ved plantelagunerne (st. 510, 520 og 530). Samlet er der fra september 2000 til februar 2001 en netto tilbageholdelse af let omsætteligt organisk stof over hele dambruget. Fra februar 2001 er der en svag koncentrationsstigning i BI_5 der topper sidst i april 2001 både for indløbsvand (st. 20) og udløbsvandet (st. 510, 520 og 530). Herefter falder BI_5-koncentrationen i udløbsvandet fra plantelagunerne til et niveau mellem 2 – 3 mg l^{-1} som varer perioden ud fra juli 2001 til april 2002. Dog er der et par mindre udsving i plantelagunerne i sommeren 2001. Faldet i BI_5-koncentrationen i udløbsvandet er igen sammenfaldende med biomassens fremvækst i plantelagunerne.

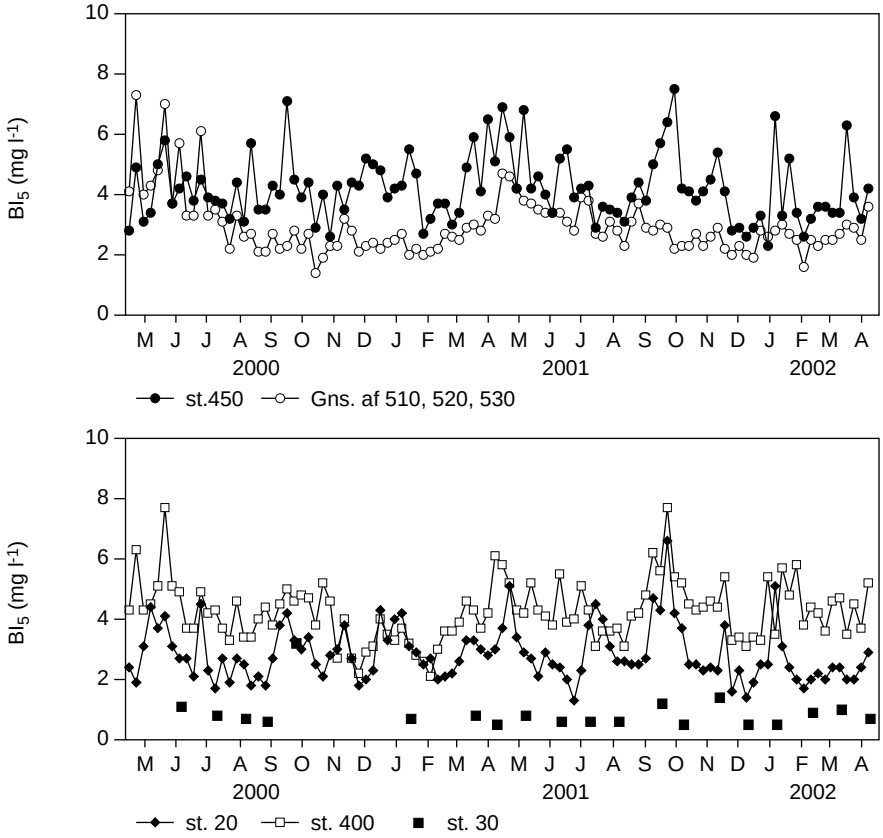


Fig. 4.1 BI_5-koncentration (mg l^{-1}) for perioden april 2000 – april 2002 for st. 20, 30, 400, 450 og som et gns. for de tre plantelaguner 510, 520 og 530.

Den gennemsnitlige BI_5-koncentrationsudvikling gennem dambruget samlet for hele forsøgsperioden viser at der er en betydelige lavere og mere stabil koncentration i grundvandet (st. 30) end i åvandet (st. 20) som begge tages ind på dambruget. Når vandet forlader produktionsanlægget (st. 400) er der en signifikant koncentrationsforøgelse mens koncentrationen igen falder gennem plantelagunerne (st. 510, 520 og 530) (figur 4.2). Der er en betydelig koncentrationsvariation over tid for alle målestationerne på nær i grundvandet, og variationen er størst i plantelagunerne.

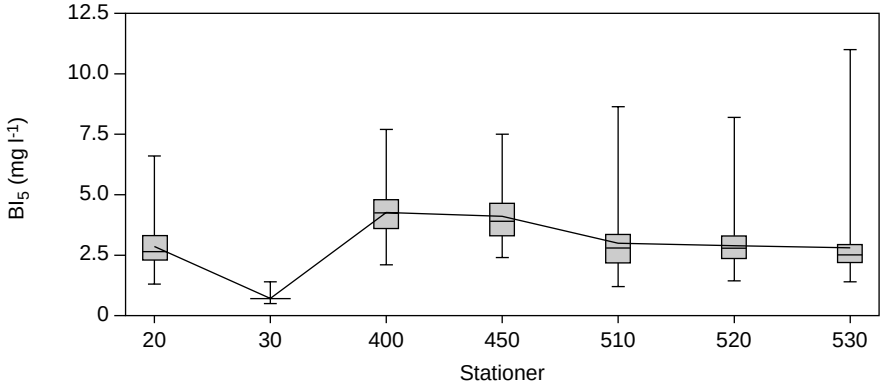
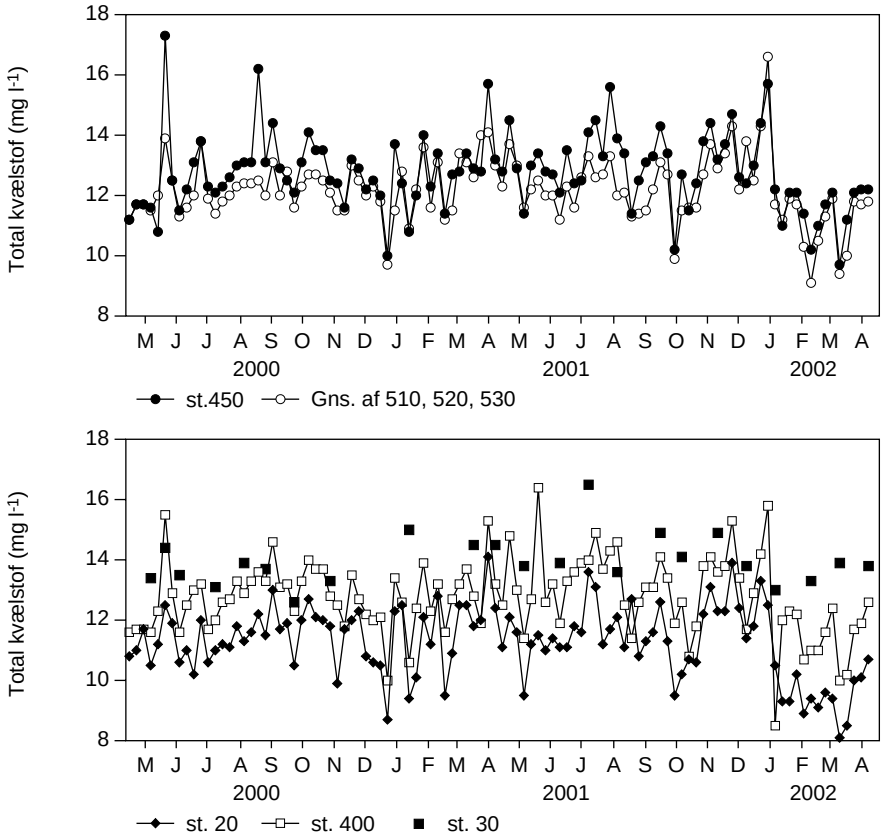


Fig. 4.2 BI_5-koncentration (mg l^{-1}) som et gennemsnit for perioden april 2000 – april 2002 for st. 20, 30, 400, 450 og de tre plantelaguner 510, 520 og 530. Box-whisker plots med angivelse af median (streg i box), gennemsnit (forbundet linie), 25 og 75 % fraktiler samt minimum og maksimum.

Total kvælstof (TN): Koncentrationen af total kvælstof er ca. 1 mg l^{-1} større i udløbsvandet (st. 510, 520 og 530) end i indløbsvandet (st. 20), mens indholdet af total kvælstof i det oppumpede grundvand (st. 30), der ledes ind i dambruget, er 1-2 mg l^{-1} højere end i udløbsvandet (figur 4.3 og 4.4). Der er en svag tendens til at koncentrationen ved alle stationer stiger fra april til september 2000, mens dette mønster er mindre tydeligt i samme periode det efterfølgende år. Der er et markant fald i total kvælstofkoncentrationen i vandløbsvandet, der tages ind på dambruget, som også kan ses på dambrugets øvrige målestationer gennem januar og februar 2002 med de laveste koncentrationer omkring 9 mg l^{-1} i både indløbsvand og udløbsvandet som er konstateret i hele måleperioden. Svingningerne af total kvælstof koncentrationen i udløbsvandet fra plantelagunerne følger generelt koncentrationsmønsteret i indløbsvandet.



Figur 4.3 Total kvælstof koncentration (mg l^{-1}) for perioden april 2000 – april 2002 for st. 20, 30, 400, 450 og som et gennemsnit for de tre plantelaguner 510, 520 og 530.

Den høje total kvælstofkoncentration i grundvandet bidrager til koncentrationsstigning i det vand som løber ud af produktionsanlægget (st. 400). Der er en mindre ikke signifikant koncentrationsreduktion i plantelagunerne (st. 510, 520 og 530) ift st. 400 (figur 4.4).

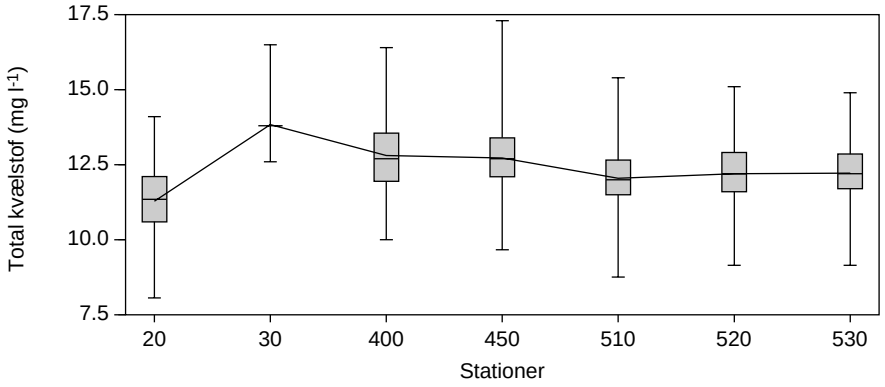
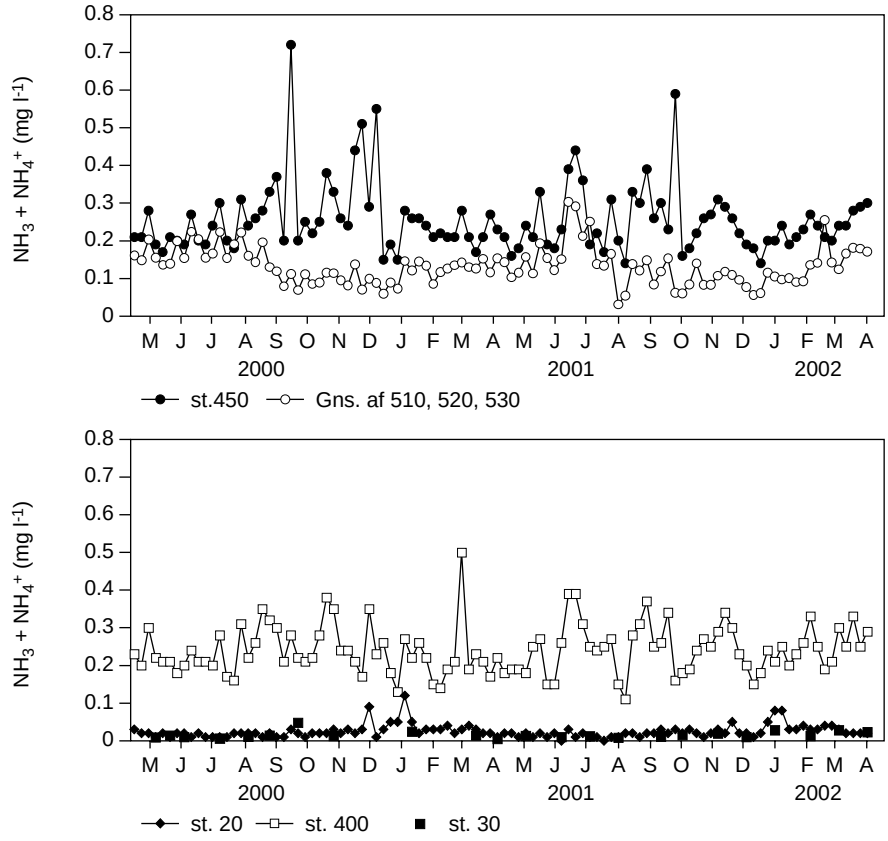


Fig. 4.4 Total kvælstofkoncentration (mg l^{-1}) som et gennemsnit for perioden april 2000 – april 2002 for st. 20, 30, 400, 450 og de tre plantelaguner 510, 520 og 530. Box-whisker plots med angivelse af median (streg i box), gennemsnit (forbundet linie), 25 og 75 % fraktiler samt minimum og maksimum.

Ammoniumkvælstof (NH_3+NH_4^+-N): Koncentrationen af NH_3+NH_4^+-N er signifikant højere i udløbsvandet fra plantelagunerne (st. 510, 520 og 530) end i det vand, der tages fra Døstrup Bæk (st. 20) til dambruget (figur 4.5 og 4.6).



Figur 4.5 Ammoniumkvælstof koncentration (mg l^{-1}) (NH_3+NH_4^+-N) for perioden april 2000 – april 2002 for st. 20, 30, 400, 450 og som et gennemsnit for de tre plantelaguner 510, 520 og 530.

Koncentrationen ved st. 20 er relativ stabil gennem året i hele måleperioden, dog med enkelte højere koncentrationsudsving i begge vin-

terperioder. Koncentrationen i udløbsvandet fra produktionsanlægget (st.400) svinger med ca. en faktor 2 mellem 0,15 og 0,35 mg l^{-1} gennem hele forsøgsperiode. Modsat er der en tydeligere årstidsvariation i udløbet fra plantelagunerne. Koncentrationen i udløbsvandet er generelt faldende fra juli/august til januar i både 2000/01 og 2001/02 hvorefter der er tendens til en svag stigning. Alle ammoniumkvælstof koncentrationer for indløbsvand og udløbsvand er dog under den koncentrationsforøgelse på 0,30 mg l^{-1} som er fastlagt i beregningen af vejledende krav for udledte stofmængder (afsnit 9.2).

Ammoniumkvælstof koncentrationen stiger betydeligt efter produktionsanlægget og igen er der en markant ammoniumkvælstof reduktion i plantelagunerne, størst for system 510 (figur 4.6).

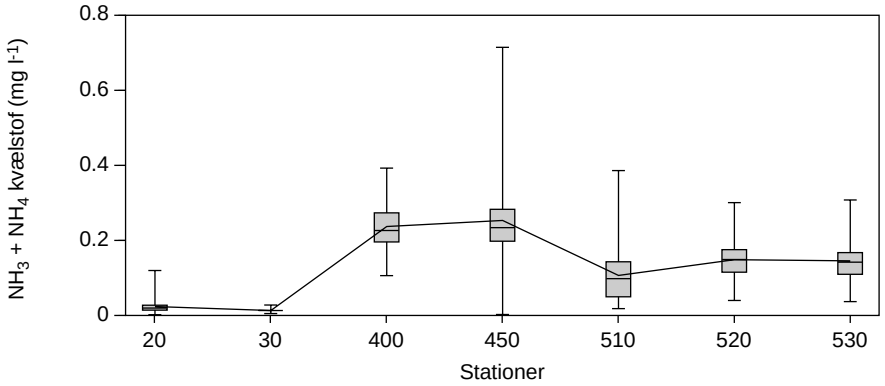


Fig. 4.6 Ammoniumkvælstof koncentration (mg l^{-1}) (NH_3+NH_4^+-N) som et gennemsnit for perioden april 2000 – april 2002 for st. 20, 30, 400, 450 og de tre plantelaguner 510, 520 og 530. Box-whisker plots med angivelse af median (streg i box), gennemsnit (forbundet linie), 25 og 75% fraktiler samt minimum og maksimum.

Nitrit-nitrat (NO_{23}-N): Nitrit-nitrat koncentrationen (hvor den overvejende del af denne fraktion i øvrigt er nitrat) stiger over produktionsanlægget fra st. 20 til st. 400 hvilket er stærkt påvirket af grundvandsbidraget med en nitrat-nitrit koncentration som er 2-3 mg l^{-1} højere end vandløbsbidraget (figur 4.7). Koncentrationerne varierer meget fra uge til uge. I vinteren 2001/01 indtræffer der et fald i nitrit-nitrat koncentrationen i indløbsvandet fra Døstrup Bæk og dette fald efterfølges umiddelbart på de øvrige stationer, dog ikke for grundvandet (st. 30).

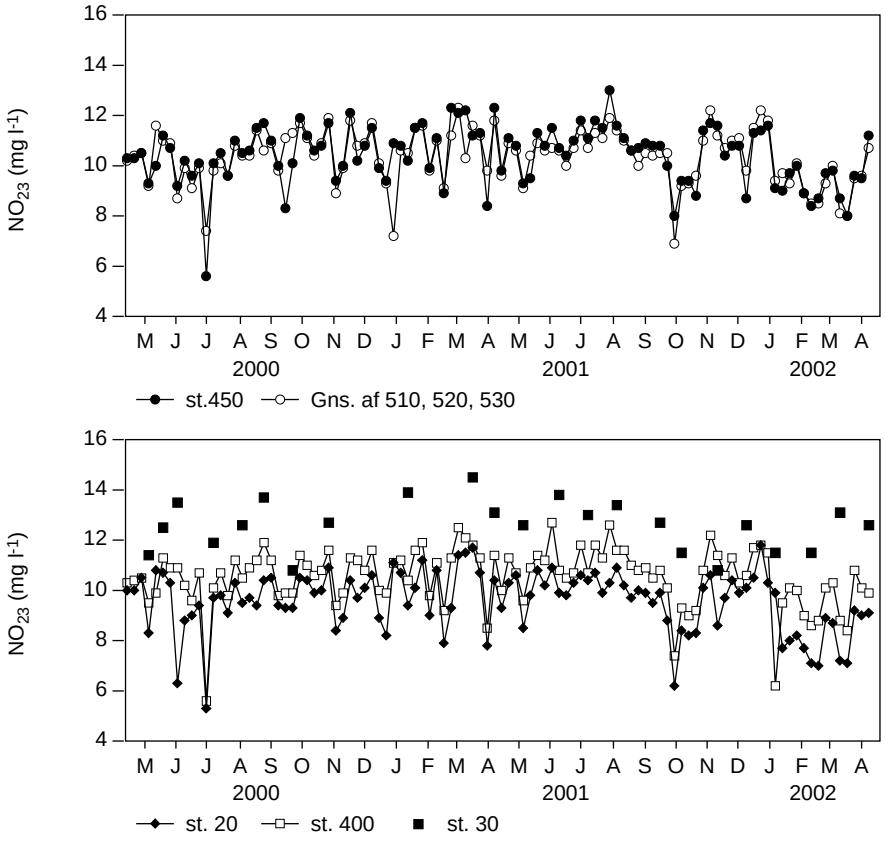


Fig. 4.7 Nitrit-nitrat koncentration (mg l^{-1}) (NO_{23}-N) for perioden april 2000 – april 2002 for st. 20, 30, 400, 450 og som et gennemsnit for 510, 520 og 530.

Der er betydeligt mere nitrit-nitrat i grundvandet end i det åvand der tages ind på dambruget. Koncentrationen er højere i grundvandet end i det vand der udledes fra produktionsanlægget (figur 4.8). Koncentrationen varierer en del på alle stationer i dambruget i måleperioden.

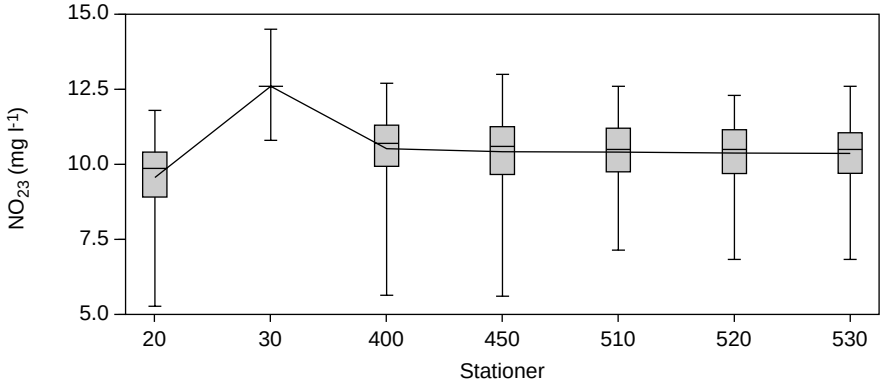


Fig. 4.8 Nitrit-nitrat koncentration (mg l^{-1}) (NO_{23}-N) som et gennemsnit for perioden april 2000 – april 2002 for st. 20, 30, 400, 450 og de tre plantelaguner 510, 520 og 530. Box-whisker plots med angivelse af median (streg i box), gennemsnit (forbundet linie), 25 og 75% fraktiler samt minimum og maksimum.

Total fosfor (TP): Koncentrationsstigningen af total fosfor over produktionsanlægget fra st. 20 til st. 400 er mest markant om sommeren, mens koncentrationsforskellen mellem de to stationer reduceres om vinteren når total fosforkoncentrationen i indløbsvandet stiger (figur 4.9). Koncentrationen af total fosfor er generel lidt højere i det vand som løber ud af dambruget fra de tre plantelaguner (st. 510, 520 og 530) end i indløbsvandet (st. 20). I modsætning til total kvælstof er koncentrationsudviklingen for total fosfor mere jævn, hvor total kvælstofkoncentrationen varierer en del fra uge til uge (figur 4.3 og 4.9). Koncentrationen af total fosfor har ligeledes en årscyklus med maksimum om vinteren og minimum om sommeren.

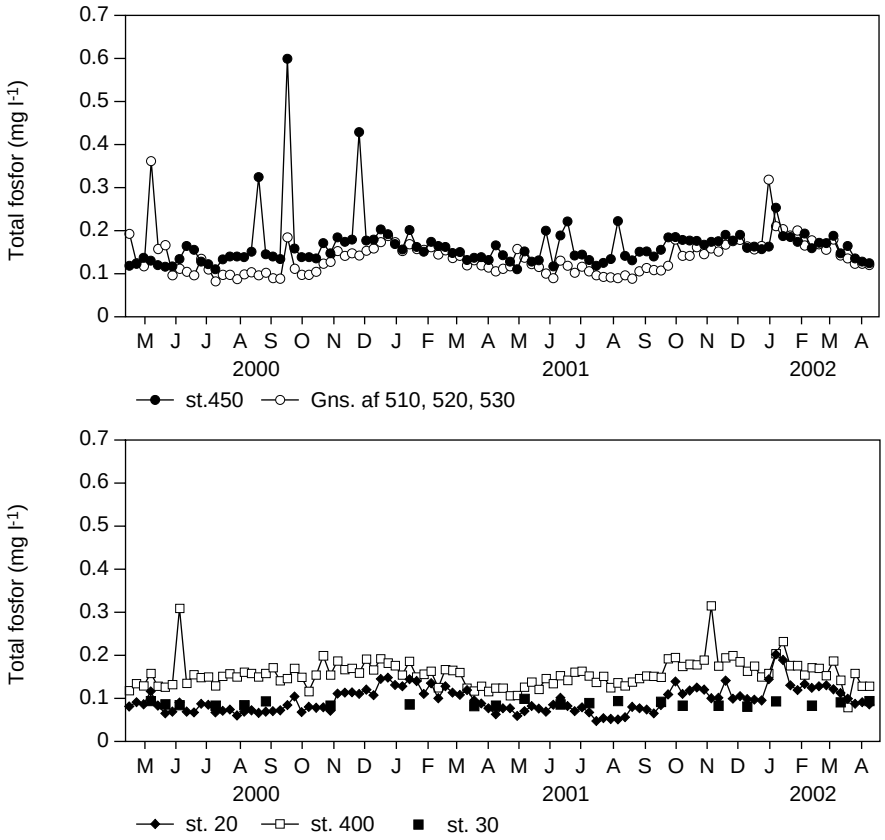


Fig. 4.9 Total fosforkoncentration (mg l^{-1}) for perioden april 2000 – april 2002 for st. 20, 30, 400, 450 og som et gennemsnit for 510, 520 og 530.

Som for de øvrige kemiske stoffer er der for total fosfor en koncentrationsstigning (som for total fosfor er signifikant) i vandet der passer gennem produktionsanlægget og en efterfølgende reduktion i plantelagunerne. Koncentrationen af total fosfor er størst i vandløbssystemet (st. 510) (figur 4.10).

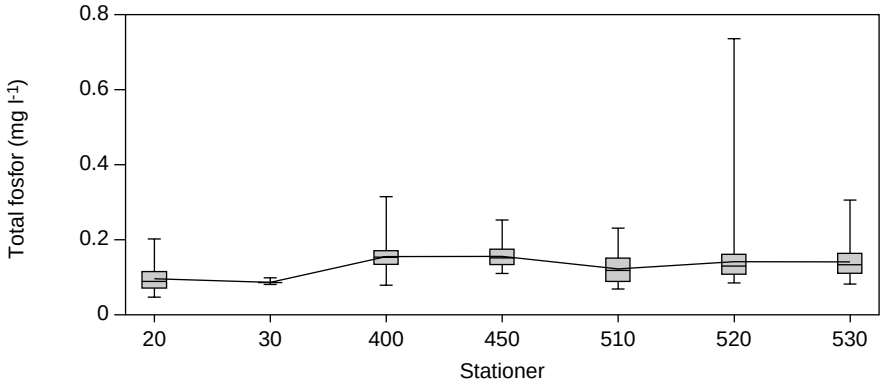


Fig. 4.10 Total fosforkoncentration (mg l^{-1}) som et gennemsnit for perioden april 2000 – april 2002 for st. 20, 30, 400, 450 og de tre plantelaguner 510, 520 og 530. Box-whisker plots med angivelse af median (streg i box), gennemsnit (forbundet linie), 25 og 75 % fraktiler samt minimum og maksimum.

Orthofosfat (PO_4-P): Orthofosfat er den opløste fosforfraktion. Som for total fosfor er der en årscyklus med de laveste koncentrationer om sommeren og højeste om vinteren i det vandløbsvand der tages ind til i produktionsanlægget (figur 4.11). Koncentrationen af orthofosfat i det grundvand der anvendes på dambruget, er konstant over året. Det medfører at det indtagne grundvand om sommeren har en markant højere koncentration end vandløbsvandet, mens koncentrationen i vandløbsvand og i grundvand er nogenlunde ens om vinteren.

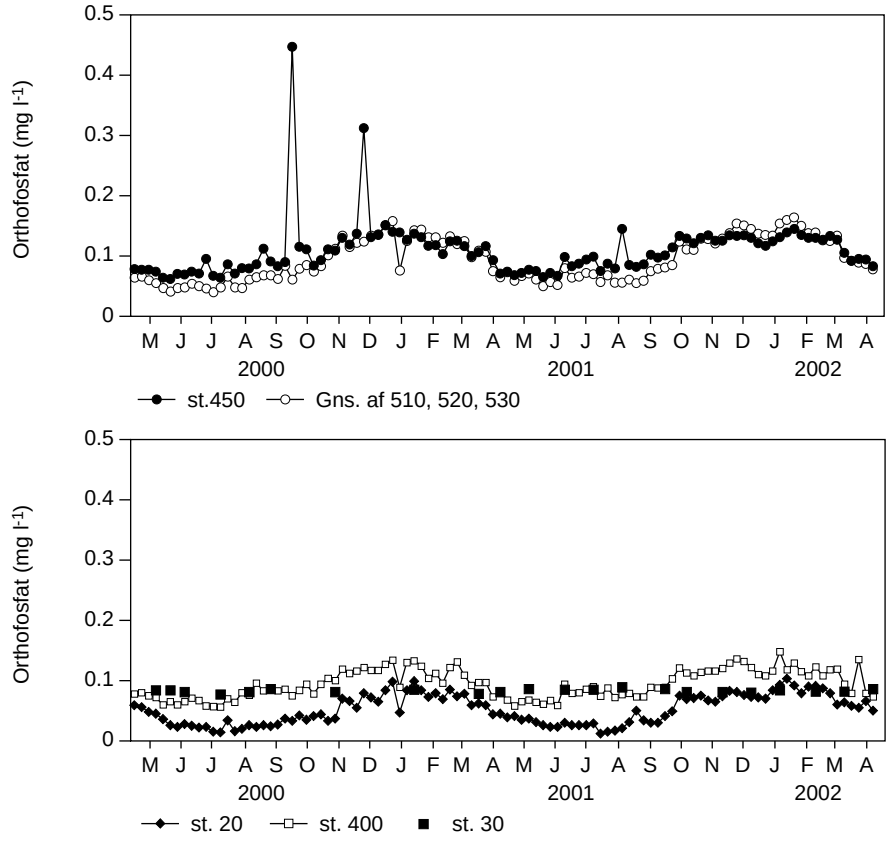


Fig. 4.11 Orthofosfat koncentration (mg l^{-1}) for perioden april 2000 – april 2002 for st. 20, 30, 400, 450 og som et gennemsnit for 510, 520 og 530.

Koncentrationen stiger med omkring en faktor 2 over produktionsanlægget mellem indløbsvandet fra Døstrup Bæk til udløbet fra produktionsanlægget ved st. 400. Om sommeren er der et fald i koncentration over plantelagunerne fra st. 450 til 510, 520 og 530, mens der om vinteren er en koncentrationsstigning i plantelagunerne, dvs. der er mere orthofosfat der forlader plantelagunerne end der kommer ind i dem.

Som for nitrit-nitrat er der også mere orthofosfat i grundvandet sammenlignet med åvandet (figur 4.12).

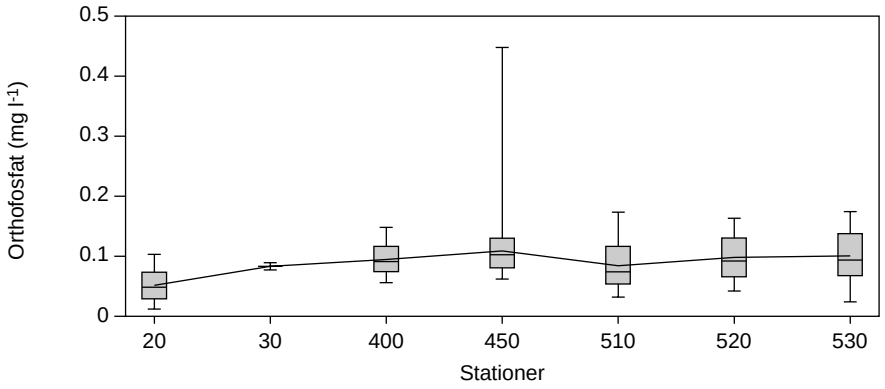


Fig. 4.12 Orthofosfat koncentration (mg l^{-1}) som et gennemsnit for perioden april 2000 – april 2002 for st. 20, 30, 400, 450 og de tre plantelaguner 510, 520 og 530. Box-whisker plots med angivelse af median (streg i box), gennemsnit (forbundet linie), 25 og 75% fraktiler samt minimum og maksimum.

Suspenderet stof (SS): Som for BI_5, total kvælstof og fosfor er der en mere jævn koncentrationsudvikling af suspenderet stof efter juni 2000 på grund af større plantebiomasse i lagunerne (kapitel 8). Generelt er koncentrationen af suspenderet stof betydelig lavere i udløbsvandet fra både produktionsanlægget (st. 400) og fra plantelagunerne (st. 510, 520 og 530) end i indløbsvandet fra Døstrup Bæk (st. 20) (figur 4.13). Dog er der nogle ganske få afvigelser hvor indholdet af SS i udløbsvandet fra plantelagunerne i et par tilfælde er større end i indløbsvandet. Samlet er der en stor netto tilbageholdelse af suspenderet stof over dambruget. Fra juli 2000 frem til marts 2001 er koncentrationen i udløbsvandet fra plantelagunerne mindre end 1,0 mg l^{-1} med nogle få undtagelser. I denne periode falder koncentrationen også i indløbsvandet. Fra april 2001 stiger koncentrationen i både ind- og udløbsvandet. Fra september 2001 er koncentrationen i udløbsvandet igen under 1,0 mg l^{-1} og i marts 2002 er der antydning af at koncentrationen begynder at stige. Fra ca. 1 juni 2001 frem til april 2002 er koncentrationen i indløbsvandet generelt faldende.

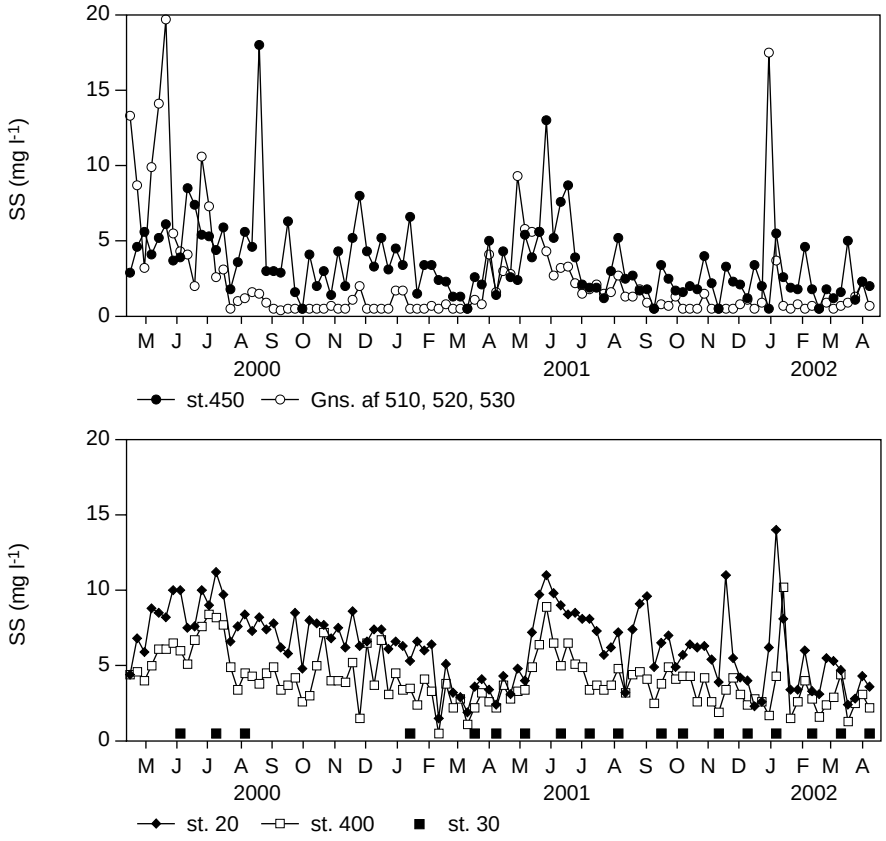


Fig. 4.13 Suspenderet stof koncentration (mg l^{-1}) (SS) for perioden april 2000 – april 2002 for st. 20, 30, 400, 450 og som et gennemsnit for 510, 520 og 530.

Modsat udviklingstendensen for de øvrige kemiske parametre så sker der en signifikant reduktion af koncentrationen af suspenderet stof over produktionsanlægget på grund af de slamkegler, der er installeret inde på selve anlægget (figur 4.14). Der er en yderligere signifikant reduktion af koncentrationen ved vandets passage gennem plantelagunerne, i hvilke der er den største koncentrationsvariation.

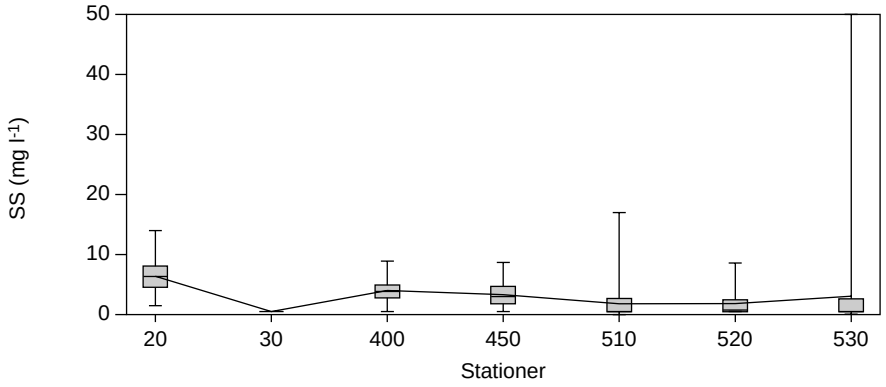
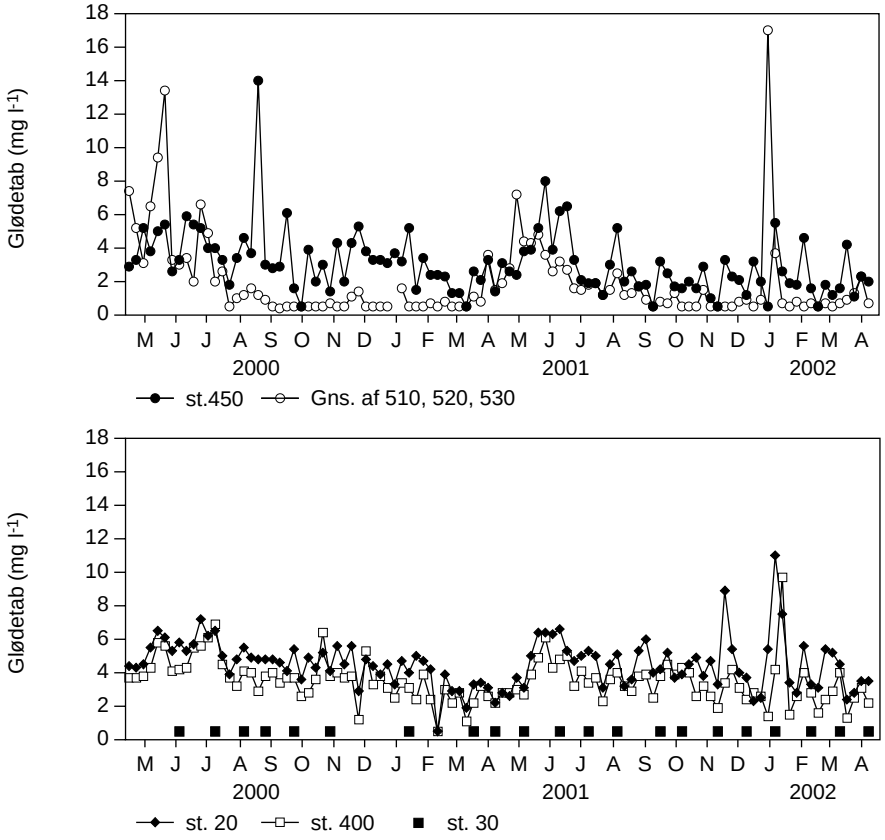


Fig. 4.14 Suspenderet stof koncentration (mg l^{-1}) (SS) som et gennemsnit for perioden april 2000 – april 2002 for st. 20, 30, 400, 450 og de tre plantelaguner 510, 520 og 530. Box-whisker plots med angivelse af median (streg i box), gennemsnit (forbundet linie), 25 og 75% fraktiler samt minimum og maksimum.

Glødetab: Glødetab er et udtryk for indhold af organisk stof som kan glødes/brændes af. Generelt er glødetabet størst i indløbsvandet (st. 20) med en mindre reduktion ved udløbet af produktionsanlægget (st. 400) (figur 4.15). Grunden hertil er at der bliver fanget en del organisk stof på partikelform i slamkeglerne på selve produktionsanlægget (se afsnit om slamkegler).



Figur 4.15 Glødetabkoncentration (mg l^{-1}) for perioden april 2000 – april 2002 for st. 20, 30, 400, 450 og som et gennemsnit for 510, 520 og 530.

Efter at vandet har passeret plantelagunerne er glødetabet reduceret yderligere, hvilket er mest markant om sommeren. De to måleår adskiller sig ved at der i plantelagunerne om vinteren og begyndelsen af foråret 2000/01 forekommer en betydelig reduktion i glødetabskoncentrationen, mens der i samme periode det efterfølgende år ikke er en nær så markant reduktion i glødetabskoncentrationen over plantelagunerne.

Der sker en mindre reduktion af glødtabskoncentrationen over produktionsanlægget og der forekommer meget store enkelt udledninger fra lagunerne i opstartsperioden, hvor der driver trådalger ud af lagunerne (figur 4.16).

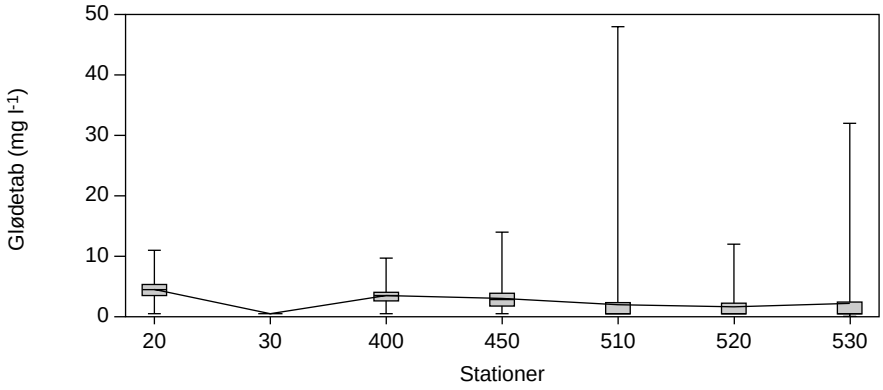


Fig. 4.16 Glødetabkoncentration (mg l^{-1}) som et gennemsnit for perioden april 2000 – april 2002 for st. 20, 30, 400, 450 og de tre plantelaguner 510, 520 og 530. Box-whisker plots med angivelse af median (streg i box), gennemsnit (forbundet linie), 25 og 75% fraktiler samt minimum og maksimum.

Sammenfatning af koncentrationsudvikling over Døstrup Dambrug

Koncentrationen af de kemiske variabler i indløbsvandet fra Døstrup Bæk (st. 20), oppumpet grundvand (st. 30), udløb fra produktionsanlægget (st. 400), efter bundfældningsbassinet svarende til indløb til plantelagunerne ved st. 450 samt dambrugets udløbsvand fra de tre plantelaguner (st. 510, 520 og 530) er påvirket af flere forskellige faktorer.

Oppumpet grundvand der er det ene vandbidrag til produktionsanlægget har rimeligt stabile stofkoncentrationer gennem hele måleperioden. Da der er en reduktion i indtaget af indløbsvand fra Døstrup Bæk fra begyndelsen af projektet har grundvandets sammensætning fået en større betydning igennem måleperioden. Det er især efter juli 2000 at grundvandsandelen af det samlede vandindtag er øget (se figur 3.1). Dog er der kortere perioder i sommeren 2001 hvor vandindtaget fra Døstrup Bæk øges og dermed reduceres betydningen af grundvandsbidraget midlertidigt. For de fleste parametre ligger koncentrationen i grundvandet lavere end i vandløbsvandet, men det gælder ikke total kvælstof og især nitrit-nitrat hvor koncentrationen er højest i det indtagne grundvand.

Stofbidraget fra Døstrup Bæk er påvirket af naturlig forekommende vandløbsprocesser som grødevækst og -henfald, afstrømningsvariationer, udledninger i oplandet til Døstrup Bæk, biologisk stofomsætning, vand- og lufttemperatur, processer i en opstrømsbeliggende mølledam etc. F.eks. stiger koncentrationen af suspenderet stof om foråret hvilket bl.a. kan relateres til de store afstrømninger i oplandet, hvorefter der er et markant fald hen over sommeren frem til vinteren. Faldet er en kombination af færre og mindre afstrømningsbegivenheder, mindre overskudsnedbør i sommerhalvåret, der reducerer tilførslen af partikler fra oplandet, vegetation i vandløbet som betinger sedimentation heri der i vinterhalvåret kan genophvirvles i vandløbsvandet. Ligeledes bidrager produktionen af alger i mølledammen opstrøms til mønsteret med højere koncentrationer af suspenderet stof i foråret og begyndelsen af sommeren.

Koncentrationsudviklingen af næringsstofferne kvælstof og fosfor er forskellig i indløbsvandet fra Døstrup Bæk. Hvor der for både det opløste og partikulært bundne fosfor er en jævn årstidsvariation med højere koncentration i vandløbsvandet om vinteren, findes den samme tydelige tendens ikke for kvælstof. Kvælstofkoncentrationerne, både som nitrit-nitrat, ammonium kvælstof og total kvælstof varierer meget fra uge til uge.

For alle undersøgte stoffer med undtagelse af suspenderet stof er der en koncentrationsstigning over produktionsanlægget fra indløbet ved st. 20 og 30 til udløbet ved st. 400. For suspenderet stof er der en reduktion over produktionsanlægget som er størst om sommeren. Der er et stort vandløbsbidrag af suspenderet stof som tilbageholdes i slamkeglerne i produktionsanlægget.

Dambrugsproduktionen giver den største koncentrationsstigning over produktionsanlægget for de stoffer hvor der er relativt lave koncentrationer i indtaget vandløbsvand og grundvand som for BI_5 og ammonium kvælstof. Omvendt påvirkes total kvælstof og nitrat-nitrit koncentrationen ikke meget over produktionsanlægget grundet de høje koncentrationer i det indtagne vand til produktionen. For suspenderet stof er der som omtalt en egentlig nettotilbageholdelse over selve produktionsanlægget.

Stofkoncentrationerne i udløbsvandet fra de tre plantelaguner er påvirket af faktorer som fiskeproduktionen/foderforbrug, vandforbrug, recirkulering, stofmængder i det indtagne produktionsvand, driften af dambruget, effekt af renseforanstaltninger opstrøms plantelagunerne m.v., der tilsammen bestemmer hvor meget stof der kommer ind i lagunerne. Herudover sker der en tilbageholdelse og/eller omsætning af stof i plantelagunerne ved fysiske, kemiske og biologiske processer. Plantelagunerne er som et biologisk system påvirket/styret af klimasvingninger herunder årstidsvariationerne.

Generelt varierer koncentrationen af de undersøgte kemiske variable mindre efter juni 2000, hvilket falder sammen med planternes fremvækst i de fra begyndelsen helt vegetationsfri plantelaguner. Herefter stiger stoftilbageholdelsen/-omsætningen. Samtidig har et reduceret indtag af vandløbsvand, en øget recirkulering på produktionsanlægget og den øgede opholdstid i plantelagunerne også en betydning for stabiliseringen af koncentrationerne. Selv om vinteren, hvor biomassen i plantelagunerne reduceres, er der tilsyneladende en tilbageholdelse og/eller omsætning af stof i disse. Perioder med hård frost i marts 2001 og igen i december 2001/januar 2002 medfører dog så stor reduktion i plantebiomasse, at plantelagunernes evne til at tilbageholde og omsætte stof i en periode reduceres væsentligt for de fleste stoffers vedkommende.

På planterne findes en biofilm hvori organismer omsætter BI_5 og ammoniak under forbrug af ilt. I relation til sedimentet på bunden af plantelagunerne er der denitrifikation og adsorption af ioner. Planterne og bakterier optager næringssalte som nitrat og orthofosfat. Endvidere virker planternes rødder som et filter for partikler, der fanges mellem rødderne, og hvor strømhastigheden er stærkt reduceret som

mellem rødder og i læ af planter eller i dybere partier af plantelagunerne vil partikler synke ned og aflejres på bunden af lagunerne.

4.3 Produktionsanlæg

Produktionsanlægget defineres som den del af dambruget hvor der produceres fisk. Ved Døstrup Dambrug afgrænses det af vandindtaget ved st. 20 og 30 fra henholdsvis Døstrup Bæk og grundvand til udløbet fra produktionsanlægget ved (st. 400). Når der skal beregnes stoffluxe i forbindelse med produktionsanlægget skal sedimentations-keglerne (summen af st. 150, 250 og 350) medregnes som output fra produktionsanlægget da de bruges til at transportere stof væk mellem indløb til/udløb fra produktionsanlægget. Stofbidrag fra fiskeproduktionen på Døstrup Dambrug er opgjort ved:

Stofbidrag fra fiskeproduktionen = st. 400 – (st. 20 + 30) + (st. 150 + 250 + 350).

I forhold til kapitel 5, 6 og 7 skal det bemærkes, at fiskeproduktionens stofbidrag for stoffer, hvor der ikke er en egenomsætning, dvs. TN, TP og NH_3-NH_4^+-N er det samme som produktionsbidraget. Men dette gælder ikke for f.eks. BI_5, hvor der er en egenomsætning i produktionsanlægget.

Vandet til produktion af fisk er en blanding af vand fra Døstrup Bæk taget ved st. 20 og oppumpet grundvand fra st. 30. Forholdet mellem vandmængden ved st. 20 og st. 30 har generelt været ¾ og ¼ (figur 3.1) af det samlede vandindtag til produktionsanlægget. Beregningen af koncentrationsændringen udtrykt i mg l^{-1} over produktionsanlægget findes som st. 400 – (st. 20 + 30), hvor der er anvendt vandføringsvægtede koncentrationer. Beregninger af koncentrationsudviklingen over produktionsanlægget er opgjort for periode 1 og 2 med forskellig fodertildelinger. For at gøre disse perioder sammenligneli-ge er valgt to lige lange perioder på 46 uger fra henholdsvis 17. maj 2000 til 4. april 2001 og 16. maj 2001 til 3. april 2002 – se i øvrigt afsnit 4.1.

For stofferne BI_5, NH_3+NH_4^+-N, SS, TP og TN som indgår i de vejledende udlederkrav (se kapitel 9) sker der med undtagelse af suspenderet stof en koncentrationsforøgelse i det vand der passer gennem produktionsafsnittet (tabel 4.1). Koncentrationstilvæksten for suspenderet stof er negativ, idet der er en netto stoftilbageholdelse heraf i selve produktionsanlægget.

Tabel 4.1 Gennemsnitlige stofkoncentrationer (mg l^{-1}) af BI_5, NH_3+NH_4^+-N, SS, TP og TN ved foderperiode 1 og 2 (P1 og P2) for indløbsvandet (st. 20 og 30) og udløbsvandet (st. 400) samt gennemsnitlig ændring i vandføringsvægtet koncentration over produktionsanlægget for balancen: koncentration st. 400 – (koncentration st. 20 + 30).

	st. 20		st. 30		st. 400		Tilvækst over produktions afsnittet (udløb – indløb)	
	mg l^{-1}		mg l^{-1}		mg l^{-1}		mg l^{-1}	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
BI_5	2,8	2,8	0,8	0,7	3,9	4,4	1,6	2,1
NH_3+NH_4^+-N	0,026	0,023	0,014	0,014	0,23	0,25	0,21	0,23
SS	6,8	6,2	0,5	0,5	4,3	3,8	-0,9	-0,9
TP	0,095	0,099	0,086	0,086	0,154	0,164	0,061	0,069
TN	11,5	11,2	13,8	13,9	12,9	12,9	0,8	1,0

Sammenlignes vinterkoncentrationer (oktober - marts) og sommerkoncentrationer (april - september) er TP ved st. 20 (indløbsvandet) i gennemsnit 34% højere om vinteren mens koncentrationen af SS i gennemsnit er 26% lavere om vinteren ved samme målestation. Den gennemsnitlige middelvandføring har været 20-25% højere om vinteren. Det betyder at mængden (kg) af suspenderet stof har været nogenlunde ens om sommeren og om vinteren i Døstrup Bæk. Derimod vil den større vandmængde om vinteren sammen med den højere TP koncentration betyde at den samlede TP-stofmængde har været omkring dobbelt så stor i åvandet om vinteren end om sommeren.

Koncentrationen af ammoniumkvælstof i grundvandet (st. 30) som pumpes op er ca. 1/3 større om vinteren end om sommeren. De øvrige målte stoffer viser ikke nogen større årstidsvariation i koncentrationen.

Koncentrationen (mg l^{-1}) af undersøgte stoffer multipliceret med den gennemsnitlige vandmængde (l s^{-1} pr. døgn) for en given målestation giver stofmængden (mg s^{-1}) der igen kan omregnes til en mængde (kg) per uge som er det tidsinterval kemi- og stofbalanceberegningerne opgøres for. Derved kan den samlede mængde af udledt stof opgøres for periode 1 og 2 (tabel 4.2).

Den udledte stofmængde (kg) beregnet som udledt mængde i udløbsvand (st. 400) minus mængde i indløbsvand (st. 20 + 30) er som forventet højere i periode 2, hvor der er brugt 32% mere foder end i periode (tabel 4.2). Den gennemsnitlige vandmængde der er brugt i produktionsanlægget, er 4 % mindre for periode 2 end i periode 1. Mængden af TN og BI_5 stiger med henholdsvis 19 og 28% mens ændringen for TP er 9%. Mængden af suspenderet stof der bliver tilbageholdt i produktionsafsnittet, stiger med 21%. Suspenderet stofkoncentrationen i vandløbsvandet falder fra periode 1 til periode 2 hvilket, sammen med et lavere vandindtag fra Døstrup Bæk i periode 2, betyder der er et mindre vandløbsbidrag at tilbageholde i produkti-

onsanlægget. Den større tilbageholdte mængde suspenderet stof i periode 2 må derfor relateres til en øget andel suspenderet stof fra selve fiskeproduktionen. Ligeledes betyder den mindre indtagne vandmængde i periode 2 at den samlede mængde total fosfor, der indtages med vandløbsvandet, er nogenlunde ens i de to perioder.

Tabel 4.2 Udledte stofmængder (kg) fra produktionsanlægget af BI_5, NH_3+NH_4^+-N, suspenderet stof (SS), TP og TN ved et foderforbrug på henholdsvis 44,5 tons (P1) og 58,6 tons (P2) foder. Beregningen er foretaget over produktionsanlægget for udløbsvandet minus indløbsvandet, st. 400 – (st. 20 + 30). Negative tal angiver netto tilbageholdelse af stof.

	P1	P2	ændring fra P1 til P2
	kg	kg	%
BI_5	4.556	5.813	28
NH_3+NH_4^+-N	573	612	7
SS	-2.173	- 2.621	21
TP	173	189	9
TN	2.029	2.411	19

I produktionsanlægget sker der en partikelfældning i sedimentationskeglerne (st. 150, 250 og 350) som fjerner en del af fiskeproduktionens stofbidrag og en del af de partikler, der er kommet ind med indløbsvandet. Denne fjernelse gennemgås i afsnit 4.4. For at finde det totale stofbidrag, bidraget fra fiskeproduktionen (tabel 4.3) som kan relateres til produktionen af dambrugsfisk, skal der til forskellen mellem st. 400 og st. 20 + st. 30 tillægges den stofmængde som fældes i sedimentationskeglerne.

Tabel 4.3 Fiskeproduktionens stofbidrag (kg) af BI_5, suspenderet stof (SS), TP og TN ved et foderforbrug på henholdsvis 44,5 tons (P1) og 58,6 tons foder (P2). Beregningen er foretaget over produktionsanlægget som mængde i udløbsvandet minus mængde i indløbsvandet plus stof fjernet via sedimentationskegler: st. 400 – (st. 20 + 30) + (st. 150 + 250 + 350).

	P1	P2	ændring fra P1 til P2
	kg	kg	%
Foder	44.459	58.634	32
BI_5	6.255	8.935	43
SS	2.203	3.450	57
TP	266	288	8
TN	2.195	2.591	20

Ved at øge fodertildelingen fra 44.459 kg til 58.634 kg (32%) stiger stofbidraget der relateres til fiskeproduktionen (tabel 4.3). Der er størst stigning for suspenderet stof med 57%, mens BI_5 og TN stiger med henholdsvis 43 og 20% og TP stiger med 8%.

For TP og TN kan ændringer i fiskeproduktionens stofbidrag belyses gennem en alternativ opgørelse af produktionsbidraget af TN og TP som stof tilført med foder minus stof indbygget i fisk. Denne beregningsform er ikke umiddelbar anvendelig for de andre stoftyper i ta-

bel 4.3. TN og TP tilført med foder beregnes ud fra laboratorieanalyserne af hver enkelt foderleverance (kapitel 2.3) mens mængderne indbygget i fisk benytter analyserne præsenteret i kapitel 5.

Det fremgår af opgørelsen i tabel 4.4 at fiskeproduktionen stiger proportionalt med fodertilførslen. Inden for analyse- og beregningsnøjagtigheden gælder dette også for både tilførsel og indbygning af TN, hvorfor ændringen i produktionsbidraget med TN ikke afviger markant fra ændringen i fodertildeling. Fra periode 1 til periode 2 er der derimod sket et fald i foderets gennemsnitlige fosforindhold (tabel 2.4) og da dette ikke påvirker fiskenes faktiske fosforoptagelse (se kapitel 5), bliver konsekvensen en noget mindre stigning i produktionsbidraget med TP.

Tabel 4.4 Produktionsbidraget med TN og TP beregnet som stof tilført med foder minus stof indbygget i fisk.

TILFØRT:	Foder tons	TN kg	TP kg
Periode 1	44.500	3.278	500
Periode 2	58.600	4.268	618
Ændring	(+32%)	(+30%)	(+24%)
INDBYGGET:	Fisk tons	TN kg	TP kg
Periode 1	51.700	1.296	219
Periode 2	68.500	1.726	286
Ændring	(+32%)	(+33%)	(+31%)
PROD.BIDRAG:		TN kg	TP kg
Periode 1		1.982	281
Periode 2		2.542	332
Ændring		(+28%)	(+18%)

I kapitel 5 findes en nærmere sammenligning af de to metoder til beregning af produktionsbidrag hvori det påvises, at beregninger ud fra vandstrømme og slam må forventes at være mindre præcise end beregning ud fra foder og fisk. Det kan på denne baggrund konkluderes, at de to talsæt for fiskeproduktionens stofbidrag er i god indbyrdes overensstemmelse, idet afvigelserne intetsteds overstiger ±15 %.

4.4 Stoffjernelse i slamkegler og bundfældningsanlæg

Sedimentationskegler (st. 150, 250 og 350)

Ved aktiv stoffjernelse forstås her stof der fjernes som følge af henholdsvis fjernelse i sedimentationskegler i produktionsafsnittet og efterfølgende fjernelse i et bundfældningsbassin. Produktionsafsnittet er inddelt i 3 sektioner (se tabel 1.1 og figur 1.1 - 1.2), hvor kummerne i hver sektion har sin egen renseforanstaltning i form af sedimentationskegler/slamfælder, der tømmes over i betonslamdepoter (st. 150, 250 og 350) for hver af de 3 sektioner (se afsnit 1.3). Dette sker normalt 2 gange om ugen og med maksimalt 5 dages mellemrum. Nor-

malt tømningsinterval på Døstrup Dambrug har været henholdsvis 4 og 3 dage for perioden april 2000 til april 2002.

Beregningen af stof tilført slamdepoterne fra sedimentationskeglerne er udført med udgangspunkt i en udtaget kemiprøve foretaget hver anden uge og en samlet vandvolumenbestemmelse ved hver tømning. Da alle disse prøver repræsenterer et tømningsinterval på 4 dage er mængden af stof i den pågældende uge beregnet ved at vægte resultatet med 7/4. Tilført stof i den mellemliggende uge, hvor der ikke er udtaget prøver til kemiske analyser, er bestemt som gennemsnit af den foregående og efterfølgende uge hvor der er målt både kemi og vandmængder under hensyntagen til de aktuelt målte vandmængder ved tømningen. Det vurderes at usikkerheden på den beregnede stofmængde, der løber ind i slamdepoterne, er omkring 5-10%

Slamperkulatet fra produktionskummerne henstår så længe at opslemmede partikler når at sedimentere i slamdepoterne inden vandet i disse afdrænes en gang om ugen til st. 410. Denne station er placeret nedstrøms produktionsanlægget (st. 400) men opstrøms bundfældningsanlægget (figur 1.1). Vandstanden i de 3 betonslamdepoter registreres kontinuerligt så mængden af slamperkulat, der tilføres (st. 150, 250 og 350), og slamvand, der afdrænes (st. 410) depoterne, kan beregnes.

Stofmængden (kg) der tilledes og afdrænes slamdepoterne bestemmes ved at gange målt stofkoncentration med tilhørende vandmængde (l). Stoftilbageholdelsen i de tre slamdepoter bestemmes derefter som forskellen i stofmængde af tilført slamvand (st. 150, 250 og 350) og afdrænet slamvand (st. 410) (tabel 4.5).

Tabel 4.5 Netto stoftilbageholdelse af TN, TP, suspenderet stof (SS), glødetab og BI_5 i kg og den gennemsnitlige procentuelle tilbageholdelse i slambassiner (st. 150, 250 og 350) af tilført stof hertil ved et foderforbrug på henholdsvis 44,5 tons (P1) og 58,6 tons foder (P2).

	TN		TP		SS		BI_5		Glødetab	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
Tilført stof til slamdepot (kg)	166	180	93	99	4.376	6.071	1.699	3.122	2.282	3.462
Netto tilbageholdelse (kg)	131	136	80	85	4.247	5.909	1.571	2.918	2.159	3.270
Tilbageholdt i slamdepot (%)	80	75	86	85	97	97	93	93	95	95

Den øgede fodertildeling i periode 2 (P2) medfører ikke nogen større ændring af mængden af TN og TP som bliver ført over i slamdepoterne, der stiger henholdsvis 6 og 7%. Dette understøtter tidligere undersøgelser, at en stor andel af fiskeproduktionens stofbidrag (tabel 4.3) af TN og TP er på opløst form (*Wood, 1993; Coloso et al., in press*). Mængden af glødetab, suspenderet stof og BI_5 vokser med henholdsvis 52, 39 og 84%. Der er en stor netto tilbageholdelse af det stof som bliver ført fra sedimentationskeglerne over i slamdepoterne. For de stoffer der primært er partikulært bundet tilbageholdes over 90-95%, mens andelen for TN og til dels TP er lavere men dog stadig over 75% (tabel 4.5). Ligeledes er andelen (%) af tilbageholdt stof næsten uændret ved et foderforbrug på henholdsvis 44,5 tons (P1) og 58,6 tons foder (P2).

De tre slambassiner (st. 150, 250 og 350) varierer indbyrdes kun med nogle få procent m.h.t. stoftilbageholdelse.

Hovedparten af det slam som opsamles i sedimentationskegler i de enkelte damme i produktionsenheden og føres over i betonslamdepoterne bliver tilbageholdt i slamdepoterne. Den beregnede tilbageholdelse kan primært tilskrives sedimentation i slamdepoterne mens der sker en stoffjernelse i opløst form med det vand der afdrænes og ved en mikrobiel omsætning af en del af kvælstof og BI_5.

Tabel 4.6 Gennemsnitlige stofmængde (g pr. kg foder pr. uge) af BI_5, NH_3+NH_4^+-N, suspenderet stof, TP og TN ved et foderforbrug på henholdsvis 44,5 tons (P1) og 58,6 tons foder (P2) for sommer (april – sep.) og vinter (okt. – marts) i slamperkulat til slamdepoterne (st. 150 + 250 + 350) og i afdræningsvandet fra slamdepoterne (st. 410).

Stof	Slamperkulat til slamdepoterne (st. 150 + 250 + 350) g kg^{-1} foder pr. uge				Afdræningsvand fra slamdepoterne (st. 410) g kg^{-1} foder pr. uge			
	sommer		vinter		sommer		vinter	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
BI_5	40	42	45	67	1,8	3,5	4,4	5,8
NH_3+NH_4^+-N	-	-	-	-	0,2	0,3	0,4	0,6
SS	111	108	94	101	2,6	3,7	3,4	4,0
TP	2,2	1,7	1,8	1,5	0,2	0,3	0,4	0,4
TN	4,2	3,2	3,4	3,1	0,6	0,8	1,0	1,1

Ved at opgøre den gennemsnitlige stofmængde per kilo foder (g kg^{-1}) per uge beregnet for sommer- (april – september) og vinterperioden (oktober – marts) som henholdsvis tilføres og afledes slamdepoterne ved foderforbrug på 44,5 tons og 58,6 tons foder, fås et mål for stoftilbageholdelsen i slamdepoterne (tabel 4.6). Resultaterne i tabel 4.6 er normaliseret ved at udtrykke tilført og afledt stofmængde per kilo foder, da der er en foderdeling på 60:40 mellem sommer og vinter forbrug af foder i begge perioder (P1 og P2). Det forhold at der anvendes mere foder om sommeren, hvor vandtemperaturen er højere og dermed muligheden for større fiskevækst, får ingen indflydelse på beregningerne i tabel 4.6. Generelt er stofmængden pr. kg foder, der tilledes slamdepoterne fra slamkeglerne i produktionskummerne, større om sommeren end om vinteren. BI_5 i slamperkulatet er dog større om vinteren hvilket kan skyldes en mindre omsætning om vinteren i selve slamkeglen før slamperkulatet ledes over i slamdepoterne. Ligeledes er der en generel tendens til for de fem undersøgte stoffer at det vand, som afledes fra slamdepoterne, indeholder større stofmængder per kilo anvendt foder om vinteren end om sommeren. Det forhold at TP-koncentrationen i det indtagne vandløbsvand (st. 20) er 34% større om vinteren end om sommeren (afsnit 4.2) påvirker resultatet i tabel 4.6. Tilsvarende påvirker den lavere SS-koncentration på 26% i indløbsvandet til dambruget fra vandløbet om vinteren, også hvor stor en SS tilførsel der er til slamdepoterne om vinteren pr kg. foder. Den procentuelle tilbageholdelsen i slamdepoterne er generelt større om sommeren pr. kg foder, 4% for BI_5

samt 23% og 13% for henholdsvis TP og TN. Den højere stoftilbageholdelse kan bl.a. skyldes højere vandtemperatur i slamdepoterne om sommeren som betinger bedre vilkår for en mikrobiel omsætning samt algevækst. Endvidere skal der tages højde for at slamkeglerne er indrettet til at fange fiskefækalier fremfor stoffer fra vandløbsbidraget.

Efter de første 14 måneder af forsøgsprojektperioden (april 2000 til juni 2001) var deponeringskapaciteten i slambassinerne næsten opbrugt hvorefter bassinerne er blevet tømt og slammet kørt til udspredning på landbrugsarealer som gødningsbidrag. Den anden tømning af slamdepoterne fandt sted 11 måneder efter i maj 2002. Her blev slammet ligeledes brugt som gødningsbidrag.

Bundfældningsbassin
Afløbsvand fra produktionsafsnittet (st. 400) ledes til et centralt bundfældningsbassin med en gennemsnitlig opholdstid på omkring 45 minutter (tabel 1.1). Reduktion af vandets strømhastighed betyder et forøget potentiale for sedimentation af partikler og tilknyttede næringsstoffer. Ud over vand fra st. 400 kommer der også periodisk et mindre bidrag fra st. 410 med afdræningsvand fra slamdepoterne. Der er tale om ca. 20 m^3 vand der udledes med 4-6 l s^{-1} i løbet af 1-2 timer en gang om ugen når slamdepoterne afdrænes. Det vil sige at bundfældningsbassinets stofinput primært kommer fra st. 400 og kun i beskedent omfang fra st. 410. Efter passage af bundfældningsbassinet løber vandet videre mod plantelagunerne.

Hver anden uge suges akkumuleret slam i bundfældningsbassinet op med en pumpe og ledes direkte over i et separat slamdepot (st. 430) (se afsnit 1.3). Bundfældningsbassinet er som udgangspunkt blevet pumpet rent ca. hver 14. dag. I vinterperioden med frost har der været længere mellem at bundfældningsbassinet er blevet pumpet rent. Pumpeeffekten er målt til ca. 5 l s^{-1} og oppumpet stofmængde (kg) findes ud fra koncentrationen i udtaget vandprøve af det oppumpede slamperkulat ganget med pumpeeffekten (l/s) og med perioden der pumpes i (s) (tabel 4.7). I de to perioder P1 og P2 er der pumpet henholdsvis 19 og 17 gange.

Tabel 4.7 Totale nettomængde tilbageholdt stof (kg) for bundfældningsbassinet opgjort ud fra st. 430 for periode 1 og 2 (P1 og P2) med et foderforbrug på henholdsvis 44,5 tons og 58,6 tons.

	TN		TP		SS		BI_5		Glødetab	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
Kg stof tilbageholdt i bundfældningsbassin	71	105	19	23	2.751	3.354	421	526	1.078	1.325

Pumpet stofmængde fra bundfældningsbassinet kan beregnes ud fra målte vand- og stofparametre ved st. 430. Men der kan ligeledes opstilles en massebalance for bundfældningsbassinet som balancen st. 450 lige nedstrøms bundfældningsbassinet minus st. 400 og 410, som er det samlede input til bundfældningsbassinet. Der er dog her tale om at vurdere forskellen på to næsten lige store tal for at bestemme nogle små størrelser, hvorfor denne massebalancebetragtning er meget usikker. Hvis usikkerheden på stoftransporten er 5-10% på hver

af de tre indgåede stationer er usikkerheden på balancen 8 til 17%, dvs. større end den tilbageholdelse, der er målt, og derfor er denne massebalanceberegning udeladt i betragtningerne omkring stoftilbageholdelse i bundfældningsbassinet.

Bundfældningsbassinet er støbt i bunden og belagt med fliser på siderne så det kan betragtes som et lukket system uden kontakt til nogle andre stofkilder.

Puljede vandprøver til analyse for BI_5 og NH_3+NH_4^+-N adskiller sig fra de tre andre stoffer SS, TP og TN ved at være puljede vandprøver indsamlet over de foregående 24 timer op til prøveudtagningen til analyse, hvor der til de andre stoffer er puljede vandprøver over en uge. Vandkemiske prøver er for hele undersøgelsesperioden altid blevet indsamlet onsdag formiddag (som derfor er puljet fra tirsdag morgen til onsdag morgen). Det betyder at BI_5-prøver fra st. 450 hver anden uge kan være påvirket af at slamsugeren i bundfældningsanlægget, der normalt har kørt fra tirsdag morgen og ca. 8 timer frem. Slamsugeren vil, ud over at pumpe vand og slam bort, også hvirvle noget af det akkumulerede stof op fra bunden af bundfældningsbassinet som transporteres videre ned til st. 450 lige nedstrøms bundfældningsbassinet. Ved opgørelse af både BI_5-koncentrationen (mg l^{-1}) ved st. 450 og ved stofbalancen (kg uge^{-1}) for st. 450 – st. 400 er det tydeligt at BI_5-prøverne udtaget i uger, hvor der er foretaget oppumpning, er påvirket heraf i det første måleår (tabel 4.8). Det fremgår ligeledes ud fra medianen for balancen st. 450 – st. 400 at der normalt er en BI_5-tilbageholdelse i de uger, hvor der ikke sker nogen pumpeaktivitet, mens der er en nettoudledning fra bundfældningsbassinet i de uger hvor der pumpes materiale væk. Da BI_5 er puljet af en døgnprøve og anvendt til at repræsentere hele den efterfølgende uge, bliver den samlede BI_5-værdi ved st. 450 på denne måde overvurderet for hele ugen efter en tømning af bundfældningsbassinet.

Tabel 4.8 BI_5-koncentrationen (mg l^{-1}) opgjort som medianværdien for de to forskellige foderforbrugsperioder for prøvetagning i uger uden tømning og i uger med tømning (pumpning) af bundmateriale i bundfældningsbassinet. Ligeledes er medianværdien for massebalancen (kg uge^{-1}) for st. 450 – st. 400 opgjort. Negative og positive værdier angiver henholdsvis en stoftilbageholdelse og stofudledning over bundfældningsbassinet. Værdierne er angivet for de to perioder P1 og P2 på hver 46 uger med forskelligt foderforbrug.

		st. 450 median mg l^{-1}	st. 450 - 400 median kg uge^{-1}
P1	uden oppumpning	3,9	- 21
	efter oppumpning	4,5	29
P2	uden oppumpning	3,9	- 24
	efter oppumpning	3,8	- 24

Der har været en del startproblemer med pumpen. Fra fiskemesterens dagbog er der noteret adskillige bemærkninger vedrørende bundsugningen af bundfældningsbassinet. Disse driftsproblemer, hvor pumpen blandt andet bare har suget ukontrollabelt hårdt, er primært forekommet fra april 2000 til april 2001. Pumpen i bundfældnings-

bassinet blev skiftet den 1. maj 2001 og herefter er der noteret betydelig færre bemærkninger m.h.t. driftsproblemer. Efterfølgende er der ikke fundet nogen forskel i BI_5 -koncentrationen mellem uger med og uden pumpeaktivitet i bundfældningsbassinet (tabel 4.8).

På baggrund af ovenstående betragtninger vurderes det nødvendigt for perioden frem til maj 2001 at korrigere BI_5 målingerne ved st. 450 i de uger, hvor der har været foretaget tømning af bundfældningsbassinet. Den "høje" koncentrationsmåling for måledøgnet er reel nok men er ikke repræsentativ for hele den efterfølgende uge. Den målte værdi anvendes for måledøgnet. For gennemsnitsværdien for de resterende 6 dage af ugen korrigeres den målte BI_5-koncentration med en faktor svarende til forholdet mellem uger, hvor der ikke tømmes bundfældningsanlæg i forhold til uger hvor der er tømning heraf i periode 1.

Ophvirvling af materiale grundet pumpning i bundfældningsbassinet i det første måleår kan også registreres i plantelagunernes udløb, st. 510, 520 og 530 ved at koncentrations medianværdien har været henholdsvis 13%, 7% og 4% svarende til 0,4, 0,2 og 0,1 mg BI_5 l^{-1} større for dage med pumpning i bundfældningsbassinet sammenlignet med de uger hvor ingen aktivitet fandt sted i bundfældningsbassinet. For dage med pumpning er BI_5-koncentrationer i periode 1 korrigeret med samme procedure som angivet ovenfor ved st. 450.

Det skal understreges at disse korrektioner alene foretages i forhold til beregning af stofbalancer hvor døgnværdier har vist sig ikke at være repræsentative for en hel uge. I kapitel 9 hvor beregningerne om overholdelse af udlederkrav i forhold til miljøgodkendelsen er disse korrektioner ikke medtaget. Der justeres altså ikke på de målte værdier da BI_5-udlederkravene vurderes på de aktuelle måledøgn i hele dambruget.

Tilbageholdelsen i bundfældningsanlægget udgør mellem 15 og 44% af den samlede stoftilbageholdelse i slamkegler og bundfældningsanlæg og størst for suspenderet stof (tabel 4.9).

Tabel 4.9 Totale nettomængde tilbageholdt stof (kg) i bundfældningsbassin (st. 430) og i slamdepoterne for slamkeglerne (st. 150 + 250 + 350 – st. 410) for de to perioder P1 og P2 med forskellige fodertildeling.

		TN		TP		SS		BI_5		Glødetab	
		P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
Netto tilbageholdt i alt (kg)		202	244	99	109	6.998	9.263	1.992	3.444	3.237	4.595
Netto tilbageholdt i slamdepoter (tabel 4.5)	(kg)	131	136	80	85	4.247	5.909	1.571	2.918	2.159	3.270
	(%)	(65%)	(56%)	(81%)	(78%)	(61%)	(64%)	(79%)	(85%)	(67%)	(71%)
Netto tilbageholdt i bundfældningsbassin	(kg)	71	108	19	24	2.751	3.354	421	526	1.078	1.325
	(%)	(35%)	(44%)	(19%)	(22%)	(39%)	(36%)	(21%)	(15%)	(33%)	(29%)

Generelt har sedimentationskeglerne været mest effektive til at tilbageholde stof hvilket bl.a. skyldes, at det er den første renseforanstaltning som indløbsvandet og produktionsbidraget passerer. Forholdet i

tilbageholdelse for de forskellige stoffer mellem bundfældningsbassinet og sedimentationskeglerne er nogenlunde ens i de to forskellige foderperioder.

Den forholdsvis store mængde TN, der er tilbageholdt i bundfældningsbassinet, kan tilskrives den høje kvælstofkoncentration der er i vandet. Hvis det antages at BI_5 er udtryk for let omsættelig organisk stof mens glødetabet er udtryk for alt organiske stof, så fanges hovedparten af let omsættelig organisk stof i slamfælderne inde på selve produktionsanlægget mens bundfældningsbassinet tilbageholder forholdsvis mere organisk stof som glødetab dvs. partikulært bundet sammenlignet med BI_5. Meget BI_5 er tilknyttet fiskefækalier, hvor en del fanges i slamkegler. For det organiske stof bestemt som glødetab som kommer med vandløbsvandet synes en større del knyttet til små partikler, som først fanges i bundfældningsbassinet.

4.5 Plantelaguner

Efter at vandet har passeret bundfældningsanlægget fordeles det ligeligt i tre plantelaguner, hvorfra vandet strømmer tilbage i recipienten Døstrup Bæk ved st. 510 (vandløbssystemet), 520 og 530 (de to søsystemer) (tabel 4.10). Da der er en volumenforskel mellem de tre lagunesystemer (tabel 1.1) og den tilledte mængden vand er nogenlunde ens er der forskellige opholdstider i de tre plantelaguner, hvor vandløbssystemet har den korteste og søsystem 2 har den længste opholdstid.

Tabel 4.10 Beregnede gennemsnitlige vandføringer (l s^{-1}) og opholdstider (timer) i de tre plantelagunesystemer. Gennemsnittet ± standard afvigelsen er angivet for vandføringen.

	Vandløbssystem st. 510		Søsystem 1 st. 520		Søsystem 2 st. 530	
	vandføring l s^{-1}	opholdstid timer	vandføring l s^{-1}	opholdstid timer	vandføring l s^{-1}	opholdstid timer
P1	34,1 ± 4,2	7,5	34,9 ± 4,9	9,6	31,2 ± 5,8	12,2
P2	34,8 ± 7,2	7,3	32,4 ± 6,8	10,4	31,7 ± 5,4	12,0

Efterfølgende vil stofflux for stofferne, BI_5, ammonium kvælstof, suspenderet stof, total fosfor og total kvælstof i plantelagunerne blive præsenteret ved en grafisk fremstilling af den ugentlige stoftilbageholdelse/stofudledning for de to hele måleår april 2000– april 2002, samt ved en stofbalanceopgørelse præsenteret i tabeller for de to perioder med forskellige foderforbrug på henholdsvis 44,5 tons (P1) og 58,6 tons (P2). En positiv stoftilbageholdelse betyder, at der i løbet af en uge udledes mindre stof fra en plantelagune (st. 510, 520 og 530) end der tilføres lagunen (bestemt fra station 450). Omvendt defineres negativ stoftilbageholdelse som at der i den pågældende uge er udledt mere stof fra en plantelagune end der er tilført. I tabel 4.11 – 4.15, hvor der sker en sammenligning mellem de to perioder P1 og P2, er summen af antal uger med enten positiv eller negativ stoftilbageholdelse for en given station ikke nødvendigvis 46 uger som hver af de to perioder dækker, idet der er uger hvor koncentrationen af ind-

løbsvand til og udløbsvand fra lagunerne er den samme (dvs. hverken positiv eller negativ stoftilbageholdelse). Nettotilbageholdelse defineres som forskellen mellem positiv og negativ stoftilbageholdelse over hele perioden P1 eller P2. En negativ nettostoftilbageholdelse betyder, at der har været en nettoudledning for hele perioden P1 eller P2. Den gennemsnitlige nettotilbageholdelsesprocent er nettotilbageholdelsen i procent af tilførelsen til det enkelte lagunesystem i den givne periode.

BI_5

Generelt er tilbageholdelsen af BI_5 i plantelagunerne størst om sommeren og efteråret (figur 4.17). Der er nogle uger med negativ stoftilbageholdelse specielt i opstartsfasen hvor plantelagunerne var helt rengjorte for planter, men fra august 2000 til april 2001 er der med en enkelt undtagelse udelukkende positiv tilbageholdelse i plantelagunerne. De tre lagunesystemer er ret ens med hensyn til tilbageholdelse af BI_5 det første år på nær i opstartsfasen. I det andet år fra midt i juni 2001 til sidst i august, er stoftilbageholdelse i vandløbssystemet forskellig fra den i de to søsystemer, der er endog et par uger med betydelig negativ stoftilbageholdelse fra vandløbssystemet (figur 4.17). Efter august 2001 er den positive stoftilbageholdelse i vandløbssystemet på samme niveau som i de to søsystemer.

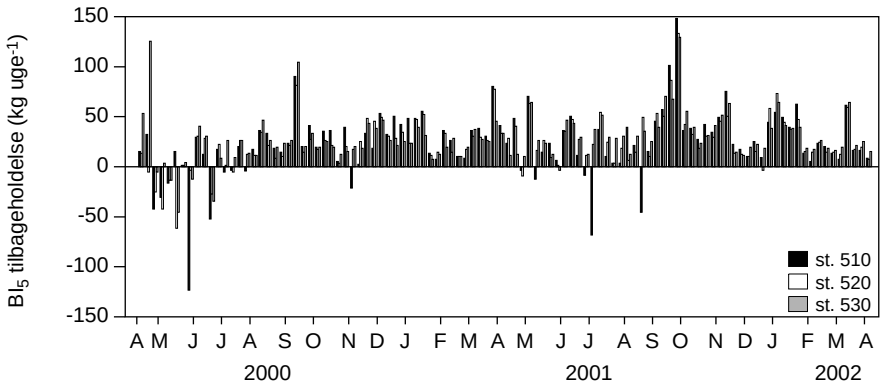


Fig. 4.17 BI_5-tilbageholdelse (kg/uge) henholdsvis positive og negative værdier for tre lagunesystemer (st. 510, 520 og 530) for perioden april 2000 til april 2002

BI_5-inputtet til plantelagunerne er 10 % større i periode 2 (P2) hvor der er brugt 58,6 tons foder sammenlignet med periode 1, hvor der er brugt 44,5 tons foder (tabel 4.11). Den gennemsnitlige nettotilbageholdelsesprocent er større i periode 2 for alle plantelaguner. Nettostoftilbageholdelsen i vandløbssystemet er i begge perioder lidt mindre end i de to søsystemer. I begge perioder var den største nettotilbageholdelse af BI_5 i søsystem 2 (st. 530) og der er fundet en linier sammenhæng (R^2 = 1,0 og R^2 = 0,95) mellem den gennemsnitlige procentuelle tilbageholdelse og opholdstid for de to foderperioder P1 og P2.

Tabel 4.11 Samlet tilførsel, positiv og negativ tilbageholdelse samt netto tilbageholdelsen af BI_5 (kg) for to perioder med henholdsvis 44,5 tons (P1) og 58,6 tons (P2) foder begge på 46 uger. Antal uger med positiv og negativ tilbageholdelse angives i parentes. Gennemsnitlige nettotilbageholdelse er beregnet i procent af tilførelsen til plantelagunerne.

BI_5	Tilførsel		Uger med positiv tilbageholdelse		Uger med negativ tilbageholdelse		Netto tilbageholdelse		Netto tilbageholdelse	
	kg		kg		kg		kg		%	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
st. 510	3.583	4.036	1.146	1.375	202	119	944	1.256	26	31
			(40)	(41)	(6)	(3)				
st. 520	3.637	3.807	1082	1.356	33	2	1049	1.354	29	36
			(39)	(44)	(3)	(1)				
st. 530	3.283	3.744	1.101	1.524	44	2	1057	1.522	32	41
			(43)	(45)	(2)	(1)				

* samlet BI_5 nettotilbageholdelse for P1 (44,5 tons foder) på 3.050 kg svarende til 66 kg uge^{-1} og for P2 (58,6 tons foder) på 4.132 kg svarende til 90 kg uge^{-1}.

Ammoniumkvælstof (NH_3+NH_4^+-N)

I "Vandløbssystemet" st. 510 forekommer den største tilbageholdelse/omsætning af ammoniumkvælstof (figur 4.18 og tabel 4.12). Fra august-september til og med december-januar findes begge år de største absolutte stoftilbageholdelser for hele undersøgelsesperioden (figur 4.18). Fra januar til juli er tilbageholdelsen/omsætningen mindst med ca. 1-2 kg uge^{-1}.

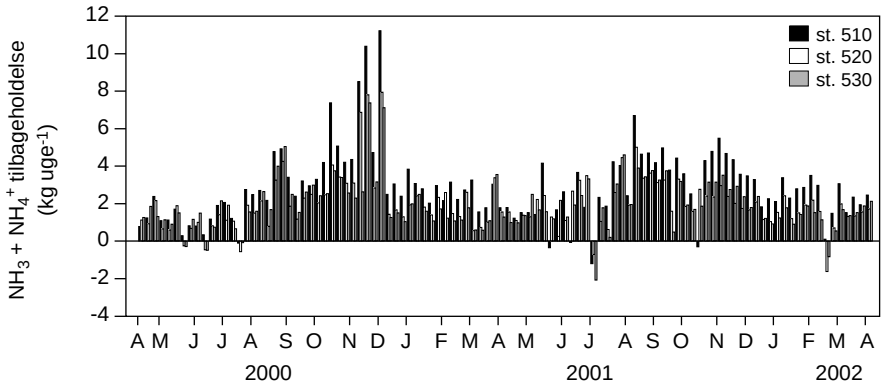


Fig. 4.18 Ammoniumkvælstof tilbageholdelse (kg/uge) henholdsvis positive og negative værdier for tre lagunesystemer (st. 510, 520 og 530).

Tilførsel af ammoniumkvælstof til plantelagunerne falder 7% fra periode 1 til periode 2. Tilbageholdelsen er stort set den samme ved de to forskellige fodertildelinger, men vandløbssystemet er med en gennemsnitlige tilbageholdelse på omkring 60% meget bedre til at tilbageholde og omsætte ammoniumkvælstof end søsystemerne, der tilbageholder omkring 40% (tabel 4.12).

Tabel 4.12 Samlet tilførsel, positiv og negativ tilbageholdelse samt nettotilbageholdelsen af ammonium kvælstof - NH_3+NH_4^+-N (kg) for to perioder med henholdsvis 44,5 tons (P1) og 58,6 tons (P2) foder begge på 46 uger. Antal uger med positiv og negativ tilbageholdelse angives i parentes. Gennemsnitlige nettotilbageholdelse er beregnet i procent af tilførelsen til plantelagunerne.

NH_3+NH_4^+-N	Tilførsel		Uger med positiv tilbageholdelse		Uger med negativ tilbageholdelse		Netto tilbageholdelse		Netto tilbageholdelse	
	kg		kg		kg		kg		%	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
st. 510	242	228	153	131	-	1	144	130	60	57
			(43)	(42)	(-)	(3)				
st. 520	244	213	97	89	1	2	96	87	39	41
			(43)	(43)	(3)	(2)				
st. 530	219	212	92	90	-	2	92	89	42	41
			(42)	(41)	(-)	(2)				

* samlet NH_3+NH_4^+-N nettotilbageholdelse for P1 (44,5 tons foder) på 332 kg svarende til 7,2 kg uge^{-1} og for P2 (58,6 tons foder) på 306 kg svarende til 6,7 kg uge^{-1}.

Suspenderet stof – SS

Generelt er der en positiv tilbageholdelse af suspenderet stof i de tre plantelaguner i de fleste uger fra april 2000 til april 2002 (figur 4.19). I april til juni 2000 hvor planterne begynder at etableres i lagunerne, er der uger med negativ tilbageholdelse i plantelagunerne, hvorefter der overordnet set er en positiv tilbageholdelse af suspenderet stof. System 530 skiller sig dog ud ved at have en markant mindre tilbageholdelse af suspenderet stof i sommeren 2000. Tilbageholdelsen er generelt mindst om vinteren.

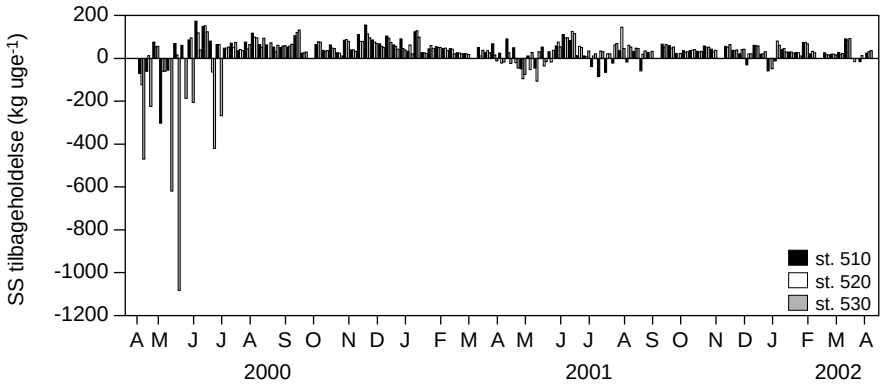


Fig. 4.19 Tilbageholdelse (kg/uge) af suspenderet stof henholdsvis positive og negative værdier for tre lagunesystemer (st. 510, 520 og 530).

SS tilførslen til plantelagunerne er betydelig mindre, 28 %, for periode 1 sammenlignet med periode 2.

Mønsteret for positiv og negativ tilbageholdelse af suspenderet stof er forskelligt både mellem lagunesystemerne og i de to perioder med forskelligt foderforbrug (figur 4.19). I opstartsfasen er der uger med meget negativ tilbageholdelse specielt fra søsystem 2 (st. 530), hvilket ses ved at den gennemsnitlige nettotilbageholdelsesprocent er under

halvdelen af det andet søsystem (st. 520) og af vandløbssystemet (st. 510). For periode 2 med et foderforbrug på 58,6 tons har vandløbssystemet (st. 510) en markant lavere positiv tilbageholdelse af suspenderet stof. Der er 11 uger med negativ stoftilbageholdelse fra vandløbssystemet mod en og to uger i søsystemerne (tabel 4.13). Ses der bort fra de to markant lavere tilbageholdelser i periode 1 i søsystem 2 og periode 2 i vandløbssystemet, så er der for begge fodertildelinger målt en gennemsnitlig positiv stoftilbageholdelse for suspenderet stof på ca. 2/3 af det som tilledes plantelagunerne.

Tabel 4.13 Samlet tilførsel, positiv og negativ tilbageholdelse samt netto tilbageholdelsen af suspenderet stof - SS (kg) for to perioder med henholdsvis 44,5 tons (P1) og 58,6 tons (P2) foder begge på 46 uger. Antal uger med positiv og negativ tilbageholdelse angives i parentes. Gennemsnitlige nettotilbageholdelse er beregnet i procent af tilførelsen til plantelagunerne.

SS	Tilførsel		Uger med positiv tilbageholdelse		Uger med negativ tilbageholdelse		Netto tilbageholdelse		Netto tilbageholdelse	
	kg		kg		kg		kg		%	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
st. 510	3.507	2.670	2.683	1.128	-	337	2.683	791	77	30
			(44)	(32)	(-)	(11)				
st. 520	3.652	2.487	2.160	1.501	75	19	2.085	1.482	57	60
			(41)	(38)	(3)	(2)				
st. 530	3.275	2.377	1.884	1.479	1069	43	816	1.436	25	60
			(38)	(41)	(6)	(2)				

* samlet suspenderet stof nettotilbageholdelse for P1 (44,5 tons foder) på 5.584 kg svarende til 121 kg uge^{-1} og P2 (58,6 tons foder) på 3.709 kg svarende til 81 kg uge^{-1}.

Total fosfor

Vandløbssystemet st. 510 tilbageholder en større andel total fosfor end de to sø-systemmer st. 520 og st. 530 (tabel 4.14 og figur 4.20). Den største tilbageholdelse sker i perioden juli til november 2000. Fra juli 2000 er der med få undtagelser positiv tilbageholdelse af total fosfor i plantelagunerne. Fra januar til marts i både 2000 og 2001 er der ikke nogen væsentlig positiv eller negativ tilbageholdelse af total fosfor i plantelagunerne.

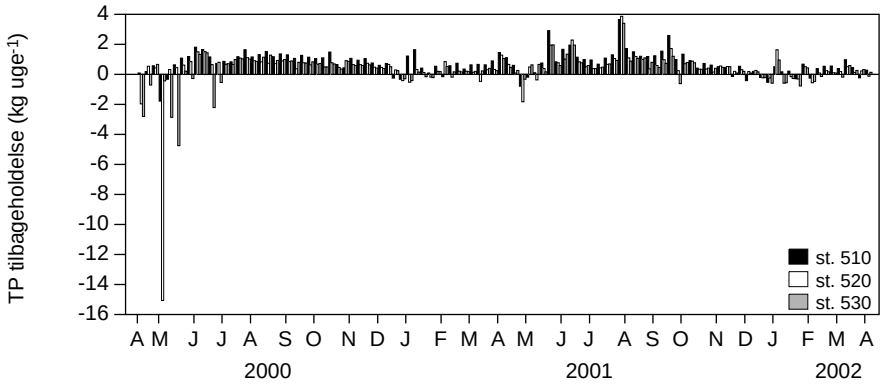


Fig. 4.20. Total fosfors tilbageholdelse (kg/uge) henholdsvis positive og negative værdier for tre lagunesystemer (st. 510, 520 og 530).

TP tilførslen til plantelagunerne er 8% højere for periode 2 end i periode 1. Tilbageholdelsen er større i vandløbssystemet i både periode 1 og periode 2. For de to søsystemer er der god indbyrdes overensstemmelse i den gennemsnitlige procentuelle tilbageholdelse for begge foderperioder. Derimod er der et mindre fald på 5 procent point i vandløbssystemets tilbageholdelse af total fosfor fra periode 1 til periode 2.

Tabel 4.14 Samlet tilførsel, positiv og negativ tilbageholdelse samt netto tilbageholdelsen af total fosfor – TP (kg) for to perioder med henholdsvis 44,5 tons (P1) og 58,6 tons (P2) foder, begge på 46 uger. Antal uger med positiv og negativ tilbageholdelse angives i parentes. Gennemsnitlige nettotilbageholdelse er beregnet i procent af tilførelsen til plantelagunerne.

TP	Tilførsel		Uger med positiv tilbageholdelse		Uger med negativ tilbageholdelse		Netto tilbageholdelse		Netto tilbageholdelse	
	kg		kg		kg		kg		%	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
st. 510	145	159	39	36	< 1	1	39	35	27	22
			(43)	(37)	(2)	(6)				
st. 520	147	150	24	25	1	1	23	24	16	16
			(40)	(36)	(5)	(5)				
st. 530	131	146	22	23	3	3	19	20	15	14
			(39)	(34)	(7)	(6)				

* samlet TP nettotilbageholdelse for P1 (44,5 tons foder) på 81 kg svarende til 1,8 kg uge^{-1} og P2 (58,6 tons foder) på 79 kg svarende til 1,7 kg uge^{-1}.

Orthofosfat

Stoftilbageholdelsesmønsteret for opløst fosfor (orthofosfat) er forskelligt for de to typer af lagunesystemer, hvor vandløbssystemet har den største tilbageholdelse (figur 4.21). Om sommeren er der for begge måleår positiv tilbageholdelse i de tre lagunesystemer i alle uger. Modsat er der om vinteren uger med negativ tilbageholdelse af orthofosfat og for det andet måleår strækker det sig helt fra november til afslutningen af forsøget og mest markant for søsystem 2.

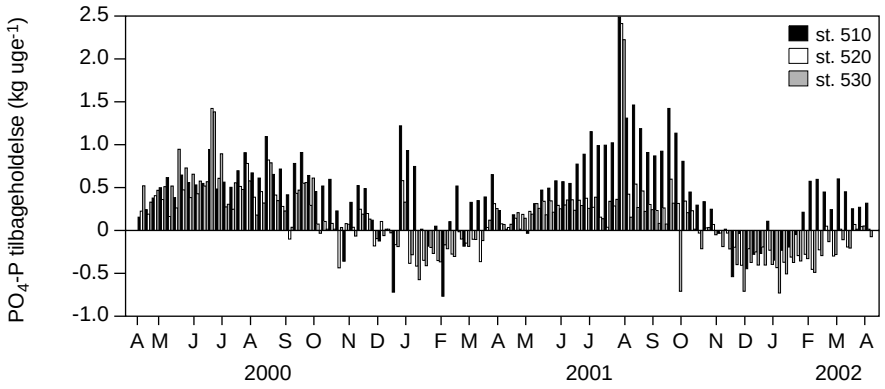


Fig. 4.21 Orthofosfat tilbageholdelse (kg/uge) henholdsvis positive og negative værdier for tre lagunesystemer (st. 510, 520 og 530).

Tabel 4.15 Samlet tilførsel, positiv og negativ tilbageholdelse samt netto tilbageholdelsen af orthofosfat – PO_4-P (kg) for to perioder med henholdsvis 44,5 tons (P1) og 58,6 tons (P2) foder, begge på 46 uger. Antal uger med positiv og negativ tilbageholdelse angives i parentes. Gennemsnitlige nettotilbageholdelse er beregnet i procent af tilførelsen til plantelagunerne.

PO_4-P	Tilførsel		Uger med positiv tilbageholdelse		Uger med negativ tilbageholdelse		Netto tilbageholdelse		Netto tilbageholdelse	
	kg		kg		kg		kg		%	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
st. 510	98	106	21	25	2	2	19	23	19	22
			(37)	(35)	(6)	(7)				
st. 520	99	100	11	9	3	4	8	5	8	8
			(30)	(22)	(13)	(14)				
st. 530	88	97	11	6	3	8	8	-2	9	-2
			(25)	(19)	(13)	(22)				

* samlet orthofosfat nettotilbageholdelse for P1 (44,5 tons foder) på 35 kg svarende til 0,8 kg uge^{-1} og P2 (58,6 tons foder) på 26 kg svarende til 0,6 kg uge^{-1}.

Orthofosfat inputtet til lagunesystemerne stiger med 6% fra periode 1 til periode 2 (tabel 4.15). Både i vandløbssystemet og i søsystem 1 (st. 520) er den gennemsnitlige procentuelle tilbageholdelse ikke signifikant forskellig i de to foderperioder, men med en omkring 10 procentpoint højere nettotilbageholdelse i vandløbssystemet end i søsystem 1. Nettotilbageholdelsen i søsystem 2 (st. 530) er i periode 1 stort set som i søsystem 1, men er i periode 2 signifikant anderledes med en negativ nettotilbageholdelse, dvs. en udledning af orthofosfat ud over hvad der er tilført lagunesystemet. Det kan ikke kun tilskrives en tilfældighed, da der i periode 2 er udledninger i 22 af de 46 uger perioden strækker sig over.

Total kvælstof

Tilbageholdelsen af total kvælstof (TN) er størst i sommer- og efterårsperioden (figur 4.22). Generelt har der været positiv tilbageholdelse af TN dog med få uger med negativ tilbageholdelse. Variationen mellem de tre lagunesystemers gennemsnitlige nettotilbageholdelse af TN ligner dem der er fundet for NH_3+NH_4^+-N, dog er der i vintermånederne uger med negativ tilbageholdelse af TN.

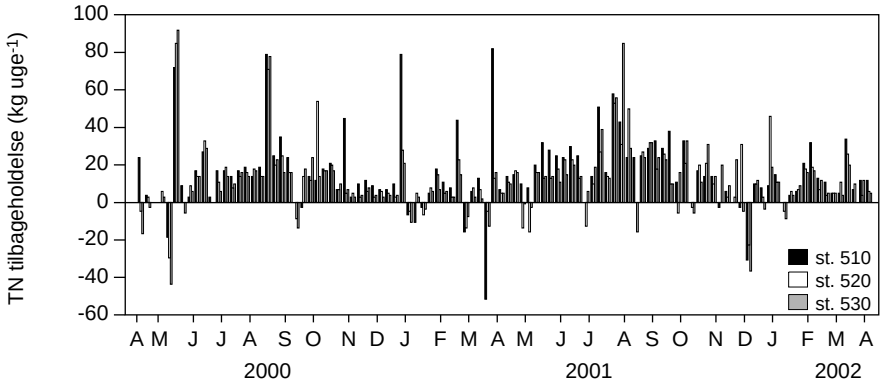


Fig4.22. Total kvælstof tilbageholdelse (kg/uge) henholdsvis positive og negative værdier for tre lagunesystemer (st. 510, 520 og 530).

Tabel 4.16 Samlet tilførsel, positiv og negativ tilbageholdelse samt nettotilbageholdelsen af total kvælstof - TN (kg) for to perioder med henholdsvis 44,5 tons (P1) og 58,6 tons (P2) foder, begge på 46 uger. Antal uger med positiv og negativ tilbageholdelse angives i parentes. Gennemsnitlige nettotilbageholdelse er beregnet i procent af tilførelsen. til plantelagunerne.

TN	Tilførsel		Uger med positiv tilbageholdelse		Uger med negativ tilbageholdelse		Netto tilbageholdelse		Netto tilbageholdelse	
	kg		kg		kg		kg		%	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
st. 510	12.132	12.310	749	753	85	34	664	719	5	6
			(39)	(38)	(6)	(3)				
st. 520	12.446	11.444	531	632	35	44	497	588	4	5
			(39)	(38)	(5)	(5)				
st. 530	11.136	11.263	456	701	51	72	405	630	4	6
			(39)	(39)	(6)	(6)				

* samlet TN nettotilbageholdelse for P1 (44,5 tons foder) på 1.566 kg svarende til 34 kg uge^{-1} og P2 (58,6 tons foder) på 1.937 kg svarende til 42 kg uge^{-1}.

Inputtet af TN er stort set ens i de to perioder (tabel 4.16). Den faktiske stoftilbageholdelse er lav som andel af tilførslen da både koncentrationerne i det indtagne vandløbsvand og i grundvand er høje. Den gennemsnitlige nettotilbageholdelse er stort set den samme i de tre lagunesystemer dog med en svag tendens til en lidt større TN-tilbageholdelse i vandløbssystemet.

Stofomsætning i plantelagunerne

Plantelagunerne fungerer i princippet som et vådområde og dette gælder også for stoffluxene heri. Stoffjernelsen i en plantelagune involverer flere processer som sedimentation af suspenderet materiale, fysiske plantefiltrering af suspenderet materiale, optag af næringssalte i planter og bakterier, nedbrydning af organisk stof, nitrifikation og denitrifikation (*Grønborg og Frier, 2000*).

Ved opstart af forsøgsprojektet på Døstrup Dambrug i april 2000 er plantelagunerne oprenset og alt vegetation fjernet, så de stod tilbage som bare jorddamme. Der skulle komme en naturlig indvandring af vandplanter i plantelagunerne så plantesamfundet kunne udvikle sig uden direkte menneskelig påvirkning. Trådalger er den første dominerende vegetation i alle plantelaguner (afsnit 8.3). Når trådalgerne driver ud af plantelagunerne bliver noget opsamlet i de automatiske vandprøvetager og det resulterer i, at der i nogle uger er målt nogle meget store stofudledninger fra plantelagunerne. Efter at Brøndkarse og Andemad begynder at indvandre bliver de hurtigt de dominerende planter i lagunerne og det stabiliserer variationen i tilbageholdelse. Stofbalancen over plantelagunerne varierer herefter mindre fra uge til uge fra juni 2000 samtidig med at tilbageholdelsen generelt stiger for det første måleår frem til vegetationen henfalder om vinteren.

Vandløbssystemet (st. 510) har en højere gennemsnitlig tilbageholdelsesprocent for total fosfor, orthofosfat, ammonium-kvælstof og tildels total kvælstof end søsystemerne (st. 520 og 530) for begge foderperioder. Selv om vandets opholdstid er kortere i vandløbssystemet (tabel 1.1 og 4.10) så er der med den højere plantedækningsgrad en større omsætning og tilbageholdelse af stof end i de to søsystemer i periode 1. For periode 2 har vandløbssystemet ligeledes tilbageholdt mere af de fire omtalte stoffer på trods af at der har været en mindre plantedækningsgrad og en kortere opholdstid i vandløbssystemet sammenlignet med søsystemerne. For total fosfor og total kvælstof fremstår vandløbssystemet som det mest optimale med hensyn til stoftilbageholdelse. For total kvælstof er det dog vanskeligt at se nogen større forskel mellem de tre lagunesystemer men der er en svag tendens til at vandløbssystemet har tilbageholdt mere total kvælstof end de to søsystemer.

Plantedækningsgraden af andemad og brøndkarse, som er de alt dominerende plantearter, er ikke statistisk forskellig i periode 1 og 2 i de to søsystemer. I begge perioder er der en større BI_5-tilbageholdelse i søsystem 2 som også har den største opholdstid.

For BI_5 er det tilsyneladende den større opholdstid i de to søsystemer der spiller en afgørende rolle, hvor den procentuelle BI_5-tilbageholdelse er størst i søsystemet med den største opholdstid og mindst i vandløbssystemet som også har den korteste opholdstid af de tre lagunesystemer. For periode 1 hvor dækningsgraden af brøndkarse er betydelig større i vandløbssystemet end i søsystemerne er der en mindre BI_5-tilbageholdelse i vandløbssystemet. Dette stemmer godt overens med omsætningsforsøgene for BI_5, der viser opholdstidens afgørende betydning (se kapitel 11).

Arealomsætningen i plantelagunerne, udtrykt som gram stof (BI_5, NH_3+NH_4^+-N, TP og TN) omsat pr. m^2 pr. døgn, viser at der generelt har været en nogenlunde ens omsætning i de to foderperioder. Dog er arealomsætningen af BI_5 og TN lidt større i periode 2 med det højere foderforbrug (tabel 4.17). BI_5-tilbageholdelsen udtrykt i forhold til arealet i det pågældende lagunesystem viser ikke nogen forskel mellem de tre lagunesystemer. Arealomsætningen er også angivet for den uge hvor den største omsætning er registreret, hvilket er en faktor 5-10 større end gennemsnittet for de 46 uger som hver af de to foderperioder dækker.

Tendensen til højere TN-tilbageholdelse (omsætning) i periode 2 kan som for BI_5 hænge sammen med manglende vegetation og tidligere omtalte problemstillinger i maj og juni 2000 i starten af periode 1.

I kapitlet 11 er der en yderligere diskussion af forhold der kan forklare de målte tilbageholdelse og variationer heri i de tre plantelaguner.

Tabel 4.17 Gennemsnitlig arealomsætning og den maksimale arealomsætning i en uge i gram pr. m^2 pr. dag i plantelagunerne for stofferne BI_5, NH_3-NH_4^+-N, TP og TN for de to perioder med forskellige fodertildelinger, P1 og P2, med henholdsvis 44,5 og 58,6 tons foder .

		P1		P2	
		g m^{-2} døgn^{-1}		g m^{-2} døgn^{-1}	
		snit	max.	snit	max.
BI_5	st. 510	1,8	7,8	2,4	12,8
	st. 520	1,9	6,6	2,4	10,9
	st. 530	1,8	7,8	2,5	9,8
	st. 510	0,29	1,0	0,27	1,3
$NH_3+NH_4^+$-N	st. 520	0,19	0,9	0,17	1,1
	st. 530	0,17	0,9	0,16	1,0
	st. 510	0,07	0,15	0,07	0,31
TP	st. 520	0,04	0,12	0,04	0,31
	st. 530	0,03	0,10	0,03	0,25
	st. 510	1,3	7,5	1,4	5,0
TN	st. 520	0,9	5,8	1,1	4,0
	st. 530	0,7	5,9	1,0	6,4

4.6 Samlet stofflux beregninger over dambrugets enheder

Et dambrug er på mange måder et kompliceret system, hvor processer i jord, vand, fisk, planter, mikroorganismer og luft m.v. virker i komplekse sammenhænge. Den eksterne påvirkning primært fra tilført foder og fra det tilførte vand giver en påvirkning der betyder, at systemet som helhed aldrig er i ligevægt men under konstant forandring. Det er åbenlyst at det ikke er muligt nøjagtigt at beregne eller modellere et sådant system. Modellering og kontrol må baseres på gennemsnitsbetragtninger og forenklede massebalancer (*Grønborg og Frier, 2000*).

Det er altså kvantiteten og kvaliteten af moniteringsprogrammet der i sidste ende er afgørende for, hvor troværdig de endelige resultater for eksempelvis massebalancer bliver. På Døstrup Dambrug har måleintensiteten og –kvaliteten haft meget høj prioritering.

For de ovenfor gennemgåede enkelte enheder af Døstrup Dambrug, produktionsanlæg og de tre renseforanstaltninger slamfælder, bundfældningsbassin og plantelaguner sammenfattes stofbalancen for kontrolvariablerne BI_5, SS, TP og TN for de to perioder P1 fra 17. maj 2000 til 4. april 2001 og P2 fra 16. maj 2001 til 3. april 2002 med foderforbrug på henholdsvis 44,5 og 58,6 tons. Begge perioder er på 46 uger.

Ammoniumkvælstof og orthofosfat gennemgås ikke, da det hverken er målt i slamvandet som pumpes fra slamkeglerne på produktionsanlægget over i slamdepoterne eller i vandet der, pumpes op fra bundfældningsbassinet. Der er heller ikke problemer med at overholde de vejledende udlederkrav for NH_3+NH_4^+-N (jvf. kapitel 9).

De foregående afsnit er sammenfattet i tabel 4.18 - 4.20 der viser fiskeproduktionens stofbidrag og netto stoftilbageholdelse over de forskellige enheder på Døstrup Dambrug angivet i kg foder for periode 1 og 2 samt for hele forsøgsperioden på to år. Produktionsbidraget som er stofbidraget der kan relateres til fiskeproduktion, sættes til 100% og nettotilbageholdelse i henholdsvis slamdepoter, bundfældningsanlæg og plantelaguner er angivet som kg og procent tilbageholdt i forhold til produktionsbidraget. Endeligt beregnes mængden af stof og andelen af fiskeproduktionens stofbidrag som tilføres recipienten Døstrup Bæk. I tabel 4.18 – 4.20 er stof tilført Døstrup Bæk ligeledes beregnet ved balancen (st. 510 + st. 520 + st. 530) minus (st. 20+ st. 30). Stofmængden i indløbsvandet fra Døstrup Bæk st. 20 og grundvandsbidraget st. 30 er angivet for at stofbidraget fra det indtagne vand, som også vil bidrage til den målte stoftilbageholdelse i dambruget, kan sammenholdes med de øvrige størrelser.

Tabel 4.18 Stofbidrag fra fiskeproduktionen (sat til 100%) og nettostoftilbageholdelse i forskellige dele af Døstrup Dambrug samt stofbidrag til Døstrup Bæk. Desuden angives stof tilført Døstrup Bæk beregnet for balancen st. 510 + st. 520 + st. 530 – (st. 20 + st.30) og den samlede stofmængde, der er taget ind via indløbsvandet ved st. 20 og via grundvand st. 30. **Alle tal er opgjort for perioden P1 (17/5 2000 – 3/4 2001) = 44,5 tons foder.**

		Stoftilbageholdelse						
	Stofbidrag fra fiskeproduktionen	Slam depoter	Bundfældningsanlæg	Plantelaguner	Stof tilført Døstrup Bæk: fiskeproduktion minus stoftilbageholdelsesforanstaltninger	Stof tilført Døstrup Bæk: ud fra balancen st. 510 + st. 520 + st. 530 – (st. 20 + st.30)	Stofmængde i indløbsvand st. 20	Stofmængde i grundvand st. 30
	kg (=100%)	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
BI_5	6.255	1.699	421	3.050	1.085	1.484	5.733	512
	(100%)	(27%)	(7%)	(49%)	(17%)			
SS	2.203	4.247	2.751	5.584	-10.379	-9.534	14.020	364
	(100%)	(192%)	(125%)	(253%)	(%)			
TP	266	80	19	81	88	88	192	62
	(100%)	(29%)	(7%)	(31%)	(33%)			
TN	2.195	131	71	1.566	427	571	23.598	10.027
	(100%)	(6%)	(3%)	(71%)	(20%)			

Tabel 4.19. Stofbidrag fra fiskeproduktionen (sat til 100%) og nettostoftilbageholdelse i forskellige dele af Døstrup Dambrug samt stofbidrag til Døstrup Bæk. Desuden angives stof tilført Døstrup Bæk beregnet for balancen st. 510 + st. 520 + st. 530 – (st. 20 + st.30) og den samlede stofmængde, der er taget ind via indløbsvandet ved st. 20 og via grundvand st. 30. **Alle tal er opgjort for perioden P2 (17/5 2001 – 3/4 2002) = 58,6 tons foder.**

		Stoftilbageholdelse						
	Stofbidrag fra fiskeproduktionen	Slam-depoter	Bundfældningsanlæg	Plantelaguner	Stof tilført Døstrup Bæk: fiskeproduktion minus stoftilbageholdelsesforanstaltninger	Stof tilført Døstrup Bæk: ud fra balancen st. 510 + st. 520 + st. 530 – (st. 20 + st.30)	Stofmængde i indløbsvand st. 20	Stofmængde i grundvand st. 30
	kg (=100%)	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
BI_5	8.935	2.918	525	4.132	1.360	1.364	5.574	513
	(100%)	(33%)	(6%)	(46%)	(15%)			
SS	3.450	5.909	3.354	3.708	-9.521	-8.671	12.642	368
	(100%)	(171%)	(97%)	(107%)	(%)			
TP	288	85	23	79	101	117	199	64
	(100%)	(30%)	(8%)	(27%)	(35%)			
TN	2.591	136	105	1.976	374	375	22.478	10.228
	(100%)	(5%)	(4%)	(76%)	(15%)			

Der er en generelt god overensstemmelse mellem de to perioder P1 og P2 for de tre forskellige renseforanstaltninger der bidrager til stoftilbageholdelse. Sammenlignes stof tilført Døstrup Bæk ud fra balancen st. 510 + st. 520 + st. 530 – (st. 20 + st.30) er der for BI_5 og TN sket et fald fra P1 til P2 tiltrods for at der gennemført en foderopskrivning på 32%, mens TP-udledningen er steget. En forklaring på at der ikke ses en stigning af stof udledt til recipienten skal findes i at slamkeglerne og plantelagunerne viser potentiale til at tilbageholde mere stof, som det har været tilfældet ved det større bidrag fra fiskeproduktionen. Endvidere virkede plantelagunerne ikke optimalt i begyndelsen af periode 1. Stigning i TP-tilførsel til Døstrup Bæk fra periode 1 til 2 tyder på, at plantelagunernes tilbageholdelseskapacitet allerede i periode 1 er opbrugt ift. TP. I absolutte mængder tilbageholdes det samme i lagunesystemerne i de to perioder, mens der er en procentuel reduktion ift. tilførslen af TP. Søsystem 2 har negativ nettotilbageholdelse i periode 2. Bindingskapaciteten synes opbrugt og det forhold kan også have påvirket mulighederne for at tilbageholde fosfor. Herudover er arbejdsprocedurerne og erfaringer vedrørende dambrugsdriften alt andet lige bedre i periode 2 da indkøring og evt. fejl, der har været under P1, er reduceret i P2.

Organisk stof, kvælstof og fosfor tilføres dambruget med det indtagne vand til produktionen, med foderet og i mindre grad med indsivende vand samt for TN og TP en smule via atmosfærisk nedfald. En del af foderet for de tre stofgrupper indbygges og genfindes i fiskene

men det er kun en del af foderet som optages i fiskene. Der er dermed også et foderspil, således at der tilføres opløste og faste stoffer til vandet i produktionsanlægget. Det største bidrag af affaldsstoffer til vandet er fra fiskenes ekskretion af kvælstof, samt afgivelse af fækalier og ikke-bundfældeligt organisk stof. Opløst kvælstof består primært af ammonium og urea. Omsætningen af kvælstof foregår forenklet ved at bundet kvælstof omdannes til ammonium som igen omsættes aerobt ved en nitrifikation til nitrat, der kan omsættes anaerobt ved denitrikation til frit kvælstof, der gasser af til atmosfæren under forbrug af letomsætteligt organisk materiale (*Grønborg og Frier, 2000*). Opløst fosfor optræder hovedsageligt som opløst orthofosfat, der udskilles fra fiskenes urin og som også findes i det indtagne produktionsvand, mens faste affaldsstoffer indholder organisk bundet fosfor. Det opløste fosfor er direkte tilgængeligt for mikroorganismer mens det partikulære bundet fosfor kan bundfældes og herfra kan der ske en vis frigivelse af orthofosfat. Organiske affaldsstoffer fra fiskene tilføres vandet som fækalier, fra slim og forbrænding i fisk som CO_2. Det organiske stof, hvoraf noget er henholdsvis svært- og let nedbrydeligt, kan dels omsættes i vandfasen, mens det partikulære organiske stof kan sedimentere med en efterfølgende nedbrydning så det som opløst organisk stof kan omsættes mikrobielt.

Tabel 4.20 Stofbidrag fra fiskeproduktionen (sat til 100%) og nettostoftilbageholdelse i forskellige dele af Døstrup Dambrug samt stofbidrag til Døstrup Bæk. Desuden angives stof tilført Døstrup Bæk beregnet for balancen st. 510 + st. 520 + st. 530 – (st. 20 + st.30) og den samlede stofmængde, der er taget ind via indløbsvandet ved st. 20 og via grundvand st. 30. **Alle tal er opgjort to års perioden (4/4 2000 – 3/4 2002) = 116,5 tons foder.**

		Stoftilbageholdelse						
	Stofbidrag fra fiskeproduktionen	Slam-depoter	Bundfældningsanlæg	Plantelaguner	Stof tilført Døstrup Bæk: fiskeproduktion minus stoftilbageholdelsesforanstaltninger	Stof tilført Døstrup Bæk: ud fra balancen st. 510 + st. 520 + st. 530 – (st. 20 + st.30)	Stofmængde i indløbsvand st. 20	Stofmængde i grundvand st. 30
	kg (=100%)	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
BI_5	17.694	5.099	1.139	7.535	3.921	4.391	13.244	1.153
	(100%)	(29%)	(6%)	(43%)	(22%)			
SS	6.652	11.490	6.623	6.226	- 17.687	- 16132	30.485	822
	(100%)	(173%)	(100%)	(94%)	(%)			
TP	604	177	45	192	246	265	439	142
	(100%)	(29%)	(8%)	(32%)	(41%)			
TN	5.650	309	192	3.880	1.269	1.251	52.698	22.758
	(100%)	(6%)	(3%)	(69%)	(22%)			

BI_5 måler mængden af mikrobiel forbrug af ilt ved omsætning af organisk stof over 5 døgn som et mål for let omsætteligt organisk stof. Organisk stof ændrer karakter undervejs gennem dambruget. Det or-

ganiske stof som er i vandløbsvandet og i grundvandet der tages ind på dambruget, har en anden sammensætning end i fiskefækalier, foderspild mv. Det organiske stof er langsommere omsætteligt i grundvand og i vandløbsvand end i fækalier. Der sker også en omsætning af noget organisk stof ned gennem dambruget, der ses som f.eks. egenomsætning inde på produktionsanlægget (se kapitel 11.10).

Ligeledes kan kvælstof ændre karakter på sin vej gennem dambrugets enheder. Det kan ske ved denitrifiserende processer hvor nitrat omdannes til frit kvælstof, der gasser af til atmosfæren. Hvor kvælstof og organisk stof omsættes til gas der frigives til atmosfæren kan det give problemer i forhold til at massebalancerne over produktionsanlægget ikke går op selv om der tages højde for, hvad der indbygges i fisk, fjernes med slam, frigives fra fisk m.v. Omvendt vil det komme med som en del af tilbageholdelsen i en massebalance over en plantelagune.

Kvælstof kan som ammoniumkvælstof og nitrat optages i plantelagunernes plantemateriale, i alger mv. Tilsvarende kan planter og alger optage orthofosfat, og organisk stof kan bruges som energikilde når bakterier omsætter nitrat til frit kvælstof under iltfattige/iltfrie forhold i sedimentet (f.eks. i slambedene og på bunden af plantelagunerne).

Beregningen af tilbageholdelsen af især BI_5 og TN tilført Døstrup Bæk over nogle af enhederne på dambruget er behæftet med en vis usikkerhed grundet bl.a. føromtalte egenomsætning, hvor der bl.a. kan ske afgasning til atmosfæren der ikke måles. For kvælstof gør det sig også gældende at massebalancerne ind og ud af en dambrugsenhed er forskellen mellem to store værdier. Det betyder at den beregnede forskel, speciel hvis den er numerisk lille, er påvirket af summen af usikkerheder på kvælstof input/output over en given dambrugsenhed, som kan være af samme størrelsesorden som den værdi der ønskes beregnet. Dette betyder også at udledninger relateret til stofbidraget fra fiskeproduktionen beregnet som summen af tilbageholdelse over forskellige enheder i dambruget også er behæftet med nogen usikkerhed. På trods af disse forhold er der en meget god overensstemmelse i tabel 4.18 til 4.20 når der beregnes på stof tilført Døstrup Bæk med to forskellige metoder, hvilket understreger betydningen af den høje målefrekvens og den høje kvalitet af projektets målinger.

Stof tilført recipienten beregnet ud fra koncentrationen i udløbsvand minus koncentrationen i indløbsvandet vurderes alt andet lige være den bedste kvantificering af dambrugets udledning til og belastning af Døstrup Bæk, idet der indgår færrest muligt målepunkter og beregninger, der kan påføre resultatet usikkerhed. Afvigelser fra denne massebalance giver et udtryk for usikkerheden ved at bruge massebalancer for dambrugets enkelte dele og så efterfølgende lægge resultater af disse sammen til en samlet beregning af recipientens stoftilførelse.

Total fosfor er et konservativt stof idet det ikke kan forsvinde som gasarter eller dannes ved kombination af andre stoffer. Der er således massebevarelse. Den overordnede massebalance for TP tilledt reci-

pienten opgjort som stofbidrag fra fiskeproduktionen minus de tre renseforanstaltninger skal derfor give samme resultat som dambrugets TP udledning til recipienten opgjort ved indløbsvand minus udløbsvand. For de to år forsøget varede blev der tilledt recipienten 46% total fosfor i forhold den mængde TP der blev taget ind fra vandløbsvand og grundvand. Samtidigt sker der en forskydning mellem de opløste og partikulære fosforfraktioner inde på dambruget. Fiskeproduktionen tilfører netto recipienten 56% mere opløst fosfor som orthofosfat, mens der for partikulært fosfor er en nettotilførsel på 28% partikulært fosfor opgjort som total fosfor minus orthofosfat.

Total fosfor mængden i slamdepoterne er 5-6 gange større end de tilsvarende TN-mængder. Det skyldes at fosfor primært er partikulært bundet og derved sedimenterer, hvorimod hovedparten af kvælstof forekommer på opløst form. Omvendt er kvælstoftilbageholdelsen i plantelagunerne større end for fosfor hvilket kan skyldes at der ikke kun sker en optagelse i planter og mikroorganismer af de uorganiske fraktioner, men også en omsætning af ammoniak og nitrat. Der sker dog også en optagelse af kvælstof og fosfor i planterne som specielt for fosfor har en kvantitativ betydning (kapitel 8 og 11).

Det er bemærkelsesværdigt hvor stor en betydning grundvandsindtaget har for kvælstof og fosfor. Det skyldes at koncentrationerne af nitrat og orthofosfat er høje i grundvandet. For nitrat er der tale om højere koncentrationerne i grundvandet end i vandløbsvandet.

Ved omtale af stoftilbageholdelse kan der ikke skelnes mellem om det tilbageholdte stof er fremkommet ved fiskeproduktionen eller om det er stof, der er kommet med indløbsvandet fra st. 20 og 30. Derfor er der i tabel 4.18 - 4.20 under stoftilbageholdelse både bidrag fra stof i indløbsvandet og fra fiskeproduktionen. Man må antage at specielt vedrørende suspenderet stof og partikulært bundet fosfor, vil en ganske stor del af det, der er kommet med indløbsvandet, blive fanget i slamkegler og bundfældningsbassinet.

Beregnes den samlede stoftilbageholdelse af de tre renseforanstaltninger i forhold til den samlede mængde tilført stof fra vandløb, grundvand og stofbidrag fra fiskeproduktionen så er der en god overensstemmelse mellem de to forskellige foderperioder og for hele forsøgsperioden (tabel 4.21). Dette er et udtryk for dambrugets renseeffektivitet. Til trods for at mængden af foder blev opskrevet med 32% fra periode 1 til periode 2 så opretholdes den samme procentuelle tilbageholdelse sammenlignet med stofbidraget fra fiskeproduktionen, der er relateret til produktionen af fisk. Den lavere renseeffektivitet for den samlede måleperiode skyldes at de tre opstartsmåneder med nøgne og til dels trådalgebegroede plantelaguner indgår.

Tabel 4.21 Samlede tilbageholdelse (%) af stof i slamkegler, bundfældningsbassin og plantelaguner set i forhold til den samlede stoftilførsel, dvs. fra det indtagne vand i vandløbet, fra grundvand og fra fiskeproduktion. Opgørelsen er lavet for de to foderperioder P1 og P2 samt for hele forsøgsperioden april 2000 til april 2002.

	P1	P2	april 2000 – april 2002
BI_5	42%	50%	43%
SS	76%	79%	62%
TP	35%	34%	35%
TN	5%	6%	5%

De udledte stofmængder opgjort ved balancen udløbsvand minus indløbsvand st. 510 + st. 520 + st. 530 – (st. 20 + st. 30) er sat i forhold til foderforbrug (tabel 4.22). Der er en generel reduktion af udledt stof set i forhold til forbrugt foder fra periode 1 til periode 2, hvor TN er over halveret mens BI_5 og NH_3+NH_4^+-N begge reduceres men omkring 30%.

Tabel 4.22 Gram stof udledt per kilo forbrugt foder og pr. kilo fisketilvækst for fem kontrolvariable beregnet ved 510 + st. 520 + st. 530 – (st. 20 + st.30) for. Beregningerne er lavet som gennemsnit for hver af de to perioder P1 og P2 med foderforbrug på henholdsvis 44,5 og 58,6 tons foder.

	g/kg foder			
	P1		P2	
	g kg^{-1} $foder^{-1}$	g kg^{-1} $fisk^{-1}$	g kg^{-1} $foder^{-1}$	g kg^{-1} $fisk^{-1}$
BI_5	33	28	23	20
NH_3+NH_4^+-N	7	6	5	4
SS	- 214	- 184	- 149	- 127
TP	2	2	2	2
TN	13	11	6	5

Det har altså været muligt at mindske mængden af udledt stof pr. kilo forbrug af foder fra periode 1 til 2. Denne forbedring kan tilskrives flere forskellige omstændigheder (se tidligere afsnit). Bl.a. forbedret dambrugspraksis hvor der alt andet lige må være en større erfaring med selve den daglige drift af dambruget, og der opnås en drift optimering. For eksempel er der langt færre problemer med slamsuget i bundfældningsbassinet i periode 2 i forhold til periode 1. Ligeledes steg mængden af stof der blev tilbageholdt i slamkeglerne, hvilket er et udtryk for at deres potentiale ikke var fuldt udnyttet i periode P1.

Plantelagunerne har nogenlunde de samme procentuelle stoftilbageholdelser i periode 1 og 2. Plantelagunerne blev belastet hårdere i periode 2 og er hermed også blevet mere effektive, idet der tilbageholdes mere i absolutte tal og i forhold til lagunernes areal.

Der er to grundlæggende forhold, der er med til at forklare dette. I begyndelsen af periode 1 var lagunerne nøgne, og der kom trådalger, som har betydet en lavere tilbageholdelse i periode 1 end der ville være kommet, hvis der havde været planter i lagunerne fra starten af

periode 1. Det andet forhold er at foderforbruget i periode 2 er højere således at belastningen af lagunerne også øges. Herudover har øvrige omtalte forhold som plantebiomasse, akkumulering af slam i lagunerne, iltforhold i lagunerne og i det sediment der er aflejret, klimatiske forhold m.v. spillet ind.

4.7 Usikkerheder på massebalancer

Usikkerhed på prøvetagning og kemiske analyser
I rapporten beregnes en del stofbalancer henover forskellige dele af forsøgsdambruget. Balancerne baseres på differencer i ugeværdier som så summeres over perioder af varierende længder.

Stofbalancerne er behæftet med en usikkerhed på grund af en række forhold så som prøvetagning, kemianalysen og bestemmelsen af vandføring. Derudover varierer balancerne også henover året, men denne komponent skal ikke bidrage til den samlede usikkerhed på stofbalancen, da det er en naturlig variation.

Der findes en værdi pr. uge for koncentrationen af de kemiske variable. Det betyder at der ikke er mulighed for konkret at bestemme usikkerheden på den enkelte koncentrationsværdi. Usikkerheden fra prøvetagningen kendes ikke, men kunne foretages ved gentagne målinger i forskellige steder i tværprofilet. Det er i *Andersen & Svendsen (1997)* og *Svendsen & Andersen (1997*) vist at der i såvel små som større danske vandløb med god opblanding ikke er signifikante koncentrationsforskelle i et tværprofil af disse. Usikkerheden på selve prøvetagningspunktet antages derfor også at have været meget lille ved målestationerne i Døstrup Dambrug. For de fleste kemivariable er der taget puljede prøver med delprøver hver time over en uge, hvilket sikrer en lav usikkerhed ud over hvad en evt. henstand mørkt og koldt kan betyde. Her er det især for orthofosfat, at der kan ske ændringer under henstand. For ammonium-kvælstof og for BI_5 er der taget prøver hver time og puljet over et døgn. Her vil usikkerheden være større, idet et døgn skal repræsentere en hel uge. Endvidere sker der en vis omsætning af ammonium-kvælstof og BI_5 under henstand, selv om prøverne står mørkt og koldt. I kapitel 11 gives et bud på usikkerheden på BI_5-prøverne grundet henstand.

For kemiske analyser findes erfaringstal for analyseusikkerheden, som bl.a. afhænger af om koncentrationsniveauet er tæt på detektionsgrænsen, analysemetode og om der er anvendt et eller flere laboratorier. Der er anvendt usikkerheder som anbefalet i *Svendsen og Rebsdorf (1994)*, idet der under Døstrup Forsøgsprojektet kun har været anvendt det samme analyselaboratorium.

Det kan antages at prøvetagningsusikkerheden generelt har været lille med den anvendte strategi og der anvendes anbefalingerne på analyseusikkerheden fra *Svendsen & Rebsdorf (1994)*, er det muligt at anslå en størrelse på usikkerheden på de forskellige dele af en balanceberegning.

Usikkerhed på produkt
Den første del af en massebalanceberegningen består i af beregne en ugentlig stoftransport for de stationer der indgår i massebalancen. Her ganges en koncentration med en vandføring for den pågældende uge. Både stofkoncentrationer samt vandføringer varierer hen over året i Døstrup Dambrug og den mest korrekte måde at beregne usikkerheden på er at tage højde for dette. Dog kan man også anslå en gennemsnitlig usikkerhed som så anvendes for alle mulige værdier hen over de to måleår.

Det er anslået at den samlet usikkerhed på et produkt af stofkoncentration og vandmængde maksimalt udgør 10%.

Usikkerhed på difference
Når der beregnes en massebalance som en forskelsværdi kan denne være:
1) numerisk meget lille
2) numerisk tæt på værdien af stofmængden ved stationen opstrøms.

I det første tilfælde er der en lille (absolut) tilbageholdelse, og i det andet tilfælde er der en stor tilbageholdelse. Det kan ligeledes forekomme at der udledes mere ved nedstrøms målestationen end mængden, der måles ved den opstrøms målestationen. Hvis man antager at der maximalt kan udledes det dobbelte af det, der måles ved stationen opstrøms gælder tilfælde 2 numerisk også dette tilfælde.

Usikkerheden på en massebalance (difference) vil i tilfælde 2 med den nævnte usikkerhed på et produkt på maksimalt 10% (0,1) være $\sqrt{2} \cdot 0{,}1$, hvilket svarer til 14%.

Usikkerheden på en meget lille balance, dvs. tilfælde 1 kan potentielt blive meget stor. Da vi ikke har et endegyldigt bud på hvor stor antages i det følgende forskellige værdier på 50, 100 og 200%.

Usikkerhed på sum af differencer
Usikkerhed på en sum af differencer (som ugentlige massebalancer) afhænger af antallet af uger der skal summeres sammen.

Ved en usikkerhed på 14% fra tilfælde 2 får man:
$\sqrt{n}/n \cdot 0{,}14$, hvor n er antal uger, hvilket svarer til:
26 uger = 2,7%
46 uger = 2,1%
52 uger = 1,9%
104 uger = 1,4%.

I de tilfælde hvor differencen (massebalancerne på ugebasis) er numerisk lille findes for de tre forskellige værdier for usikkerheder (under antagelse af at alle massebalancer på ugebasis er omtrent lige store):

Ved en usikkerhed på 50%:

$\sqrt{n}/n \cdot 0{,}5$, hvilket svarer til:

26 uger = 9,8%
46 uger = 7,4%
52 uger = 6,9%
104 uger = 4,9%.

Ved en usikkerhed på 100%:

$\sqrt{n}/n \cdot 1$, hvilket svarer til:

26 uger = 20%
46 uger = 15%
52 uger = 14%
104 uger = 9,8%.

Ved en usikkerhed på 200%:

$\sqrt{n}/n \cdot 2$, hvilket svarer til:

26 uger = 39%
46 uger = 29%
52 uger = 28%
104 uger = 20%.

For de stoffer hvor der sker en markant fjernelse af stof over de forskellige renseforanstaltninger, vil usikkerheden på massebalancen selv for en 26 ugers periode være på under 10%, selv om der er uger med både lille og stor numerisk tilbageholde. Det betyder at for suspenderet stof, total fosfor, BI_5 og ammonium-kvælstof, er tilbageholdelsen i slamkegler eller plantelagunerne for en periode på mindst 26 uger bestemt med en usikkerhed på under 5-10%. For total kvælstof og nitrat, hvor tilbageholdelsen er mindre vil usikkerheden være større, antageligt mindst 10-15% over en periode på 26 uger, og lavere jo længere periode der beregnes over.

Især for plantelagunerne er stoftilbageholdelsen bestemt med en relativ lille usikkerhed, da der her er mange uger med stor tilbageholdelse (både numerisk og procentuelt). Det skal dog understreges at de første tre måneder med store skift i størrelsen af tilbageholdelsen medvirker til at øge usikkerheden. De angiven usikkerheder i afsnittet umiddelbart ovenfor vurderes dog også at for tilbageholdelsen over plantelagunerne.

Usikkerhed på sum af massebalancer

Den samlede tilbageholdelse af stof over Døstrup Dambrug er dels fundet som en samlet massebalance over Døstrup Dambrug (st. 510 + st. 520 + st. 530) minus (st. 20 + st. 30) og dels som en sum af massebalancer over renseforanstaltningerne (som slamkegler, bundfældningsanlæg og plantelaguner).

I det sidste tilfælde kan formlen ovenfor også anvendes som et fornuftigt bud på usikkerheden. Antages ca. samme procentuelle usikkerhed på hver af massebalancerne skal denne usikker ganges med

faktoren $\sqrt{n}/n$ for at få den samlede usikkerhed i procent (n =3 hvis massebalancen over slamkegler, bundfældningsanlæg og plantelagunerne lægges sammen). Hvis usikkerheden for en 26 ugers periode antages at være 20% (som vurderes at være højt sat) bliver usikkerheden på summen af massebalancerne 20% • $\sqrt{3}/3$ = 12%. Denne usikkerhed antages at være de maksimale for en 26 ugers periode for suspenderet stof, total fosfor, BI_5 og ammonium-kvælstof, mens usikkerheden godt kan være lidt større for nitrat og total kvælstof. For den samlede tilbageholdelse bestemt ud fra balancen (st. 510 + st. 520 + st. 530) minus (st. 20 + st. 30) er usikkerheden på massebalancer for 26 uger eller længere mindre end 12% for alle stofferne.

5 Vækst og foderkonvertering, samt massebalancer for kvælstof og fosfor i produktionsafsnittet

5.1 Indledning

Udfodring, tilvækst og forhold vedrørende affaldsstoffer i de tre kummesektioner blev undersøgt særlig intensivt i perioden 4. oktober – 5. december 2001. Resultater vedr. fodring, vækst og dannelse af inorganiske affaldsstoffer (kvælstof, fosfor) gennemgås i dette kapitel. Den mere komplicerede omsætning af organisk stof i produktionsafsnittet behandles i kapitel 6 under anvendelse af vækstmodeller. Resultaterne vedr. slamhåndtering gennemgås i kapitel 7, og der henvises til kapitel 7 vedr. de slamdata, som indgår i nærværende kapitel.

5.2 Driftsforhold i den intensive undersøgelsesperiode

Der blev i den intensive undersøgelsesperiode brugt én extruderet fodertype (DANA FEED DAN-EX 1946 1.5 mm) til kummesektion 1, og en anden extruderet type (DANA FEED DAN-EX 3044) til sektion 2 (2.0 mm) og sektion 3 (4.0 mm). Alt foderet var fra samme leverance. Foderet til kummesektion 1 og 2 blev analyseret på et uafhængigt laboratorium ved fabrikantens foranstaltning. Ved en fejl blev en prøve af pillestørrelsen til sektion 3 ikke analyseret; hér er i stedet anvendt gennemsnitsværdier af 5 forudgående og 4 efterfølgende leverancer.

Fodertildeling og døde fisk blev som sædvanligt for projektet registreret dagligt på sektions-niveau, og i tillæg hertil blev der registreret separat for en udvalgt, repræsentativ kumme i hver sektion.

Tilvæksten i perioden blev beregnet således. Bestanden i hver enkelt kumme blev opvejet fodertom inden for en uge før start. Fra den særligt udvalgte kumme i hver sektion blev bestanden opvejet dagen før periodens start og dagen efter dens slutning, og samtidig blev der fra disse kummer udtaget prøver på mindst 25 fisk til nærmere analyse (beskrevet i kapitel 7). Opvejning af øvrige kummer efter slutningen skete over en længere periode, afhængigt af vejrlig og andre forhold. Heraf følger, at den totale bestand pr. sektion var kendt med god nøjagtighed ved start, men ikke så godt ved slutningen. Slutbestanden pr. sektion er derfor beregnet som følger. Dambrugets journalprogram (D-Journal) fremskriver den kummevise bestand dag for dag ud fra registreringen af døde fisk og udfodring, idet tilvæksten beregnes vha. en brugerdefineret, erfaringsmæssig foderkvotient. For hver af de tre udvalgte kummer blev der beregnet et forholdstal som den faktiske tilvækst [Slutvægt + Døde – Startvægt] divideret med den fremskrevne tilvækst. Forholdstallene var: Sektion 1: 1.033; Sekti-

on 2: 1.118; Sektion 3: 1.079. Disse forholdstal blev brugt til at korrigere den fremskrevne tilvækst for alle kummer i den relevante sektion.

Der blev udtaget og analyseret prøver af vandet i produktionsafsnittet efter samme mønster som i den øvrige projektperiode jfr. afsnit 1.4.

Der blev udtaget slamprøver ved hver tømning af slamfælderne, hvilket i denne periode skete tirsdag og torsdag. Proceduren ved udtagning er beskrevet i kapitel 7.

Under typisk dambrugsdrift søger man at opnå optimal foderudnyttelse ved at øge udfodringen i takt med, at bestanden vokser, idet der også tages hensyn til vandtemperatur m.m. For at opnå en ensartet belastning på dambruget i den intensive undersøgelsesperiode blev der udfodret lige store mængder pr. dag. Årstidens faldende vandtemperatur (figur 6.8 i kapitel 6) bevirkede, at fodertildelingen udtrykt som foderniveau reelt ikke kom til at afvige væsentligt fra det optimale.

5.3 Metoder til beregning af produktionsbidrag, opdrætsbidrag, egenomsætning og massebalancer i produktionsafsnittet

Ved produktionsbidrag forstås *"tilførslen af stof fra selve produktionsprocessen, dvs. den stofmængde der stammer fra foderspild, fækalier mm."* jfr. bilag 6. For grundstofferne fosfor og kvælstof kan produktionsbidraget på enkel måde beregnes som [stof tilført med foder] – [stof indbygget i fisk]. De organiske stoftyper protein, fedt og kulhydrat kan omdannes til andre stoftyper som et led i fiskens stofskifte, og derfor kan man ikke direkte beregne et produktionsbidrag. Produktionsbidraget for det fælles mål for organisk stof, energien, kan beregnes som [energi tilført med foder] – [energi indbygget i fisk] – [energi forbrugt ved fiskenes stofskifte]. Sidste led er ikke direkte målbart på dambruget, men kan med tilnærmelse beregnes ud fra vækstmodeller. Det kan også – lettere i teori end i praksis – måles som [energi i foderspild] + [energi i stof udskilt fra fiskene]. Også i dette tilfælde kan sidste led med tilnærmelse beregnes ud fra vækstmodeller, mens foderspild må "gættes", idet det ikke kan måles under normal dambrugsdrift.

Opdrætsbidraget skal forstås som *"den stofmængde, der tilføres igennem processerne i selve opdrætssystemet, dvs. den mængde, der kommer frem til rensningsforanstaltningerne minus vandløbsbidrag og effekten af eventuel recirkulering. Opdrætsbidraget adskiller sig fra produktionsbidraget ved at inkludere den stofomsætning, som finder sted i selve opdrætssystemet udover den omsætning der finder sted i fiskene"* jfr. bilag 6. Opdrætsbidraget kan måles og beregnes på to forskellige måder. Den ene metode sætter opdrætsbidrag = [stof eller energi i afløbsvand] – [stof eller energi i indløbsvand]. Denne metode har to ulemper. Dels vil opdrætsbidragets størrelse være påvirket af mængde og kvalitet af indløbsvand, idet et stort indtag af vand med et højt indhold af bundfældeligt stof, som ikke genfindes i afløbet, vil medføre et lavere op-

drætsbidrag end hvis der var et mindre indtag af renere vand. Dels er udtagning af repræsentative vandprøver i kummesektionerne usikker for stoftyper, der i større eller mindre omfang er knyttet til partikler, fordi partiklerne ikke er ensartet fordelt i vandet.

Som alternativ kan man for stoftyper, der ikke er udsat for "egenomsætning" (dvs. omdannes eller forsvinder eller ophobes i produktionsafsnittet), beregne opdrætsbidraget = [produktionsbidrag] – [stof fjernet med slam]. Også denne metode er påvirket af indløbsvandets indhold af bundfældeligt stof.

På Døstrup Dambrug kan sidstnævnte metode ubetinget anvendes på fosfor. I jorddamme kan der nede i slamlaget fjernes kvælstof ved denitrifikation, så her skal alternativet anvendes med varsomhed, men i betonkummeanlæg som på Døstrup Dambrug gælder alternativet højst sandsynligt også for kvælstof. Denitrifikation kan finde sted i slamfælderne, især ved lange intervaller mellem tømninger. DMU's målinger af kvælstoftab fra sedimenttyper, der minder om dambrugsslam, indikerer at der maksimalt kan mistes 200 g pr. døgn fra slamfælderne, hvoraf kun en delmængde skyldes denitrifikation. I forhold til en tilførsel på over 100 kg pr. døgn med indløbsvand og foder har denitrifikation derfor ingen mærkbar indflydelse på massebalancen for kvælstof.

Energien bundet i organisk stof i vandfasen vil i et vist omfang blive forbrugt ved mikroorganismers stofskifte, allerede mens vandet befinder sig i produktionsafsnittet, den såkaldte "egenomsætning", hvorved det organiske stof gradvist omdannes til kultveilte, vand og ammoniak. Opdrætsbidraget for energi må derfor som alternativ beregnes som [produktionsbidrag] – [energi fjernet med slam] – [energi forbrugt ved egenomsætning]. Der er blot den hage ved alternativet, at der ikke er nogen gennemprøvet standardmetode til måling af egenomsætningen, og der eksisterer heller ingen gennemprøvede modeller til beregning heraf ud fra andre parametre. Indtil en målemetode bliver udviklet, kan egenomsætning vedrørende energi eller organisk stof kun kvantificeres som restleddet i en massebalance, hvori alle andre led er kendt, og herved vil dens talmæssige størrelse være belastet med usikkerhederne på alle de andre led. Beregnet som et restled vil det desuden være anlægsbestemt, hvilke processer egenomsætningen beskriver. I et kummeanlæg, hvor der i måleperioden ikke ophobes stof på bunden, vil egenomsætningen være resultatet af mikroorganismers stofomsætning. I jorddamme vil egenomsætninge desuden omfatte stof i slam, som bundfældes i dammene og først oprenses senere. Resultater vedr. egenomsætning fra forskellige typer anlæg vil derfor ikke være umiddelbart sammenlignelige.

Ud fra ovenstående betragtninger kan massebalancen for en kummesektion på Døstrup Dambrug, eller for produktionsafsnittet i sin helhed, opstilles som:

[stof eller energi tilført med indløbsvand]
+ [stof eller energi tilført med foder]
- [stof eller energi indbygget i fisk]
- [stof eller energi forbrugt ved fiskenes stofskifte] } prod.bidrag
- [stof eller energi fjernet med slam]
- [stof eller energi forbrugt ved egenomsætning]
- [stof eller energi fjernet med udløbsvand] } opdr.bidrag
= [BALANCE (nul hvis massebalancen er perfekt)]

En anden version af massebalancen er at sætte resultatet af de øverste 6 linier lig med stof i udløbsvand, men ved at trække udløbsvandet fra får man et umiddelbart mål for, hvor tæt man er på en perfekt massebalance.

Gyldige måleenheder for massebalance er f.eks. total-kvælstof (TN) og total-fosfor (TP). Energi i form af organisk stof er i teorien også en gyldig måleenhed, men i praksis er der for store vanskeligheder ved at måle energiindholdet i vandprøver. I stedet kan anvendes COD (Chemical Oxygen Demand, se nærmere i kapitel 6), som også bruges i vækstmodellerne for regnbueørred (*From & Rasmussen, 1984*; *Rasmussen & From, 1991*). BI_5 er dels ikke praktisk anvendelig på foder, fisk og fækalier, dels næppe en gyldig måleenhed for massebalancer. Til massebalancen som opstillet ovenfor bemærkes, at fiskenes stofskifte ligesom egenomsætningen i betonkummeanlæg talmæssigt sættes til nul og dermed udgår af beregningerne ved massebalancer i enhederne TN og TP.

5.4 Foderkonvertering og foderudnyttelse

Sammensætningen af foder anvendt i den intensive undersøgelsesperiode er vist i tabel 5.1. De tilsvarende analyser af fisk findes i tabel 5.3. I denne tabel ses tydelige tendenser til, at analyseværdier ændrer sig med fiskestørrelse, især vedr. fedt-% og tørstof-%. Dette er vist grafisk i figur 5.1-5.3 hvor punkterne repræsenterer analyser af fisk fra Døstrup Dambrug, mens kurverne er beregnet ud fra data i *Rasmussen & From, 1991*. For fedt- og vandindhold viser forskydningen fra punkter til kurver, at nok holder de størrelsesbetingede tendenser stik, men de absolutte værdier afhænger af opvækstbetingelserne, herunder nok især foderets sammensætning. Døstrup-fiskene indeholder 5-6 %-point mere fedt, og derfor tilsvarende mindre vand, end beregnet ud fra *Rasmussen & From, 1991*.

Tabel 5.1. Analyser af foder anvendt oktober-december 2001 på Døstrup Dambrug.

	TN	TP	Fedt	Kulhydr. ex.træstof	Træstof	Tørstof	Organisk tørstof	Energi
Sektion	vægt-%	vægt-%	vægt-%	vægt-%	vægt-%	vægt-%	vægt-%	MJ/kg
1	8,0	1,48	20,4	14,6	1,5	95,8	86,4	22,7
2	7,3	0,98	26,4	12,1	1,5	92,3	85,6	23,9
3	7,1	0,97	26,9	13,6	0,7	93,7	85,6	24,3

Sektion 1 og 2: analyse af aktuel leverance; sektion 3: gennemsnit af 5 forudgående og 4 efterfølgende leverancer. Protein = TN · 6,25. Fodertyper: Sektion 1 DANA FEED DAN-EX 1946 1,5 mm; Sektion 2 DANA FEED DAN-EX 3044 2,0 mm; Sektion 3 DANA FEED DAN-EX 3044 4,0 mm.

Tabel 5.2 Omregninger mellem organisk stof, energi og COD for foderet i tabel 5.1. Note: Protein = 6.25 · TN. Energi/g stof er foderbranchens standard-tal; g COD/g stof er beregnet som omtalt i appendiks 1

		Protein	Fedt	Kul-hydrat	Træstof	Beregnet total
	kJ/g stof	23,66	39,57	17,17	17,17	
	g COD/g stof	1,882	2,801	1,185	1,185	
Sektion 1	kJ/g foder	11,83	10,45	1,46	0,26	22,64
	g COD/g foder	0,941	0,570	0,172	0,018	1,701
Sektion 2	kJ/g foder	10,79	10,45	2,07	0,26	23,57
	g COD/g foder	0,859	0,739	0,143	0,018	1,759
Sektion 3	kJ/g foder	10,50	10,64	2,34	0,12	23,60
	g COD/g foder	0,835	0,753	0,161	0,0083	1,757

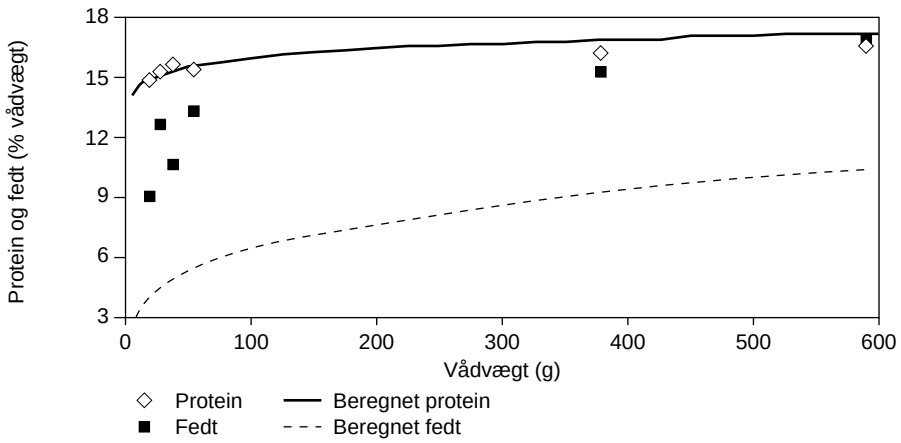


Fig. 5.1 Protein- og fedtindhold i regnbueørred. Punkter viser det målte indhold i fisk fra Døstrup Dambrug; kurver viser det forventede indhold beregnet ud fra *Rasmussen & From, 1991*.

Tabel 5.3. Analyser af regnbueørred fra Døstrup Dambrug. Start: 4. oktober 2001; slut: 5. december 2001.

		Snit-vægt	TN	TP	Fedt	Tørstof	Organisk tørstof	Energi
		g	vægt-%	vægt-%	vægt-%	vægt-%	vægt-%	MJ/kg
Sektion 1	start	19,2	2,38	0,48	9,01	27,1	24,8	6,76
	slut	37,8	2,51	0,45	10,65	28,7	26,5	7,42
Sektion 2	start	27,0	2,46	0,46	12,62	30,4	27,9	8,10
	slut	53,0	2,47	0,41	13,33	30,6	28,6	8,37
Sektion 3	start	378	2,61	0,35	15,33	33,8	31,7	9,39
	slut	586	2,66	0,38	16,90	35,0	33,0	9,93

Tabel 5.4 Omregninger mellem organisk stof, energi og COD for fiskene i tabel 5.3. Note: Protein = 6.25 · TN. Energi/g stof er foderbranchens standard-tal; g COD/g stof er beregnet som omtalt i appendiks 1.

		Protein	Fedt	Kul-hydrat	Træstof	Beregnet total
	kJ/g stof	23,66	39,57	17,17	17,17	
	g COD/g stof	1,882	2,801	1,185	1,185	
Sektion 1	kJ/g fisk	3,61	3,89	0	0	7,50
	g COD/g fisk	0,288	0,275	0	0	0,563
Sektion 2	kJ/g fisk	3,64	5,13	0	0	8,77
	g COD/g fisk	0,290	0,363	0	0	0,653
Sektion 3	kJ/g fisk	3,90	6,38	0	0	10,28
	g COD/g fisk	0,310	0,451	0	0	0,761

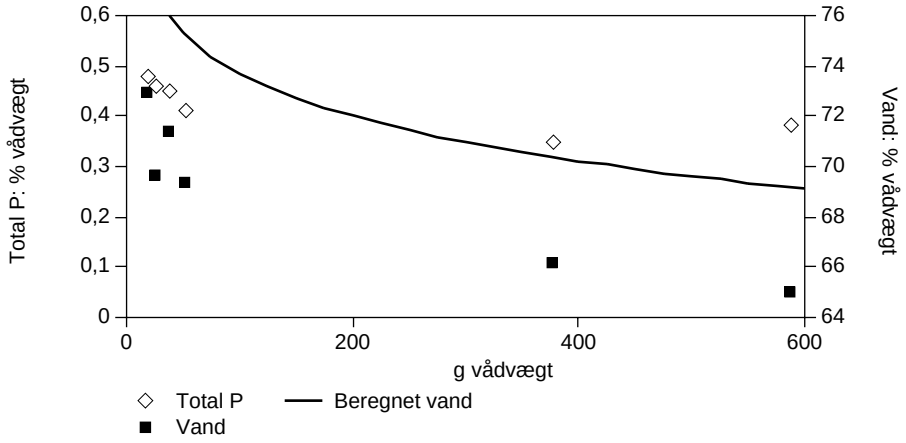


Fig. 5.2 Vand- og fosforindhold i regnbueørred. Punkter viser det målte indhold i fisk fra Døstrup Dambrug; kurven viser det forventede vandindhold beregnet ud fra *Rasmussen & From, 1991*.

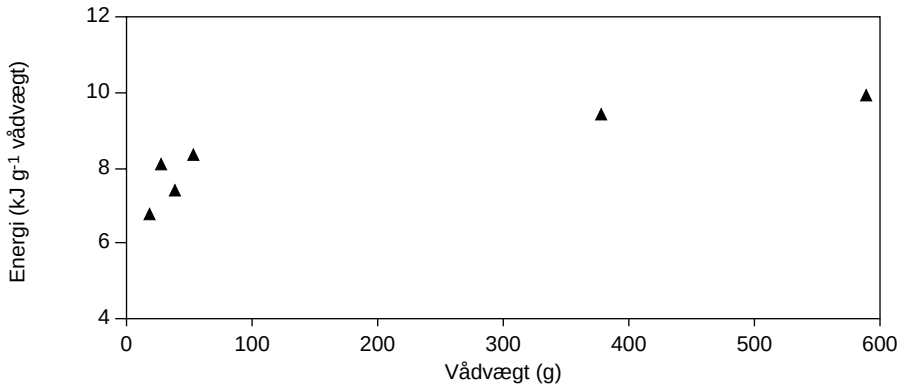


Fig. 5.3 Det målte energiindhold i regnbueørred fra Døstrup Dambrug.

Data vedrørende foderomsætningen i den intensive undersøgelsesperiode er beregnet i tabel 5.5; opgørelser for hele projektperioden findes i afsnit 2.2. Den konventionelle foderkvotient baseret på vægt (kg foder pr. kg tilvækst) er bedst hos små fisk (kummesektion 1 og 2), hvilket er et typisk resultat. I tabellens andre kolonner er foderkvotienten (mængde tilført med foder/mængde indbygget i fisk) bedst, dvs. mindst, hos de største fisk. Foderudnyttelsen (stof indbygget i fisk/stof tilført med foder, her udtrykt i %) er ganske simpelt foderkvotienten "stillet på hovedet" og er et mål for, hvor effektivt fisken udnytter foderet.

Tabel 5.5. Foderkvotient og foderudnyttelse i den intensive undersøgelsesperiode.

		Vægt	TN	TP	Fedt	Organisk tørstof	Energi
Sektion 1	FK	0,79	2,58	2,50	1,63	2,65	2,52
	FU%	127	39	40	61	38	40
Sektion 2	FK	0,77	2,28	1,74	1,57	2,33	2,24
	FU%	130	44	58	64	43	45
Sektion 3	FK	0,85	2,29		1,42	2,25	2,14
	FU%	118	44		71	45	48

FK: FoderKvotient = foder/tilvækst. FU%: FoderUdnyttelse i % = tilvækst/foder*100
Der foreligger ingen fosfor-analyse af foderet til Sektion 3.

I betragtning af, at foderudnyttelsen er bedst hos de små fisk, når der regnes på vægt-basis, er det overraskende, at udnyttelsen er bedre hos større fisk end hos mindre fisk, når der regnes på det organiske indhold, hvad enten det drejer sig om fedt, organisk tørstof eller energi. En væsentlig del af forklaringen er, at store fisk i højere grad end små fisk indlejrer fedt, og "byggeomkostningerne" pr. energienhed er meget mindre for fedt end for protein. Til gengæld vil indlejring af en vægtenhed protein binde 3-4 vægtenheder vand, hvilket forklarer, at de små fisk har den største foderudnyttelse beregnet som vægt, selv om udnyttelsen er mindst når den beregnes efter energi eller organisk stof.

Forskellen mellem sektion 1 og 2 (tabel 5.5) angående udnyttelse af fosfor (TP) beror på, at foderet til sektion 1 indeholdt mere fosfor, uden at fiskene har øget optagelsen. Da udnyttelsesgraden specielt for fosfor er kritisk afhængig af foderets indhold, er dette tal ikke beregnet for sektion 3, fordi indholdet i det aktuelt anvendte foder ikke er kendt (jfr. afsnit 5.2).

5.5 Produktionsbidrag, opdrætsbidrag og massebalancer for kvælstof og fosfor

Produktionsbidrag og opdrætsbidrag
Produktionsbidrag for kvælstof og fosfor, sat i relation til udfodring og tilvækst i den intensive undersøgelsesperiode, er samlet i tabel 5.6, mens produktionsbidragene opgjort for hvert af de to projektår findes

i tabel 5.7. Produktionsbidrag i absolutte mængder, opgjort for hele periode 1 og 2, er samlet i tabel 4.3 og 4.4.

Tabel 5.6 Produktionsbidrag og opdrætsbidrag ± standardafvigelse for kvælstof (TN) og fosfor (TP) for den intensive undersøgelsesperiode.

	TN			TP		
	% af N i foder	g/kg foder	g/kg tilvækst	% af P i foder	g/kg foder	g/kg tilvækst
Sektion 1						
Prod.bidrag	60,7	48,6	37,8	59,6	8,82	6,86
Opdrætsbidrag	56,7	45,3	35,3	48,2	7,14	5,55
	±0,9	±0,7	±0,6	±3,2	±0,47	±0,37
Sektion 2						
Prod.bidrag	54,7	39,9	29,7	40,4	3,96	2,94
Opdrætsbidrag	51,2	37,4	27,8	27,6	2,71	2,01
	±0,6	±0,4	±0,3	±2,8	±0,27	±0,20
Sektion 3						
Prod.bidrag	55,7	39,5	33,1	55,1	5,34	4,48
Opdrætsbidrag	51,1	36,3	30,4	35,9	3,48	2,92
	±0,8	±0,6	±0,7	±3,7	±0,36	±0,31
Hele prod.afsn.						
Prod.bidrag	56,9	42,3	33,2	52,3	5,87	4,61
Opdrætsbidrag	53,2	39,6	31,1	38,1	4,28	3,36
	±0,5	±0,4	±0,3	±2,7	±0,31	±0,24

Alle tal er gennemsnit af 10 uge-værdier. Produktionsbidrag er for hver sektion beregningstal baseret på én analyse af foder, én analyse af startfisk og én analyse af slutfisk; standardafvigelse er derfor ikke relevante. Opdrætsbidragene er beregnet som [stof tilført med foder] - [stof indbygget i fisk] – [stof fjernet med slam]. Deres standardafvigelser udtrykker alene uge-til-uge udsving i slamfjernelse.

Produktionsbidragene i % er beslægtede med % foderudnyttelse i tabel 5.5 på den måde, at % produktionsbidrag = (100 - % foderudnyttelse). Produktionsbidragene for kvælstof ligger sektionsvist på 55-60 % af kvælstof tilført med foderet i den intensive undersøgelsesperiode og fra 55 til 66 % på årsbasis. Bidraget med fosfor ligger mellem 40 og 60 % i den intensive periode og, ligesom kvælstof, med en lidt højere tendens på årsbasis.

Opdrætsbidragene for kvælstof og fosfor (tabel 5.6) er beregnet som produktionsbidrag minus stof fjernet med slam og udtrykker de faktiske forhold i den intensive undersøgelsesperiode, hvor slamfælderne blev tømt hver tirsdag og torsdag. I kapitel 7 er det påvist, at der ville være fjernet mere kvælstof og fosfor, hvis slamfælderne var blevet tømt hver anden dag (beregningsmæssigt 10-20 % mere kvælstof og 20-45 % mere fosfor). Herved ville opdrætsbidraget være blevet mindre. Den reelle miljømæssige forbedring ved tømning hver anden dag vil dog være afhængig af, at tømningsproceduren optimeres mht. overskudsvand fra slamdepoter som diskuteret i kap. 11.

Tabel 5.7 Produktionsbidrag for kvælstof (TN) og fosfor (TP) for hvert projekt-år.

	TN			TP		
	% af N i foder	g/kg foder	g/kg tilvækst	% af P i foder	g/kg foder	g/kg tilvækst
Sektion 1						
År 1	65,9	55,2	47,2	60,4	8,3	7,1
År 2	62,0	48,1	39,9	57,1	7,5	6,2
Sektion 2						
År 1	60,2	42,7	37,3	52,3	5,5	4,8
År 2	59,0	42,1	35,4	47,5	4,7	3,9
Sektion 3						
År 1	54,4	37,1	31,4	57,1	5,7	4,9
År 2	58,5	41,8	37,2	57,9	5,6	5,0
Hele prod.afsn.						
År 1	60,5	44,6	38,4	56,3	6,3	5,4
År 2	59,6	43,4	37,1	53,7	5,7	4,8

Stof tilført med foder er beregnet ud fra analyser af samtlige foderpartier; stof indbygget i fisk er baseret på de samme analyser som i tabel 5.6.

De beregnede produktionsbidrag for fosfor i sektion 1 er større end i de to andre sektioner i både tabel 5.6 og 5.7 pga. det større fosforindhold i foder til yngel og ungfisk (tabel 5.1). Forskellene vedrørende opdrætsbidrag er lige så markante, hvilket indikerer, at det ekstra produktionsbidrag ikke i nævneværdigt omfang har været bundfældeligt.

Massebalancer for kvælstof og fosfor

Massebalancer for kvælstof og fosfor er samlet i tabel 5.8-5.15. Alle resultater er udtrykt dels i kg/uge, dels i % af "omsætningen" forstået som [stof tilført med indløbsvand] + [stof tilført med foder]. Tabelopstillingen er tilpasset de lodrette "tuborg"-klammer i opstillingen af massebalance i afsnit 5.3. I første dobbeltkolonne er samlet de størrelser, som indgår i produktionsbidraget. Resultatet heraf, selve produktionsbidraget, er ført ud i midterste dobbeltkolonne sammen med slam og egenomsætning, og resultatet af disse størrelser, opdrætsbidraget, er sammen med stof transporteret med indløbs- og udløbsvand ført ud i sidste dobbeltkolonne, hvor det endelige resultat, balancen (som teoretisk set skal være nul), fremkommer på bundlinien.

Massebalancerne for kvælstof

Massebalancerne for kvælstof er domineret af de store mængder (ca. 95 % af den samlede tilførsel), der findes allerede i indløbsvandet og genfindes i udløbsvandet med fradrag af en bundfældelig fraktion, hvis størrelse ikke kan måles selvstændigt. Det skal her bemærkes, at udløb fra sektion 1 er indløb til sektion 2, udløb fra sektion 2 er indløb til sektion 3, mens indløb til sektion 1 er en blanding af åvand og grundvand samt en andel recirkuleret vand fra udløb af sektion 1, og udløb fra sektion 3 repræsenterer tilførslen til de nedstrøms beliggende renseforanstaltninger.

Tabel 5.8. Massebalance for kvælstof, kummesektion 1.

	kg/uge	% af tilført	kg/uge	% af tilført	kg/uge	% af tilført
Indløb					716,9±21,6	96,1
Foder	29,1±0,0	3,9				
- Tilvækst	11,4±0,0	1,5				
- Stofskifte	0,0±0,0	0,0				
Produktionsbid.	> > >	> >	17,7±0,0	2,4		
- Slam			1,1± 0,2	0,1		
- Egenomsætning			0,0±0,0	0,0		
+ Opdrætsbidrag	> > >	> >	> > >	> >	16,6± 0,2	2,2
- Udløb					698,1±64,5	93,6
= BALANCE					35,4±69,6	4,8

Tilført: Indløb + Foder = 100 %. Resultater i kg/uge er middelværdier ± standardafvigelse af 10 ugeværdier i den intensive undersøgelsesperiode. Resultater i % er beregnet ud fra middelværdierne. Udfodringen var konstant 364 kg/uge. Tilvæksten er beregnet som en konstant andel af foderet og har derfor standardafvigelsen nul.

Tabel 5.9. Massebalance for fosfor, kummesektion 1.

	kg/uge	% af tilført	kg/uge	% af tilført	kg/uge	% af tilført
Indløb					5,8±0,7	51,9
Foder	5,4±0,0	48,1				
- Tilvækst	2,2±0,0	19,4				
- Stofskifte	0,0±0,0	0,0				
Produktionsbid.	> > >	> >	3,2±0,0	28,7		
- Slam			0,6±0,2	5,5		
- Egenomsætning			0,0±0,0	0,0		
+ Opdrætsbidrag	> > >	> >	> > >	> >	2,6±0,2	23,2
- Udløb					9,4±0,6	84,1
= BALANCE					-1,0±0,7	- 8,9

Tilført: Indløb + Foder = 100 %. Resultater i kg/uge er middelværdier ± standardafvigelse af 10 ugeværdier i den intensive undersøgelsesperiode. Resultater i % er beregnet ud fra middelværdierne. Udfodringen var konstant 364 kg/uge. Tilvæksten er beregnet som en konstant andel af foderet og har derfor standardafvigelsen nul.

Tabel 5.10. Massebalance for kvælstof, kummesektion 2.

	kg/uge	% af tilført	kg/uge	% af tilført	kg/uge	% af tilført
Indløb					698,1±64,5	95,6
Foder	32,2±1,6	4,4				
- Tilvækst	14,6±0,7	2,0				
- Stofskifte	0,0±0,0	0,0				
Produktionsbid.	> > >	> >	17,6±0,8	2,4		
- Slam			1,0±0,2	0,1		
- Egenomsætning			0,0±0,0	0,0		
+ Opdrætsbidrag	> > >	> >	> > >	> >	16,6± 0,9	2,3
- Udløb					739,9±31,0	101,3
= BALANCE					-25,2±55,5	-3,5

Tilført: Indløb + Foder = 100 %. Resultater i kg/uge er middelværdier ± standardafvigelse af 10 ugeværdier i den intensive undersøgelsesperiode. Resultater i % er beregnet ud fra middelværdierne. Udfodring 448 kg/uge med en enkelt foderfri dag den 29. oktober.

Tabel 5.11. Massebalance for fosfor, kummesektion 2.

	kg/uge	% af tilført	kg/uge	% af tilført	kg/uge	% af tilført
Indløb					9,4±0,6	68,6
Foder	4,3±0,2	31,4				
- Tilvækst	2,6±0,1	18,8				
- Stofskifte	0,0±0,0	0,0				
Produktionsbid.	> > >	> >	1,7±0,1	12,7		
- Slam			0,5±0,1	4,0		
- Egenomsætning			0,0±0,0	0,0		
+ Opdrætsbidrag	> > >	> >	> > >	> >	1,2±0,2	8,7
- Udløb					10,7±0,7	78,1
= BALANCE					-0,1±0,9	-0,9

Tilført: Indløb + Foder = 100 %. Resultater i kg/uge er middelværdier ± standardafvigelse af 10 ugeværdier i den intensive undersøgelsesperiode. Resultater i % er beregnet ud fra middelværdierne. Udfodring 448 kg/uge med en enkelt foderfri dag den 29. oktober.

Tabel 5.12. Massebalance for kvælstof, kummesektion 3.

	kg/uge	% af tilført	kg/uge	% af tilført	kg/uge	% af tilført
Indløb					739,9±31,0	95,9
Foder	31,4±2,9	4,1				
- Tilvækst	13,9±1,4	1,8				
- Stofskifte	0,0±0,0	0,0				
Produktionsbid.	> > >	> >	17,5±1,5	2,3		
- Slam			1,3±0,2	0,2		
- Egenomsætning			0,0±0,0	0,0		
+ Opdrætsbidrag	> > >	> >	> > >	> >	16,1± 1,5	2,1
- Udløb					736,5±40,2	95,5
= BALANCE					19,5±52,6	2,5

Tilført: Indløb + Foder = 100 %. Resultater i kg/uge er middelværdier ± standardafvigelse af 10 ugeværdier i den intensive undersøgelsesperiode. Resultater i % er beregnet ud fra middelværdierne. Udfodring: 462 kg/uge i de første 7 uger, 370 kg/uge i de sidste 2 uger.

Tabel 5.13 Massebalance for fosfor, kummesektion 3.

	kg/uge	% af tilført	kg/uge	% af tilført	kg/uge	% af tilført
Indløb					10,7±0,7	71,5
Foder	4,3±0,4	28,5				
- Tilvækst	1,9±0,2	12,8				
- Stofskifte	0,0±0,0	0,0				
Produktionsbid.	> > >	> >	2,4±0,2	15,7		
- Slam			0,8±0,2	5,5		
- Egenomsætning			0,0±0,0	0,0		
+ Opdrætsbidrag	> > >	> >	> > >	> >	1,5±0,2	10,2
- Udløb					11,0±2,1	73,5
= BALANCE					1,2±2,2	8,2

Tilført: Indløb + Foder = 100 %. Resultater i kg/uge er middelværdier ± standardafvigelse af 10 ugeværdier i den intensive undersøgelsesperiode. Resultater i % er beregnet ud fra middelværdierne. Udfodring: 462 kg/uge i de første 7 uger, 370 kg/uge i de sidste 2 uger.

Tabel 5.14. Massebalance for kvælstof, hele kummeanlægget.

	kg/uge	% af tilført	kg/uge	% af tilført	kg/uge	% af tilført
Indløb					716,9±21,6	88,6
Foder	92,7±3,0	11,5				
- Tilvækst	39,9±1,4	4,9				
- Stofskifte	0,0±0,0	0,0				
Produktionsbid.	> > >	> >	52,7±1,6	6,5		
- Slam			3,4±0,4	0,4		
- Egenomsætning			0,0±0,0	0,0		
+ Opdrætsbidrag	> > >	> >	> > >	> >	49,3± 1,5	6,1
- Udløb					736,5±40,2	91,0
= BALANCE					29,8±41,7	3,7

Tilført: Indløb + Foder = 100 %. Resultater i kg/uge er middelværdier ± standardafvigelse af 10 ugeværdier i den intensive undersøgelsesperiode. Resultater i % er beregnet ud fra middelværdierne. Udfodring: 1274 kg/uge i de første 7 uger (dog med en foderfri dag i sektion 1), 1182 kg/uge i de sidste 2 uger.

Tabel 5.15 Massebalance for fosfor, hele kummeanlægget.

	kg/uge	% af tilført	kg/uge	% af tilført	kg/uge	% af tilført
Indløb					5,8±0,7	29,4
Foder	14,0±0,4	70,6				
- Tilvækst	6,7±0,2	33,7				
- Stofskifte	0,0±0,0	0,0				
Produktionsbid.	> > >	> >	7,3±0,2	36,9		
- Slam			2,0±0,4	10,0		
- Egenomsætning			0,0±0,0	0,0		
+ Opdrætsbidrag	> > >	> >	> > >	> >	5,3±0,4	26,9
- Udløb					11,0±2,1	55,8
= BALANCE					0,1±2,6	0,5

Tilført: Indløb + Foder = 100 %. Resultater i kg/uge er middelværdier±standardafvigelse af 10 ugeværdier i den intensive undersøgelsesperiode. Resultater i % er beregnet ud fra middelværdierne. Udfodring: 1274 kg/uge i de første 7 uger (dog med en foderfri dag i sektion 1), 1182 kg/uge i de sidste 2 uger.

I massebalancen for den enkelte uge vil usikkerheden på resultatet for indløb og udløb være påvirket af 1-2 % usikkerhed på laboratorieanalysen, 4-5% usikkerhed på vandmængden samt en ukendt usikkerhed på grund af, at det i kummesektionerne er vanskeligt at udtage repræsentative prøver af den partikelbundne del af kvælstoffet. I det blandede indløbsvand (åvand og grundvand) er dog ca. 80% af kvælstoffet vandopløseligt lige som størstedelen af produktionsbidraget fra fiskene, så for kvælstof er partikel-problemet relativt lille. Usikkerheden på gennemsnitstallet for de 10 uger vil endvidere være påvirket af uge-til-uge variationer i indløbsvandets faktiske stofind-

hold. Standardafvigelsen på middelkoncentrationen for TN var i perioden ca. 9% for åvandet og 5% på grundvandet, altså en ret stabil koncentration. De samlede usikkerhedsmomenter taget i betragtning kan det konstateres, at en standardafvigelse på knap 10% af middeltallet for den ene målestation (udløb sektion 1 = indløb sektion 2) og ca. 5% på de tre andre målestationer er et så stabilt resultat, som man i praksis har mulighed for at opnå.

Kvælstoftilførslen med foderet udgør sektionsvist under 5% af omsætningen, mens den for produktionsafsnittet i sin helhed udgør ca. 11%. De andre resultater vedrørende dambrugsaktiviteten, produktions- og opdrætsbidrag, udgør endnu mindre %-dele af omsætningen. Usikkerheden på kvælstof tilført med foder udgøres af de 1-2% usikkerhed på laboratorieanalysen, mens usikkerheden vedrørende kvælstof indbygget i fisk er 1-2% usikkerhed på laboratorieanalysen kombineret med en ukendt usikkerhed på opvejningen. Den største %-vise usikkerhed ligger på uge-til-uge variationen i kvælstof fjernet med slam. Taget under ét vil usikkerheder på de dambrugsskabte tal udgøre en meget lille del af usikkerheden på balancen, fordi de dambrugsskabte tal er så små i sammenligning med ind- og udløbsbidraget. Med andre ord: usikkerheden på de dambrugsskabte tal "drukner" i usikkerheden på ind- og udløbsvandets stofmængder.

Bundlinietallet for kvælstofbalancerne afviger ikke statistisk signifikant fra det teoretisk forventede nul, idet nulpunktet ligger inden for det interval, der afgrænses af middelværdi ± standardafvigelse. Afvigelsen fra nul ligger under 6% af omsætningen, og massebalancerne er dermed så præcise, som det på nogen måde kan forventes, usikkerheden på måledata taget i betragtning.

Sektionsvis er opdrætsbidraget for kvælstof, beregnet ud fra foder, fisk og slam, mindre end balancetallet (regnet uden fortegn) i tabel 5.8, 5.10 og 5.12, dvs. opdrætsbidraget er mindre end "fejlen" på balancen. Det ses også, at opdrætsbidraget beregnet på denne måde er mindre end den statistiske usikkerhed på indløbs- og udløbsmængderne, udtrykt ved deres standardafvigelse. Beregning af opdrætsbidraget som udløbs- minus indløbsmængde vil derfor være meget usikker. Forholdet er direkte verificeret i tabel 5.16, hvor resultaterne fra de to metoder er sammenholdt. Opdrætsbidrag beregnet ved metode I er taget fra tabel 5.8-5.15, mens metode II er beregnet som [stof i udløbsvand] – [stof i indløbsvand]. Statistisk set er de to sæt resultater for kvælstof ikke signifikant forskellige, idet resultaterne fra metode I ligger inden for det interval, der afgrænses af middelværdi ± standardafvigelse fra metode II, men det er indlysende, at resultaterne fra metode II er af ringere værdi. I sig selv er opdrætsbidragene fra metode II ikke signifikant forskellig fra nul, og to ud af fire resultater er negative. Et negativt opdrætsbidrag er muligt, hvis indløbsvandet har et høj andel af bundfældeligt stof samtidig med, at produktionsbidraget er lille. Det er derfor, at et negativt opdrætsbidrag efter metode II ses jævnligt for parameteren "suspenderet stof" i belastningsundersøgelser, men det er ikke troværdigt for TN, hvor størstedelen af både indløbsbidrag og produktionsbidrag er på opløst form.

Tabel 5.16 Sammenligning af beregningsmetoder for opdrætsbidrag i den intensive undersøgelsesperiode. Resultater i kg/uge er angivet som middelværdi ± standardafvigelse.

	Kvælstof				Fosfor			
	Metode I		Metode II		Metode I		Metode II	
	kg/uge	% af tilført	kg/uge	% af tilført	kg/uge	% af tilført	kg/uge	% af tilført
Sektion 1	16,6	2,2	-18,8	-2,5	2,6	23,2	3,6	32,2
	±0,2		±69,6		±0,2		±0,7	
Sektion 2	16,6	2,3	41,8	5,7	1,2	8,7	1,3	9,6
	±0,9		±55,6		±0,2		±0,9	
Sektion 3	16,1	2,1	-3,4	-0,4	1,5	10,2	0,3	2,1
	±1,5		±52,7		±0,2		±2,1	
Hele kumme-	49,3	6,1	19,6	2,4	5,3	26,9	5,2	26,4
anlægget	±1,5		±42,0		±0,4		±2,5	

Metode I: [stof tilført med foder] – [stof indbygget i fisk] – [stof fjernet med slam]
Metode II: [stof fjernet med udløbsvand] – [stof tilført med indløbsvand]

Det kan derfor konkluderes, at under forhold som på Døstrup Dambrug er metode II i praksis uegnet til beregning af opdrætsbidrag for kvælstof især på kummeniveau. De vigtigste forhold, som gør metoden uegnet, er det høje kvælstofindhold i indløbsvandet og den relativt lave grad af recirkulering, dvs. det relativt høje vandindtag i forhold til produktionen. Indløbsvandet til Døstrup Dambrug (både grundvand og åvand) indeholder mere end dobbelt så meget kvælstof som gennemsnittet af indløbsvand til dambrug på landsplan[1]. Recirkuleringsgraden på Døstrup Dambrug var ca. 82% i den intensive undersøgelsesperiode, beregnet ud fra forholdet mellem vandindtag og den totale vandstrøm til kummerne.

Hvis man under andre betingelser (lavt kvælstofindhold i vandindtaget, høj recirkulering) kan opnå en mere ligelig fordeling mellem kvælstoftilførsel med foder og tilførsel med indløbsvand, kan metode II forventes at være brugbar. Det bør også nævnes, at metode II kan være eneste mulighed, hvis egenomsætning af kvælstof (denitrificering i f.eks. et biofilter) er en integreret del af recirkuleringen.

Massebalancerne for fosfor er principielt påvirket af de samme usikkerheder som kvælstofbalancerne. Ca. 74% af fosformængden tilført med åvand og grundvand var vandopløseligt, så usikkerheden pga. partiklers fordeling i vandstrømmen er lidt større end for kvælstof. Uge-til-uge standardafvigelserne på fosforkoncentrationer var 13% i åvandet (lidt større end for kvælstof) og knap 2% for grundvandet (mindre end for kvælstof). Alt i alt er disse bidrag til den totale usikkerhed sammenligneligt for de to grundstoffer.

Fosforbalancerne udtrykt i % er talmæssigt markant anderledes end kvælstofbalancerne. Fosfor tilført med foder udgør i kummesektion 1 ca. halvdelen af den samlede tilførsel og produktionsbidraget godt en fjerdedel. Ca. 5% bliver tilbageholdt i slamfælderne, og derfor bliver

[1] beregnet af Dansk Dambrugerforening på basis af 3723 målinger i perioden 1997-2001

fosformængden i udløbsvandet fra sektion 1 (som er indløbsvand til sektion 2) højere end i indløbsvandet. Den større fosformængde tilført sektion 2 kombineret med en mindre tilførsel med foder resulterer i, at dambrugsaktiviteterne udgør en mindre %-del af omsætningen i sektion 2 end i sektion 1, men dog stadig en væsentlig del. En tilsvarende forskydning af %-tal gør sig gældende i sektion 3. For produktionsafsnittet i sin helhed (tabel 5.15) udgør foderets fosfor 71% af den totale tilførsel, mens opdrætsbidraget er næsten lige så stort som indløbsbidraget og knap halvdelen af den samlede udløbsmængde.

Da dambrugsaktiviteternes bidrag til fosfor-regnskabet er størrelsesmæssigt sammenligneligt med ind- og udløbsbidragene, kan der forventes en bedre overensstemmelse end for kvælstof, når man sammenligner de to metoder til beregning af opdrætsbidrag. Dette bekræftes af tabel 5.16, men det er dog stadig sådan, at beregninger ud fra foder, fisk og slam virker mere ensartede og har meget mindre standardafvigelser end beregninger ud fra ud- og indløbsmængder. Fordelen ved metode I, når beregningerne gælder fosfor, hænger dog nøje sammen med, at man har gode data på slamfjernelsen, idet fosfor fjernet med slam udgør 20-30% af produktionsbidraget og op til 50% af opdrætsbidraget. Kvælstof-regnskaber er ikke nær så følsomt for slamdata. Døstrup Dambrug er på grund af forsøgsprojektet special-indrettet til at give gode slamdata, mens slamdata forventes at være meget mindre nøjagtige ved belastningsundersøgelser på dambrug uden special-indretning.

6 Omsætning af organisk stof i produktionsafsnittet

6.1 Indledning

Udfodring, tilvækst og forhold vedrørende affaldsstoffer i de tre kummesektioner blev undersøgt særligt intensivt i perioden 4. oktober – 5. december 2001. Vækst, foderkonvertering og massebalancer for inorganiske affaldsstoffer i produktionsafsnittet er behandlet i kapitel 5. I massebalancerne for organisk stof indgår elementer, der ikke er direkte målbare på dambruget (jfr. metodebeskrivelsen i kapitel 5), men som kan søges belyst ved modelberegninger. Den mere omstændelige beskrivelse heraf er årsagen til, at organisk stofomsætning behandles separat i dette kapitel. Resultaterne vedrørende slamhåndtering gennemgås i kapitel 7, og der henvises til kapitel 7 vedrørende de slamdata, som indgår i nærværende kapitel.

6.2 Vækstmodeller for regnbueørred

Princippet for opstilling af massebalancer for kummesektionerne findes i afsnit 5.3. I massebalancen indgår 2 led, som for de inorganiske stoffer (kvælstof og fosfor, jfr. afsnit 5.3) kunne sættes til nul og dermed udgå, men de kan ikke elimineres fra massebalancen for organisk stof. Det ene led, stof eller energi forbrugt ved egenomsætning, er med visse tilnærmelser målbart i et betonkummeanlæg uden betydende slamophobning, men en metode er aldrig udviklet til dambrugsforhold, og ressourcer hertil har ikke været til rådighed i projektet.

Det andet led, stof eller energi forbrugt ved fiskenes stofskifte, er ikke direkte målbart under realistiske dambrugsforhold. En tilnærmelse hertil kan opnås ved hjælp af modeller for ørreders vækst og stofomsætning, og såfremt tilnærmelsen kan anses for troværdig, kan egenomsætningen herefter anslås som det eneste ukendte restled i massebalancen.

Der eksisterer to vækstmodeller for regnbueørred, som begge beskriver både fiskens vækst og dens udskillelse af organisk stof og kvælstof. Den første blev offentliggjort af *From & Rasmussen (1984)*. Den var baseret på laboratorieforsøg med regnbueørred op til 400 g, som blev fodret med "hjemmelavede" bløde foderpiller, hvilket repræsenterede avanceret foderteknologi på tidspunktet, hvor forsøgene blev gennemført. Det er en gylden regel, at en sådan model ikke bør anvendes til fisk væsentlig større end forsøgsfiskene, og behovet for en model anvendelig til større fisk i saltvandsopdræt gav nogle år senere anledning til nye forsøgsserier med fisk fra 300 til 2000 g, fodret med ikke-extruderede tørpiller (Brande 3800/50). De nye data blev slået i pulje med de oprindelige til en revideret model offentliggjort af *Rasmussen & From (1991)*, anvendelig til fisk fra yngelstørrelse og op mod 3 kg.

Begge modeller findes i to versioner, én som udtrykkes i kvælstofenheder og én som benytter energienheder i form af COD (Chemical Oxygen Demand), som er den iltmængde, der medgår til en kemisk "vådforbrænding" af stoffet (se Appendiks 1). Den matematiske formulering af modellerne findes i tabel 6.1. Principperne beskrives herunder.

Tabel 6.1. Vækstmodeller for regnbueørred.

	From & Rasmussen, 1984: COD-enheder
foder	$f \cdot 0{,}085 \cdot \exp(0{,}0761 \cdot T) \cdot w^{0{,}6767}$
- stofskifte*	$0{,}006237 \cdot [\exp(1{,}0885 \cdot f) - 1] \cdot \exp(0{,}0769 \cdot T) \cdot w^{0{,}7030}$
- bundfæld.fækalier	$0{,}0162 \cdot f^{1{,}4259} \cdot \exp(0{,}0577 \cdot T) \cdot w^{0{,}5471}$
- ikke-bundf.fækalier*	$0{,}011861 \cdot [\exp(1{,}1057 \cdot f) - 1] \cdot \exp(0{,}0808 \cdot T) \cdot w^{0{,}5499}$
- ekskretion*	$1{,}8 \cdot 1{,}2766E\text{-}4 \cdot [\exp(2{,}132 \cdot f) - 1] \cdot \exp(0{,}1112 \cdot T) \cdot w^{0{,}6572}$
- tab hos ufodrede fisk	$0{,}008464 \cdot \exp(0{,}0911 \cdot T) \cdot w^{0{,}7751}$
= tilvækst	
	Rasmussen & From, 1991: COD-enheder
foder	$f \cdot 0{,}0822 \cdot \exp(0{,}0762 \cdot T) \cdot w^{0{,}6738}$
- stofskifte*	$0{,}0074295 \cdot [\exp(1{,}0208 \cdot f) - 1] \cdot \exp(0{,}0659 \cdot T) \cdot w^{0{,}7010}$
- bundfæld.fækalier	$0{,}00969 \cdot f^{1{,}3783} \cdot \exp(0{,}0522 \cdot T) \cdot w^{0{,}7426}$
- ikke-bundf.fækalier*	$0{,}0132 \cdot [\exp(1{,}2228 \cdot f) - 1] \cdot \exp(0{,}0779 \cdot T) \cdot w^{0{,}4850}$
- ekskretion*	$1{,}7611E\text{-}4 \cdot [\exp(2{,}3690 \cdot f) - 1] \cdot \exp(0{,}1025 \cdot T) \cdot w^{0{,}7066}$
- tab hos ufodrede fisk	$0{,}00607 \cdot \exp(0{,}0888 \cdot T) \cdot w^{0{,}8260}$
= tilvækst	
	From & Rasmussen, 1984: N-enheder
foder	$f \cdot 0{,}0318 \cdot \exp(0{,}0755 \cdot T) \cdot w^{0{,}7246}$
- stofskifte*	
- bundfæld.fækalier	$0{,}002047 \cdot f^{1{,}6006} \cdot \exp(0{,}0663 \cdot T) \cdot w^{0{,}6215}$
- ikke-bundf.fækalier*	$0{,}005531 \cdot [\exp(1{,}1057 \cdot f) - 1] \cdot \exp(0{,}0912 \cdot T) \cdot w^{0{,}6215}$
- ekskretion*	$6{,}7462E\text{-}4 \cdot [\exp(2{,}166 \cdot f) - 1] \cdot \exp(0{,}1099 \cdot T) \cdot w^{0{,}7429}$
- tab hos ufodrede fisk	$0{,}001359 \cdot \exp(0{,}1260 \cdot T) \cdot w^{0{,}5850}$
= tilvækst	
	Rasmussen & From, 1991: N-enheder
foder	$f \cdot 0{,}0309 \cdot \exp(0{,}0759 \cdot T) \cdot w^{0{,}7276}$
- stofskifte*	
- (bundfæld. plus ikke-bundf.fækalier)*	$0{,}00160 \cdot [\exp(2{,}2874 \cdot f) - 1] \cdot \exp(0{,}0710 \cdot T) \cdot w^{0{,}6857}$
- ekskretion*	$6{,}3045E\text{-}4 \cdot [\exp(2{,}4587 \cdot f) - 1] \cdot \exp(0{,}1004 \cdot T) \cdot w^{0{,}7799}$
- tab hos ufodrede fisk	$0{,}00128 \cdot \exp(0{,}1025 \cdot T) \cdot w^{0{,}7431}$
= tilvækst	

*: tab ud over tabet hos ufodrede fisk.
f: foderniveau, dvs. faktisk foderoptag divideret med max.foderoptag
w: fiskens størrelse udtrykt i COD- eller N-enheder
T: temperatur i °C

I COD-enheder fremskriver begge modeller væksten dag for dag efter følgende princip:

[COD tilført med foder]
- [COD svarende til fiskenes stofskifte]
- [COD afgivet som bundfældelige fækalier]
- [COD afgivet som ikke-bundfældelige fækalier]
- [COD svarende til ekskretion]
= [COD indbygget i fisk]

Hensigten med at inddrage vækstmodeller i massebalancen for kummeafsnittene kan illustreres ved at rokere med vækstmodellens led:

[COD tilført med foder]
- [COD indbygget i fisk]
- [COD svarende til fiskenes stofskifte]
= [COD afgivet som bundfældelige fækalier]
+ [COD afgivet som ikke-bundfældelige fækalier]
+ [COD svarende til ekskretion]

I denne opstilling har man over linien produktionsbidraget udtrykt ved foder, tilvækst og stofskifte jfr. afsnit 5.3, under linien sat lig med fækalier og ekskretion.

Imidlertid kan vækstmodellen modificeres. Ekskretion hos fisk består overvejende af ammoniak, det kvælstofholdigt hoved-affaldsprodukt fra fiskens protein-omsætning. Ammoniak reagerer ikke ved COD-analysen af stoffer afgivet til vandet, så i forsøgene bag modellerne blev der foretaget en separat måling af ammoniak afgivet til vandet, og herudfra beregnedes [COD svarende til ekskretion]. Det nævnes *(From & Rasmussen 1984*), at proteiner ikke giver fuldt udslag ved COD-analysen, men i modellerne tager man ikke konsekvensen heraf. Det kan i praksis antages, at ammoniakdelen i proteiner heller ikke reagerer ved COD-analysen, så denne iltmængde figurerer ikke på "indtægtsside", foder og på de første "udgiftsposter", og den bør logisk set heller ikke figurere i ekskretionsleddet. En modificeret version vil derfor være:

[COD tilført med foder]
- [COD svarende til fiskenes stofskifte]
- [COD afgivet som bundfældelige fækalier]
- [COD afgivet som ikke-bundfældelige fækalier]
= [COD indbygget i fisk]

Den modificerede COD-model vil, alt andet lige, beregne en højere vækshastighed end den originale, men kun få %. Med den modificerede vækstmodel svarer produktionsbidraget med organisk stof udelukkende til fækalier. Dette giver også bedre sammenhæng i belastningsundersøgelser på dambrug. Ekskretionsbidraget med ammoniak vil normalt ikke blive betegnet som et organisk stof; det indgår i forvejen i målingen af total-kvælstof (TN), og den BI_5-analyse, som anvendes på dambrugsvand, er netop modificeret til ikke at medtage ammoniak.

6.3 Test af modellernes brugbarhed på Døstrup Dambrug

Inden for fagområdet "vækstmodeller for fisk" er det velkendt, at modellerne passer mest nøjagtigt til de forsøgsfisk, de er bygget over. En hvilken som helst ændring af forholdene fra forsøgsfiskene til de fisk, man senere ønsker at anvende modellerne på, kan bidrage til at gøre modellens regneresultater unøjagtige. Fiskenes afstamning og forhistorie kan spille ind ligesom forskelle i fysiske forhold (f. eks. lys, bassinstørrelse, vandbevægelse), og frem for alt ændringer i foderets fordøjeligheds-egenskaber og dets protein/fedt balance kan give væsentlige afvigelser mellem model og virkelighed. Før ørredmodellerne anvendes til at belyse massebalancer i den aktuelle sammenhæng må det derfor verificeres, om deres resultater passer med virkeligheden på Døstrup Dambrug.

For at afprøve, om modellerne korrekt kan beregne den faktiske vækst på Døstrup Dambrug i den intensive undersøgelsesperiode, blev fiskenes og foderets indhold af protein, fedt og kulhydrat (incl. træstof) omregnet til COD, dvs. den iltmængde, der medgår til en kemisk "vådforbrænding" af stoffet ud over den iltmængde, der i forvejen findes bundet i de organiske molekyler. Beregningsmetoden er beskrevet i Appendiks 1**.** Resultater som g COD pr. g foder eller fisk er vist i tabel 5.2 og 5.4 i sammenhæng med den kemiske analyse af foder og fisk. Ved COD-beregninger for fisk (tabel 5.4) er der i hver sektion anvendt middeltallet af start- og slut-indholdet af protein og fedt (tabel 5.3).

Ud fra fiskenes gennemsnitlige størrelse i hver kummesektion den første dag i perioden blev deres COD-vækst ved hjælp af modellerne fremskrevet til den sidste dag i perioden ud fra dag-for-dag udfodring, dødelighed og temperatur. Det viste sig, at den faktiske tilvækst overskred den modellerede tilvækst i henhold til 1991-modellen med 28% i kummesektion 1, stigende til 45% i sektion 2 og 63% i sektion 3.

Det blev derfor undersøgt, om der kunne findes konkret begrundede muligheder for at "tune" modellen til virkeligheden eller omvendt. En oplagt mulighed er, at teoretisk beregnede COD-værdier ikke nødvendigvis svarer til målte værdier. I *Rasmussen & From (1991)* er der formler til beregning af henholdsvis energi og COD pr. g levende vægt i regnbueørrederne ud fra deres vandindhold i %.

$$COD/g = 2{,}0710 - 0{,}0225 \cdot [vand\%]$$

$$kJ/g = (7{,}9843 - 0{,}0875 \cdot [vand\%])/0{,}239$$

Anvendt på Døstrup-fisk (tabel 5.3 og 5.4 og figur 5.1-5.3) er der god overensstemmelse vedr. energien, idet den målte energi afviger mindre end 3% fra energiformelens resultat for alle fiskestørrelser. Der er dårlig overensstemmelse vedr. COD, idet COD-formelens resultater ligger 20% under den teoretisk beregnede COD i tabel 5.4. For pillefoderet anvendt i 1991-modellen ligger den målte COD-værdi (*Ras-*

mussen & From, 1991) 10% under det, der beregnes ud fra foderets deklarerede indhold. Derfor blev de teoretiske COD-værdier reduceret med 20% for Døstrup-fisk og med 10% for foderet anvendt på Døstrup Dambrug som det bedste bud på, hvad resultatet af faktiske COD-målinger ville have været. Modellering af væksten blev herefter gentaget med de reducerede teoretiske værdier, og resultaterne heraf er vist i figur 6.1. Tuningen med de reducerede COD-værdier gav lidt bedre overensstemmelse mellem model og virkelighed, men ingen af modellerne rammer den reducerede teoretiske COD-vækst korrekt. For kummesektion 1 ligger 1991-modellen 12% under den reducerede teoretiske tilvækst, mens 1984-modellen forudsiger 26% for lidt tilvækst. For de lidt større fisk i sektion 2 er der reelt den samme forskel som for sektion 1 mellem de to modellers slutværdi, selv om forskellig målestok får det til at se anderledes ud. For sektion 2 ligger modellerne 26% henholdsvis 36% under den reducerede teoretiske COD-vækst. For de store fisk i sektion 3 har 1984-modellen "overhalet" 1991-modellen og forudsiger "kun" 23% for lidt tilvækst, mens 1991-modellen forudsiger 41% for lav COD-tilvækst.

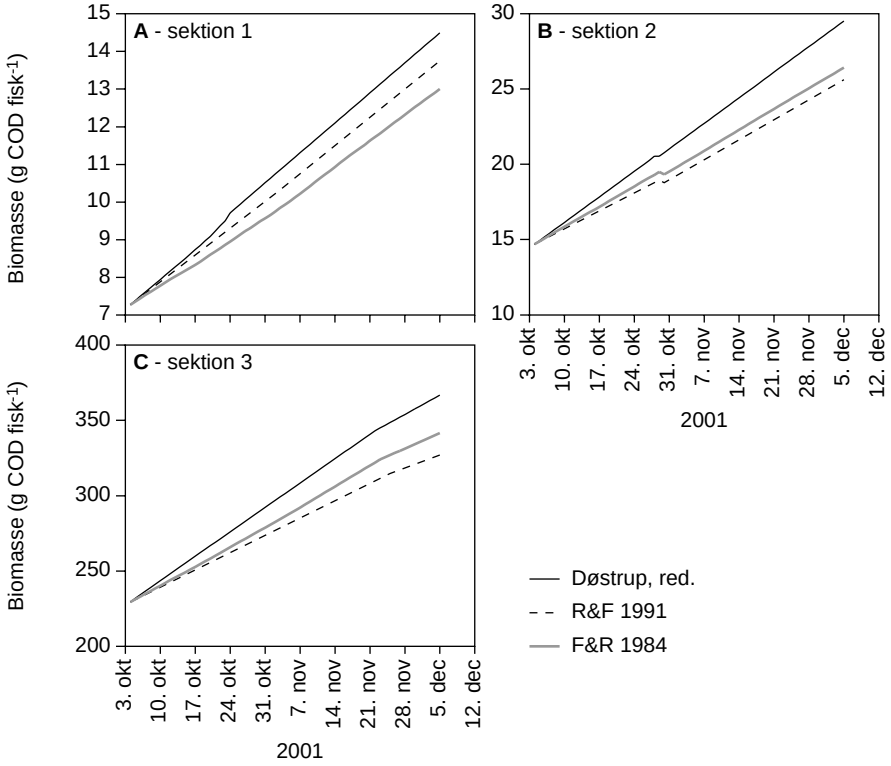


Fig. 6.1 Sammenligning af faktisk tilvækst og modelberegninger på Døstrup Dambrug, beregnet i COD-enheder. I sektion 1 skyldes "trappetrinet" i Døstrup vækst 24. okt. stor dødelighed i én af kummerne. I sektion 2 skyldes "trappetrinene" i Døstrup vækst 29. okt. en fodertom dag pga. sygdomsbehandling. I sektion 3 skyldes "knækket" på kurverne 23. nov. formindsket udfodring resten af perioden.

Modelberegningerne blev herefter gentaget for kvælstof- (protein-) tilvæksten (figur 6.2). Den faktiske tilvækst i kvælstof ligger under resultaterne fra 1991-modellen i de to første kummesektioner, men beskrives med god nøjagtighed af 1984-modellen. For de store fisk har de to modeller omtrent sammenfaldende vækstkurver, og begge forudsiger en for høj kvælstof-tilvækst. For kvælstof findes ingen kon-

kret begrundede tuningsmuligheder, idet data fra Døstrup Dambrug bygger på faktisk målte værdier ligesom data bag modellerne.

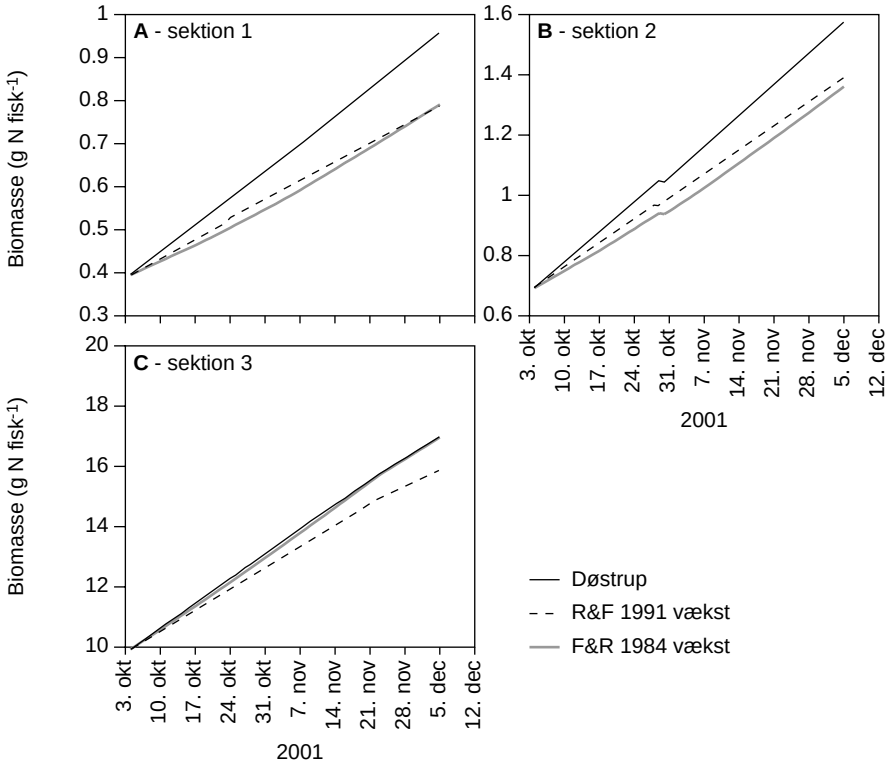


Fig. 6.2 Sammenligning af faktisk tilvækst og modelberegninger på Døstrup Dambrug, beregnet i N-enheder. I sektion 1 skyldes "trappetrinet" i Døstrup vækst 24. okt. stor dødelighed i én af kummerne. I sektion 2 skyldes "trappetrinene" i Døstrup vækst 29. okt. en fodertom dag pga. sygdomsbehandling. I sektion 3 skyldes "knækket" på kurverne 23. nov. formindsket udfodring resten af perioden.

Sammenlagt må det konkluderes, at Døstrup-fiskene af uforklarede årsager har prioriteret energi- (COD-)tilvækst i form af fedtdepoter højere og proteintilvækst lavere (jfr. figur 5.1-5.3), end der forventes ud fra modelberegningerne. Der er i mange andre sammenhænge fundet eksempler på, at ydre faktorer påvirker fedt/protein forholdet i tilvæksten på måder, som ikke kan indbygges i en simpel vækstmodel. I laboratorieforsøg med 100 grams hvilling holdt ved forskellige temperaturer og alle fodret til mætning med tobis var der den højeste fedt-andel i tilvæksten ved de lave temperaturer. Sej holdt ved én temperatur og fodret ved forskellige foderniveauer viste en højere fedt-andel ved de højere foderniveauer. I naturen har årstiden en effekt. Både sej og torsk har overvejende protein-tilvækst om foråret og overvejende fedt-tilvækst om efteråret. Det må i denne forbindelse bemærkes, at den intensive undersøgelsesperiode lå om efteråret.

Forholdene mellem modeller og virkelighed er konkretiseret i tabel 6.2. For at man kan sammenligne de faktiske foderforhold med anden dambrugspraksis er det dambrugsmæssige nøgletal, foder-%, angivet for periodens første dag, sammen med fiskestørrelser og temperatur på denne dag. Udfordringen i kg/dag blev holdt stort set konstant i perioden, mens fiskene fordoblede deres vægt, så foder-% halveres over perioden. Det modelmæssige nøgletal "f"-niveau (foderniveau)

er beslægtet med foder-%, idet det udtrykker forholdstallet mellem faktisk foderoptag og maximalt foderoptag. Det maksimale foderoptag falder med temperaturen, og det faktiske temperaturfald over perioden (se figur 6.8) udlignede modelmæssigt fiskevæksten, så at foderniveauet var stort set konstant over perioden. Det svarer nogenlunde til, at forholdet mellem faktisk foder-% og fodertabellernes anbefalinger var konstant over perioden, når temperaturen tages i betragtning.

Tabel 6.2. Sammenligning mellem faktiske forhold og modelberegninger vedr. vækst og foderudnyttelse.

	FØRSTE DAG			GNS. FODER-NIVEAU				VÆKST-FORHOLDSTAL				FODERUDNYTTTELSE I %					
	temp	gns. vægt	foder %	COD*		N		COD*		N		COD*			N		
Sektion				M91	M84	M91	M84	reel/ M91	reel/ M84	reel/ M91	reel/ M84	reel	M91	M84	reel	M91	M84
1	10,6	16,2	1,19	0,43	0,42	0,39	0,42	1,12	1,26	0,70	0,99	43	31	28	39	58	41
2	10,6	28,1	1,22	0,49	0,48	0,43	0,45	1,26	1,36	0,80	1,04	50	32	30	44	58	44
3	10,6	376	0,84	0,74	0,70	0,60	0,59	1,41	1,23	0,84	0,84	52	30	34	44	53	53

*: Beregnet "reel" COD er reduceret med 20 %, resp. 10 % for projektets fisk og foder som tilnærmelse til modellernes målte COD jfr. afsnit 6.3. M91: Vækstmodel af *Rasmussen & From, 1991*. M84: Vækstmodel af *From & Rasmussen, 1984*.

Blokken med vækst-forholdstal i tabel 6.2 udtrykker reel tilvækst divideret med model-tilvækst. I COD-enheder repræsenterer "reel" tilvækst dog de reducerede data. Om forskellen mellem M91- og M84-data kan der ikke siges meget konkret. Modelleringsvilkår er nu engang sådan, at når to modeller bygges over 2 forskellige eksperimentelle datasæt, hvor både spandet af fiskestørrelser og kvalitet af foder var forskellige, vil modellerne give forskellige resultater.

Det er bemærkelsesværdigt, at der inden for den samme model (uanset hvilken af dem) er så stor forskel mellem sektion 1 og 2 vedrørende vækst-forholdstal i COD. Alle fisk på dambruget har haft samme temperaturbetingelser, og der er så lille forskel i fiskestørrelse mellem sektion 1 og 2, at man ikke vil forvente nogen videre effekt af, at virkningen af fiskestørrelse kan være anderledes i modellen end i virkeligheden. En sådan effekt ville være mere markant ved springet i størrelse fra sektion 2 til sektion 3. Årsagen til forskellene mellem sektion 1 og 2 skal formentlig søges i, at fiskene har udvist en markant forskellig reaktion på relativt små forskelle i foder-regimet. I både vægt-, COD- og N-enheder har sektion 2 haft højere foder-%, henholdsvis foderniveau, end sektion 1. Da foder svarende til foderniveau mellem 0.16 (sektion 1 og 2) og 0.27 (sektion 3) under alle omstændigheder går tabt som affaldsprodukter og energiproduktion, vil den lille forskel i foderniveau kunne omregnes til en forholdsvis større %-forskel i det foder, der er til rådighed for tilvækst. Døstrup-fiskenes højere prioritering af fedt-tilvækst, som har betydeligt lavere "byggeomkostninger" end protein-tilvækst, kombineret med forskelle i protein/fedt forholdet i de to fodertyper (tabel 5.1), kan sammen med forskellen i fodernivau have bevirket en markant forskel i den faktiske foderudnyttelse (regnet i COD-enheder), men som tabel 6.2 viser, kan disse forhold ikke beskrives gennem de eksisterende modeller, som forudsiger omtrent identisk foderudnyttelse i sektion 1 og 2.

Endnu en faktor kan have bidraget til, at væksteffektiviteten var bedre i sektion 2 end i sektion 1. Praktiske erfaringer tyder på, at den sta-

bilisering af fiskenes kemiske vandmiljø, som man opnår gennem recirkulering, har en positiv effekt på væksten. Både i den intensive undersøgelsesperiode (tabel 5.5) og på helårsniveau (afsnit 2.2) er der tendens til en lidt bedre vækststeffektivitet (dvs. lavere foderkvotient) i sektion 2 end i sektion 1, og det kan evt. hænge sammen med, at sektion 1 modtager åvand og derfor kan have mindre stabile forhold end sektion 2.

Alt i alt må det konkluderes, at begge de eksisterende vækstmodeller give en dårlig beskrivelse af vækst i COD-enheder på Døstrup Dambrug, sandsynligvis mest fordi dambruget benytter energirige (fedtrige) ekstruderede fodertyper. Vækst og foderudnyttelse i kvælstofenheder beskrives rimelig godt for små fisk af 1984-modellen, men ingen af dem er generelt anvendelige på Døstrup Dambrug. Dette understreger, at modelberegninger, som for kvælstof kunne anvendes til at beregne produktionsbidrag i % = (100 - foderudnyttelse i %), ikke ukritisk kan benyttes som en nem genvej i stedet for metoderne diskuteret i kapitel 5.

6.4 Metoder til beregning af produktionsbidrag med organisk stof

Hensigten med modelberegninger i den aktuelle sammenhæng var at belyse fiskenes produktion af organiske affaldsstoffer til brug for massebalancen for organisk stof i produktionsafsnittet.

Uanset om den modificerede eller den originale vækstmodel anvendes, må det forventes, at fejlen på modelleret tilvækst i forhold til den faktiske tilvækst vil gå igen med modsat fortegn i minus-leddene, men fejlens fordeling mellem disse led kan ikke umiddelbart anslås. Da der ikke findes alternative, brugbare metoder til modellering af ikke-bundfældelige fækalier, hvilket er af afgørende betydning for overslag over egenomsætning af organisk stof i kummeafsnittet, vil det alligevel blive forsøgt at indkredse mængden af ikke-bundfældelige fækalier på følgende måder.

I: En nedre grænse for de model-beregnede bud på ikke-bundfældelige fækalier kan anslås som den COD-mængde, der i følge modellerne afgives af ikke-fodrede fisk. Herved frigør man sig for de model-forskydninger, der skyldes forskellige fodertyper.

II: Som et model-beregnet bud på den faktiske mængde kan man antage, at fejlen på beregnet tilvækst skal fordeles på minus-leddene i forhold til deres indbyrdes størrelse.

III: Et næsten model-uafhængigt bud på den faktiske mængde af ikke-bundfældelige fækalier kan opnås ved i videst muligt omfang at erstatte modelberegningerne med hensyn til de andre minusled. Modellerne beregner ekskretionstabet ud fra kvælstoftabet, som jfr. tabel 6.2 og figur 6.2 ikke modelleres korrekt for Døstrupfisk. Dette led kan i projektets sammenhæng erstattes med en beregning ud fra det faktiske kvælstoftab baseret på målinger, når den originale vækstmodel anvendes. Ved den modificerede mo-

del skal kvælstoftabet helt udelades af beregningerne. Modelleringen af bundfældelige fækalier kan erstattes med en beregning ud fra fordøjelighedsforsøg udført på ekstruderede fodertyper som beskrevet i afsnit 7.5. Herved udgør de bundfældelige fækalier en fast andel af foderet, ikke som i vækstmodeller moduleret af foderniveau, temperatur og fiskestørrelse, men forudsat at fordøjelighedsforsøgene er udført under repræsentative forhold, bliver fejlen lille. Stofskiftetabet afhænger af fiskenes faktiske aktivitetsniveau, og der er ingen mulighed for at korrigere fra laboratorieforsøg til Døstrup-forhold. Stofskiftetabet vil også være påvirket af omfanget af proteinvækst, som er lavere hos Døstrup-fisk end hos modelfiskene, og der er heller ikke hér nogen mulighed for talmæssig korrektion. Da der ikke findes nogen brugbar erstatning for dette led, må stofskiftetabet beregnes vha. vækstmodeller. På dette grundlag fås følgende beregninger:

IIIa:
[COD i faktisk fodring]
- [COD i faktisk tilvækst]
- [COD som bundfældelige fækalier, beregnet ud fra ufordøjeligt foder]
- [COD som ekskretion, beregnet ud fra kvælstof i foder, fisk og bundfældelige fækalier]
- [COD som stofskifte, modelværdi]
= [COD som ikke-bundfældelige fækalier]

IIIb:
[COD i faktisk fodring]
- [COD i faktisk tilvækst]
- [COD som bundfældelige fækalier, beregnet ud fra ufordøjeligt foder]
- [COD som stofskifte, modelværdi]
= [COD som ikke-bundfældelige fækalier]

IV: Som en øvre grænse for ikke-bundfældelige fækalier kan man antage mængden direkte beregnet af modellen, idet dette tal formodes at indeholde en delmængde af den for lidt beregnede vækst.

COD for de ikke-bundfældelige fækalier beregnet ved metode IIIa og IIIb vil talmæssigt være konsistent med de teoretiske men ikke reducerede værdier for foder, fisk og bundfældelige fækalier. For at gøre alle beregningerne indbyrdes konsistente er resultaterne af metode I, II og IV tilbageregnet til ikke-reducerede COD-værdier ved at dividere dem med reduktionsfaktoren 0.85, som er middelværdien af reduktionsfaktoren for foder og den for fisk som anført i afsnit 6.3.

Fodertypen kan forventes at have væsentlig effekt på såvel den samlede mængde organisk stof afgivet som fækalier som på fordelingen mellem bundfældelige og ikke-bundfældelige fækalier. Derfor er metoderne kun anvendt i forbindelse med 1991-modellen, idet denne delvist har sit udspring i tørfoder, om end ikke i ekstruderet foder.

6.5 Metoder til beregning af massebalance og egenomsætning for organisk stof i produktionsafsnittet

Produktionsbidraget
Produktionsbidraget med organiske stof kan i COD-enheder beregnes jfr. afsnit 6.2 ved at flytte rundt med leddene i vækstmodellen. Der anvendes ovenstående metode IIIb som den mest realitetsbetonede:

[COD i faktisk fodring]
- [COD i faktisk tilvækst]
- [COD som stofskifte, modelværdi]
= [COD i ufordøjeligt foder
+ ikke-bundfældelige fækalier (restled)]
= Produktionsbidrag

For organisk stof kan massebalancen i afsnit 5.3 derfor omformuleres til:

[stof eller energi tilført med indløbsvand]
+ [produktionsbidrag som ufordøjeligt foder]
+ [produktionsbidrag som ikke-bundfældelige fækalier]
- [stof eller energi fjernet med slam]
- [stof eller energi forbrugt ved egenomsætning]
- [stof eller energi fjernet med udløbsvand]
= [BALANCE (nul hvis massebalancen er perfekt)]

Inden for projektets rammer kan det ikke afgøres, hvor tæt man kommer på en perfekt balance, idet egenomsætningen ikke er direkte målt, men med de tilgængelige tal for alle andre led over bundlinien kan egenomsætningen beregnes som restled. Egenomsætningen kommer herved til at inkludere balancen, dvs. den samlede, ukendte sum af fejl på de andre led.

Ud fra praktisk dambrugsdrift kan det indvendes, at massebalancen ikke tager åbenlyst højde for foderspild. Det kan dog antages, at med nutidens restriktive fodring lader fiskene ikke godvilligt hele foderpiller og synlige brudstykker gå fra sig, og i betonkummer vil foder ikke gå tabt i et slamlag på bunden. Derimod kan foderstøv og stoffer, som umiddelbart opløses fra overfladen af partiklerne, påvirke massebalancen. Det samme må nødvendigvis have været tilfældet ved forsøgene bag vækstmodellerne, og hér vil disse stoffer være indgået i målingerne af ikke-bundfældelige fækalier, idet dette begreb reelt dækkede over "organisk stof i afløbsvandet" uanset, om stoffet kom fra fiskens tarmkanal eller fra foderpiller eller slimlaget på fiskens hud og gæller. Det kan derfor antages, at dette minimale foderspild "i det skjulte" er indregnet i vækstmodellerne.

Før massebalancen kan bringes i anvendelse, skal der etableres sammenhæng mellem COD-enhederne anvendt på fisk og foder og fækalier, energienhederne anvendt på slam og BI_5-enhederne anvendt på ind- og udløbsvand. Ifølge faglitteraturen er forholdet mellem COD og energi (kJ) per g stof meget ens for fedt og protein, og kun lidt hø-

jere for kulhydrat. For slammet kan man derfor med god tilnærmelse omregne [g COD i slam] = [kJ i slam]/13,6.

Forholdet mellem BI_5 (som målt ved den modificerede metode, der foreskrives for dambrugsvand) og COD kan beskrives således, at BI_5 repræsenterer den andel af COD-iltmængden, som mikroorganismer kan realisere på 5 døgn ved en nærmere defineret laboratoriemåling. BI_5 udgør således den relativt let omsættelige del af det organiske stof, mens COD medtager stort set det hele; ingen af metoderne medtager ammoniak. En COD-analyse af indløbsvandet fra bækken forventes at give højere værdi end BI_5-analysen pga. tungtomsættelige humus-stoffer o.l. Disse stoffer bliver næppe omsat i væsentlig grad, mens de opholder sig en times tid i et kummeafsnit, så den fejl, man begår ved at sætte COD = BI_5 i indløbsvand vil stort set blive gentaget i udløbsvandet, og i kraft af modsatte fortegn vil de to fejl ophæve hinanden i massebalancen. Dog ikke helt. En ukendt andel af det tungtomsættelige stof kan bundfældes i slamfælderne og dermed blive en del af energimålingen og COD-beregningen på slam.

Den ikke-bundfældelige del af produktionsbidraget med organisk stof forventes ikke at indeholde væsentlige tungtomsættelige andele, så her kan man med god tilnærmelse sætte COD = BI_5.

Alt i alt forventes det derfor, at man ud fra massebalancen kan opnå et realistisk skøn over egenomsætningen af organisk stof ved at sammensætte BI_5-, COD- og energienheder. Skønnet over egenomsætningen beregnes som:

[BI_5 tilført med indløbsvand]
\+ [COD som ikke-bundfældelige fækalier (restled)]
\+ [COD som ufordøjeligt foder]
\- [(energi/13,6) fjernet med slam]
\- [BI_5 fjernet med udløbsvand]
= [COD forbrugt ved egenomsætning].

6.6 Energibudgetter, egenomsætning og massebalancer for organisk stof i produktionsafsnittet

Energibudget
Energibudgettet for de tre størrelser fisk er vist i figur 6.3. Hver post er summeret over hele den intensive undersøgelsesperiode. Den beregnede COD-mængde for foderet er sat til 100% og de øvrige led udtrykt i forhold hertil. Tilvæksten repræsenterer den faktiske tilvækst omregnet til COD, incl. døde fisk. Stofskiftet er beregnet vha. vækstmodellen version 1991 og de bundfældelige fækalier er beregnet som ufordøjeligt foder omregnet til COD jfr. Appendiks 1.

Figuren viser endvidere de ikke-bundfældelige fækalier beregnet ved metoderne I-IV. Resultatet af metode IIIb repræsenterer et restled i budgettet og er derfor det eneste, der får budgettet til at balancere ved nul.

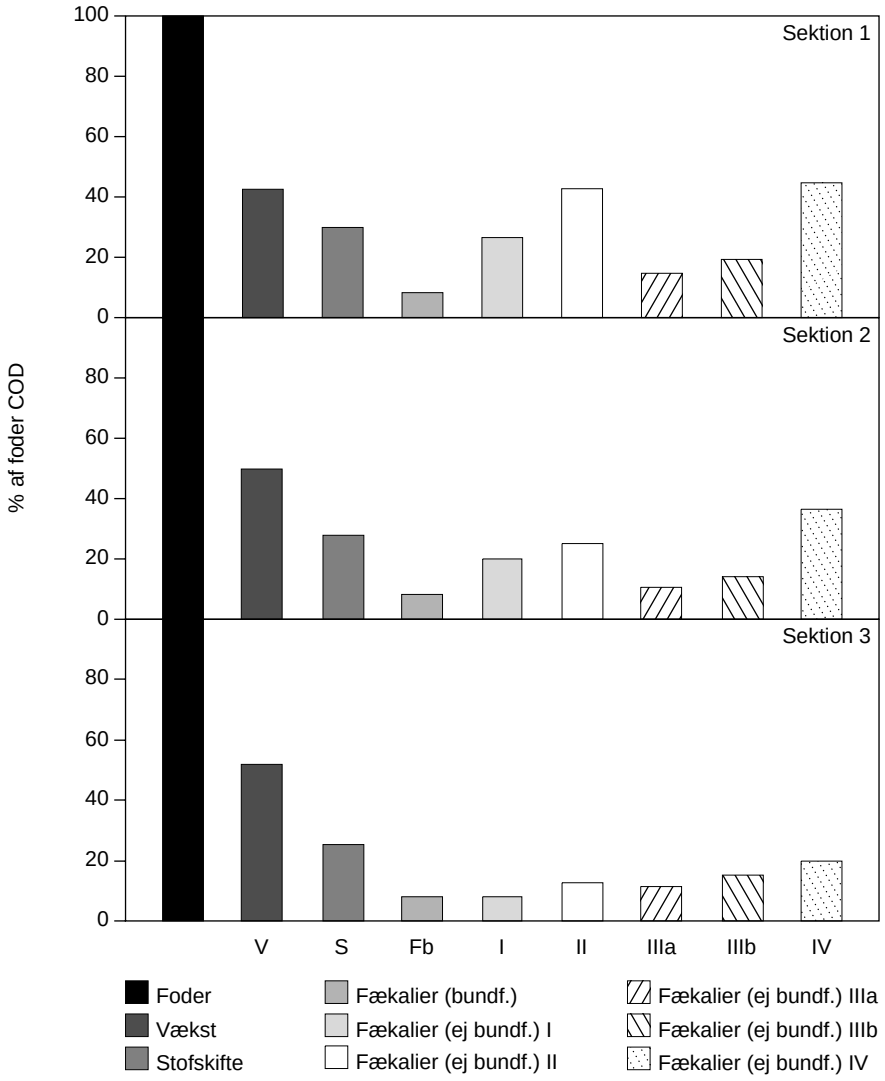


Fig. 6.3 Energibudgetter for regnbueørred fra Døstrup Dambrug. Budgetterne balancerer for ikke-bundfældelige fækalier beregnet ved metode IIIb. Periodens start- og slutvægte var: Sektion 1 16-32 g; Sektion 2 28-56 g; Sektion 3 376-602 g.

Tilvæksten repræsenterer den største enkeltpost af foderets energi (bortset fra den urealistisk høje øvre grænse for ikke-bundfældelige fækalier hos de mindste fisk (metode IV)). Udtrykt i g COD/kg fisk/dag er stofskiftet mindre hos store fisk end hos små fisk, men som andel af foderets energi er der meget lille forskel, fordi udfodrings-% (tabel 6.2) også er mindre hos de store fisk.

Beregningen af bundfældelige fækalier udtrykker udelukkende deklarerede egenskaber hos foderet og vil derfor for en given fodertype være en konstant andel.

Ved alle beregningsmetoderne I-IV viser det sig, at de ikke-bundfældelige fækalier udgør en mindre andel af foderets energi hos store fisk end hos små fisk. For beregningsmetode I, II og IV udtrykker dette en egenskab ved vækstmodellen, idet ændringen som funktion af fiskestørrelse er markant svagere for ikke-bundfældelige fækalier end for de øvrige led i modellen. Ved metode IIIa og IIIb skyldes det

en simpel regnemæssig udligning af, at tilvækstens faktiske andel er størst hos de store fisk.

Ved en given fiskestørrelse viser metode I (beregnet for fodertomme fisk) sammenlignet med modelberegningerne for fodrede fisk (metode II og IV), at en stor del af det ikke-bundfældelige organiske stof afgivet fra fiskene ikke har med foder og fodring at gøre, dvs. den konventionelle betegnelse "ikke-bundfældelige fækalier" er delvist misvisende.

Forskellen mellem metode IIIa og IIIb ved en given størrelse fisk repræsenterer COD-tabet svarende til ammoniak-ekskretion, som er medregnet i metode IIIa og udeladt i metode IIIb.

Massebalance og egenomsætning

Massebalance og egenomsætning med de data, som fremkommer ved at beregne ikke-bundfældelige fækalier efter metode IIIb, er vist i figur 6.4. I hver del-figur viser venstre kolonne tilgangen med indløbsvand samt med produktionsbidraget opdelt i ikke-bundfældelige og bundfældelige fækalier. Højre kolonne viser afgang med udløbsvand og med slam i henhold til målingerne på dambruget, og egenomsætning som det restled, der afstemmer balancen. Det fremgår, at indløbsbidraget udgør en relativt større andel af tilførselen i sektion 2 og 3 sammenlignet med sektion 1; dette er en simpel følge af, at COD-mængden (BI_5-mængden) er blevet forøget, da vandet passerede den foranliggende sektion. Beregningen af bundfældelige fækalier gav mindst resultat i sektion 1, fordi foderforbruget her er lidt mindre end i de to andre sektioner, mens mængden af ikke-bundfældelige fækalier blev størst hos de mindste fisk (sektion 1). Denne tendens svarer til tendensen i vækstmodellerne, men er fremkommet ved en mere direkte beregningsform.

Den mest markante forskel mellem sektionerne vedrører egenomsætningen. I sektion 3 er egenomsætningen, målt i kg COD/uge, mere end 3 gange så stor som i sektion 1. Forskellene mellem sektionerne med hensyn til udnyttet vandvolumen kan ikke forklare dette, idet der er næsten samme forskel i egenomsætning beregnet i mg/l/time (tabel 6.3). Omsætningshastighederne i mg/l/time er i god overensstemmelse med den indledende hastighed i BI_5-henfaldsforsøgene beskrevet i kapitel 11. En prøve taget i kummesektion 1 havde et iltforbrug på 0,5 mg/l og en prøve fra sektion 2 et forbrug på 1,6 mg/l i forsøgets første time. Ved sammenligningen med tabel 6.3 skal det tages i betragtning, at BI_5-målingerne sker ved 20 °C, hvilket forventes at give en højere omsætningshastighed end på dambruget. Modsætningsvist er der allerede omsat en del stof under transporttiden fra dambruget til laboratoriet, og uden dette ville det indledende iltforbrug have været endnu højere ved BI_5-målingen.

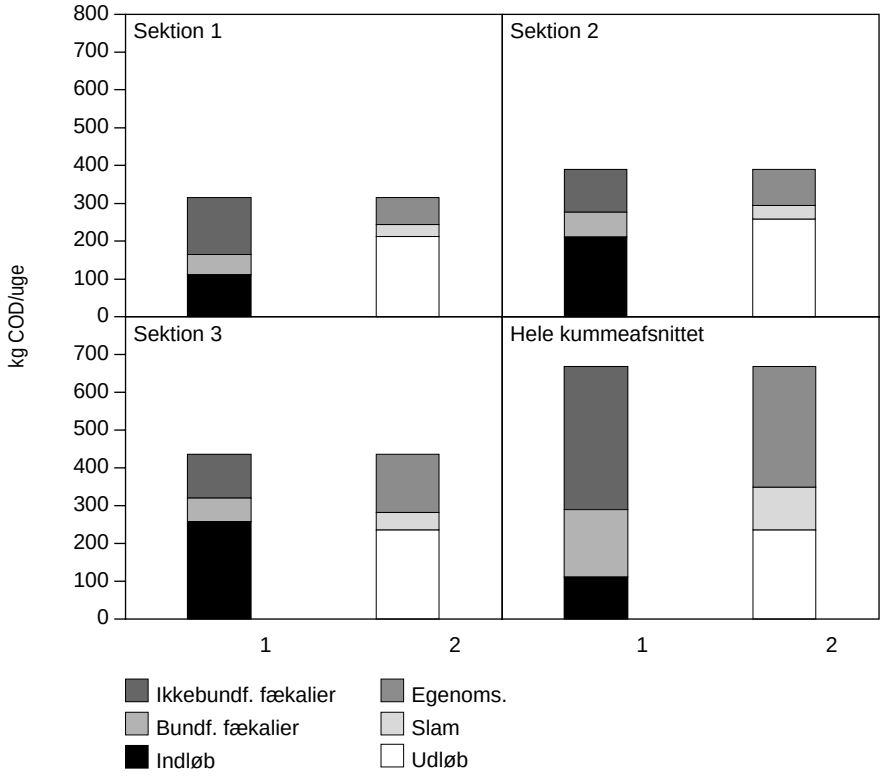


Fig. 6.4 Massebalancer for organisk stof i produktionsafsnittet på Døstrup Dambrug. Gennemsnitsværdier for den intensive måleperiode oktober-december 2001.

Iltforbruget til egenomsætning, udregnet i forhold til det samlede iltforbrug i tabel 6.3, bliver 17% i sektion 1, 27% i sektion 2 og 41% i sektion 3. I sektion 1 fjerner egenomsætningen knap en tredjedel af sektionens bidrag med ikke-bundfældelige fækalier, i sektion 2 ca. 85%, og i sektion 3 svarer egenomsætningen til hele sektionens produktion af ikke-bundfældelige fækalier plus halvdelen af de bundfældelige med det resultat, at koncentrationen (målt som BI_5) i afløbet fra sektion 3 er lavere end i det vand, sektionen modtager fra sektion 2.

Tabel 6.3. Iltforbruget til egenomsætning af organisk stof i produktionsafsnittet på Døstrup Dambrug, sammenlignet med fiskenes iltforbrug til stofskifte. Stofskiftet er beregnet ud fra vækstmodellen i *Rasmussen & From, 1991*.

Kummesektion:		1	2	3
Egenomsætning				
	mg/l/time:	0,8	1,5	2,4
	kg/uge:	39	85	144
Stofskifte	kg/uge:	185	225	206

De enkelte led i massebalancen, udtrykt som % af "omsætningen" = indløb + fækalier, er samlet i tabel 6.4, mens tabel 6.5 og 6.6 viser leddene beregnet som g COD eller BI_5 pr. kg foder eller produktion. Omregninger mellem BI_5 og COD er foretaget vha. forholdstallene 70/90 ifølge tommelfingerregelen anført i Appendiks 1.

Tabel 6.4. Massebalance for organisk stof i kummeanlægget på Døstrup Dambrug, beregnet i % af tilgang = indløb + fækalier.

		Fækalier				
Sektion	Indløb	Bundf.	Ikke-bundf.	Afløb	Slam	Egenom-sætning
1	39	18	43	75	11	14
2	56	17	27	68	9	23
3	60	14	26	55	11	34
Samlet	18	29	53	38	18	44

Tabel 6.5. Massebalance for organisk stof i kummeanlægget på Døstrup Dambrug, beregnet som g COD/kg foder og i parentes g COD/kg produktion. Målt BI_5 i indløb og afløb er omregnet til COD jfr. Appendiks 1.

		Fækalier				
Sektion	Indløb	Bundf.	Ikke-bundf.	Afløb	Slam	Egenom-sætning
1	392 (305)	140 (109)	329 (256)	747 (581)	87 (68)	122 (95)
2	616 (459)	146 (108)	234 (174)	754 (561)	81 (60)	186 (138)
3	752 (630)	138 (116)	245 (205)	685 (573)	104 (87)	367 (307)
Samlet	115 (90)	142 (111)	266 (208)	243 (191)	91 (71)	231 (182)

Tabel 6.6. Massebalance for organisk stof i kummeanlægget på Døstrup Dambrug, beregnet som g BI_5/kg foder og i parentes g BI_5/kg produktion. COD for fækalier, slam og egenomsætning er omregnet til BI_5 jfr. Appendiks 1.

		Fækalier				
Sektion	Indløb	Bundf.	Ikke-bundf.	Afløb	Slam	Egenom-sætning
1	305 (237)	109 (85)	256 (199)	581 (452)	68 (53)	95 (74)
2	479 (357)	113 (84)	182 (136)	586 (436)	63 (47)	144 (107)
3	585 (490)	107 (90)	190 (159)	533 (446)	81 (68)	286 (239)
Samlet	89 (70)	110 (86)	207 (162)	189 (148)	71 (56)	180 (141)

De vigtigste faktorer for egenomsætningens størrelse i en given anlægs-udformning må forlods forventes at være den koncentration af mikroorganismer, som virker på det organiske stof, den koncentration af organisk stof, som mikroorganismerne har at virke på, vandets opholdstid, som er den tid mikroorganismerne har at virke i, og vandtemperaturen.

Der vil være et komplekst samspil mellem disse faktorer, som ikke umiddelbart lader sig analysere. F.eks. vil den maksimale koncentration af organisk stof, som kan opbygges i kraft af produktionsbidraget, stige hvis vandudskiftningen sænkes (opholdstiden øges). En høj koncentration af føde for mikroorganismerne kan, op til en vis grænse, få dem til at formere sig hurtigere, og koncentrationen af mikroorganismer vil stige med formeringshastigheden og også stige, hvis vandudskiftningen sænkes (opholdstiden øges). Produktionsbidragets størrelse i sig selv er groft set bestemt af dambrugets fodertilla-

delse, og temperaturen har dambruget ikke megen indflydelse på. Den vigtigste nøglefaktor, hvis man ønsker at opnå en høj egenomsætning i produktionsafsnittet for at minimere belastningen på de nedstrøms beliggende renseforanstaltninger, kan derfor udpeges som vandudskiftningen, dvs. vandets opholdstid, som dambruget gennem indretning og drift selv har indflydelse på.

Resultaterne fra den intensive undersøgelsesperiode kan illustrere dele af de nævnte forhold. Det ses umiddelbart af figur 6.4, at egenomsætningen er størst hvor indløbsmængden er størst. Da indløbsmængden i m^3/uge er den samme for alle sektioner, vil indløbsbidraget i kg COD/uge også være et mål for koncentrationen. Til nærmere undersøgelse af sammenhængene mellem indløbskoncentration og egenomsætning er der dog anvendt middelværdien af indløbs- og udløbskoncentration for hver sektion. Figur 6.5 viser egenomsætningen for hver uge, plottet mod ugens målte BI_5-koncentration. Inden for den enkelte kummesektion kan man ikke identificere nogen tendens til, at egenomsætningen stiger med BI_5-koncentrationen. I de BI_5-intervaller, hvor sektionerne overlapper, er der derimod tydelige tegn på, at den nedstrøms beliggende sektion har højere egenomsætning end den opstrøms ved samme BI_5-koncentration. En sandsynlig forklaring er, at organisk stof i de faktisk foreliggende koncentrationer ikke har været bestemmende for egenomsætningens størrelse, mens koncentrationen af mikroorganismer har haft betydning. I kummesektion 1 bliver mikroorganismerne i den frie vandmasse hele tiden "fortyndet" med åvand og grundvand, så koncentrationen af dem bliver holdt nede. Sektion 2 modtager fra sektion 1 vand, som på forhånd er kraftigt "podet" med mikroorganismer, så hér kan der opbygges en tættere bestand, og tilsvarende endnu højere i sektion 3. Med andre ord: den samlede tid, hvor vandet opholdt sig først i sektion 1 og siden i 2 og 3, kan i den aktuelle sammenhæng have været afgørende især for opbygningen af bestanden af mikroorganismer. Figur 6.6 understreger betydningen af opholdstid. En tænkt kurve over toppene af søjlerne med egenomsætning vil krumme opad. En sådan eksponentiel kurve er bl.a. karakteristisk for populationer af mikroorganismer, som vokser uden at være begrænset af mangel på føde, ilt m.m.

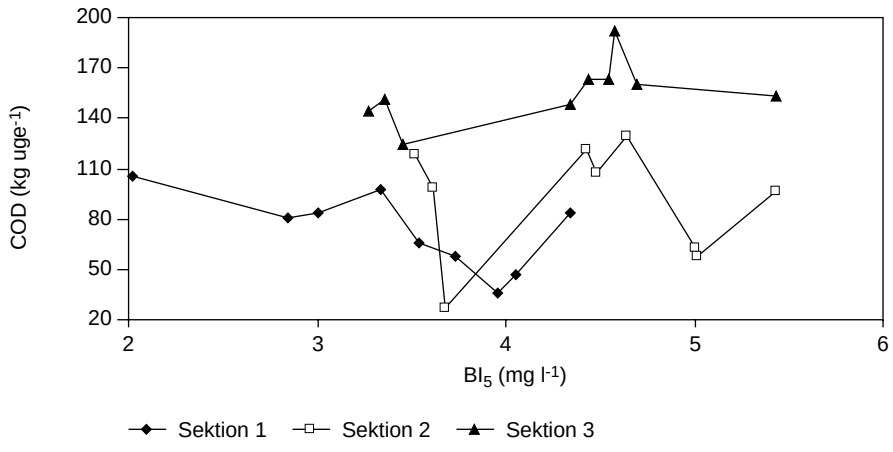


Fig. 6.5 Egenomsætning plottet mod BI_5-koncentration i produktionsafsnittet på Døstrup Dambrug.

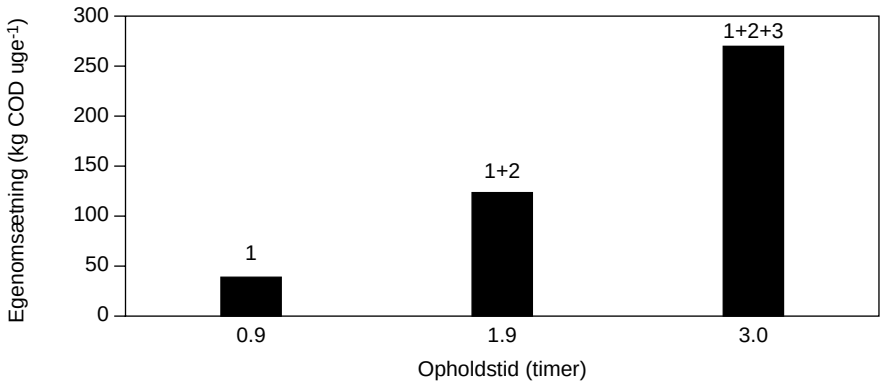


Fig. 6.6 Summeret egenomsætning plottet mod summeret opholdstid i produktionsafsnittet på Døstrup Dambrug. Første punkt repræsenterer kummesektion 1 alene, næste punkt opholdstid og samlet egenomsætning i sektion 1+2, og sidste søjle tilsvarende for sektion 1+2+3.

I figur 6.7 er data fra figur 6.5 plottet som tidsserier sammen med produktionsbidragene med ikke-bundfældelige fækalier, det vigtigste bidrag til det stof, som egenomsætningen nedbryder. Produktionsbidragene med ikke-bundfældelige fækalier er i kraft af den ensartede udfodring meget stabile, bortset fra kummesektion 3, hvor fodertildelingen blev reduceret i den sidste del af perioden. Udsvingene i egenomsætning og i BI_5-koncentration (beregnet som middelværdi af ind- og udløb for hver kummesektion) viser heller ikke som tidsserier nogen éntydig indbyrdes sammenhæng.

I figur 6.8 er egenomsætningen fra de tre kummesektioner vist som tidsserie sammen med vandtemperaturen. Temperaturen er faldet jævnt og støt over perioden, og man ville generelt forvente, at dette reducerer egenomsætningen. I mange sammenhænge, f.eks. stofskifte eller maksimalt fødeoptag hos fisk og andre vekselvarme dyr, vil et temperaturfald på 6 °C som i figur 6.8 reducere proceshastigheder med ca. 40%. I sektion 2 og 3 kan man med god vilje måske ane en tendens til faldende egenomsætning, men bestemt ikke i sektion 1. Uge-til-uge udsvingene i den beregnede egenomsætning er for store til, at den forventede afhængighed af temperaturen kan påvises. Udsvingene kan næppe skyldes udsving i produktionsbidragene med ikke-bundfældeligt organisk stof, som forventes at være stabilt i kraft af den stabile udfodring. En vis, men ukendt andel af de bundfældelige fækaliers COD-indhold vil tilbageføres til vandet, inden fækalierne havner i slamfælderne, men dette tilskud vil formentligt også være stabilt.

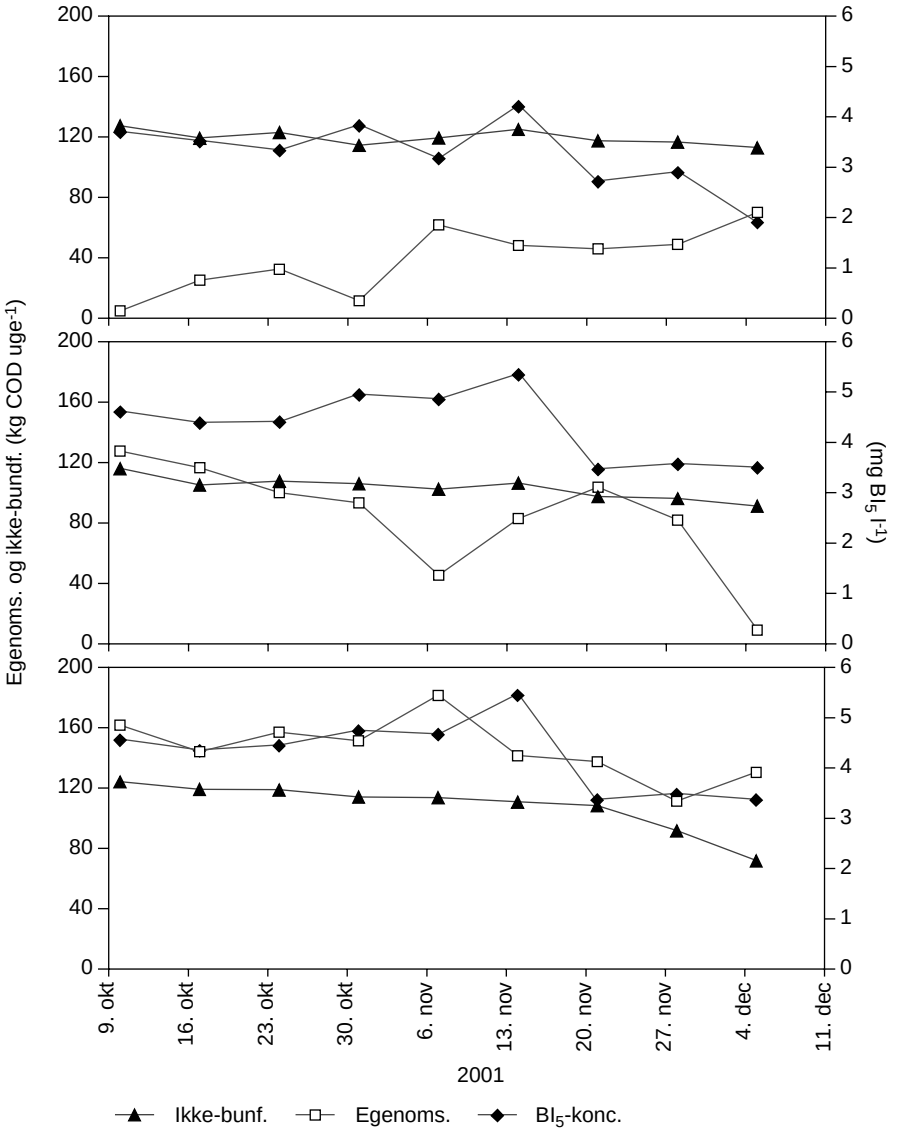


Fig. 6.7 Produktionsbidrag med ikke-bundfældelige fækalier, egenomsætning samt BI_5-koncentration i produktionsafsnittet på Døstrup Dambrug.

I beregningen af egenomsætning (se sidst i afsnit 6.5) indgår nettotilførselen af BI_5, beregnet som [indløb – udløb]. For at undersøge om nettotilførselen af BI_5 kan forklare udsvingene i beregnet egenomsætning, er nettotilførslerne samlet i figur 6.9 i samme målestoksforhold som anvendt i figur 6.8. En sammenligning af kurveforløbene i de to figurer viser, at udsving i BI_5-resultater har en nær sammenhæng med udsving i beregnet egenomsætning. Der er flere mulige, principielt forskellige fortolkninger af sammenhængen.

- Hvis den *sande* egenomsætning i kummesektionerne svinger meget fra uge til uge (svarende til kurveforløbene af den *beregnede* egenomsætning i figur 6.8), vil det medføre store udsving som i figur 6.9 i den resulterende *sande* forskel mellem BI_5 i ind- og udløb.
- Hvis den *sande* egenomsætning har den stabilitet, der forventes ud fra den stabile udfodring og dermed det stabile produktionsbidrag med organisk stof, så må udsvingene i de *beregnede* BI_5-forskelle have andre årsager.

- F.eks. kan slamfjernelsen være det ustabile element i beregningerne. I figur 6.10 er slamfjernelsen vist i samme målestok som anvendt i figur 6.8 og 6.9, og det ses umiddelbart, at udsving i slamfjernelsen ikke er store nok til at være hovedårsag til udsvingene i figur 6.8 og 6.9.
- En anden mulighed kan være usikkerheden på BI_5-data. Det bemærkes, at BI_5-målingerne af praktiske årsager kun repræsenterer én døgnprøve pr. uge og derfor er mindre repræsentativ end de andre elementer i beregningerne, som repræsenterer hele ugen. I lighed med problemerne ved TN- og TP-opdrætsbidrag beregnet som [udløb – indløb] (afsnit 5.5) vil en beskeden %-vis usikkerhed på den enkelte måling af BI_5 i indløb og udløb resultere i en større %-vis usikkerhed på differensen [indløb – udløb]. Man kan derfor ikke udelukke, at usikkerheden på BI_5-data er hovedårsagen til udsvingene i beregnet egenomsætning, men man kan heller ikke med sikkerhed sige det modsatte.

Det er således ikke muligt at finde en klar årsag til uge-for-uge udsvingene i den beregnede egenomsætning og i BI_5-regnskabet for kummesektionernes ind- og udløb. Det må konkluderes, at overslag over egenomsætningens størrelse skal bygge på et gennemsnit over så lang periode som muligt med så ensartet belastning som muligt for at være troværdige.

På grundlag af de samlede informationer præsenteret i figur 6.4-6.10 og tabel 6.4 kan man som et foreløbigt resultat konkludere, at egenomsætning i betonkummer kan fjerne væsentlige andele af produktionsbidraget med organiske stof og derved nedbringe belastningen på de efterfølgende renseforanstaltninger. Nøglefaktoren for egenomsætningens størrelse er vandets opholdstid i kummeanlægget, idet virkningen heraf ser ud til at formidles mere gennem opbygning af en høj koncentration af mikroorganismer end gennem opbygning af en høj koncentration af stof.

Der er ikke i projektet gjort forsøg på at optimere driften af kummeanlægget mht. egenomsætning. Der er efter al sandsynlighed et potentiale herfor. Man skal være varsom med at gætte på hvor meget, fordi egenomsætningen styres af et komplekst samspil af faktorer. Hvis man forsøgsvist antager, at tendenserne i figur 6.6 holder ved en forlængelse af opholdstiden med én time, så vil egenomsætningen øges med over 100 kg COD/uge, hvilket vil gøre kummeafsnittet i sin helhed udledningsneutralt mht. organisk stof jfr. figur 6.4 nederst til højre. Det må nok forventes, at koncentrationen af opløst organisk stof forinden vil blive så lav, at den begynder at begrænse omsætningshastigheden. Til gengæld kan man formentlig øge opholdstiden med mere end en time, uden at der bliver tale om ekstremt lav vanduddskiftning, som kan have negativ indflydelse på fiskenes vækst. Kun fremtidige erfaringer kan afgøre, hvor grænsen ligger.

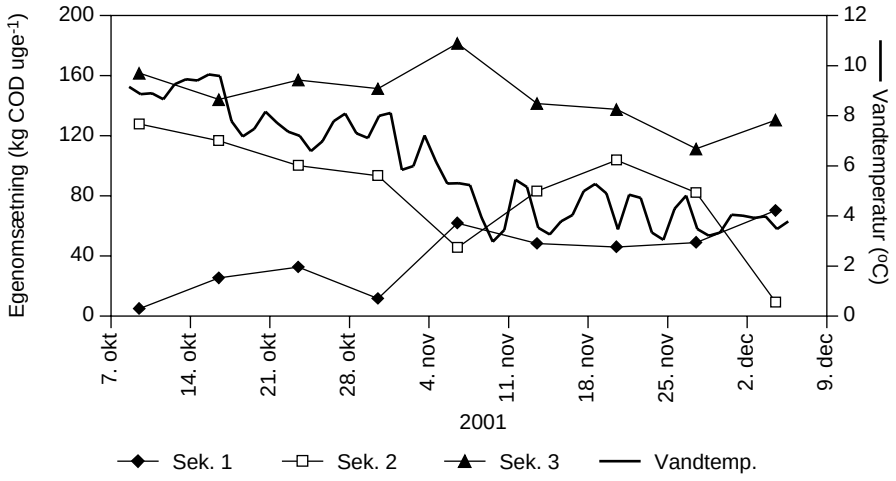


Fig. 6.8 Egenomsætning i produktionsafsnittet på Døstrup Dambrug.

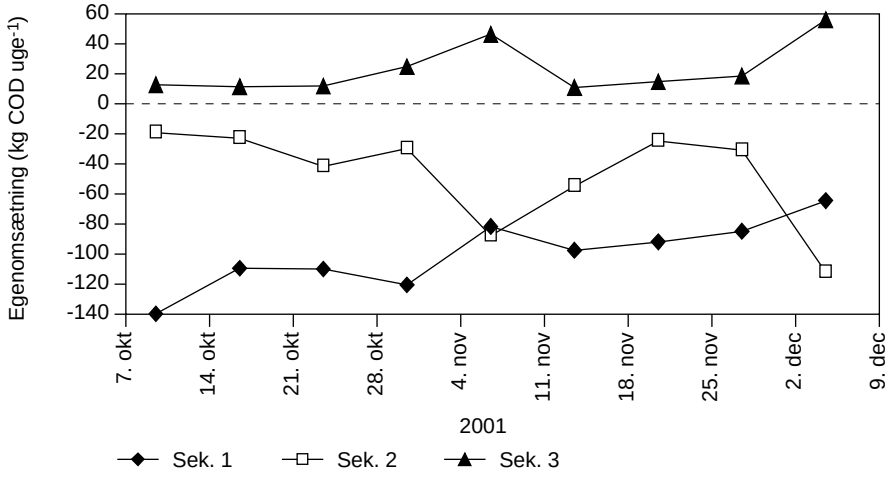


Fig. 6.9 Nettotilførsel af BI_5 (ind – ud) til kummesektionerne på Døstrup Dambrug.

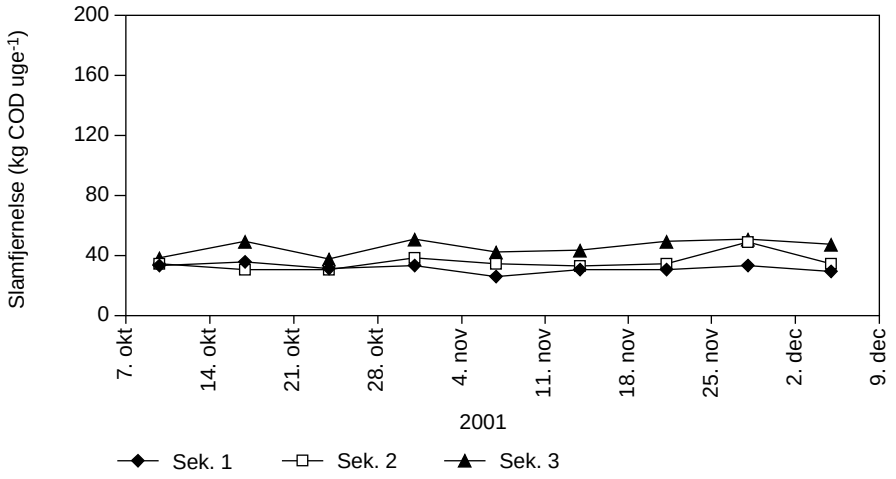


Fig. 6.10 Slamfjernelse fra kummesektionerne på Døstrup Dambrug.

I ovenstående tolkning af projektets resultater vedrørende egenomsætning er det antaget, at egenomsætningen hovedsageligt foregår i vandfasen og kun i mindre omfang formidles af den fastsiddende begroning på faste overflader i berøring med vandet. Dette støttes af overensstemmelsen mellem den beregnede omsætningshastighed (mg/l/time) og den direkte målte, indledende omsætningshastighed ved BI_5-henfaldsforsøgene (kap. 11). Den modsatte antagelse, at egenomsætningen overvejende varetages af fastsiddende begroning, modsiges af tendensen til større egenomsætning i nedstrøms kummesektion end i opstrøms kummesektion ved ens BI_5-koncentration (figur 6.5). Dette forklares bedst ved større omsætning i vandfasen i kraft af længere samlet opholdstid. I samme retning peger, at arealet i kontakt med vand var størst i sektion 1 og mindst i sektion 3.

[Tom side]

7 Slam og slamhåndtering i produktionsafsnittet

7.1 Indledning

Udfodring, tilvækst og forhold vedrørende affaldsstoffer i de tre kummesektioner blev undersøgt særlig intensivt i perioden 4. oktober – 5. december 2001. Resultaterne vedrørende fodring, vækst og dannelse af affaldsstoffer gennemgås i kapitel 5 og 6, mens data vedrørende fjernelse af slam fra kummesektionerne behandles i dette kapitel.

7.2 Metoder vedrørende udvidede slamanalyser

I tillæg til projektets generelle analyser af vand og slam blev der udført følgende i den intensive undersøgelsesperiode:

Slamprøver
Slamprøver blev i den intensive undersøgelsesperiode udtaget hver gang slamfælderne blev tømt, dvs. tirsdag og torsdag. Selve udtagningen skete på følgende måde, som var projektets sædvanlige procedure. Slam fra fælderne i én kummesektion ad gangen blev pumpet separat til sektionens slamdepot. Pumpningen blev afbrudt, når vandet ved udløbet fra pumpeledningen havde nået ca. samme klarhed som sædvanligt i bagkanalerne. Det oppumpede volumen blev automatisk registreret. Under pumpningen blev en repræsentativ delprøve dannet via en sidegren til pumpeledningen med udløb til en beholder med konstant omrøring, og fra denne pulje blev én prøve udtaget til projektets sædvanlige analyser, mens 3 andre prøver blev udtaget til udvidede analyser. Den sædvanlige analyse blev foretaget på eksternt laboratorium og omfattede TN, TP, tørstof, organisk stof (= glødetab) og BI_5. En af de tre ekstra prøver opbevares nedfrosset som reserve, mens to af dem på DFU's laboratorium blev analyseret for vådvægt, tørvægt, vægtfylde, organisk stof og energi. DFU's metode til tørstofbestemmelse adskiller sig fra sædvanlig praksis på følgende måde. Den sædvanlige laboratoriemetode måler det tørstof, der tilbageholdes af et filter med porestørrelse 0,45 µm. Herved går en delmængde i form af meget små partikler tabt. DFU's analyse baseres på inddampning, som medtager 100 % af tørstof og organisk stof, idet fordampning af uorganisk såvel som organisk stof ved 95 °C anses som betydningsløs. Sædvanlig laboratorieanalyse udtrykker alle resultater pr. liter, mens DFU's resultater udtrykkes pr. kg. Derfor blev bestemmelse af vægtfylde medtaget for at kunne omregne mellem de to sæt resultater.

Overskudsvand fra slamdepoterne blev udtaget som tidsproportional prøve vha. en ISCO prøvetager fra hvert depot under hver afdræning. Prøverne blev ved eksternt laboratorium analyseret for TN, NH_4-N, NO_{2+3}-N, TP, PO_4-P, tørstof, organisk stof og BI_5.

Præcision og nøjagtighed i DFU's analysemetoder vedr. slam
Alle analyser blev udført separat for hver prøvedato og kummesektion. Tørvægt (% af vådvægt) blev målt som én bestemmelse på hver af to duplikate prøver. Standardafvigelsen var i de fleste tilfælde under 5%, men i to tilfælde mellem 5 og 10%. Vægtfylde blev bestemt på én af de duplikate prøve med en usikkerhed på ca. 1%, og efterfølgende blev organisk stof (% af tørvægt) målt på samme prøve med en usikkerhed på under 1% af resultatet. Tørstoffet fra den anden prøve blev anvendt til energimåling (J/g tørstof). I de fleste tilfælde rakte tørstoffet til dobbeltbestemmelse. Pga. stoffets karakter (tørt granulat med højt indhold af uorganisk materiale) bliver standardafvigelsen på energimålingen større end ved f.eks. tørret, hakket fisk; i de fleste tilfælde mellem 1 og 5%, i to tilfælde mellem 5 og 8%.

7.3 Karakteristik af slam fra Døstrup Dambrugs slamfælder

Slamprøvers vægtfylde
Da der dannes bundfald i slamprøverne, må vægtfylden pr. definition være højere end for rent vand, men pga. det meget lave tørstofindhold kunne forskellen ikke påvises, hvorfor den må ligge inden for den ovenfor nævnte usikkerhed på ca. 1%. Der er derfor i praksis ikke anvendt omregningsfaktor mellem analyseresultater i mængder/kg og mængder/l.

Slamprøvers stofindhold
Som gennemsnit af i alt 19 prøveudtagninger har tørstofindholdet bestemt ved inddampning af prøverne været: kummesektion 1: 0,36±0,13%, sektion 2: 0,43±0,15% og sektion 3: 0,55±0,16%. Den store standardafvigelse på 30-35% af middeltallet (svarende til variations koefficienten) er først og fremmest et udtryk for, at der i gennemsnit er brugt samme vandmængde som transportmedium for slammet, uanset om dette er akkumuleret over 5 døgn (tirsdagsprøver) eller 2 døgn (torsdagsprøver), og dernæst har der ikke været tidsstyring på slampumpen, så pumpetid og dermed pumpet volumen kan variere fra gang til gang. Det er derfor ikke interessant, og for projektets formål heller ikke relevant, at se nærmere på stofkoncentrationer o.l. i slamprøverne i den tilstand, hvori de blev udtaget.

Metodens indflydelse på resultater af tørstofbestemmelse
Standard-laboratoriemetoden til bestemmelse af tørstof i vandprøver underestimerer det faktiske tørstofindhold, fordi der vil være et tab af de mindste partikler. Tabets omfang vil være bestemt af partiklernes størrelsesfordeling. Tabet ved den størrelsesfordeling, som er resultatet af pumpeprocessen på Døstrup Dambrug, kan belyses ved at sammenholde data fra standard-analysen med data fra DFU's inddampning af prøver udtaget samme dag. Forholdstallet (filtreret mængde)/(inddampet mængde) beregnet for de enkelte prøver svinger mellem 0,73 og 1,06. Forholdstal større end 1 er ikke realistiske; de må tilskrives de små forskelle, der vil forekomme mellem flere prøver udtaget samtidig, samt unøjagtigheder i laboratorieanalyserne. Som gennemsnit af 19 prøver fra hver af de tre kummesektioner var forholdstallet 0,89±0,10 både for total tørstof og organisk tørstof,

dvs. filtreringen tilbageholdt 89% af den faktiske stofmængde. Der var ingen forskel mellem kummesektionerne.
Ved alle efterfølgende beregninger med relation til tørstofindholdet i slammet er det tørstoffet bestemt ved inddampning, som er anvendt.

Korrektion for transportmediets bidrag til slamprøverne
De brutto stofmængder, der på en given dag er transporteret til hvert af de tre slamdepoter, er beregnet som [analyseresultater (stofmængder pr. l eller pr. kg)] gange [oppumpet vandmængde]. Der er typisk anvendt ca. 5000 l vand til at transportere 15-25 kg tørstof. Vandet stammer fra kummesektionernes bagkanaler og har i sig selv et stofindhold, som påvirker analyseresultaterne. Det bedste mål for denne stofmængde må bygge på bagkanalernes stofkoncentrationer på det tidspunkt, hvor slamfælderne blev fyldt op med 'nyt' vand ved den foregående tømning. Hvis der pumpes længe nok, vil bagkanalernes stofkoncentrationer på tømningstidspunktet også få betydning. Ingen af disse øjeblikskoncentrationer er kendt. Imidlertid har bagkanalernes stofkoncentrationer været relativt stabile over perioden, og det er derfor valgt at korrigere brutto stofmængder både tirsdag og torsdag med de stofkoncentrationer, der er målt på samme uges puljede prøve fra den bagkanal, der svarer til slamdepotet.

For TP, tørstof (begge analysemetoder), organisk stof (begge analysemetoder) og BI_5 udgjorde bidraget fra bagkanalsvand mindre end 5‰ af brutto-mængden, og korrektionen har derfor ingen praktisk betydning for disse parametre. Anderledes for TN. Her udgjorde bidraget fra bagkanalsvand 6-16% af bruttomængden, som vist i tabel 7.1. At resultatet, udtrykt i %, for tirsdagsprøver ligger under og for torsdagsprøver over gennemsnittet for alle dage forklares ved, at bidraget fra transportvandet i absolutte mængder er nogenlunde konstant, fordi der er brugt ca. samme vandmængde uanset ugedag, der tømmes slamkegler, mens bidraget fra selve slammet repræsenterer 5 døgns akkumulering om tirsdagen og 2 døgn om torsdagen.

Tabel 7.1. Transportmediets bidrag til slamprøvernes indhold af totalkvælstof (TN), anført som middelværdi ± standardafvigelse.

	Sektion 1	Sektion 2	Sektion 3
Alle dage	12±5 %	12±5 %	9±4 %
Tirsdage	9±4 %	7±2 %	6±2 %
Torsdage	16±3 %	16±3 %	12±4 %

Resultaterne viser klart, at det ukorrigerede bidrag fra transportmediet kan være en væsentlig fejlkilde ved kvantificering af kvælstoftilbageholdelse i slamfælder. Fejlens relative størrelse vil øges:
- ved hyppig tømning, hvor bidraget fra transportmediet er relativt større (forudsat det pumpede volumen ikke tilpasses)
- ved at pumpe unødigt store mængder vand
- ved intensiv recirkulering, hvor stofkoncentrationer i transportmediet bliver større.

Biokemisk karakteristik af slam fra Døstrup Dambrugs slamfælder
Den vandmængde, som udgør en del af friske fækalier, indeholder opløst organisk stof samt N- og P-forbindelser i andre koncentratio-

ner end dem, der findes i bagkanalens vand. Forsøg med udvaskning af opløst stof fra fækalier har vist, at ca. 30% af friske fækaliers N-indhold afgives på ca. 30 minutter, hvorefter den videre proces sker meget langsomt (*Alsted, 1989*). Det kan derfor antages, at koncentrationerne i fækaliernes vand stort set er som i det omgivende vand, inden fækalierne bundfældes i slamfælderne. Hvis antagelsen er rigtig, vil stofindholdet i det oppumpede slam efter korrektion for transportmediets bidrag som ovenfor nævnt være altovervejende bundet til slam-tørstoffet. Den videre antagelse, at partikelbundet N er proteinbundet kan, sammen med måling af slammets energiindhold, udnyttes til en beregningsmæssig karakteristik af slammets biokemiske sammensætning. Der er her brug for nogle omregningstal, dels for vægtforholdet mellem protein-tørstof og protein-N, dels for energiindholdet pga. henholdsvis protein, fedt og kulhydrat. I faglitteraturen varierer disse omregningstal en del, afhængigt af det præcise stof der er målt på. Det er fundet mest hensigtsmæssigt at anvende fiskefoderbranchens standardværdier, som svarer til de mest almindelige i faglitteraturen. Herved sættes protein-tørstof = protein-N · 6,25, mens energien pr. g protein, fedt og kulhydrat (incl. træstof) sættes til henholdsvis 23,66 kJ, 39,57 kJ og 17,17 kJ (se også kapitel 5).

Når x, y og z står for andelen af protein, fedt og kulhydrat, udtrykt som g pr. g organisk slamtørstof, og T står for det målte totale energiindhold i et g organisk slamtørstof, så gælder:

$$x \cdot 23{,}66 + y \cdot 39{,}57 + z \cdot 17{,}17 = T$$

Endvidere:

$$x + y + z = 1 \quad \text{hvoraf} \quad z = 1 - x - y$$

hvoraf igen:

$$x \cdot 23{,}66 + y \cdot 39{,}57 + (1 - x - y) \cdot 17{,}17 = T$$

For hver slamprøve er T målt, og x beregnes som TN · 6,25/(organisk slamtørstof), hvorefter man har én ligning med én ubekendt, y, som nu kan beregnes, hvorefter z beregnes. Middelværdier for hver kummesektion er medtaget i tabel 7.2. De store standardafvigelser indikerer, at der er tale om ret grove beregninger. Dette er en uundgåelig følge af dag-til-dag variationen i de basale laboratoriedata, men indtil en direkte biokemisk slamanalyse evt. udføres, kan middelværdierne tjene som en foreløbig tilnærmelse. Kulhydrat udgør i gennemsnit den største fraktion, protein den næststørste, og fedt den mindste. Det kan på forhånd ikke forventes, at protein og fedt forekommer i slammet i det forhold, der kan beregnes ud fra foderets mængdeforhold og de to stoffers fordøjelighed. Den del af ørredfoderets protein, der i forbindelse med fordøjelighedforsøg betegnes som "ufordøjelig", er i et vist omfang ikke principielt ufordøjeligt for ørreden, men er 'beslaglagt' af , dvs. indbygget i, mikroorganismer, der har deres naturlige levested i ørredens tarmsystem (*Ringø et al., 1995*; *Trust & Sparrow, 1974*), og som udgør en del af friske fækaliers indhold af organisk stof. På tilsvarende vis består "ufordøjeligt" fedt også i et vist omfang af fedt, der er gjort utilgængeligt for ørreden ved at blive

optaget i tarmfloraens mikroorganismer. I tiden fra fækaliernes produktion og til slamprøven udtages vil mikroorganismer forbruge og forbrænde og dermed fjerne protein og fedt i et ukendt mængdeforhold.

Tabel 7.2. Beregnet biokemisk sammensætning af slam fra kummesektionerne, anført som middelværdi ± standardafvigelse.

	Protein	Fedt	Kulhydrat	BI_5
	% af organisk tørstof			% af total iltforbrug (TOC)
Sektion 1				
Alle dage	33± 9	10 ± 6	57 ± 8	37 ± 7
Tirsdage	37 ± 8	10 ± 5	53 ± 5	38 ± 8
Torsdage	28 ± 8	9 ± 7	63 ± 8	37 ± 7
Sektion 2				
Alle dage	27 ± 6	13 ± 6	60 ± 7	43 ± 7
Tirsdage	31 ± 6	14 ± 6	55 ± 6	42 ± 4
Torsdage	24 ± 4	13 ± 6	63 ± 7	44 ± 9
Sektion 3				
Alle dage	28 ± 6	13 ± 7	59 ± 7	43 ± 8
Tirsdage	31 ± 5	13 ± 8	56 ± 7	45 ± 9
Torsdage	26 ± 5	13 ± 5	61 ± 5	41 ± 5

Relation mellem slammets biokemi, TOC og BI_5-målinger
Ud fra den beregnede biokemiske sammensætning af slammet er der beregnet et skøn for slammets TOC, dvs. hvor meget ilt der vil medgå til den totale 'forbrænding'. Beregningsmetoden er beskrevet i Appendiks 1. Herefter er det faktisk målte BI_5-iltforbrug beregnet i % af TOC som et udtryk for, hvor stor en del af slammets organiske stof som omsættes under BI_5-analysen.

Middelværdierne er medtaget i tabel 7.2. I gennemsnit har BI_5-prøverne omsat knap 40% af den totale mængde i kummesektion 1, lidt mere i de to andre sektioner. Forskellene mellem kummesektioner er ikke statistisk signifikante. Det er værd at bemærke, at der omsættes lige meget af totalen, uanset om prøverne har haft 2 eller 5 døgns akkumuleringstid i slamfælderne. Dette forhold er imod det umiddelbart forventede, idet de mikroorganismer, der under iltforbrug omsætter organisk stof i laboratorieprøven, er de samme som omsætter stof i slamfælderne. Man vil normalt forvente, at det organiske stof er en skønsom blanding af letomsætteligt og tungt-omsætteligt, hvor f.eks. træstoffet fra foderet indgår i sidstnævnte, og man vil forvente, at mikroorganismerne er opportunistiske og tager det letomsættelige først. Herudfra kunne det forventes, at væsentlige mængder af det let-omsættelige stof ville være forsvundet under tirsdagsprøvernes 'ekstra' 3 døgns liggetid, så at det i de næste 5 døgn i laboratoriet ikke ville være muligt at omsætte lige så meget som for de friskere tors-

dagsprøver. En anden følgeslutning ville være, at kulhydrat i form af tungtomsætteligt træstof skulle udgøre en mærkbart større andel af tirsdagsprøverne.

Ingen af ovennævnte forventninger synes opfyldt. En nærliggende forklaring kan være, at der meget hurtigt opstår iltfattige forhold i slamfælderne, bortset fra det allerøverste lag. Mikrobiel omsætning af organisk stof sker også under iltfattige betingelser, men meget langsommere end under iltrige forhold. En kraftig hæmning af omsætningen neden under det allerøverste, iltrige lag i slamfælderne vil bevirke, at forskellen i indhold af letomsætteligt stof mellem tirsdags- og torsdagsprøver bliver lille, og under de iltrige forhold i laboratorieprøverne vil BI_5-omsætningen derfor foregå med nogenlunde samme hastighed.

En anden følgeslutning af sidstnævnte forklaring er, at forskellen mellem akkumulering pr. dag, som er påvist for alle analyseparametre (se næste afsnit) og som også ses for den beregnede iltmængde til total omsætning, ikke så meget skyldes omsætning i slamfælderne under den forlængede liggetid, men i højere grad mekanisk omrøring (se næste afsnit).

7.4 Effekten af tidsinterval mellem tømning af slamfælder

Antal kg stof tilført hvert slamdepot på hver dato for hver analyseparameter blev beregnet og korrigeret for transportmediets bidrag. Der er herefter beregnet middelværdier separat for tirsdage (5 døgns akkumulering) og torsdage (2 døgns akkumulering). Tilbageholdelsen pr. dag er beregnet ved at dividere tirsdags-værdier med 5 og torsdagsværdier med 2, og til slut er akkumuleringstidens betydning belyst ved at beregne forholdstallet mellem tirsdagenes og torsdagenes "pr.dag"-værdi.

Resultaterne er samlet i tabel 7.3, hvor der for de 3 kummesektioner tegner sig et konsistent mønster. For samtlige parametre er der en markant ringere tilbageholdelse pr. døgn efter 5 døgns akkumulering end efter 2 døgn, idet 5-døgns værdierne ligger fra 54 (TP, Sektion 1) og op til 92% (TN, Sektion 3) af 2-døgns værdierne.

Tabel 7.3. Forholdet mellem akkumuleret mængde per døgn efter 5 døgn (tirsdagsprøver) og 2 døgn (torsdagsprøver), anført som middelværdi ± standardafvigelse.

	TN	TP	Tørstof	Org, Tørstof	BI_5	Energi
Sektion 1	0,83 ± 0,32	0,54 ± 0,29	0,58 ± 0,22	0,62 ± 0,18	0,67 ± 0,28	0,63 ± 0,20
Sektion 2	0,88 ± 0,38	0,60 ± 0,21	0,65 ± 0,18	0,70 ± 0,21	0,70 ± 0,34	0,71 ± 0,25
Sektion 3	0,92 ± 0,40	0,74 ± 0,34	0,71 ± 0,22	0,75 ± 0,23	0,85 ± 0,32	0,76 ± 0,25

For organisk tørstof og energi (der i sig selv er et mål for organisk stof) vil man på forhånd forvente en mindre døgnmængde efter den længere akkumuleringstid, fordi mikroorganismer i slammet hele tiden nedbryder organiske tørstof til vand, kultveilte og ammoniak.

Det er imidlertid vanskeligt at afgøre, om mikrobiel nedbrydning er tilstrækkelig til at forklare et svind på 25-40% i løbet af 3 døgns ekstra liggetid.

For TP (total-fosfor) er der kun én forklaringsmulighed (bortset fra systematiske fejlkilder, se nedenfor). Grundstoffet fosfor (P) kan ikke forvandles til noget som helst andet end P. Den ringere tilbageholdelse kan kun forklares ved, at P under den ekstra liggetid føres fra slamlaget tilbage til vandstrømmen hen over slamfælden og dermed på sigt føres ud af produktionsafsnittet.

Der kan tænkes flere mekanismer bag P-tabet. Hvis slamlaget i de 75 cm dybe fælder inden 5 døgn er blevet så tykt, at turbulens fra vandstrømmen ovenover hæmmer yderligere aflejring, vil det påvirke samtlige analyseparametre. Visuel inspektion (jfr. fiskemesteren) modsiger, at dette skulle være tilfældet. Udvikling af gas ("sumpgas") i de nedre slamlag, hvor der sandsynligvis opstår iltmangel, kan skabe turbulens, når den bobler op, og dermed bevirke et stoftab. Dette tab kan være uregelmæssigt fordelt over tid, idet barometerstigninger hæmmer og barometerfald fremmer bobledannelsen. Iltfattige forhold kan også bevirke, at partikelbundet fosfor overgår til vandopløselige forbindelser, hvorved fosfor lettere fjernes ved mekanismen omtalt herunder.

En tredje mekanisme, som med stor sandsynlighed vil have en større eller mindre indflydelse, skyldes at vandstrømmen ned gennem kummerne møder en tærskel lige bag slamfælderne. Herved ændres strømningsmønsteret, hvorved der opstår trykbølger, som forplanter sig bl.a. nedad i slamfælden og bevirker, at vandmassen nærmest vibrerer med ganske små bevægelser. Trykbølgerne kan ikke forventes at påvirke vandmassen i slamfælden symmetrisk, og derfor kan vibrationerne resultere i en langsom, ikke med øjet synlig gennemstrømning, som fjerner opløst stof fra slamlaget uden af fjerne de bundfældelige partikler. Effekten vil afhænge af trykbølgernes kraft, som igen afhænger af vandhastigheden. Ud fra den kendte vandgennemstrømning gennem sektionerne kan det beregnes, at vandet i den intensive undersøgelsesperiode bevægede sig med en middelhastighed på 0,8 cm/s i sektion 1, 0,7 cm/s i sektion 2 og 0,6 mm/s i sektion 3. Hermed forventes størst fjernelse af stof i sektion 1 og mindst i sektion 3, hvilket er i god overensstemmelse med, at samtlige kolonner i tabel 7.3 viser størst stoftab i sektion 1 og mindst i sektion 3.

TN viser mindre tab ved længere liggetid end de andre parametre i alle 3 kummesektioner. Forskellen er ikke statistisk signifikant, men kan meget vel afspejle en forklarlig realitet. Partikelbundet N i slammet vil næsten udelukkende være proteinbundet N. Når vandlevende organismer 'forbrænder' proteiner, frigøres N i form af ammoniak, som er stærkt vandopløseligt og derfor kan mistes fra slamfælden efter samme mekanisme som ovenfor beskrevet for vandopløselige P-forbindelser. De andre forbrændingsprodukter, kultveilte og vand, opstår ved forbrænding af både protein, fedt og kulhydrat, og de indgår ikke i de kemiske analyser, uanset om de forbliver i slamfælden eller forsvinder. Imidlertid kan det forventes, at proteiner ikke forbrændes i samme omfang som fedt og kulhydrat, idet de fleste orga-

nismer med undtagelse af dem, der overvejende er kødædere, bruger fedt og kulhydrat som det vigtigste brændstof ved energiproduktionen, mens proteiner fra føden så vidt muligt anvendes til opbygning af organismens egne proteiner. I denne sammenhæng vil det være naturligt at forvente et mindre tab af N end af organisk stof og energi i almindelighed.

Systematiske fejlkilder
Det forekommer relevant med en kort diskussion af mulige systematiske fejlkilder, der kunne være årsag til den lavere stoftilbageholdelse ved længere akkumuleringstid. En systematisk forkert registrering af de oppumpede vandvolumener i relation til ugedag kan udelukkes. De volumener, der er anvendt ved beregningerne, er baseret på automatisk registrerede vandstigninger i slamdepoterne. Disse tal er blevet sammenholdt med fiskemesterens registrering af stigningen ved aflæsning af en skala med cm-inddelinger. Sidstnævnte tal er knap så nøjagtige, men der er ingen systematisk forskel mellem de to talsæt. Korrektionen for transportmediets bidrag kan også udelukkes som fejlkilde, idet mønstrene fra tabel 7.3 genfindes i de koncentrationer, der er målt direkte på de udtagne slamprøver. Systematiske analysefejl relateret til ugedag er heller ikke en god forklaringsmulighed, idet resultaterne med henblik på tab af tørstof og organisk stof viser identiske tendenser for to forskellige laboratorier med hver sine metoder. Det må derfor antages, at resultaterne i tabel 7.3 afspejler de faktiske forhold.

7.5 Slamfældernes effektivitet

Fiskefoderbranchens tal for fordøjelighed af foderets protein, fedt og kulhydrat (NFE) er baseret på laboratorieforsøg, hvor man måler den procentdel af indfodret stofmængde, som genfindes i de friske fækalier. Der anvendes bassiner med tragtformet bund, der mekanisk skånsomt leder fækalierne direkte ned i en fækaliefælde, som tømmes hyppigt. Det er således kun minimale stofmængder i fækalierne, som har kunnet undslippe før målingerne. Genfundet stofmængde i % betegnes som den ufordøjelige del, mens fordøjeligheden i % beregnes som (100 – ufordøjelig %).

Foderbranchens standard-tal for fordøjelighed er (jfr. BioMar: "Informationssider Ørred"): TN (= protein) 94%, fedt 92%, kulhydrat (NFE excl. træstof) 88%, træstof 0%.

Ud fra disse tal er der for intensiv-perioden beregnet for hver kummesektion, hvor meget stof der med en given dags udfodring kan forventes afgivet som friske fækalier. Forventet mængde TN fremkommer direkte ud fra fordøjeligheden for dette emne, mens organisk stof er summen af ufordøjet protein, fedt og kulhydrat incl. træstof. Forventet energimængde er beregnet ved at gange de enkelte stofbidrag med energitallene nævnt i afsnit 7.3 under biokemisk karakteristik af slammet.

Hvis ørreder i et betonkummeanlæg som på Døstrup Dambrug kunne dresseres til at "gå på wc" direkte over slamfælderne, og hvis fælderne blev tømt med samme hyppighed som i laboratorieforsøgene,

ville man forvente at fjerne netop de stof- og energimængder, der i laboratorieforsøgene måles som "ufordøjelige". Denne stofmængde svarer i det følgende til en slamfælde-effektivitet på 100%.

Den faktiske mængde fjernet med slamtørstof (dvs. korrigeret for transportmediets bidrag jfr. tidligere afsnit) er herefter beregnet i % af stof- og energi-indholdet i de friske fækalier (den maksimale mængde), og dette %-tal betegner slamfældernes faktiske effektivitet til at tilbageholde fækaliers stof og energi.

Middelværdier totalt, og for henholdsvis tirsdage (5 døgns akkumulering) og torsdage (2 døgns akkumulering) er sammenstillet i tabel 7.4. Som allerede forventet efter det foregående afsnit er der en lavere % tilbageholdelse efter 5 døgns akkumulering end efter 2 døgn. Efter 2 døgn (torsdagsprøver) tilbageholdes 57-78% af de friske fækaliers beregnede N-indhold. Dette er i god overensstemmelse med udvaskningsforsøg, der viste, at 30% af N-indholdet i fækalier blev afgivet i løbet af de første 30 minutter, hvorefter den videre afgivelse sker meget langsommere (*Alsted, 1989*).

Tabel 7.4. Slamfældernes effektivitet beregnet som faktisk tilbageholdelse i % af stof og energi afgivet som friske fækalier, anført som middelværdi ± standardafvigelse.

	TN	Organisk stof	Energi
Sektion 1			
Alle dage	61 ± 16	79 ± 26	65 ± 22
Tirsdage	56 ± 17	61 ± 12	51 ± 9
Torsdage	65 ± 13	97 ± 23	80 ± 21
Sektion 2			
Alle dage	54 ± 18	69 ± 21	60 ± 20
Tirsdage	51 ± 14	58 ± 9	50 ± 7
Torsdage	57 ± 21	81 ± 23	70 ± 24
Sektion 3			
Alle dage	73 ± 22	97 ± 30	82 ± 28
Tirsdage	69 ± 16	82 ± 9	69 ± 9
Torsdage	78 ± 27	113 ± 36	95 ± 35

I tabel 7.4 er der en klar tendens til, at sektion 2 har lavere tal end sektion 1 og 3. Som nævnt i afsnit 7.4 kan den højere vandhastighed i sektion 1 bevirke størst udvaskning af stof fra slamfælderne hér, men dette kan overskygges af, at bundfældeligt stof i indløbsvandet fra Døstrup Bæk primært bundfældes i sektion 1. Indløbsbidraget kan ikke skelnes fra fækalie-bidraget og vil bevirke, at den beregnede effektivitet bliver højere end den sande effektivitet over for fækalierne i sektion 1. Der forventes mindst udvaskning af stof fra slamfælderne i sektion 3, som har lavest vandhastighed, hvilket kan forklare, at sektion 3 har højere effektivitet end sektion 2. De større fækalie-partikler afgivet af de større fisk i sektion 3 vil have bedre bundfældnings-

egenskaber og derved bidrage til højere effektivitet. Slamfældernes udstrækning i vandstrømmens retning er størst i sektion 3, og endelig kan den langsommere vandstrøm i sektion 3 end i sektion 2 bevirke, at der i sektion 3 bundfældes stof som stammer fra sektion 2, og tilsvarende forhold kan gøre sig gældende mellem sektion 2 og 1.

Adskillige andre faktorer har mulighed for at påvirke effektiviteten. Kortere tid mellem tømning af slamfælderne kan medvirke til, at en større del af det oprindeligt bundfældede stof netto fjernes fra produktionsafsnittet. Brutto effektiviteten, forstået som mængde af stof, der potentielt kan fjernes fra vandstrømmen, vil øges med større slamfælde-dimension set i vandstrømmens retning, og øges hvis strømhastigheden hen over fælden sænkes. Lavere strømhastighed i betonkummen vil på den anden side give fækalierne længere opholdstid, før de føres hen til slamfælden, hvorved de i længere tid kan afgive opløselige stoffer til vandfasen og i længere tid er udsat for mekanisk nedbrydning til mindre partikler med dårligere bundfældningsegenskaber. Det er muligt, at lavere vandudskiftning, dvs. at vandet får længere opholdstid i produktionsafsnittet, alt i alt kan give højere grad af bundfældning, idet oprindeligt ikke-bundfældeligt stof kan blive bundfældeligt ved "flokkulering" på grund af mikroorganismers aktivitet i selve vandfasen.

En optimering af slamfældernes effektivitet har ikke indgået i projektet; tallene i tabel 7.4 viser slet og ret, hvad der under de faktiske forhold på dambruget tilbageholdes i forhold til et beregnet maksimum. Som det fremgår af ovenstående kommentarer samt kapitel 11 kan der forventes forbedringer ved en omhyggelig optimering af design og drift.

7.6 Stoftab fra slamdepoter ved afdræning af overskudsvand

Mængden af stof fjernet fra slamdepoterne ved den ugentlige afdræning af overskudsvandet er beregnet for samme analyseparametre som slamprøverne. Gennemsnitsværdier, dels i g/m^3, dels i % af mængderne tilført ved ugens to foregående tømninger af slamfælder, fremgår af tabel 7.5. Det er bemærkelsesværdigt, at der med afdræningen mistes 29-39% af tilført TN og 20-23% af TP. For de øvrige parametre mistes kun nogle få %. Der er ikke signifikant forskel mellem kummesektionerne. I tabel 4.5 er der for periode 2, svarende omtrent til hele 2. projektår, beregnet 25% tab for kvælstof og 15% for fosfor.

Det er karakteristisk, at hvor partikelbundet N (antageligvis protein-N, her beregnet som TN - NH_4-N - NO_{2+3}-N) kun udgør 15-18% af TN i bagkanalerne, så udgør det 43-50% i afdræningsvandet. Dette kan skyldes en opblomstring af ikke-bundfældede mikroorganismer, herunder alger, ved henstand i slamdepotet.

Tabel 7.5. Stoftab fra slamdepoter ved ugentlig afdræning af overskudsvand, i g/m^3 og i % af ugens tilførsel, anført som middelværdi ± standardafvigelse.

	TN		TP		Tørstof		Organisk Tørstof		BI_5	
	g/m^3	% af tilført	g/m^3	% af tilført	g/m^3	% af tilført	g/m^3	% af tilført	g/m^3	% af tilført
Sektion 1	34	29	12	20	92	3	89	4	97	7
	± 7	± 9	± 2	± 6	± 37	± 1	± 33	± 2	± 19	± 1
Sektion 2	49	37	15	23	145	3	140	5	138	7
	± 6	± 8	± 1	± 6	± 57	± 2	± 50	± 2	± 24	± 1
Sektion 3	59	39	17	20	163	3	158	5	181	8
	± 5	± 9	± 1	± 7	± 29	± 1	± 25	± 1	± 30	± 2

Den miljømæssige gevinst ved en minimering af vandmængden, som bruges ved tømning af slamfælderne, er diskuteret i kapitel 11.

[Tom side]

8 Planteforekomster i lagunerne

8.1 Indledning

Plantelagunerne består af ét vandløbssystem bestående af 7 tidligere jorddamme, samt to søsystemer hver bestående af 6 tidligere jorddamme. En nærmere beskrivelse af lagunesystemerne er foretaget i kapitel 1. I henhold til vilkårene i Miljøklagenævnets midlertidige godkendelse til Døstrup Dambrug blev plantelagunerne oprenset umiddelbart inden påbegyndelsen af undersøgelserne i 2000. Alle planter blev fjernet sammen med eventuelle slamaflejringer. I april dette år fremstod plantelagunerne derfor som nøgne jorddamme uden vegetation i bund og sider (foto 8.1).

8.2 Målemetoder

Plantearter og dækningsgrader blev registreret hver måned i perioden april 2000 til april 2002. I hver af de tre lagune systemer (se tabel 8.1) blev 5 faste tværprofiler undersøgt. For hver halve meter blev der i et felt på 0,5 x 0,5 m bestemt plantearter samt dækningsgrader på en skala fra 1 til 5. Metoden er en modifikation af Braun-Blanquets metode til dækningsgradanalyse (*Braun-Blanquet 1964*). Afhængigt af lagune systemet er der på denne måde foretaget registrering i 420-450 felter hver måned, hvilket svarer til at mindst 11% af arealet i hvert system er blevet undersøgt.

Tabel 8.1. Dimensionerne af de tre lagune systemer med angivelse af den beregnede gennemsnitlige vandføring og opholdstid. Gennemsnit ± standardafvigelsen er angivet.

	Vandløbssystem (st. 510)	Søsystem 1 (st. 520)	Søsystem 2 (st. 530)
Længde (m)	7 damme af 32,5 m	6 damme af 36,5 m	6 damme af 39,0 m
Bredde (m)	7,2 ± 0,3	7,9 ± 0,4	8,0 ± 0,2
Dybde (m)	0,56 ± 0,06	0,70 ± 0,04	0,73 ± 0,03
Vandføring, udløb (l s-1)	34,9 ± 5,1	35,3 ± 5,1	32,1 ± 5,9
Gennemsnitshastighed (cm s-1)	0,87 ± 0,13	0,11 ± 0,02	0,09 ± 0,02
Opholdstid (timer)	7 t 30 min ± 1 t 10 min	10 t 11 min ± 1 t 21 min	12 t 21 min ± 1 t 28 min

Oplysninger for hvert enkelt system blev puljet og der er beregnet gennemsnitlige mål for plantehyppigheder og dækningsgrader. Til bestemmelse af tørvægt er der i september 2000 og september 2002 udtaget materiale af de to hyppigste plantearter i lagunerne (brøndkarse og andemad) med henblik på at omregne de registrerede dækningsgrader til tørvægt. For begge arter blev planter samlet fra 0,1-0,5 m^2 afhængigt af dækningsgraden. Der blev udført dobbeltbestemmelser. Sammenhængen mellem dækningsgrad (1-5) og tørvægt (g pr. m^2) er udtrykt som en lineær sammenhæng (y = ax + b). For brønd-

karse var sammenhængen y = 167,68x – 95,43 (r^2 = 0,81), mens sammenhængen for andemad var y = 25,61x – 5,84 (r^2 = 0,92).

8.3 Planteforekomst i lagunerne

Der er i alt i den 2-årige måleperiode fundet 24 plantearter i lagunesystemerne. Set over hele den 2-årige periode har det kun været Brøndkarse og Andemad der har haft kvantitativ betydning i plantelagunerne. I sensommer og efterårsperioden har disse to arter typisk fuldstændigt dækket overfladen i hovedparten af dammene. Bagest i kapitel 8 findes 7 fotos fra plantelagunerne hen gennem undersøgelsesperioden.

Det skal bemærkes, at den samlede dækningsgrad af alle de tilstedeværende plantearter på den enkelte prøvetagningsdato godt kan overstige 100%.

Årsagen hertil er at Andemad der udelukkende ligger i overfladen, f.eks. kan have en dækningsgrad på 50%, mens Brøndkarse der står i hele vandsøjlen samtidigt godt kan have en dækningsgrad på 80%, idet den kan stå umiddelbart nede under Andemaden.

Plantesamfundet i lagunerne ændredes gennem perioden (figur 8.1). Trådalger dominerede i de nyligt oprensede damme i de første måneder, hvor de i maj/juni 2000 havde en dækningsgrad på 50-100% (foto 8.2). Herefter faldt dækningsgraden i resten af perioden til nær nul. Brøndkarse og Andemad afløste trådalgerne. Begge arter udviste en tydelig sæsonvariation med kraftig udvikling i sensommer og efterår, hvorimod dækningen i vinter- og forårsperioden var tæt på nul.

Andemad havde hen gennem sommeren og efteråret en dækningsgrad på 40-60% i vandløbssystemet, mens dækningsgraden i de to søsystemer var på 60-90%. Fra januar faldt dækningsgraden af Andemad gradvist i alle tre lagunesystemer, og udgjorde i april 2001 henholdsvis 0,1% i vandløbssystemet og 4-7% i de to søsystemer.

Brøndkarse havde i hele perioden august til februar en dækningsgrad på 60-80% i vandløbssystemet og tilsvarende en dækningsgrad på 40-60% i de to søsystemer. I marts/april var dækningsgraden af Brøndkarse faldet til 11-13% i vandløbssystemet. I søsystemerne blev dækningsgraden ikke registreret i marts på grund af isdække (foto 8.3), men udgjorde i april kun 0,9-1,5% i de to søsystemer (foto 8.4).

Samlet set havde dynamikken i planteforekomsterne i vandløbssystemet og i de to søsystemer den samme karakter med kraftig udvikling i sensommer og efterår, men dog således at Brøndkarse var mere hyppig i vandløbssystemet end i søsystemerne. Andemad havde i modsætning til Brøndkarse sin største forekomst i søsystemerne. Årsagen hertil er formentlig at Andemad har vanskeligt ved at etablere sig med en stabil dækning i vandløbssystemet på grund af en større gennemsnitlig vandbevægelse i vandløbssystemet sammenlignet med søsystemerne (tabel 8.1).

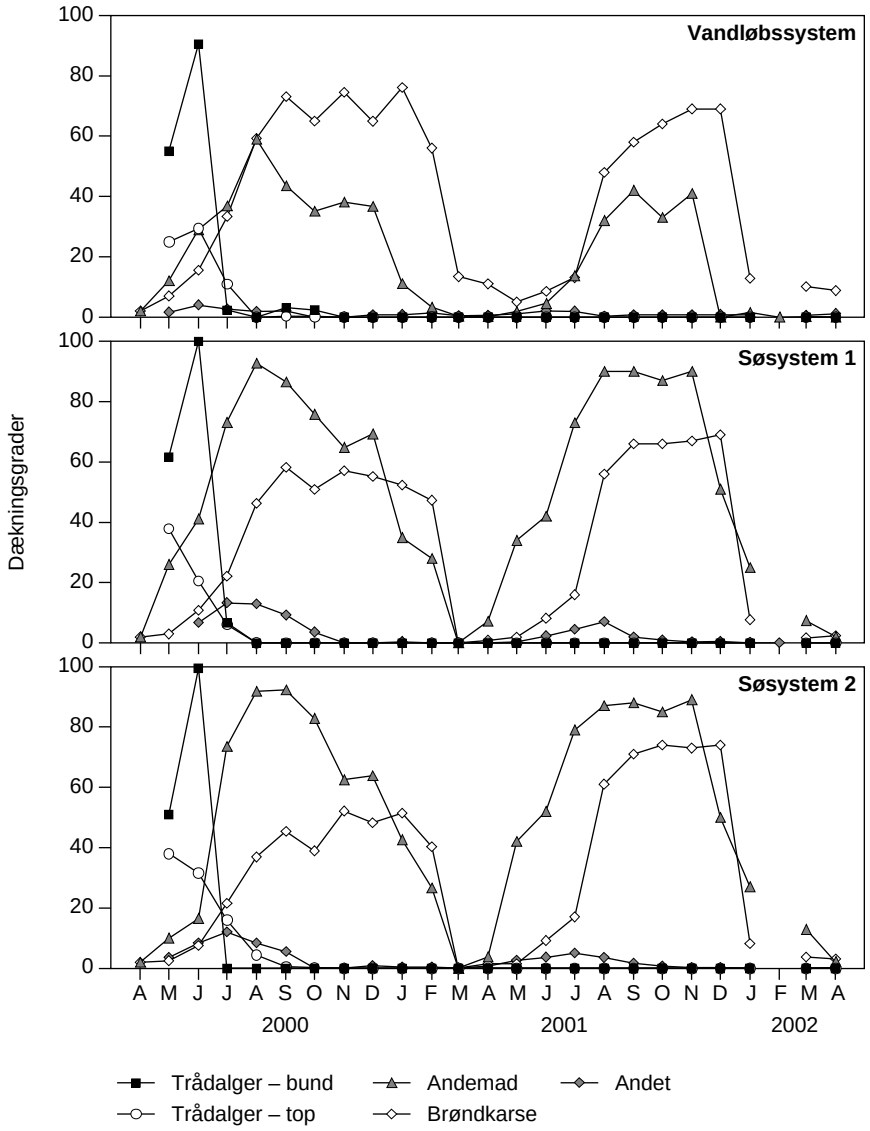


Fig. 8.1 Plantedækningsgrad i de tre lagune systemer i perioden april 2000 til april 2002. Kun de kvantitativt vigtigste arter er medtaget.

Andemad havde den hurtigste opvækst i forsommeren (foto 8.7) sammenlignet med Brøndkarse (figur 8.1). Dette var specielt tydeligt i søsystemerne, hvor vandbevægelsen i overfladen som omtalt ovenfor var ganske ringe, og hvor Andemaden derfor i højere grad kunne blive liggende uden at blive ført væk af strømmen. I vandløbssystemet fulgte Andemaden derimod udviklingen i Brøndkarse, idet denne efterhånden som den voksede ud i dammene fra bredderne (foto 8.5 og foto 8.6) skabte mulighed for at Andemaden kunne blive liggende i vandoverfladen mellem Brøndkarsen. Sidst på efteråret i både 2000 og 2001 henfaldt Andemad i alle tre lagunesystemer tidligere end Brøndkarsen. Årsagen hertil er formentlig at Brøndkarsen i højere grad er beskyttet mod svingninger i temperaturen idet den står i hele vandfasen, mens Andemad udelukkende ligger i overfladen. Nedgangen i forekomsten af Brøndkarse i vinteren 2001 faldt således sammen med perioden med hård frost og isdække af dammene (foto 8.3).

I vinterperioden i både 2001 og 2002 var vegetationen af Brøndkarse og Andemad næsten helt væk i de to søsystemer. I vandløbssystemet blev Brøndkarsen kun reduceret til lidt under en femtedel af niveauet i sensommer og forårsperioden, mens Andemaden helt forsvandt på samme måde som i søsystemerne.

Den maksimale dækningsgrad og tørvægt af Brøndkarse var i 2000 lidt større i vandløbssystemet end i søsystemerne (figur 8.1 og 8.2), hvor den forekom med henholdsvis 600 g og 400-500 g tørvægt pr. m^2. I 2001 var der derimod ikke forskel i den kvantitative forekomst i de to typer af systemer, hvor den begge steder forekom med ca. 600 g tørvægt pr. m^2.

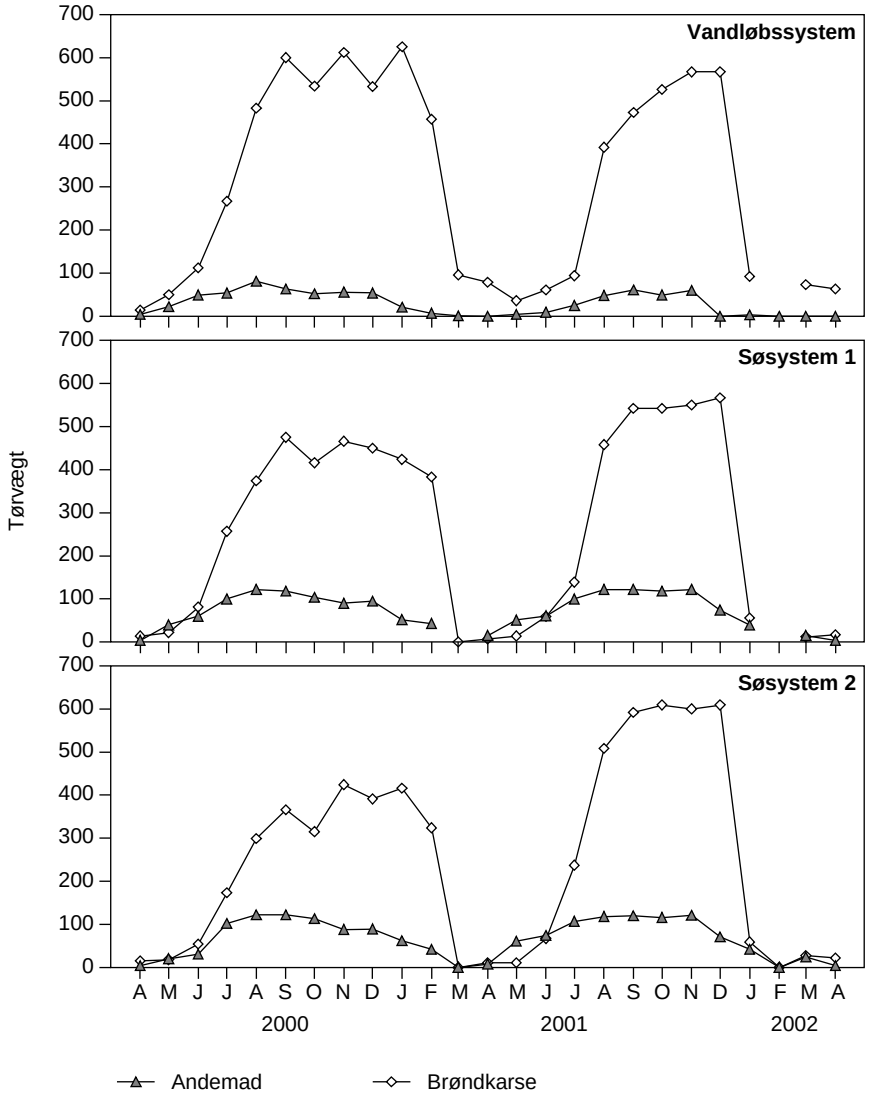


Fig. 8.2 Tørvægt (g pr. m^2) af Brøndkarse og Andemad i plantelagunerne i perioden april 2000 til april 2002. Øvrige plantearter var som helhed uden kvantitativ betydning og er ikke medtaget i figuren.

Den maksimale dækningsgrad af Andemad udgjorde 60% i august 2000, men var som helhed 40% i resten af sommer- og efterårsperioden i 2000 samt i den tilsvarende periode i 2001. Disse dækningsgrader svarer til ca. 80 g tørvægt i august 2000 og 50-55 g tørvægt i den øvrige del af sommer- og efterårsperioderne. Dækningsgraden af

Andemad var større i søsystemerne end i vandløbssystemet i både 2000 og 2001. Her udgjorde den maksimale dækningsgrad ca. 90% i det meste af sommer- og efterårsperioden. Omregnet til tørvægt svarer dette til ca. 120 g pr. m^2.

De øvrige plantearter i lagunerne ud over Brøndkarse og Andemad bestod især af Manna Sødgræs, Lådden Dueurt og Smalbladet Mærke. Disse arter var dog ikke af større kvantitativ betydning og forekom typisk med under 5% dækning i plantelagunerne.

8.4 Næringsstofindhold i planterne

Indholdet af kvælstof og fosfor i Brøndkarse og Andemad er blevet bestemt som funktion af planternes tørstofindhold. Der er herefter foretaget en omregning til indhold pr. m^2 bund i lagunerne og endelig en beregning af det totale indhold af kvælstof og fosfor for hvert lagunesystem.

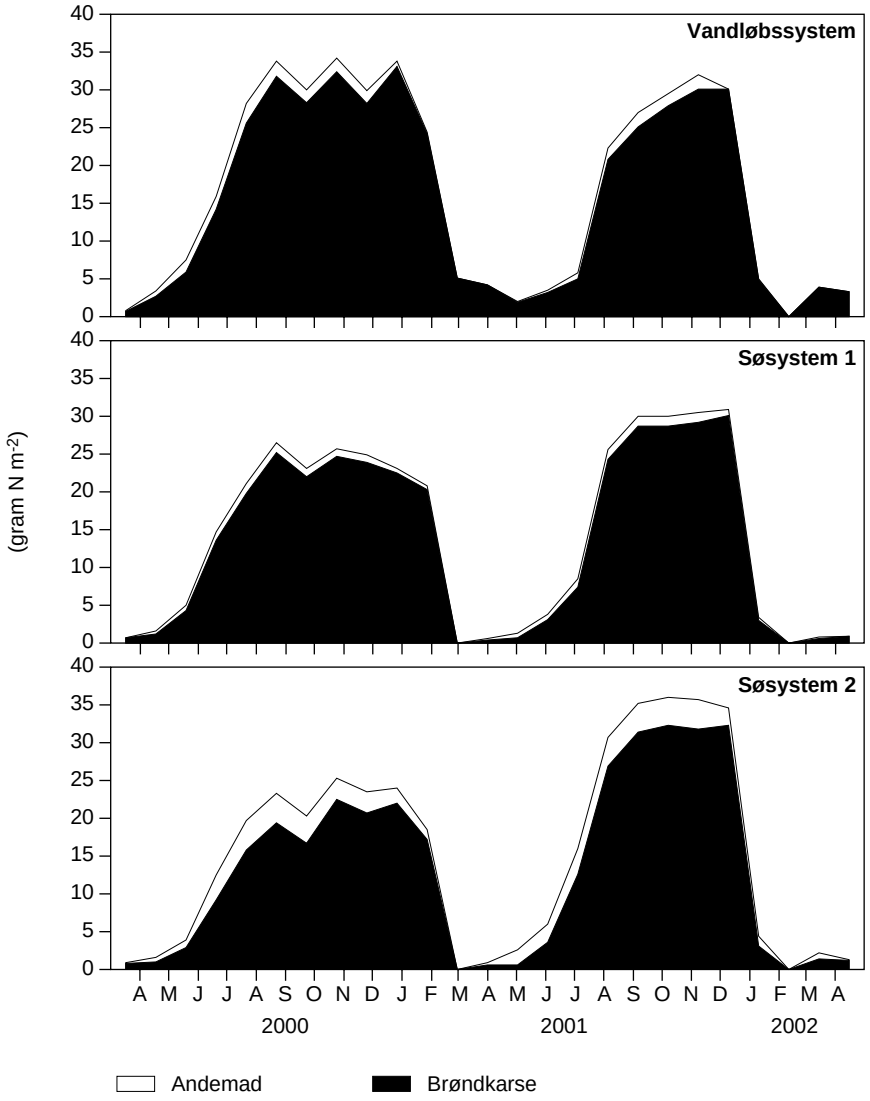


Fig. 8.3 Kvælstofindhold (g N m^{-2}) i planterne i de tre lagunesystemer. Kvælstof bundet i Brøndkarse og Andemad er vist med henholdsvis sort og hvid signatur.

Planternes kvælstof- og fosforindhold pr. areal enhed gennem forsøgsperioden 2000 til 2002 udviste samme mønster som for planternes tørstofindhold (figur 8.3 og 8.4). Dette indebærer at langt hovedparten af kvælstof og fosfor var bundet i Brøndkarsen.

Kvælstof- og fosforindholdet er endvidere vist som minimums- og maksimumsværdier (vinter henholdsvis sensommer) for de tre lagunesystemer (tabel 8.2 og 8.3). Vurderes de tre lagunesystemer samlet (tabel 8.3) varierer kvælstofindholdet således mellem vinter og sommer fra 5-10 kg til 145-170 kg. Dette indebærer at i størrelsesordenen 140-160 kg kvælstof bindes i planterne hen gennem vækstsæsonen. For fosfor varierer indholdet fra 0,5-2 kg om vinteren til 25-30 kg om sommeren, hvilket vil sige at 25-30 kg fosfor bindes i planterne i vækstsæsonen.

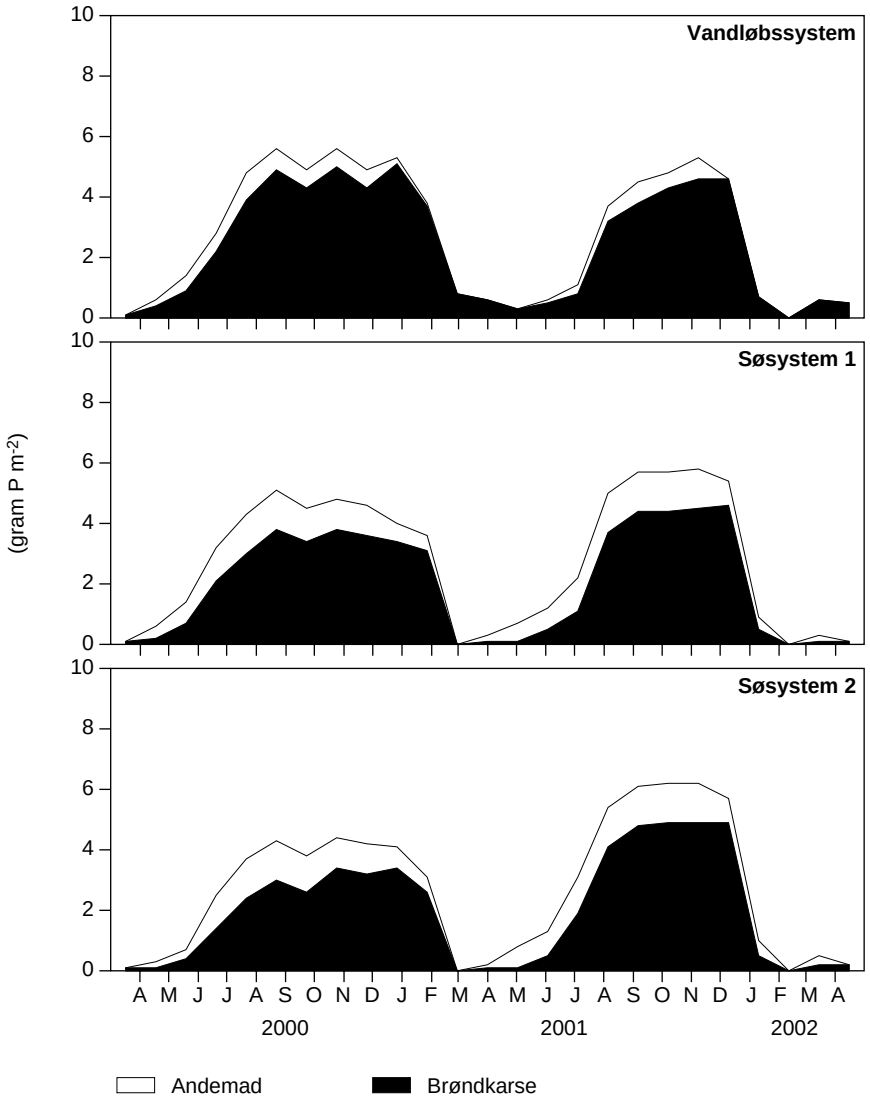


Fig. 8.4 Fosforindhold (g P m^{-2}) i planterne i de tre lagunesystemer. Fosfor bundet i Brøndkarse og Andemad er vist med henholdsvis sort og hvid signatur.

Tabel 8.2 Arealmæssige indhold af kvælstof og fosfor bundet i planterne i de tre lagunesystemer (g m^{-2}).

	Kvælstof (g N m^{-2})		Fosfor (g P m^{-2})	
	vinter	sensommer	vinter	sensommer
Vandløbssystem	0,8-3,3	32,0-34,2	0,1-0,5	5,3-5,6
Søsystem 1	0,6-0,8	26,5-30,9	0,1-0,3	5,1-5,8
Søsystem 2	0,9-1,3	25,3-36,0	0,1-0,2	4,4-6,2

Tabel 8.3 Totale indhold af kvælstof og fosfor bundet i planterne i de tre lagunesystemer (kg pr. system).

	Kvælstof (kg N pr. system)		Fosfor (kg P pr. system)	
	vinter	sensommer	vinter	sensommer
Vandløbssystem	1,3-5,4	52,4-56,0	0,2-0,8	8,7-9,2
Søsystem 1	1,1-1,4	46,4-54,1	0,2-0,5	9,6-10,2
Søsystem 2	1,7-2,4	47,4-67,4	0,2-0,4	8,2-11,6

Foto 8.1 Plantelaguner. Nyligt oprensede dam inden påbegyndelse af Døstrup projektet. Trådalger ligger langs bredden i billedets venstre side. April 2000.

Foto 8.2 Trådalger i overfladen af plantelagunerne (søsystem 2, dam 15). Overfladen er dækket i en stor del af dammen.

Foto 8.3 Isdækket dam i marts 2001. Der er kun isfrit ved indløbet (baggrunden) og ved udløbet (forgrunden). Efter isdække var forekomsten af planter i dammene stærkt reduceret.

Foto 8.4 Dam i april 2001. Kun langs kanten til højre i billedet anes en smule plantevækst.

Foto 8.5 Dam der næsten er helt tilgroet med Brøndkarse. September 2001.

Foto 8.6 Brøndkarse havde stor dækning i plantelagunerne i sensommer, efterår og tidlig vinter. August 2001.

Foto 8.7 Andemad dækkede store dele af overfladen i områder uden Brøndkarse i sommer og efterårsmånederne. Også mellem Brøndkarsen var der en del Andemad. August 2001.

9 Vejledende udlederkrav, tilstandskontrol for kontrolvariable samt iltkrav

9.1 Indledning

Der er i miljøgodkendelsen for Forsøgsprojektet Døstrup Dambrug fastlagt en række vejledende krav til den udledte mængde af BI_5, suspenderet stof, total kvælstof, ammoniumkvælstof og total fosfor. Kravene på disse kontrolvariable relaterer sig til de samlede udledte stofmængder og er skrevet op i afsnit 9.2. Dette afsnit definerer også præcist hvilke målinger kontrollen skal udføres på. Derudover indeholder kapitlet en analyse af overholdelsen af udlederkravene sammen med en kort beskrivelse af den anvendte statistiske metode. Konklusioner for afløbskontrollen er givet i afsnit 9.6. Døstrup Dambrug skal endvidere overholde krav til mængden af ilt i vandløbet umiddelbart nedstrøms dambruget. Iltkravene analyseres i afsnit 9.7, og til sidst i kapitlet er der en konklusion på de fundne resultater af analysen af iltforholdene.

9.2 Udlederkrav

I henhold til miljøgodkendelsen er der fastsat følgende vejledende krav til de samlede, udledte stofmængder fra dambruget (se ligeledes tabel 2.1):

BI_5	0,70 mg l^{-1} ·107,7 l s^{-1} = 75 mg s^{-1}
Suspenderet stof (SS)	3,00 mg l^{-1} ·107,7 l s^{-1} = 325 mg s^{-1}
Total kvælstof (TN)	0,60 mg l^{-1} ·107,7 l s^{-1} = 65 mg s^{-1}
Ammoniumkvælstof (NH_3+NH_4^+-N)	0,30 mg l^{-1} ·107,7 l s^{-1} = 32 mg s^{-1}
Total fosfor (TP)	0,05 mg l^{-1} ·107,7 l s^{-1} = 5,4 mg s^{-1}.

Ved den samlede udledte stofmængde forstår man forskellen mellem den samlede stofmængde i udløbet fra de 3 plantelaguner før iltning (st. 510, 520, 530) minus den samlede stofmængde i vandindtaget (åvand (st. 20) plus oppumpet grundvand (st. 30)). Grundlaget for beregningen af vandmængden i de fastsatte krav er følgende: 27,7 l s^{-1} fra oppumpet grundvand og 80 l s^{-1} fra Døstrup Bæk, dvs. i alt 107,7 l s^{-1} (den af Nordjyllands Amt fastlagte medianminimumsvandføringen, se kapitel 3). Der må maksimalt udledes 170 l s^{-1} fra dambruget hvilket aldrig har været overskredet.

Afløbskontrollen af Forsøgsprojektet for Døstrup Dambrug baseres på målinger af koncentrationen i puljede døgnprøver for kontrolvari-

ablene BI_5 og NH_3+NH_4^+-N samt i ugepuljede prøver for TN, TP og SS. I alt er der udtaget 104 sæt (52 stk. $år^{-1}$) over den toårige forsøgsperiode. Afløbskontrollen foretages på målinger som ligger i en given kontrolperiode, som er variabel og for eksempel kan være et helt år eller et halvt år.

Forskellen i den samlede stofmængde mellem udløbet og indløbet beregnes som

$$x_i = x_{ud_i} - x_{ind_i},$$

hvor

$$x_{ind_i} = \frac{c_{1i} \cdot q_{1i} + c_{2i} \cdot q_{2i}}{T_i},$$

$$x_{ud_i} = \frac{c_{3i} \cdot q_{3i} + c_{4i} \cdot q_{4i} + c_{5i} \cdot q_{5i}}{T_i}$$

med

c_{ji} : koncentrationen af kontrolvariablen ved station *j* og i prøvetagningsperiode *i*,
q_{ji} : opsummerede vandmængde ved station *j* og i prøvetagningsperiode *i*,
T_i : antallet af sekunder i prøvetagningsperiode *i*,
i : angiver prøvetagningsperiode (uge, døgn) og $i = 1,2,2\ ,n$,
j : angiver stationsnummer, $j = 1$ (åvand = st. 20), 2 (grundvand = st. 30), 3 (udløb lagune 1 = st. 510), 4 (udløb lagune 2 = st. 520), 5 (udløb lagune 3 = st. 530).

Konstanten n vil typisk være 26 eller 52. Kontrolvariablene BI_5 og NH_3+NH_4^+-N måles i det sidste døgn i en ugeperiode, så derfor er der ligeledes 52 målinger pr. måleår. Der er for disse parametre anvendt aktuelle døgnvandføringer over det døgn prøverne er taget og ganget op til ugebasis.

9.3 Statistiske metoder

Overholdelsen af de nævnte udlederkrav skal i følge miljøgodkendelsen kontrolleres ved at beregne kontrolstørrelsen C, som er defineret ved

$$C = \bar{x} + k(n) \cdot s,$$

hvor $\bar{x}$ angiver gennemsnittet af de målte samlede udledninger i kontrolperioden, s spredningen på de målte samlede udledninger (x_i) og $k(n)$ justeringsfaktoren, som afhænger af antallet af målinger

n (antal stikprøver). Værdien af justeringsfaktoren $k(n)$ for n i intervallet fra 6 til 52 er givet i bilag 1. Hvis

$$C < K,$$

så er udlederkravet K overholdt i den givne kontrolperiode. Miljøgodkendelsens statistiske metode har udgangspunkt i den statistiske kontrolteori (*Wetherill & Brown, 1991*; *Larsen & Svendsen, 1998*).

Miljøgodkendelsens justeringsfaktorer er beregnet under den forudsætning, at ved en kritisk fraktion på 5% skal sandsynligheden for at godkende en udledning, som i virkeligheden overholder udlederkravet være lig 99%. Den kritiske fraktion betyder andelen af stikprøver, der højst må være større end kravværdien. Med andre ord må højst 5% af alle de samlede udledninger i kontrolperioden være større end det fastsatte krav. Denne forudsætning betyder, at man udfører en såkaldt tilstandskontrol (*Larsen & Svendsen, 1998*) som i princippet er bedst egnet til en kontrol af udledte koncentrationer af stoffer, der kan forværre vandkvaliteten i vandløbet. Det drejer sig især om BI_5 og NH_3+NH_4^+-N, som ved høje koncentrationer bruger noget ilt (BI_5 og NH_3+NH_4^+-N) eller har en toksisk virkning (NH_3+NH_4^+-N) og derfor må kun få koncentrationer være over en grænseværdi (kravværdien). Begrebet transportkontrol anvendes i stedet i de tilfælde, hvor det er den samlede udledte stofmængde, som kan skabe problemer i recipienten. Kravet i en transportkontrol er normalt at højst 50% af udledningerne må være over det fastsatte krav, dvs. man hæfter sig ved den gennemsnitlige udledte stofmængde (*Larsen & Svendsen, 1998*).

I *Svendsen et al. (2000)* er der en gennemgang af miljøgodkendelsens kontrolprocedure og fremlagt alternative metoder til kontrollen, som bygger på en tilstandskontrol af BI_5 og NH_3+NH_4^+-N samt en transportkontrol af TN, TP og SS. De to alternative metoder er her benævnt med 1 og 2. For **tilstandskontrol** er de to metoder defineret som:

1. Ved en kritisk fraktion på 5%, skal der være 99% sandsynlighed for at godkende en udledning, der i virkeligheden overholder kravet.

2. Ved en kritisk fraktion på 20%, skal der være 95% sandsynlighed for at godkende en udledning, der i virkeligheden overholder kravet.

Justeringsfaktorer for antallet af stikprøver i intervallet 6-52 er givet i bilag 2, tabel 1 for de to forskellige metoder. Metode nummer 1 er mere streng over for udlederen end nummer 2, hvilket man kan se ud fra justeringsfaktorerne i bilaget. Metode 1 svarer til miljøgodkendelsens kontrolregel når den anvendes på koncentrationer.

Med hensyn til **transportkontrol** så er de to metoder defineret som:

1. Ved en kritisk fraktion på 50%, skal der være 99% sandsynlighed for at godkende en udledning, der i virkeligheden overholder kravet.

2. Ved en kritisk fraktion på 50%, skal der være 95% sandsynlighed for at godkende en udledning, der i virkeligheden overholder kravet.

Justeringsfaktorer for de to metoder og for antallet af stikprøver i intervallet fra 6-52 er givet i bilag 2, tabel 2.

Både metoden i henhold til miljøgodkendelsen og de alternative metoder fra *Svendsen et al. (2000)* er anvendt i den følgende analyse. Metoden i miljøgodkendelsen er anvendt for både transport og koncentrationer (tilstandskontrol) jvf. de første to rækker i tabellerne 9.1 til 9.6. Tilstandskontrollen af BI_5 og NH_3+NH_4^+-N foretages på forskellen i koncentrationer mellem udløbet og indløbet. I Appendiks 2 har vi angivet, hvordan disse koncentrationsforskelle er beregnet. Desuden har vi også i den statistiske analyse anvendt miljøgodkendelsens kontrolregler på disse koncentrationsforskelle i stedet for på mængdeforskelle. Kravværdier for koncentrationsforskelle er de i miljøgodkendelsen anvendte koncentrationer, som bruges til at beregne mængdekravet (se øverst dette afsnit).

Vi vil ikke komme ind på, hvorfor man i Miljøklagenævnet har anvist en anvendelse af tilstandskontrol på mængder (som egentlig fordrer en transportkontrol), men henviser i stedet for til miljøgodkendelsen.

9.4 Analyse af overholdelse af udlederkrav

Afløbskontrol er gennemført dels for hvert måleår (dvs. perioden april 2000 til april 2001 samt perioden april 2001 til april 2002) og dels for to sommer perioder (april til og med september) og to vinter perioder (oktober til og med marts næste år).

For suspenderet stof var der en del målinger angivet som "<1,0" (betyder under detektionsgrænsen på 1,0). Disse er i den statistiske analyse erstattet med 0,5. For st. 30, oppumpet grundvand, er der kun taget 12 prøver igennem hele året. I kontrolberegningerne for denne station er medianværdien for de 12 prøver anvendt i de uger, hvor der ikke forefindes data.

Det fremgår af beskrivelsen af den statistiske metode, at det er nødvendigt at beregne den gennemsnitlige udledning $\bar{x}$ og standardafvigelsen s på udledningerne. Sammen med minimum, maksimum og varianskoefficienten er disse givet i bilag 3 tabel 1 til 6. Matematiske definitioner af $\bar{x}$, s og varianskoefficienten er givet i Appendiks 2.

Tabellerne (bilag 3 tabel 1- 6) viser, at TN, SS og BI_5 generelt har forholdsvis store standardafvigelser (variationer). Udledningen af TN ligger i middel noget under kravværdien og for TP lige under kravværdien. SS har primært negative udledninger, dvs. der sker en netto tilbageholdelse af suspenderet stof i dambruget. Udledningerne af BI_5 varierer lige fra det dobbelte af kravværdien (i sommerperioden april

2000 til og med september 2001) til en fjerdedel af kravværdien i vinter perioden lige efter. For de andre undersøgte kontrolperioder er udledningen af BI_5 omtrent eller lige under kravværdien. Endelig gælder det for NH_3+NH_4^+-N, at der er en lille variation i udledningerne og at de ligger en del under kravværdien.

I bilag 4 er den tidslige udvikling i udledningen af de 5 kontrolstoffer sammenholdt med kravværdien. Der er figurer både for de samlede, udledte stofmængder og for forskelle i koncentrationer. Figurerne viser de relativt store uge til uge variationer, der er i udledningerne af TN, SS og BI_5.

I tabel 9.1 – 9.6 har vi givet resultaterne af kontrolberegningerne for de 5 stoffer. Som nævnt ovenfor er beregningerne udført både for miljøgodkendelsens metode som for alternative metoder.

Tabel 9.1 Kontrol af udledninger fra Døstrup i det første måleår (fra april 2000 til april 2001). Tal angivet med fed skrifttype overskrider den vejledende kravværdi.

Kontrolregel	TN	TP	SS	BI_5	NH_3+NH_4^+-N
Kontrol på udledte stofmængder efter miljøgodkendelse	**83,2** mg s^{-1}	**9,57** mg s^{-1}	289 mg s^{-1}	**240** mg s^{-1}	19,2 mg s^{-1}
Kontrol på koncentrationer efter miljøgodkendelse	**0,809** mg l^{-1}	**0,087** mg l^{-1}	2,29 mg l^{-1}	**2,16** mg l^{-1}	0,172 mg l^{-1}
Kontrol efter forslag i Svendsen et al. (2000) (1)	1,74 mg s^{-1}	2,86 mg s^{-1}	-366 mg s^{-1}	**2,16** mg l^{-1}	0,172 mg l^{-1}
Kontrol efter forslag i Svendsen et al. (2000) (2)	7,00 mg s^{-1}	3,29 mg s^{-1}	-324 mg s^{-1}	**1,42** mg l^{-1}	0,142 mg l^{-1}

Tabel 9.2 Kontrol af udledninger fra Døstrup i det andet måleår (fra april 2001 til april 2002). Tal angivet med fed skrifttype overskrider den vejledende kravværdi.

Kontrolregel	TN	TP	SS	BI_5	NH_3+NH_4^+-N
Kontrol på udledte stofmængder efter miljøgodkendelse	**114** mg s^{-1}	**6,66** mg s^{-1}	63,3 mg s^{-1}	**172** mg s^{-1}	17,9 mg s^{-1}
Kontrol på koncentrationer efter miljøgodkendelse	**1,22** mg l^{-1}	**0,076** mg l^{-1}	0,918 mg l^{-1}	**1,74** mg l^{-1}	0,185 mg l^{-1}
Kontrol efter forslag i Svendsen et al. (2000) (1)	-4,13 mg s^{-1}	3,61 mg s^{-1}	-352 mg s^{-1}	**1,74** mg l^{-1}	0,185 mg l^{-1}
Kontrol efter forslag i Svendsen et al. (2000) (2)	3,49 mg s^{-1}	3,81 mg s^{-1}	-326 mg s^{-1}	**1,19** mg l^{-1}	0,148 mg l^{-1}

Kontrolberegninger for de 5 kontrolstoffer for kontrolperioder af et års varighed viser, at ved anvendelse af miljøgodkendelsens kontrolregler så er det kun udledninger af SS og NH_3+NH_4^+-N der overholder de fastsatte vejledende kravværdier. Anvendes de alternative kontrolregler nævnt i *Svendsen et al. (2000)* kan udledninger af TN og TP ligeledes accepteres. Kun udledninger af BI_5 forkastes af alle de anvendte kontrolregler.

Tabel 9.3 Kontrol af udledninger fra Døstrup i sommerperioden fra april 2000 til og med september 2000. Tal angivet med fed skrifttype overskrider den vejledende kravværdi.

Kontrolregel	TN	TP	SS	BI_5	$NH_3+NH_4^+$-N
Kontrol på udledte stofmængder efter miljøgodkendelse	**78,6** mg s^{-1}	**11,5** mg s^{-1}	**464** mg s^{-1}	**310** mg s^{-1}	22,0 mg s^{-1}
Kontrol på koncentrationer efter miljøgodkendelse	**0,660** mg l^{-1}	**0,100** mg l^{-1}	**3,92** mg l^{-1}	**2,76** mg l^{-1}	0,190 mg l^{-1}
Kontrol efter forslag i Svendsen et al. (2000) (1)	-2,62 mg s^{-1}	1,98 mg s^{-1}	-429 mg s^{-1}	**2,76** mg l^{-1}	0,190 mg l^{-1}
Kontrol efter forslag i Svendsen et al. (2000) (2)	5,14 mg s^{-1}	2,88 mg s^{-1}	-344 mg s^{-1}	**1,92** mg l^{-1}	0,164 mg l^{-1}

Tabel 9.4 Kontrol af udledninger fra Døstrup i vinterperioden fra oktober 2000 til og med marts 2001. Tal angivet med fed skrifttype overskrider den vejledende kravværdi.

Kontrolregel	TN	TP	SS	BI_5	$NH_3+NH_4^+$-N
Kontrol på udledte stofmængder efter miljøgodkendelse	**73,9** mg s^{-1}	4,66 mg s^{-1}	-119 mg s^{-1}	**77,0** mg s^{-1}	11,1 mg s^{-1}
Kontrol på koncentrationer efter miljøgodkendelse	**0,812** mg l^{-1}	0,051 mg l^{-1}	-1,35 mg l^{-1}	**0,81** mg l^{-1}	0,120 mg l^{-1}
Kontrol efter forslag i Svendsen et al. (2000) (1)	-11,1 mg s^{-1}	3,18 mg s^{-1}	-387 mg s^{-1}	**0,81** mg l^{-1}	0,120 mg l^{-1}
Kontrol efter forslag i Svendsen et al. (2000) (2)	-2,96 mg s^{-1}	3,32 mg s^{-1}	-361 mg s^{-1}	0,48 mg l^{-1}	0,101 mg l^{-1}

Tabel 9.5 Kontrol af udledninger fra Døstrup i sommerperioden fra april 2001 til og med september 2001. Tal angivet med fed skrifttype overskrider den vejledende kravværdi.

Kontrolregel	TN	TP	SS	BI_5	$NH_3+NH_4^+$-N
Kontrol på udledte stofmængder efter miljøgodkendelse	**93,1** mg s^{-1}	5,24 mg s^{-1}	-3,05 mg s^{-1}	**199** mg s^{-1}	20,4 mg s^{-1}
Kontrol på koncentrationer efter miljøgodkendelse	**0,849** mg l^{-1}	0,052 mg l^{-1}	0,188 mg l^{-1}	**1,93** mg l^{-1}	0,202 mg l^{-1}
Kontrol efter forslag i Svendsen et al. (2000) (1)	-32,0 mg s^{-1}	2,78 mg s^{-1}	-434 mg s^{-1}	**1,93** mg l^{-1}	0,202 mg l^{-1}
Kontrol efter forslag i Svendsen et al. (2000) (2)	-20,0 mg s^{-1}	3,01 mg s^{-1}	-393 mg s^{-1}	**1,26** mg l^{-1}	0,163 mg l^{-1}

Tabel 9.6 Kontrol af udledninger fra Døstrup i vinterperioden fra oktober 2001 til og med marts 2002. Tal angivet med fed skrifttype overskrider den vejledende kravværdi.

Kontrolregel	TN	TP	SS	BI_5	$NH_3+NH_4^+$-N
Kontrol på udledte stofmængder efter miljøgodkendelse	**112** mg s^{-1}	**7,23** mg s^{-1}	54,9 mg s^{-1}	**103** mg s^{-1}	12,0 mg s^{-1}
Kontrol på koncentrationer efter miljøgodkendelse	**1,35** mg l^{-1}	**0,087** mg l^{-1}	0,894 mg l^{-1}	**1,21** mg l^{-1}	0,144 mg l^{-1}
Kontrol efter forslag i Svendsen et al. (2000) (1)	-0,034 mg s^{-1}	3,95 mg s^{-1}	-357 mg s^{-1}	**1,21** mg l^{-1}	0,144 mg l^{-1}
Kontrol efter forslag i Svendsen et al. (2000) (2)	10,7 mg s^{-1}	4,26 mg s^{-1}	-317 mg s^{-1}	**0,89** mg l^{-1}	0,118 mg l^{-1}

Kontrolberegningerne for de i alt 4 sommer- og vinterperioder viser at TN og BI_5 ikke overholder de fastsatte vejledende krav i nogle af de undersøgte halvårsperioder når disse to stoffer testes efter kontrolreglerne i miljøgodkendelsen. Ligeledes forkastes udledningen af TP i sommerperioden 2000 og vinterperioden 2001/2002. På grund af meget store variationer i udledningen forkastes SS i perioden sommer 2000. Det eneste kontrolstof som kan accepteres i alle halvårsperioder er NH_3+NH_4^+-N.

Anvender man derimod transportkontrol (de to alternative metoder) på TN, TP og SS så kan man accepterer udledningerne i alle de analyserede halvårsperioder. For kontrolstofferne BI_5 og NH_3+NH_4^+-N er de alternative kontrolregler også tilstandskontrol ligesom miljøgodkendelsen og kontrollen af BI_5 resulterer i afvisning i alle perioder på nær vinter 2000/2001, hvor den mere lempelige alternative kontrolregel (2) giver accept. Kontrol af NH_3+NH_4^+-N med de alternative metoder giver alle accept af udledningen.

Resultaterne for første sommerperiode samt for hele det første måleår påvirkes stærkt af målinger fra perioden april til juni 2000, som ligger i projektets start med de nøgne og trådalgefyldte plantelaguner. Disse målinger varierede meget (se bilag 4) og generelt mere end senere i det første måleår.

9.5 Afløbskontrol med tilpassede kravværdier ved transportkontrol

I det foregående afsnit har vi anvendt alternative kontrolregler, hvor vi har indført en transportkontrol for stofferne TN, TP og SS i stedet for den tilstandskontrol som er i miljøgodkendelsen. Vi har i de alternative kontrolregler anvendt de kravværdier som er nævnt i miljøgodkendelsen. Når man gør brug af en transportkontrol så er kontrolreglen mere lempelig, idet den kritiske fraktion ved en transportkontrol typisk sættes til 50% mod 20% ved en tilstandskontrol. En tilpasning af kravværdierne er nødvendig for at undgå , at der bliver accepteret større udledninger af de tre omtalte stoffer. I tabellerne 9.1 til 9.6 kan man se at næsten alle udledninger af TN, TP og SS accepteres ved brug af de alternative regler (1) og (2). I *Larsen og Svendsen (2001*) er det beskrevet hvordan det er muligt at tilpasse kravværdien således at anvendelsen af en transportkontrol kommer i overensstemmelse med anvendelsen af tilstandskontrollen. Formlen for tilpasningen er

$$U_T = U_{T_k} + (k_T - k_k) \cdot s_T,$$

hvor U_{T_k} er miljøgodkendelsens kravværdier udtrykt i mg s^{-1}, k_T er justeringsfaktoren for transportkontrol, k_k er justeringsfaktoren for tilstandskontrol og s_T er standardafvigelsen for transportværdierne. Nedenfor er de nye og tilpassede kravværdier givet ved anvendelsen af de to alternative kontrolmetoder (1) og (2) (se afsnit 9.3 og *Svendsen et al., 2000*).

Tilpassede kravværdier:

Tabel 9.7: (1) TN= -17 mg s^{-1} (1) TP= -1,3 mg s^{-1} (1) SS= -333 mg s^{-1}
(2) TN= 21 mg s^{-1} (2) TP= 1,8 mg s^{-1} (1) SS= -26 mg s^{-1}

Tabel 9.8: (1) TN= -54 mg s^{-1} (1) TP= 2,3 mg s^{-1} (1) SS= - 92 mg s^{-1}
(2) TN= 2 mg s^{-1} (2) TP= 3,8 mg s^{-1} (1) SS= 103 mg s^{-1}

Tabel 9.9: (1) TN= -16 mg s^{-1} (1) TP= -4,1 mg s^{-1} (1) SS= -566 mg s^{-1}
(2) TN= 22 mg s^{-1} (2) TP= 0,3 mg s^{-1} (1) SS= -152 mg s^{-1}

Tabel 9.10: (1) TN= -20 mg s^{-1} (1) TP= 3,9 mg s^{-1} (1) SS= 57 mg s^{-1}
(2) TN= 20 mg s^{-1} (2) TP= 4,6 mg s^{-1} (1) SS= 182 mg s^{-1}

Tabel 9.11: (1) TN= -60 mg s^{-1} (1) TP= 3,0 mg s^{-1} (1) SS= -106 mg s^{-1}
(2) TN= - 2 mg s^{-1} (2) TP= 4,1 mg s^{-1} (1) SS= 94 mg s^{-1}

Tabel 9.12: (1) TN= -47 mg s^{-1} (1) TP= 2,1 mg s^{-1} (1) SS= -85 mg s^{-1}
(2) TN= 5 mg s^{-1} (2) TP= 3,6 mg s^{-1} (1) SS= 105 mg s^{-1}

Man kan bemærke af en del kravværdier går hen og bliver negative. Det skyldes store værdier af k_k og s_T. De efterfølgende værdier giver resultaterne af afløbskontrol med tilpassede kravværdier. Det er kun for de alternative kontrolmetoder at resultaterne er anderledes end i givet i tabellerne 9.1 til 9.6.

Tabel 9.7 Kontrol af udledninger fra Døstrup i det første måleår (fra april 2000 til april 2001). Tal angivet med fed skrifttype overskrider den vejledende kravværdi.

Kontrolregel	TN	TP	SS	BI_5	NH_3+NH_4^+-N
Kontrol på udledte stofmængder efter miljøgodkendelse	**83,2** mg s^{-1}	**9,57** mg s^{-1}	289 mg s^{-1}	**240** mg s^{-1}	19,2 mg s^{-1}
Kontrol på koncentrationer efter miljøgodkendelse	**0,809** mg l^{-1}	**0,087** mg l^{-1}	2,29 mg l^{-1}	**2,16** mg l^{-1}	0,172 mg l^{-1}
Kontrol efter forslag i Svendsen et al. (2000) (1)	**1,74** mg s^{-1}	**2,86** mg s^{-1}	-366 mg s^{-1}	**2,16** mg l^{-1}	0,172 mg l^{-1}
Kontrol efter forslag i Svendsen et al. (2000) (2)	7,00 mg s^{-1}	**3,29** mg s^{-1}	-324 mg s^{-1}	**1,42** mg l^{-1}	0,142 mg l^{-1}

Tabel 9.8 Kontrol af udledninger fra Døstrup i det andet måleår (fra april 2001 til april 2002). Tal angivet med fed skrifttype overskrider den vejledende kravværdi.

Kontrolregel	TN	TP	SS	BI_5	NH_3+NH_4^+-N
Kontrol på udledte stofmængder efter miljøgodkendelse	**114** mg s^{-1}	**6,66** mg s^{-1}	63,3 mg s^{-1}	**172** mg s^{-1}	17,9 mg s^{-1}
Kontrol på koncentrationer efter miljøgodkendelse	**1,22** mg l^{-1}	**0,076** mg l^{-1}	0,918 mg l^{-1}	**1,74** mg l^{-1}	0,185 mg l^{-1}
Kontrol efter forslag i Svendsen et al. (2000) (1)	**-4,13** mg s^{-1}	**3,61** mg s^{-1}	-352 mg s^{-1}	**1,74** mg l^{-1}	0,185 mg l^{-1}
Kontrol efter forslag i Svendsen et al. (2000) (2)	**3,49** mg s^{-1}	**3,81** mg s^{-1}	-326 mg s^{-1}	**1,19** mg l^{-1}	0,148 mg l^{-1}

Tabel 9.9 Kontrol af udledninger fra Døstrup i sommerperioden fra april 2000 til og med september 2000. Tal angivet med fed skrifttype overskrider den vejledende kravværdi.

Kontrolregel	TN	TP	SS	BI_5	$NH_3+NH_4^+$-N
Kontrol på udledte stofmængder efter miljøgodkendelse	**78,6** mg s^{-1}	**11,5** mg s^{-1}	**464** mg s^{-1}	**310** mg s^{-1}	22,0 mg s^{-1}
Kontrol på koncentrationer efter miljøgodkendelse	**0,660** mg l^{-1}	**0,100** mg l^{-1}	**3,92** mg l^{-1}	**2,76** mg l^{-1}	0,190 mg l^{-1}
Kontrol efter forslag i Svendsen et al. (2000) (1)	**-2,62** mg s^{-1}	**1,98** mg s^{-1}	**-429** mg s^{-1}	**2,76** mg l^{-1}	0,190 mg l^{-1}
Kontrol efter forslag i Svendsen et al. (2000) (2)	5,14 mg s^{-1}	**2,88** mg s^{-1}	-344 mg s^{-1}	**1,92** mg l^{-1}	0,164 mg l^{-1}

Tabel 9.10 Kontrol af udledninger fra Døstrup i vinterperioden fra oktober 2000 til og med marts 2001. Tal angivet med fed skrifttype overskrider den vejledende kravværdi.

Kontrolregel	TN	TP	SS	BI_5	$NH_3+NH_4^+$-N
Kontrol på udledte stofmængder efter miljøgodkendelse	**73,9** mg s^{-1}	4,66 mg s^{-1}	-119 mg s^{-1}	**77,0** mg s^{-1}	11,1 mg s^{-1}
Kontrol på koncentrationer efter miljøgodkendelse	**0,812** mg l^{-1}	0,051 mg l^{-1}	-1,35 mg l^{-1}	**0,81** mg l^{-1}	0,120 mg l^{-1}
Kontrol efter forslag i Svendsen et al. (2000) (1)	**-11,1** mg s^{-1}	3,18 mg s^{-1}	-387 mg s^{-1}	**0,81** mg l^{-1}	0,120 mg l^{-1}
Kontrol efter forslag i Svendsen et al. (2000) (2)	-2,96 mg s^{-1}	3,32 mg s^{-1}	-361 mg s^{-1}	0,48 mg l^{-1}	0,101 mg l^{-1}

Tabel 9.11 Kontrol af udledninger fra Døstrup i sommerperioden fra april 2001 til og med september 2001. Tal angivet med fed skrifttype overskrider den vejledende kravværdi.

Kontrolregel	TN	TP	SS	BI_5	$NH_3+NH_4^+$-N
Kontrol på udledte stofmængder efter miljøgodkendelse	**93,1** mg s^{-1}	5,24 mg s^{-1}	-3,05 mg s^{-1}	**199** mg s^{-1}	20,4 mg s^{-1}
Kontrol på koncentrationer efter miljøgodkendelse	**0,849** mg l^{-1}	0,052 mg l^{-1}	0,188 mg l^{-1}	**1,93** mg l^{-1}	0,202 mg l^{-1}
Kontrol efter forslag i Svendsen et al. (2000) (1)	**-32,0** mg s^{-1}	2,78 mg s^{-1}	-434 mg s^{-1}	**1,93** mg l^{-1}	0,202 mg l^{-1}
Kontrol efter forslag i Svendsen et al. (2000) (2)	-20,0 mg s^{-1}	3,01 mg s^{-1}	-393 mg s^{-1}	**1,26** mg l^{-1}	0,163 mg l^{-1}

Tabel 9.12 Kontrol af udledninger fra Døstrup i vinterperioden fra oktober 2001 til og med marts 2002. Tal angivet med fed skrifttype overskrider den vejledende kravværdi.

Kontrolregel	TN	TP	SS	BI_5	$NH_3+NH_4^+$-N
Kontrol på udledte stofmængder efter miljøgodkendelse	**112** mg s^{-1}	**7,23** mg s^{-1}	54,9 mg s^{-1}	**103** mg s^{-1}	12,0 mg s^{-1}
Kontrol på koncentrationer efter miljøgodkendelse	**1,35** mg l^{-1}	**0,087** mg l^{-1}	0,894 mg l^{-1}	**1,21** mg l^{-1}	0,144 mg l^{-1}
Kontrol efter forslag i Svendsen et al. (2000) (1)	**-0,034** mg s^{-1}	**3,95** mg s^{-1}	-357 mg s^{-1}	**1,21** mg l^{-1}	0,144 mg l^{-1}
Kontrol efter forslag i Svendsen et al. (2000) (2)	**10,7** mg s^{-1}	**4,26** mg s^{-1}	-317 mg s^{-1}	**0,89** mg l^{-1}	0,118 mg l^{-1}

Disse tabeller viser at nu afvises der langt flere udledninger af TN, TP og SS. Resultaterne for den alternative metode (1) stemmer nu også overens med kontrollen på udledte stofmængder efter miljøgodkendelsen.

9.6 Konklusion af overholdelse af udlederkrav

Analysen af overholdelsen af udlederkrav for de 5 kontrolstoffer giver som resultat, at kun udledningen af NH_3+NH_4^+-N samt SS kan accepteres i de 2 perioder på 52 uger (kontrolperioder på et helt år) ved anvendelse af miljøgodkendelsens kontrolregler. Ved anvendelse af de alternative kontrolmetoder fremlagt i *Svendsen et al. (2000)* er det kun udledningen af BI_5 som ikke kan accepteres.

Deles hele måleperioden op i fire delperioder på hver 26 uger (sommer og vinter) forefindes de største problemer med udledningerne i den første delperiode. Således er det kun udledningen af NH_3+NH_4^+-N som kan accepteres efter miljøgodkendelsens regler. Derimod kan alle stoffer undtagen BI_5 accepteres ved anvendelse af de alternative metoder. Årsagen til de mange afvisninger i denne delperiode skal hovedsageligt findes i store og meget variable udledninger i perioden fra april til juni 2000.

Efter tilpasning af udlederkravene ved transportkontrol for TN, TP og SS får man de samme resultater som for analysen ved brug af miljøgodkendelsens regler.

I de andre delperioder er det især TN og BI_5 som afvises ved anvendelse af miljøgodkendelsens kontrolregler. I den sidste periode afvises også TP. Ved anvendelse af de alternative regler er det kun BI_5 som forkastes.

9.7 Iltforhold ved Døstrup Dambrug

Iltkoncentrationen i vandet er af fundamental betydning for især fisk og bunddyr i vandløb. Mængden af ilt i vandet er afhængig af forskellige faktorer som tilførsel fra atmosfæren, genluftning samt fotosyntese og respiration og andre stofomsætningsprocesser i vandet. Den maksimale mængde ilt vandet kan indeholde under givne forhold er vandets mætning som er afhængig af vandets temperatur og af lufttryk. Graden af mætning udtrykkes som iltmætningsprocent. Mængden af opløst ilt i vand stiger med faldende temperatur.

Der er opsat vejledende krav til vandets iltkoncentration ved Døstrup Dambrug som gennemgås i det efterfølgende.

Overholdelse af iltkrav
Mængden af ilt i vandet er målt i mg l^{-1}. I følge Miljøklagenævnets afgørelse skal den vejledende iltkoncentration i 100% af tiden være ≥ 7 mg l^{-1} såvel opstrøms som nedstrøms dambruget, henholdsvis st. 20 (opstrøms), st. 600 (lige nedstrøms) og st. 990 (1 km nedstrøms dambruget). Dette krav er med nogle ganske få undtagelser overholdt (figur 9.1). Lige nedstrøms dambruget ved st. 600 er kravet opfyldt

med undtagelse af en kortere periode (20. juli til 5. august 2000), hvor iltkoncentrationen om natten kommer under 7 mg l^{-1}, hvilket formodentligt kan henføres til at iltmåleren til tider stod dækket af grøde, således at det faktiske iltindhold har været større end 7 mg l^{-1}. Opstrøms dambruget ved st. 20 som er dambrugets vandindtag fra Døstrup Bæk er der nogle få dage i juli og august 2001 hvor iltkoncentrationen kommer 0,5 – 1 mg l^{-1} under de 7 mg l^{-1} som er det vejledende krav.

Iltkoncentration i mg l^{-1} kan omregnes til en iltmætningsprocent som er temperaturafhængig ved formlen:

$$ilt\% = \left(\frac{ilt(mg/l)}{14{,}423 * \exp.(-0{,}024 * vandtemp.(celcius))}\right) * 100$$

Iltmætningsprocenten udtrykker i hvilken grad vandet er mættet med ilt ved den pågældende temperatur som iltkoncentrationen er målt under.

Umiddelbart nedstrøms dambruget skal iltmætningen altid være større end 70%, jvf. Miljøklagenævnets afgørelse. St. 600 ligger placeret ca. 10 meter nedstrøms dambruget, hvor vandet fra lagunesystemet er løbet sammen med det åvand, der løber uden om dambruget. På st. 600 for perioden 5. april 2000 til 3. april 2002 er der N=17497 observationer svarende til 1 observation i timen i to år. Iltmætningsprocenten er mindre end 70 i 4% af tiden. Af disse 4% er den gennemsnitlig iltmætningsprocent 68 (N=712 observationer) med minimum og maksimum på henholdsvis 54% og 69%. Af de 4% som har en iltmætningsprocent under 70 ved st. 600 er 1/6 af dem sammenfaldende med en iltmætningsprocent på under 70 ved opstrømsstationen st. 20.

Der er også stillet krav om, at 50% af de daglige minimumsværdier ved såvel st. 20 som ved st. 600 skal være mindst 9 mg l^{-1}. For måleperioden 5. april 2000 til 3. april 2002 (N=731) har det daglige minimum iltindhold (som forekommer om natten) ved stationerne 20 og 600 været under 9 mg l^{-1} i henholdsvis 51% og 44% af døgnene i perioden (figur 9.1). Dermed er kravet overholdt på st. 600 (nedstrøms) og stort set overholdt på st. 20 (opstrøms) på nær 1% af de tilladte 50% af daglige minimumsværdier. Fra omkring 1. november 2000 til 1. april 2001 samt 1. november 2001 til april 2002 er kravet om mindst 9 mg ilt l^{-1} overholdt på både stationen opstrøms og stationen nedstrøms for dambruget hver dag.

For måleperioden som helhed gælder, at vandet fra lagunesystemerne i selve udløbet før beluftning har et minimums iltindhold, der er lavere end minimumsindholdet i Døstrup Bæk både opstrøms og nedstrøms for dambruget.

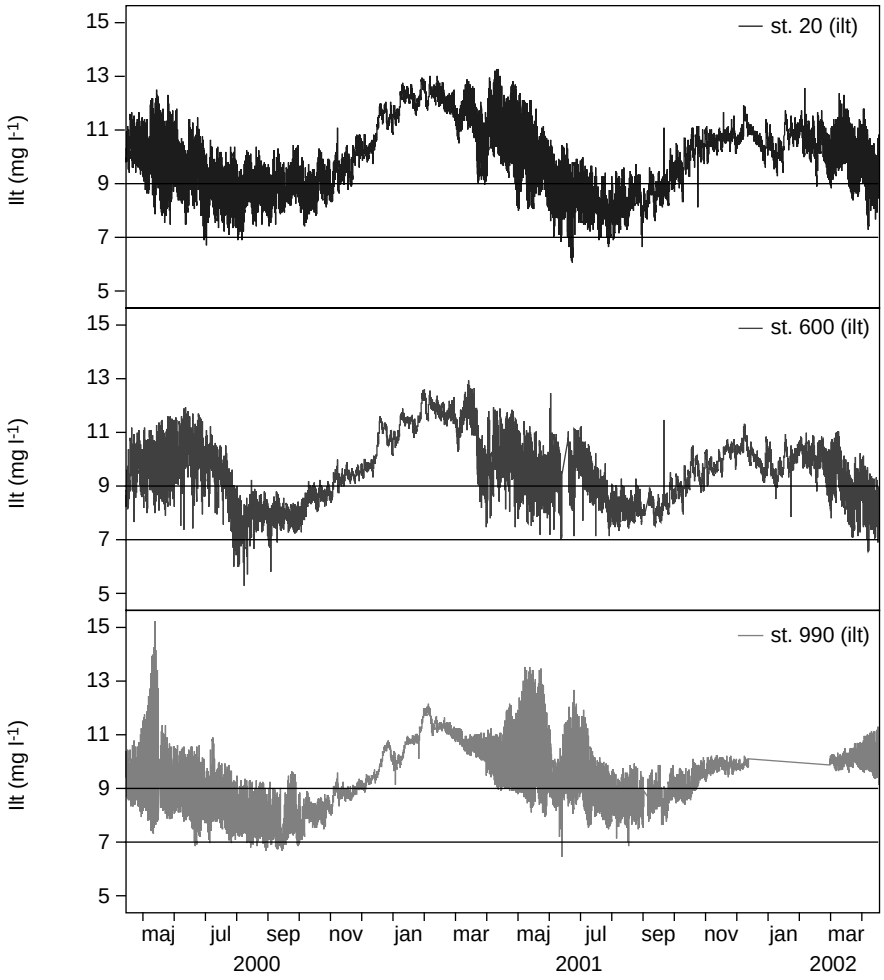


Fig. 9.1. Iltkoncentration (mg l^{-1}) i Døstrup Bæk opstrøms Døstrup Dambrug ved st. 20 og lige nedstrøms dambruget ved st. 600 samt 1 km nedstrøms dambruget ved st. 990 i perioden april 2000 til april 2002.

Svingningerne med høje værdier for iltindhold om dagen og lave værdier om natten skyldes biologisk aktivitet af iltproducerende og iltforbrugende organismer. Ud over de biologiske processer medvirker der også nogle rent fysiske processer, hvor der dels foregår en iltoptagelse fra luften når vandets iltindhold er under 100% mætning, og dels en iltafgivelse til luften når vandets iltindhold er større end 100% som følge af planternes iltproducerende processer. Endelig er der også iltomsætning ved kemiske processer. En urolig og turbulent vandoverflade fremmer begge disse processer. Dette er således specielt tilfældet i Døstrup Bæk i stryget opstrøms for udledningerne fra lagunesystemerne samt ved selve udløbene fra de tre lagunesystemer, hvor vandet falder ned i bækken gennem beluftningskassen. Endvidere har temperaturen en indflydelse, idet der rent fysisk kan opløses mere ilt i vandet ved lave temperaturer end ved højere temperaturer. Dette betyder, at vandets iltindhold i mg l^{-1} naturligt vil være lavere om sommeren end om vinteren.

De biologiske processer i både Døstrup Bæk og i lagunesystemerne tillige med de fysiske processer styrer således iltindholdet i Døstrup Bæk nedstrøms for dambruget.

I en periode fra midten af maj til midten af juli 2000 er både det minimale iltindhold om natten, men også det maksimale iltindhold om dagen højere på st. 600 nedstrøms dambruget end på st. 20 opstrøms for dambruget. Det laveste iltindhold er typisk 1-2 mg l^{-1} højere på station 600. Det er især i denne periode, at iltkravet om mindst 9 mg l^{-1} ikke er opfyldt opstrøms for dambruget, hvorimod det er opfyldt nedstrøms for dambruget.

Det højere iltindhold nedstrøms dambruget i minimumsituationen (om natten) kan forklares ved at der foregår en ren fysisk iltoptagelse i stryget i bækken samt at beluftningskasserne fra lagunesystemerne opilter afløbsvandet fra plantelaguerne, idet iltindholdet i vandet i disse om natten er flere mg lavere end på stationen opstrøms for dambruget. Det er ikke beregnet, om det er stryget i vandløbet eller vandets fald fra lagunesystemerne der har størst betydning for geniltningen af bækkens vand i denne periode.

Kravet om en minimumsværdi større end 9 mg l^{-1} i 50% af tiden er i det store og hele ikke opfyldt for perioden juli-oktober 2000 og april-oktober 2001 på hverken st. 20 opstrøms for dambruget eller på st. 600 nedstrøms for dambruget. Fra medio juli til ultimo oktober 2000 er det minimale iltindhold 0,3-1,0 mg l^{-1} lavere på st. 600 nedstrøms dambruget sammenlignet med st. 20 opstrøms for dambruget. Da vandet i Døstrup Bæk opstrøms for dambruget ikke er overmættet med ilt er konklusionen, at det lavere iltindhold i bækken nedstrøms for dambruget skyldes det lave iltindhold i vandet fra lagunerne som i udledningspunktet i minimumsituationen har et iltindhold på 2-4 mg l^{-1}. Geniltningen ved faldet ned i bækken gennem beluftningskolonnerne kompenserer således ikke i alle perioder fuldt ud for det meget lave iltindhold i lagunerne. Dette forhold gælder ikke blot om natten, men også om dagen.

Plantelagunernes påvirkning af vandets iltkoncentration
Når vandet har passeret bundfældningsbassinet (st. 450) fordeles det ligeligt i de tre lagunesystemer (se tabel 4.10), hvor hvert system har udløb tilbage til Døstrup Bæk fra hver sin afstrømningskanal. I april, maj og juni 2000 samt i perioden februar til juni 2002 skete der ikke nogen væsentlig ændring af vandets iltkoncentration igennem lagunerne, men fra juli i både 2001 og 2002 starter en markant reduktion i iltmængden i de tre laguner og det fortsætter i august og september (figur 9.2 og 9.3).

Fra juni 2000 var der mange trådalger som producer ilt i dagtimerne. I løbet af juni kommer der gradvist planter som brøndkarse og andemad (kapitel 8). På disse etableres en biofilm, som f.eks. omsætter organisk stof og NH_3+NH_4^+ under forbrug af ilt, hvilket tydeligt påvirker udledningen af bl.a. BI_5 i faldende retning.

Fotosyntese og respirations betydning for døgnvariationen i iltkoncentrationen er især stor i de måneder, hvor der er stor lysindstråling og høj biologisk aktivitet som f.eks. i slutningen af april 2000 (figur 9.2).

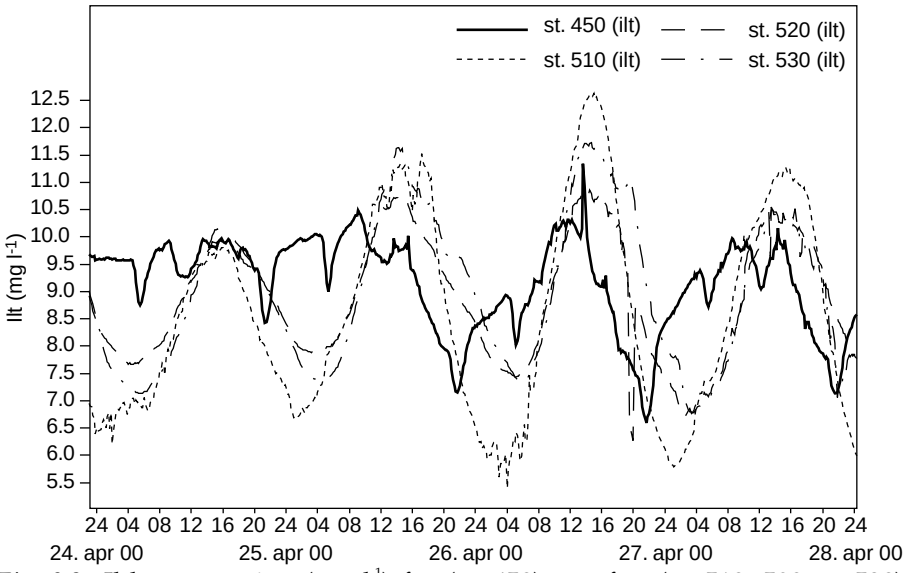


Fig. 9.2 Iltkoncentration (mg l^{-1}) før (st. 450) og efter (st. 510, 520 og 530) plantelaguner, 24.-28. april 2000.

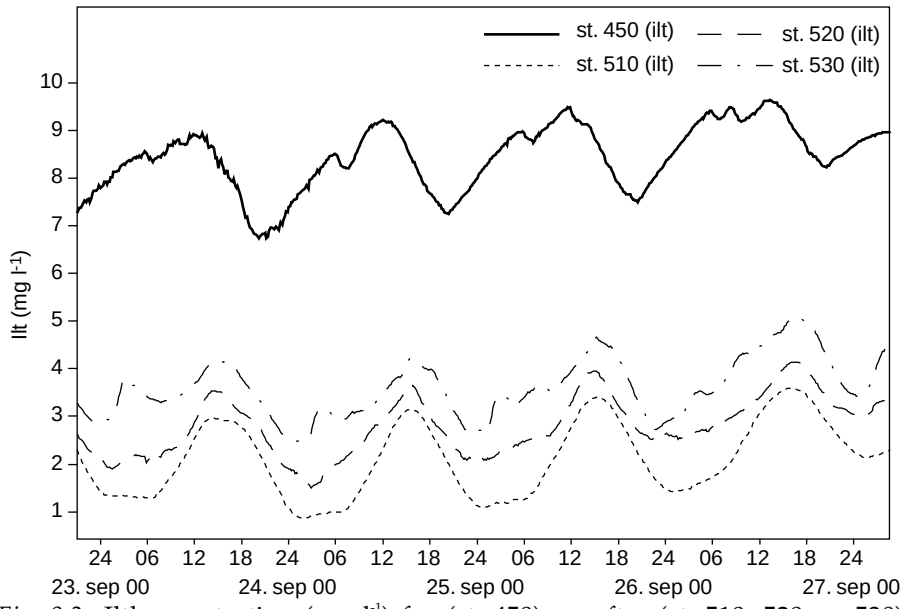


Fig. 9.3 Iltkoncentration (mg l^{-1}) før (st. 450) og efter (st. 510, 520 og 530) plantelaguner, 23.-27. september 2000.

Beluftningskasser/vandrecirkulation

Vandet i fødekanalerne i de tre produktionssektioner er en blanding af vand, der kommer fra den foregående sektions udløb, og vand der recirkuleres fra egen sektion (afsnit 1.3 og 3.2). Vandet i sektion 3 er i gennemsnit tilført 2 mg l^{-1} i beluftningskasse 320 (figur 9.4).

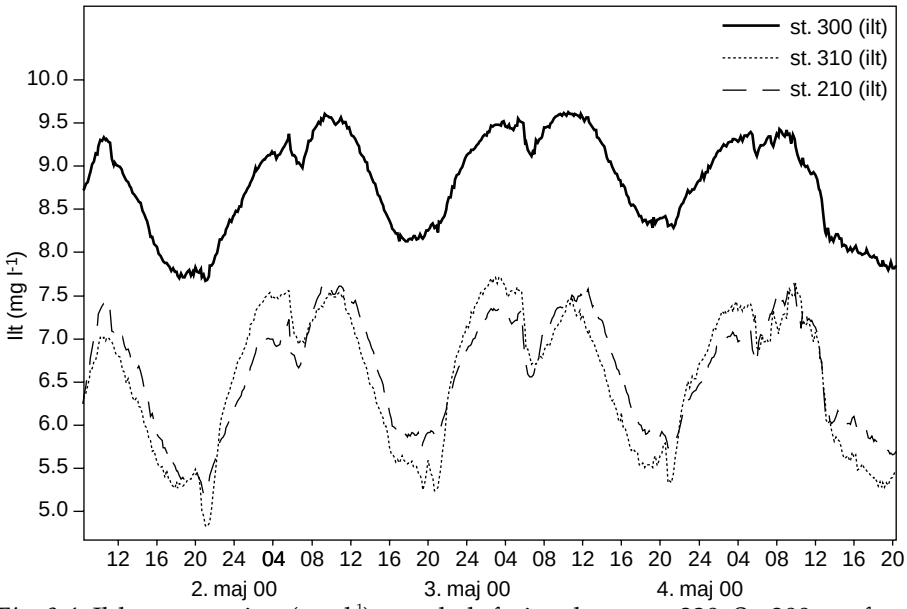


Fig. 9.4 Iltkoncentration (mg l^{-1}) over beluftningskasse st. 320. St. 300 er efter og st. 210 og st. 310 er før beluftningskassen.

9.8 Konklusion af iltkrav for Døstrup Dambrug

Kravet om iltmætning større end 7 mg l^{-1} i 100% af tiden er overholdt med nogle få undtagelser for st. 20 og 990, mens det for st. 600 lige nedstrøms dambruget er opfyldt med undtagelse af 2 uger i juli/ august 2000, hvor iltkoncentrationen om natten var under 7 mg l^{-1}. Overskridelsen kan formodentlig henføres til, at iltmålerne i disse perioder var dækket til af grøde/vandløbsvegetation.

Kravet om en iltmætningsprocent større end 70% ved st. 600 lige nedstrøms dambruget er overholdt i 94% af perioden 5. april 2000 til 4. april 2001. I de 6% af tiden, hvor dette krav ikke er overholdt, er 1/6 af tiden sammenfaldende med at vandet der tages ind på Døstrup Dambrug fra Døstrup Bæk også havde en iltmætningsprocent under 70. I det andet måleår opfyldes kravet i 98% af perioden.

Kravet om 50% af de daglige minimums iltværdier skal være mindst 9 mg l^{-1} ved st. 20 og 600 henholdsvis lige opstrøm og lige nedstrøms dambruget er overholdt ved st. 600, mens det for indløbsvandet fra Døstrup Bæk er overtrådt i perioden 5. april 2000 til 4. april 2001. Overholdelsen sker typisk i vinterhalvåret, men der i månederne juli til oktober generelt er minimumsværdier på under 9 mg/l ved begge stationer.

[Tom side]

10 Faunatilstand i Døstrup Bæk i perioden 1998 -2002

10.1 Metode til indsamling og vurdering af den biologiske vandløbskvalitet

Smådyrfaunaen er i det følgende anvendt som udtryk for vandløbets samlede økologiske kvalitet (*Miljøstyrelsen 1998*). Der er foretaget indsamlinger af faunaen i Døstrup Bæk 23 gange i perioden fra marts 1998 til marts 2002 (tabel 10.1). Indsamling af faunaprøver er foretaget dels af DMU (13 gange) og dels af Nordjyllands Amt (10 gange). Faunaen er samlet semikvantitativt ved hjælp af et håndnet, og dyrene er efterfølgende udsorteret og identificeret i laboratoriet med henblik på fastsættelse af Dansk Vandløbsfaunaindeks (*Miljøstyrelsen 1998*). På baggrund af smådyrfaunaen kan den biologiske vandløbskvalitet udtrykkes som et tal (faunaklassen) fra 1 til 7, hvor værdien 7 svarer til et upåvirket eller næsten upåvirket vandløb. I regionplanen for Nordjyllands Amt er Døstrup Bæk målsat B1 (gyde- og yngel opvækstområde for laksefisk). Kravet for at målsætningen for vandløbet er opfyldt er at faunaklassen er mindst 5.

10.2 Indsamlingslokaliteter i Døstrup Bæk

Døstrup Bæk er ca. 11 km lang fra udspring til udløbet i Simested Å. Bækkens nedre løb, hvor Døstrup Dambrug er beliggende, er 4-5 meter bredt. Bundforholdene er som helhed domineret af sand, men stedvis forekommer en varieret sten- og grusbund. Brøndkarse er i sommer- og efterårsperioden den klart dominerende vandplante i bækkens nedre løb.

I 1998 og 1999 blev der indsamlet faunaprøver på 2 stationer, henholdsvis opstrøms og nedstrøms for dambruget. Stationen opstrøms for dambruget var placeret ca. 50 m nedstrøms for vejbroen i Døstrup (station 1), mens nedstrøms stationen var placeret ca. 200 m nedstrøms for dambruget kort før Døstrup Bæk´s passage under motorvej A10 (station 2a).

I 2000-2002 blev indsamlinger af faunaen foretaget på 3 stationer. Der blev dels indsamlet på opstrøms stationen beliggende neden for vejbroen i Døstrup (station 1), og derudover indsamlet på en station mellem dambruget og motorvej A10 (station 2b). Station 2b var placeret ca. 100 m opstrøms for station 2a (ved skalapæl 14). Begge stationerne 2a og 2b repræsenterer tilstanden i Døstrup Bæk umiddelbart nedstrøms for Døstrup Dambrug. Årsagen til skiftet i faunastationens placering i vandløbet var ombygningen af dambruget foretaget i 1998/1999. Herved blev udledningen fra dambruget flyttet opstrøms i Døstrup Bæk. Fra og med 2000 er der som angivet i Miljøklagenævnets midlertidige godkendelse endvidere foretaget indsamling på en tredje lokalitet (station 3) beliggende ca. 990 m nedstrøms for dam-

bruget ca. 150-200 meter opstrøms for, hvor Døstrup Bæk løber ud i Simested Å.

Den 3. april 2001 blev der foretaget en registrering af bundsubstrat, bredde og dybde på de tre indsamlingslokaliteter (station 1, 2b og 3). Bundsubstratet blev karakteriseret til en af følgende kategorier: sten, groft grus, fint grus, sand, mudder og tørv (*Skriver et al. 1999*), idet der pr. station er registreret substrattype i 40-55 punkter.

Bundsubstratet var mest sammenligneligt på stationerne 1 og 2b, idet der her tilsammen blev registreret henholdsvis 23% og 22% af de to groveste substrater fraktioner: sten og grus. I modsætning hertil blev der kun registreret 2% af de tilsvarende substrater på station 3. På denne station udgør sand, mudder og tørv tilsammen 93% af bundsubstratet.

Der er ikke foretaget måling af strømhastighed og hydrauliske forhold ved de tre stationer, men i overensstemmelse med bundforholdene vurderes strømhastigheden stedvis at være hurtigst (god til frisk) på stationerne 1 og 2b, mens strømhastigheden på station 3 vurderes som jævn til god. De fysiske forhold på station 2a som indgik i 1998 og 1999 er ikke blevet opmålt. Bundsubstratet her svarer dog i store træk til bunden på station 2b.

Tabel 10.1. Bundsubstrat (%), bredde og dybde på de tre indsamlingslokaliteter i Døstrup Bæk. Målt den 3. april 2001.

	Station 1	Station 2	Station 3
	(opstr. dambrug)	(100 m nedstr. dambrug)	(990 m nedstr. dambrug)
Sten	3	4	-
Groft grus	20	18	2
Fint grus	8	23	4
Sand	67	53	71
Mudder	3	2	15
Tørv	-	-	7
Bredde	4,90 m	3,52 m	3,89 m
Dybde	18 ± 2 cm	23 ± 2 cm	27 ± 2 cm

10.3 Faunatilstanden i Døstrup Bæk i perioden marts 1998 til marts 2002

Generel karakterisering af faunaen
Følgende overordnede beskrivelse af faunaen er foretaget på baggrund af indsamlinger foretaget af DMU i perioden marts 1998 til marts 2002.

Der er i perioden i alt identificeret 153.000 individer repræsenterende 84 forskellige arter/grupper (taxa) af smådyr i Døstrup Bæk (bilag 5). Smådyrfaunaen består helt overvejende af taxa der er almindelige og

vidt udbredte i Danmark (tabel. 10.2). De kvantitativt hyppigste taxa i bækken er ferskvandstangloppen *Gammarus pulex*, kvægmyg Simuliidae, døgnfluerne *Baëtis rhodani* og *Ephemerella ignita*, dansemyg Chironomidae, sneglen *Lymnaea pereger* og børsteorme Oligochaeta.

Tabel. 10.2. De 12 hyppigst registrerede taxa (arter/grupper) af smådyr i Døstrup Bæk i perioden 1998-2002. De øvrige 73 taxa udgør de resterende 9,6% af det samlede antal af individer.

Taxa	%-vis andel af faunaen
Gammarus pulex	44,2
Simuliidae indet.	14,0
Baëtis rhodani	9,5
Orthocladiinae indet.	4,3
Baëtis sp.	3,8
Ephemerella ignita	3,8
Lymnaea pereger	3,5
Oligochaeta indet.	2,4
Tanytarsini indet.	1,3
Prodiamesa olivacea	1,3
Hydracarina indet.	1,2
Limnius volckmari	1,1

Visse rentvandsformer forekommer i bækken, men er typisk ikke så talrigt forekommende (bilag 5): fimreormen *Dugesia gonocephala*, huesneglen *Ancylus fluviatilis*, døgnfluen *Paraleptophlebia submarginata*, slørvingen *Amphinemura standfussi*, billerne *Elmis aenea* og *Elodes minuta* grp. samt vårfluerne *Rhyacophila fasciata*, *Plectrocnemia conspersa*, *Ecclisopteryx dalecarlica*, *Silo nigricornis* og *Beraea maurus*.

Andre mere rentvandskrævende smådyrsarter er endvidere fundet i Døstrup Bæk, men næsten udelukkende på stationen opstrøms for dambruget (station 1). Det drejer sig om de såkaldte NG1 taxa *Limnius volckmari*, *Agapetus sp*. og *Sericostoma personatum*. Det er tilstedeværelsen af disse faunaelementer der betinger, at faunaklassen på station 1 i en del tilfælde har været 6 eller 7.

Set under ét blev der registreret 3721 individer af ovennævnte rentvandsformer svarende til 2,4% af faunaen i perioden 1998-2002. Fordelingen af rentvandsformerne på de 3 stationer var at disse forekom med henholdsvis 3,3%, 1,8% og 1,4% af individerne på stationerne 1, 2 og 3.

Dansk Vandløbsfaunaindeks (DVFI)
På baggrund af faunaprøverne fra DMU og Nordjyllands Amt er DVFI faunaklassen beregnet (*Miljøstyrelsen 1998*). DVFI udgør fundamentet for vurdering af den biologiske tilstand i Døstrup Bæk. Resultater for perioden marts 1998 til marts 2002 er vist i tabel 10.3. Der har ikke på nogen af de undersøgte stationer i Døstrup Bæk været nogen systematisk forskel mellem resultater af prøvetagninger udført af henholdsvis DMU og Nordjyllands Amt. Resultaterne fra begge institutioner af de beregnede DVFI værdier er derfor alle medtaget ved

den samlede vurdering af den miljømæssige tilstand i Døstrup Bæk op- og nedstrøms for Døstrup Dambrug.

Nordjyllands Amt foretog i 1999 en foreløbig fastsættelse af målsætningsklassen for de tre stationer i Døstrup Bæk til DVFI 5. Den optimale faunaklasse blev fastsat til DVFI 6. Dette blev gjort på baggrund af den daværende fysiske tilstand i bækken samt den viden der på det tidspunkt var til rådighed om de faunamæssige forhold. Efterfølgende har indsamlingerne foretaget i nærværende projekt vist at der er et faunamæssigt potentiale i Døstrup Bæk svarende til at den optimale faunaklasse er 7.

DMU har i det følgende alene lagt de beregnede faunaklasser til grund for vurderingen af en eventuel målsætningsopfyldelse i Døstrup Bæk, idet der ved en faglig vurdering ikke findes belæg for at tilsidesætte den beregnede faunaklasse.

Tilstanden i Døstrup Bæk opstrøms for dambruget (station 1) har været faunaklasse 5, 6 eller 7 gennem hele perioden (tabel 10.3). Vandløbets målsætningsklasse der er faunaklasse 5 opstrøms for Døstrup Dambrug er derfor opfyldt gennem hele perioden. De fysiske forhold på stationen er varierede med forekomst af en del sten og grus (tabel 10.1). Dette giver mulighed for forekomst af de rentvandsformer der er knyttet til faste substrater. Den maksimalt opnåelige faunaklasse (optimale faunaklasse) er 7.

Fra december 2000 og videre frem ændredes DVFI værdien fra at være ret stabil omkring DVFI 5 til at blive DVFI 6 og i visse tilfælde DVFI 7. Årsagen hertil skyldes alene at vårfluen *Agapetus* forekommer i Døstrup Bæk fra dette tidspunkt. I de foregående 2 ½ år er denne vårflue ikke blevet registreret i bækken. Der kan være tale om en egentlig forbedring af vandkvaliteten på dette tidspunkt på den opstrøms lokalitet. Men alternativt også at vandkvaliteten allerede i et stykke tid (nogle år?) har været god nok. Vårfluen *Agapetus* er så blot indvandret i 2000 og har nu tilsyneladende etableret sig, idet den også det efterfølgende år var til stede på den opstrøms lokalitet. Dette sidste er muligvis tilfældet. Sådanne forbedringer i DVFI værdien er f.eks. tidligere set i en række vandløb på Fyn hvor bl.a. *Agapetus* og slørvingen *Leuctra* er indvandret fra nærtliggende vandløb efter at have manglet i en længere årrække (Wiberg-Larsen et al. 1994). Men vandkvaliteten havde formentlig allerede længe været tilstrækkeligt god for disse rentvandsdyr.

Tabel 10.3. Dansk Vandløbsfaunaindeks (DVFI) i Døstrup Bæk op- og nedstrøms for Døstrup Dambrug i perioden 1998 til 2002.

Bearbejdning foretaget af	Dato	DVFI faunaklasser i Døstrup Bæk			
		St.1 (opstrøms)	St. 2a (200 m nedstrøms)	St. 2b (100 m nedstrøms)	St. 3 (950 m nedstrøms)
DMU	Marts 1998	6	4	-	-
DMU	August 1998	5	4	-	-
Nordjyllands Amt	November 1998	5	-	4	-
Nordjyllands Amt	Marts 1999	5	-	4	-
DMU	Juni 1999	5	4	-	-
Nordjyllands Amt	Februar 2000	6	-	4	4
DMU	Marts 2000	5	-	4	5
DMU	Juli 2000	5	-	4	5
Nordjyllands Amt	August 2000	5	-	4	4
DMU	Oktober 2000	5	-	5	4
Nordjyllands Amt	Oktober 2000	5	-	5	5
DMU	December 2000	6	-	4	4
DMU	Februar 2001	6	-	5	4
Nordjylland	Februar 2001	7	-	4	5
DMU	April 2001	6	-	4	5
Nordjylland	Maj 2001	7	-	5	5
DMU	Juni 2001	7	-	5	5
Nordjylland	August 2001	6	-	5	5
DMU	Oktober 2001	6	-	5	5
Nordjylland	November 2001	6	-	5	5
DMU	December 2001	6	-	5	5
Nordjylland	Januar 2002	5	-	4	5
DMU	Marts 2002	6	-	5	5

Tilstanden umiddelbart nedstrøms for dambruget (station 2a og 2b) har været faunaklasse 4 til og med august 2000. Målsætningen for vandløbet var derfor ikke opfyldt ved de første 9 prøvetagninger. I perioden oktober 2000 til april 2001 var faunaklassen i 3 ud af 6 tilfælde faunaklasse 4 og i de øvrige 3 tilfælde faunaklasse 5. Målsætningen var således opfyldt ved 50% af indsamlingerne. I den sidste del af perioden, dvs. fra maj 2001 til marts 2002 var faunaklassen 5 i 7 ud af 8 tilfælde. Der var således målopfyldelse ved 85-90% af indsamlingerne.

Som helhed kan situationen på stationen umiddelbart nedstrøms for dambruget derfor beskrives som at der var manglende målopfyldelse frem til og med sommeren 2000. I den følgende periode frem til foråret 2001 blev tilstanden forbedret og svingede mellem DVFI 4 og 5. I de sidste 11 måneder af forsøgsperioden var målsætningen opfyldt i 7 ud af 8 tilfælde, og målsætningen betragtes derfor som helhed som opfyldt i forsøgsperiodens sidste del. De fysiske forhold på station 2

er på samme måde som station 1 varierede med forekomst af en del sten og grus (tabel 10.1). Dette giver også her mulighed for forekomst af de rentvandsformer der er knyttet til faste substrater. Den maksimalt opnåelige faunaklasse (optimale faunaklasse) er 7.
Det vurderes af DMU ikke at være sandsynligt at forbedringen i DVFI fra 4 i perioden 1998-2000 til DVFI 5 i perioden 2001-2002 skyldes forbedringer i vandkvaliteten opstrøms for dambruget. Forbedringen i DVFI nedstrøms for dambruget falder således sammen med forbedret funktion af anlæggets renseforanstaltninger.

På stationen 990 m nedstrøms for dambruget (station 3) har tilstanden i perioden siden februar 2000 været faunaklasse 4 i 5 ud af 18 tilfælde og faunaklasse 5 i de øvrige 13 tilfælde. Udviklingen i tilstanden gennem perioden fra februar 2000 til marts 2002 følger stort set samme mønster som for stationen umiddelbart nedstrøms for dambruget (station 2). I perioden frem til og med august 2000 var tilstanden faunaklasse 5 i 2 ud af 4 tilfælde (50% målopfyldelse). Tilstanden var tilsvarende opfyldt i 3 ud af 6 tilfælde i den mellemste periode fra oktober 2000 til april 2001 (50% målopfyldelse). I de sidste 11 måneder af forsøgsperioden var målsætningen opfyldt i 8 ud af 8 tilfælde, dvs. 100% målopfyldelse. De fysiske forhold på station 3 er væsentligt mindre varierede end på stationerne 1 og 2 idet sand og mudder dominerer, mens sten og grus kun forekommer sporadisk (tabel 10.1). Dette indebærer at rentvandsformerne som er knyttet til fast bund ikke kan forventes at forekommer i væsentligt omfang. Den optimale faunaklasse der kan opnås vurderes derfor af DMU til kun at være 6 på denne station.

Tre elementer i smådyrfaunaens forekomst har været afgørende for, at faunaklassen fra marts 1998 til april 2001 har varieret mellem 4 og 5 på de to stationer nedstrøms for Døstrup Dambrug (station 2 og 3). For det første er de mest krævende faunaelementer (*Limnius, Agapetus* og *Sericostoma*) endnu kun blevet fundet i meget få individer nedstrøms for dambruget. Dette endda til trods for at *Limnius* har forekommet relativt talrigt opstrøms for dambruget i hele perioden siden undersøgelserne blev påbegyndt i 1998. Derudover har forekomsten af *Asellus* i 5 eller flere individer i en række tilfælde betydet, at NG2 i Dansk Vandløbsfaunaindeks ikke er kommet i anvendelse, og at faunaklasse 4 derfor er den højeste faunaklasse der kan opnås. Og endelig har det i en række tilfælde vist sig, at den samlede diversitet (positive minus negative diversitetsgrupper) har været for lav til at opnå faunaklasse 5.

Umiddelbart synes mulighederne for en permanent målopfyldelse nedstrøms for dambruget at være til stede især på station 2. De fysiske forhold er her sammenlignelige med forholdene på stationen opstrøms for dambruget, idet der her er den samme variation med tilstedeværelse af en del grus og sten som giver mulighed for forekomst af mange af de rentvandskrævende smådyrarter. En sådan stabilisering af faunaen og opfyldelse af målsætningen for vandløbet er sket gennem perioden juni 2001 og frem til undersøgelsernes afslutning i marts 2002 (tabel 10.3). Den fysiske variation er meget ringere på station 3 der ligger i de flade arealer umiddelbart inden Døstrup Bæks udløb i Simested Å. På grund af de sandede bundforhold er mulig-

heden for forekomst af en stor del af rentvandsfaunaen derfor stærkt begrænset. Med udgangspunkt i de fysiske forhold samt placeringen opstrøms af dels Døstrup Dambrug og dels udledningen af regnvand fra motorvejen forventes en permanent målopfyldelse på denne lokalitet derfor at være mere usikker.

Det faktum at to af de tre registrerede NG 1 taxa i bækken er knyttet til sten- og grusbund medfører at der næppe permanent kan forventes en faunaklasse bedre end 5.

Alt i alt er tilstanden i Døstrup Bæk på de to stationer nedstrøms for dambruget blevet forbedret hen gennem perioden marts 1998 til marts 2002. I den sidste periode på 10 måneder har 15 ud af 16 faunabedømmelser således været faunaklasse 5. Vandløbets målsætning må således i marts 2002 betragtes som værende opfyldt på hele strækningen nedstrøms for dambruget.

Usikkerhed på Dansk Vandløbsfaunaindeks
DVFI faunaklasser (og tidligere forureningsgrader) har hidtil været anvendt som om der ikke er nogen usikkerhed på den enkelte værdi. Og beregning af usikkerhed på DVFI værdien indgår således ikke som en del af den officielt accepterede metode (*Miljøstyrelsen 1998*). DMU har imidlertid udviklet et pilotprogram der beskriver usikkerheden på en beregnet faunaklasse. DVFI udtrykkes i heltal fra 1 til 7, og den aktuelle tilstand vil i en række tilfælde befinde sig i et grænseområde mellem to faunaklasser, f.eks. mellem faunaklasserne 4 og 5. Det ligger uden for rammerne af denne rapport i detaljer at beskrive metoden for denne usikkerhedsberegning, men kort fortalt anvendes artssammensætningen i den oprindelige DVFI prøve af en computer til at generere f.eks. 1000 nye artslister. På baggrund af disse nye artslister beregnes 1000 "nye" DVFI værdier. I mange tilfælde vil metoden give anledning til at der fremkommer en fordeling på to eller flere DVFI værdier. Metoden kan således anvendes til at få et indblik i om en faunaklasse 5 værdi beregnet på baggrund af den oprindelige faunaliste ligger på grænsen ind mod 4 eller 6, samt et skøn over hvor i intervallet mellem de to værdier at den aktuelle tilstand er placeret.

Computerprogrammet til beregning af usikkerheden er anvendt på de faunalister fra Døstrup Bæk som er indsamlet af DMU, dvs. på data fra 13 indsamlingsdatoer (tabel 10.4). Det overordnede billede af de "nye" beregnede faunaklasser er som for de beregnede værdier på den fulde artsliste, idet der typisk kun er en mindre afvigelse i forhold til beregningen på den fulde artsliste. På stationen umiddelbart nedstrøms for dambruget bekræfter beregningerne for usikkerheden at faunaklassen stabilt har ligget på DVFI 4 frem til og med sommeren 2000. I den følgende periode frem til foråret 2001 har tilstanden ligget mellem DVFI 4 og DVFI 5 for herefter fra sommeren 2001 og resten af forsøgsperioden frem til marts 2002 at blive stabil på DVFI 5. På stationen 990 m nedstrøms for dambruget (station 3) giver beregningen af usikkerheden derimod et lidt mere nuanceret indtryk, idet DVFI faunaklassen som helhed ligger mellem 4 og 5. I 5 ud af 7 tilfælde med DVFI værdien 5 giver beregning af usikkerheden således at DVFI værdien nok snarere ligger lidt lavere, og ved beregning i de

3 tilfælde, hvor den fulde artsliste giver DVFI 4 antyder usikkerhedsberegningen at DVFI ligger en anelse højere. Samlet set har tilstanden på station 3 flyttet sig fra at være tættere på DVFI 4 end DVFI 5 til i den sidste del af perioden at ligge lidt i underkanten af DVFI 5.

Tabel 10.4. Fordeling af faunaklasser (DVFI) samt gennemsnitlig faunaklasse (DVFI(x)) beregnet på baggrund af 1000 faunalister genereret af en computer med udgangspunkt i den oprindeligt indsamlede faunaliste af DMU.

	Station 1		Station 2		Station 3	
	DVFI	DVFI (x)	DVFI	DVFI (x)	DVFI	DVFI (x)
Marts 1998	6: 1000	6,00	4: 1000	4,00		
August 1998	4: 202, 5: 798	4,80	4: 1000	4,00		
Juni 1999	5: 973, 6: 27	5,03	4: 1000	4,00		
Marts 2000	4: 25, 5: 975	4,97	4: 1000	4,00	4: 181, 5: 819	4,82
Juli 2000	5: 1000	5,00	4: 1000	4,00	4: 81, 5: 919	4,92
Oktober 2000	5: 994, 6: 6	5,01	5: 997, 6: 3	5,00	4: 977, 5: 23	4,02
December 2000	5: 43, 6: 942, 7: 15	5,97	4: 834, 5: 166	4,17	4: 690, 5: 306, 6: 4	4,31
Februar 2001	6: 975, 7: 25	6,03	4: 178, 5: 822	4,82	4: 942, 5: 58	4,06
April 2001	6: 989, 7: 11	6,01	4: 1000	4,00	4: 405, 5: 595	4,60
Juni 2001	6: 307, 7: 693	6,69	5: 1000	5,00	5: 1000	5,00
Oktober 2001	5: 377, 6: 623	5,62	5: 1000	5,00	4: 366, 5: 634	4,63
December 2001	5: 16, 6: 984	5,98	5: 1000	5,00	4: 82, 5: 918	4,92
Marts 2002	5: 309, 6: 659, 7: 32	5,64	5: 1000	5,00	4: 3, 5: 997	5,00

Faunaen på stationerne i Døstrup Bæk belyst ved ordination og similaritet

Der er i det følgende foretaget yderligere analyser af faunasammensætningen med henblik på eventuelt at understøtte fortolkningen af faunaen vha. DVFI. Disse analyser er baseret på rent statistiske metoder som ikke tager hensyn til kendskab til arternes økologi, bl.a. at forskellige smådyrarter ud fra en rent faglig synsvinkel vurderes at have forskellig værdi som indikatorer. De statistiske metoder tillægger med andre ord samme værdi til alle de forekommende arter. Endvidere medtages oplysning om arternes hyppighed i analysen.

Faunasammensætningen på de tre stationer er dels undersøgt ved hjælp af ordinationsanalyse (figur 10.1). Hvert "punkt" i ordinationsdiagrammet repræsenterer faunasammensætningen fra én prøvetagning fra én bestemt station. Faunaprøver der ligger tæt i diagrammet illustrer stor lighed sammenlignet med prøver der ligger langt fra hinanden. Af diagrammet ses at det er muligt at foretage en vis separation af prøverne fra de tre stationer, men også at der er et vist overlap (lighed) i faunaen. Laves separationen alene på baggrund af prøver foretaget i vinterperioden (januar til april) bliver alle prøverne fra station 1 separeret fra prøverne fra stationerne 2 og 3 (figur 10.1). Om sommeren derimod hvor faunasammensætningen er anderledes

og hvor f.eks. døgnfluen *Ephemerella* forekommer talrigt på alle tre stationer giver metoden kun en delvis adskillelse af stationerne 1 og 2.

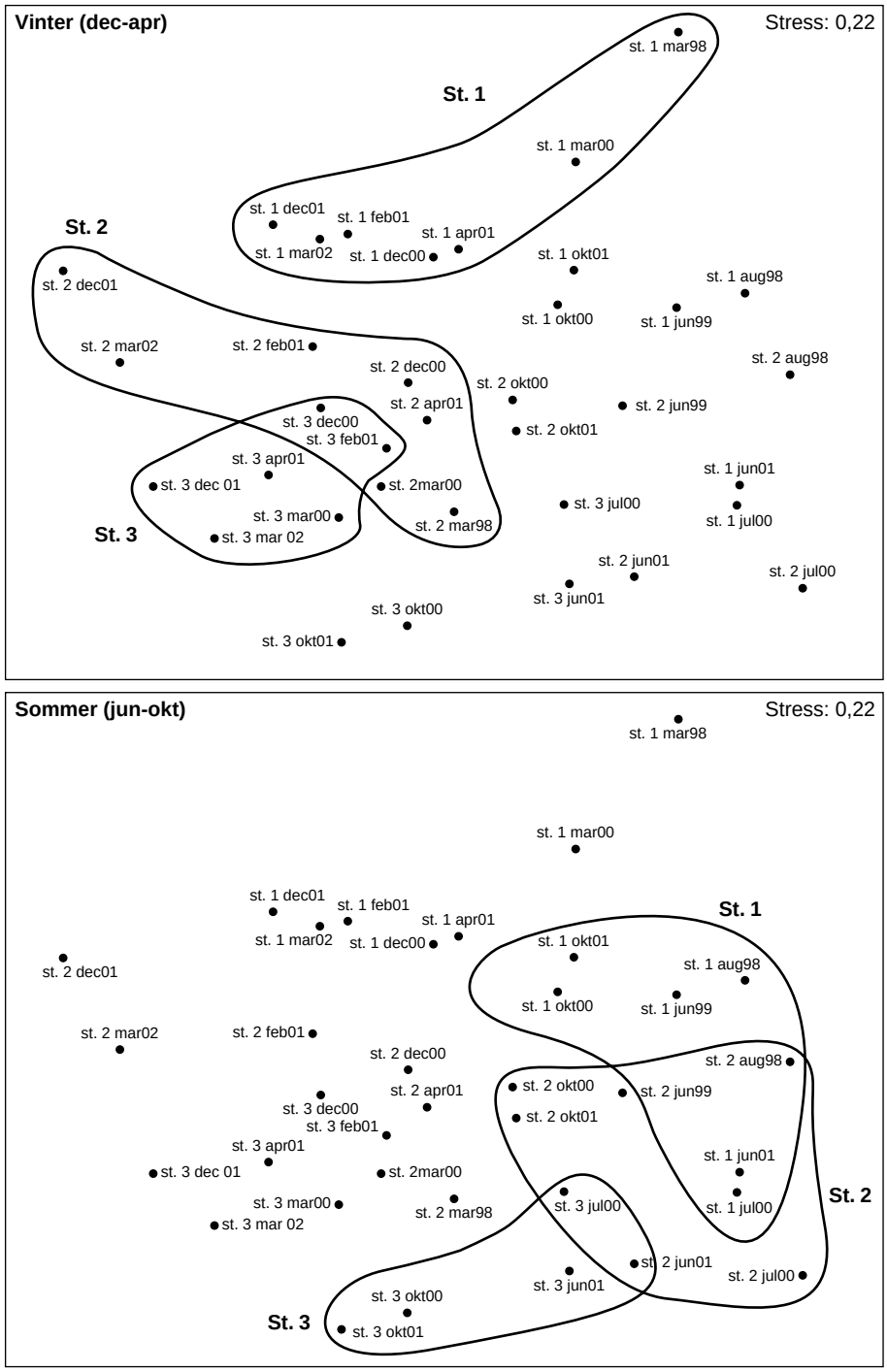


Fig. 10.1. Ordinationsanalyse foretaget for faunaprøverne fra Døstrup Bæk. Prøver der ligger tæt ved hinanden har stor lighed i faunasammensætningen. Koderne angiver station, måned og år.

En anden måde at undersøge faunasammensætningen på er ved at foretage en analyse af similariteten mellem faunaprøverne (*Bray & Curtis 1957*) (figur 10.2). Faunaprøverne adskilles i analysen parvist og illustreres som et omvendt "træ" (similaritets diagram). Faunaprøver der i diagrammet ligger tæt på hinanden har de største lig-

heder i faunasammensætningen. Faunaprøverne fra samme station falder overvejende i klumper, men dog således at prøverne til højre i diagrammet udgøres af prøverne som er udtaget i sommerperioden.

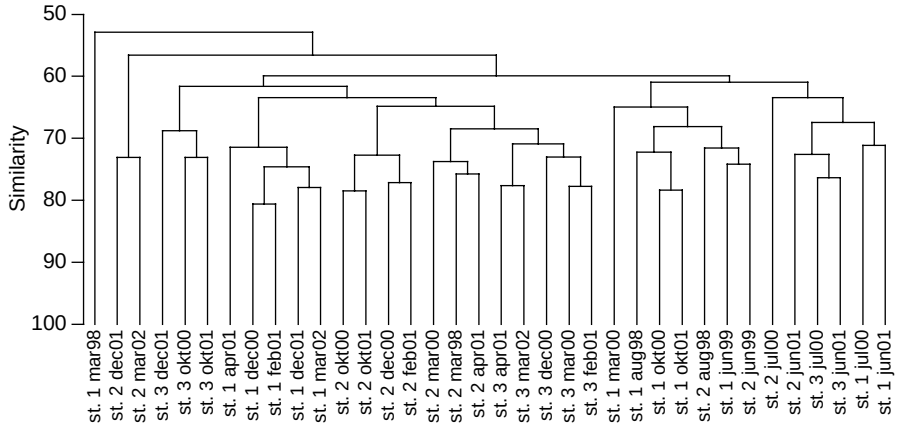


Fig. 10.2. Similaritetsanalyse af faunaprøver fra Døstrup Bæk. Ved analysen foretages en hierarkisk opdeling af prøverne. Ved hver opdeling dannes to separate grupper af prøver. Prøver der ligger tæt i figuren har større lighed i faunasammensætningen end prøver der ligger fjernt fra hinanden. Koderne for de enkelte prøver angiver station, måned og år.

Overordnet set viser de rent statistiske metoder således, at stationerne mere eller mindre kan adskilles på baggrund af deres faunasammensætning til trods for at de statistiske metoder ikke tager hensyn til at visse arter i faunaen (sensitive arter) har større informationsværdi end andre arter (tolerante arter). Ordinations og similaritets teknikkerne bekræfter således, at der er en reel forskel i smådyrfaunaens sammensætning og kvalitet mellem stationen opstrøms (station 1) og stationerne nedstrøms (station 2 og 3) for Døstrup Dambrug.

11 Diskussion, sammenfatning og perspektivering

11.1 Indledning

Denne rapport omhandler hovedresultater for Forsøgsprojekt Døstrup Dambrug fra den to årige måleperiode april 2000 til april 2002 samt en beskrivelse af projektets opstart inden måleperioden og af dambrugets indretning. Projektet har bestået af 4 faser. Fase 1 har omfattet anlæggelse og senere modificering af anlægget, modificering og udvidelse af projektplaner iht. Miljøklagenævnets godkendelse, opstilling og kalibrering af forsøgsopstillingen og senere modifikationer heraf. Fase 2 og 3 har omfattet de første 12 måneders drift af anlægget og gennemførelse af det tilhørende måleprogram og fase 4 tilsvarende det andet hele måleår. Fase 1 startede i august 1997 og fase 2 startede 5. april 2000, fase 3 startede i august 2000 mens fase 4 startede 5. april 2001 og varede frem indtil 3. april 2002. I fase 1 og efter udløbet af fase 4 har der været foretaget nogle vandføringsmålinger som også er medtaget i denne rapport.

Der rapporteres måleresultater fra et meget omfattende måleprogram under projektet. Heri indgår en indkøringsfase (fase 2), hvor oprensede plantelaguner først skulle vokse til med planter. Dette har medført at de første ca. 3 måneder af måleprogrammet for plantelagunernes vedkommende har haft andre betingelser end i de efterfølgende 21 måneder, hvilket medfører at resultater hvori der indgår målinger fra plantelagunerne er påvirket af de store variationer i udledningerne fra disse de tre første måneder af måleperioden. Det betyder også, som det understreges i tidligere rapporteringer fra projektet (*Svendsen et al., 2000* og *Fjorback et al., 2001*), at senere måleresultater kan vise sig at medføre justerede konklusioner i forhold til, hvad der konkluderes ud fra 1. års måleresultater.

Omfanget af måleresultater er så stort at en gennemgang af dem alle ligger udenfor projektet og denne rapport. Det omfattende datamateriale muliggør en lang række kombinationer af data som det ligger ud over projektet formål at belyse, men vi håber efterfølgende at kunne publicere yderligere fra projektet. Der er i rapporten fokuseret på formålene i projektet og de centrale problemstillinger som var baggrunden for projektet. Endvidere er der fokuseret på nogle af de spørgsmål og problemstillinger, der er kommet i forbindelse med det arbejde Dambrugsudvalget har foretaget og som Døstrup projektet har haft mulighed for at tilvejebringe dokumentation for (*Dambrugsudvalget, 2002* og *Bovbjerg Pedersen et al., 2003*). Tilvejebringelse af tilstrækkelig og videnskabelig baseret dokumentation af forskellige aspekter af dambrugsdrift har været en væsentlig problemstilling for mulighederne for dambrugserhvervets produktionsudvikling i mange år (*Danmarks Fiskeriundersøgelser, 1998*, *Grønborg & Frier, 2000* og *Dambrugsudvalget, 2002*). Denne rapport søger, baseret på et omfattende måleprogram, at fokusere på tilvejebringelse af noget af denne

dokumentation på følgende områder for et relativt lavteknologisk dambrug:

- fodring og vækst herunder foderkonvertering og foderudnyttelse, produktionsbidrag som dannelse af uorganiske affaldsstoffer
- effekten af aktiv slamfjernelse med slamkegler herunder effekten af tømningsfrekvens under forskellige produktionsforhold samt karakteristik af slam
- effekten af forskellig renseforanstaltninger som slamkegler, bundfældningsanlæg og forskellige typer af plantelaguner under forskellige produktionsforhold, herunder varierende foderforbrug og indtag af åvand og grundvand
- foderkvotienter, produktionsbidrag i tre sektioner for yngel, sættefisk og konsumfisk
- overholdelse af vejledende udlederkrav baseret på 52 puljede prøve pr. år
- udviklingen i opfyldelse af målsætningen i Døstrup Bæk.

Der har været lagt stor vægt på mange, omhyggelige målinger, stor datasikkerhed, hyppige tilsyn, systematisk backup af systemerne o.l. at have et datasæt af høj kvalitet og med få datahuller. Der ligger således et talmateriale der i sig selv dokumenterer en række forhold med en høj statistisk sikkerhed, og som kan anvendes som grundlag for modeller og ekstrapolation til andre dambrugsforhold end det, der er målt under.

Mange resultater er beskrevet på ugebasis, mens hovedresultaterne generelt er samlet for hele måleåret, for sommer- og vinterperioder samt for to perioder P1 og P2 på hver 46 uger, hvor foderforbruget har været henholdsvis 44,5 tons og 58,6 tons.

I dette kapitel opsummeres og diskuteres de væsentligste resultater og der er for nogle områder givet en perspektivering. Opsummering og diskussion er dels gentagelser fra de forudgående kapitler samt uddybninger og udbygninger, herunder kombination af nogle emner på tværs af kapitlerne. Endvidere er tilføjet nogle få ekstra resultater som ikke naturligt har passet ind i rapportens øvrige kapitler, som bl.a. BI_5-henfaldsforsøgene omtalt i afsnit 11.11. Der er kun i begrænset omfang refereret til andre undersøgelser da der ikke findes ret mange umiddelbart sammenlignelige undersøgelser. I *Danmarks Fiskeriundersøgelser (1998)* og *Grønborg og Frier (2000)* findes en status for eksisterende viden om effekten af renseforanstaltninger og relaterede emner.

11.2 Baggrundsoplysninger og -målinger

Dambruget indretning
Dambrugets indretning er beskrevet i kapitel 1.3 og vist i figur 1.1 og 1.2.

Dambruget kan beskrives som lavteknologisk, bestående af et produktionsanlæg i beton med i alt tre sektioner med henholdsvis yngel (opstrøms), sættefisk (midterste sektion) og konsumfisk (nedstrøms) med henholdsvis 40, 20 og 10 damme, der i nedstrøms afspærrede

kummeende har monteret slamkegler i bunden i hele damtværsnittet. Fra slamkeglerne ledes slammet over i slamdepoter i beton. Vandet indtages fra Døstrup Bæk og fra grundvandsboringer i forholdet ca. 3 til 1. Vandet recirkuleres i produktionsanlægget med mammutpumper og gravitation og bliver herved også beluftet. Fra produktionsanlægget løbet vandet gennem et bundfældningsbassin med støbt bund og sider beklædt med fliser, hvorefter vandet fordeles ligeligt til tre plantelagunesystemer bestående af gamle jordamme, der enten er serielt forbundne (7 damme kaldt vandløbssystemet) eller parallelt forbundne (kaldet søsystem 1 og 2 med hver 6 damme). Inden vandet fra afløbet af de tre plantelagunesystemer løber i Døstrup Bæk beluftes det i rislefiltre.

Måleprogram
Der udtages vandprøver til kemiske analyser hver time op til 15 steder på dambruget og tages yderligere vandprøver i op til 5 ekstra punkter. Vandprøverne er, efter at være blevet puljet (se kapitel 1.4), analyseret på et akkrediteret laboratorium for total kvælstof (TN), NO_{23}-N, NH_3-N+NH_4^+-N, total fosfor (TP), orthofosfat (PO_4-P), suspenderet stof (SS), glødetab samt BI_5 (let omsætteligt organisk stof) (tabel 1.3). Der måles ilt og temperatur kontinuerligt (dvs. hvert 10. minut) 13 steder, vandstand kontinuerligt 16 steder og måles og beregnes vandføringer 17 steder (tabel 1.2). Der er etableret stor datasikkerhed, da målinger af vandstand, ilt, vand og lufttemperatur, pH, vindhastighed, nedbør og relativ luftfugtighed lagres kontinuert på 5 dataloggere. Efterfølgende overføres data til en computer på dambruget hvert tiende minut og til Danmarks Miljøundersøgelser en gang i døgnet.

I en ni ugers periode er udfodring, tilvækst og forhold vedr. affaldsstoffer undersøgt intensiv i udvalgte kummer i produktionsanlægget.

Der opmåles dækningsgraden af planter i lagunen en gang om måneden. Endelig er der målt faunatilstand med Dansk Vandløbsfaunaindeks DVFI op og nedstrøms dambruget 8 gange pr. år.

Der er således indsamlet meget store datamængder under projektet.

Vandføring og vandindtag
Vandstand er registreret og vandføring målt i en række punkter for at have styr på vandmængderne alle relevante steder på dambruget, op- og nedstrøms dambruget i Døstrup Bæk samt fra grundvandsindtaget. Endvidere har der været så mange målepunkter at der generelt har kunnet sikres en uafhængig kontrol af de enkelte målepunkter ved resultater fra andre målepunkter. Der har været etableret gode måleprofiler for næste alle målepunkter.

Der er gjort en stor indsats for at få etableret gode sammenhænge mellem vandstand og vandføring på de mange målestationer, da præcise data for vandføring er afgørende for at kunne beregne stoftransporten ved stationerne med størst mulig sikkerhed. Stoftransporten anvendes når forskellige processer skal vurderes i de forskellige dele af produktionsanlægget og ved opstilling af massebalancer hen over de enkelte rensekomponenter og over hele dambruget. End-

videre anvendes vandføring i forbindelse med kontrol af de vejledende udlederkrav. Det er lykkedes at bestemme vandføringer og vandbalancer for alle målepunkter med så stor en præcision, at de generelt ligger indenfor en usikkerhed på ca. 7%, der alene betinges af en ret højt sat måleusikkerhed på 5% (*Rantz, 1982*) (se f.eks. figur 3.2). Usikkerheden på ca. 7% kommer fra vandstands- og vandføringsmålingerne samt vandføringsberegningerne (se kapitel 3). Det giver grundlag for en sikker bestemmelse af stoftransporten i de forskellige dele af dambruget.

Vandindtaget fra Døstrup Bæk til produktionsanlægget blev reduceret efter de første tre-fire måneders fra knap 100 l s^{-1} til 70-80 l s^{-1}. I gennemsnit er der taget 31% af vandføringen i Døstrup Bæk (min. 11% og max. 59%) svarende til 76 l s^{-1} (figur 3.1). DMU har på baggrund af fire års målinger i Døstrup Bæk og en korrelation til Simested Å beregnet at medianminimum er 149 l s^{-1} hvilket er noget højere end de 80 l s^{-1}, der er anvendt i den midlertidige miljøgodkendelse. Der er oppumpet 26 ± 2 l s^{-1} (min. 22 og max 38 l s^{-1}) grundvand til produktionen, hvor det tilladte indtag er 27 l s^{-1}. Der er derfor i gennemsnit anvendt 103 l s^{-1} til produktionen.

Flow i produktionsanlæg, opholdstider og recirkulering
Flowet i produktionsanlægget har i sektion 1 (yngel) været 164 ± 31 l s^{-1} svarende til en recirkulering på i gennemsnit 37 (recirkulering er defineret i ordlisten, se bilag 6). For sektion 2 har flowet i gennemsnit været 188 ± 19 l s^{-1} (recirkulering 45) og sektion 3 (konsumfisk) har et flow på i gennemsnit 169 ± 35 l s^{-1} (recirkulering 39). Således er mellem 37 og 45% af vandet i hver sektion i gennemsnit blevet recirkuleret, mens recirkuleringen for hele produktionsanlægget i gennemsnit for den to årige måleperiode har været 80%. Dambruget har potentiale for at øge recirkuleringen, hvilket dog vil koste et øget energiforbrug.

Vandflowet har været større end nødvendigt for at forsyne fiskene med ilt idet pumpeeffekten ikke rent teknisk har kunnet skrues længere ned.

Den samlede opholdstid i dambruget er beregnet til 13 timer og 9 minutter ± 2 timer 35 minutter. Den relative store variation skyldes at der er i løbet af de to års er sket en reduktion i vandindtaget og en øget recirkulering, og at der i forbindelse med medicinering eller iltforsyning i kortere perioder har måtte reguleres kraftigt på recirkuleringen. Endvidere er opholdstiden i de tre plantelaguner ikke den samme, idet vandløbssystemets opholdstid er 7 timer og 30 minutter ± 1 timer og 10 minutter, mens den i søsystem 1 og 2 er henholdsvis 10 timer og 11 minutter ± 1 timer og 21 minutter og 11 timer og 51 minutter ± 1 timer og 52 minutter. Opholdstiden i selve produktionsanlægget inklusiv belufteranlægget er 2 timer og 38 minutter ± 10 minutter således at vandet i gennemsnit i knap 90% af tiden på dambruget opholder sig i plantelagunerne. Det betyder for de processer hvor tiden en vigtig i forhold til fjernelse/omsætning af stoffer på dambruget, vil plantelagunerne have afgørende betydning.

Inden Døstrup Dambrug blev ombygget fra et anlæg med jorddamme til et betonanlæg blev alt vand taget ind fra Døstrup Bæk på dambruget til fiskeproduktionen. Der er derfor blevet mere frivand idet vandindtaget til dambruget i de to måleår i gennemsnit kun har udgjort 76 l s^{-1} svarende til 31 % af Døstrup Bæks vandføring i perioden (min. 11% og max. 59 %).

11.3 Produktion, energiforbrug, foder, medicin og hjælpestoffer

Foderforbrug, produktion, foderkoefficienter
Produktionen har været tilrettelagt som foreskrevet i miljøgodkendelsen idet 60% af det samlede tilladte foderforbrug på 50 tons er anvendt i sommerhalvåret (april til og med september) og resten i den anden halvdel af året. I det første måleår var det tilladte foderforbrug 50 tons, mens det årlige foderforbrug fra slutningen af juni 2001 blev ændret til 74 tons. I det første måleår (april 2000 til april 2001) er der anvendt godt 51 tons foder og andet år (april 2001 til april 2002) er der anvendt godt 63 tons foder. De resulterende biologiske foderkvotienter for de to måleår har været 0,844 for sektion 1 (yngel), 0,827 for sektion 2 (sættefisk) og 0,875 for sektion 3 (konsumfisk) (tabel 2.3). Foderkoefficienten var lidt lavere i år 2, hvor den gennemsnitlige tæthed også har været næsten 50% større, dog således at der i måleår 2 er lavere tætheder i yngelsektionen men væsentligt større tætheder (op til 47 kg m^3) i sætte- og konsumfisksektionerne.

Døde fisk, som udgør 3,2% i det første måleår af den samlede produktion, er medtaget ved beregning af foderkoefficient. I det andet måleår udgør døde fisk 1,4%. Det har været et ønske at tilnærme forsøgsvilkårene mest muligt til en normal driftssituation, hvilket har indvirket på sammensætningen af den stående bestand på dambruget, og hvordan fiskene er blevet håndteret. Ikke alle indsatte fisk i sektion 1 er produceret til konsumstørrelse på dambruget, idet nogle er flyttet til andre af forsøgsværtens dambrug. Det kan derfor være vanskeligt at sammenligne den procentuelle dødelighed med erfaringstal fra andre dambrug. Det kan dog antages at under normale driftsforhold vil den procentuelle dødelighed på traditionelle dambrug for fisk i samme størrelse være omkring 5-7,5% gennem et produktionsflow fra 10-350 g/stk. Der vil dog være store variationer mellem de enkelte dambrug.

For de større fisk tale er det en pæn foderkoefficient, idet der i gennemsnit i Danmark i 2001 (det seneste år der findes en opgørelse for) har været en foderkvotient på ca. 0,953. Kravene i den midlertidige Miljøgodkendelse til foderkoefficient for sættefisk på <0,85 og konsumfisk på <0,9 er opfyldt, men ikke for yngel, hvor kravet til foderkvotienten er 0,7 (tabel 2.3). Dette er primært begrundet af at fiskene i yngelsektionen har været noget større end forudsat i den midlertidige miljøgodkendelse.

Gennemsnitstætheden har været knap 23 kg pr. m^3 over den 2 årige periode men har i år 2 i sektion 2 (sættefisk) i gennemsnit været 47,3 kg per m^3. For at anvende produktionsanlægget optimalt bl.a. i for-

hold til renseforanstaltningerne og tilnærme en normal driftssituation har det været nødvendigt ikke at have alle kummerne i produktionsanlægget i brug samtidigt.

Såvel foderkvotienter, mængde af døde fisk og energiforbruget viser at der i det andet måleår sker en driftsoptimering. Der er et mindre vandindtag fra Døstrup Bæk og foderforbruget er øget. Der produceres flere sætte- og konsumfisk men en uændret mængde yngel. Stabile interne miljøforhold på dambruget kombineret med stringent opsamling af driftsdata, der dagligt er overført til dambrugets driftsstyringsprogram, har muliggjort en løbende optimering af den daglige drift.

Den højeste bestandstæthed i de enkelte sektioner er i begge driftsår sammenfaldende med perioder med moderat vandtemperatur. Beluftningskapaciteten og dermed tilførslen af ilt via mammutpumperne har ikke på noget tidspunkt være begrænsende for den stående bestand og foderforbrugets størrelse.

Betragtes kapselblæsernes kapacitet og den løbende logning af temperatur og iltmængde og estimeres fiskenes iltforbrug ved en given temperatur, størrelse og foderniveau ud fra *Rasmussen & From (1991)*, har tilførslen af ilt ikke været begrænsende for den stående bestand eller foderforbrugets størrelse. Selv ved gennemsnitstemperaturer på op til 15 °C vil en stående bestand på 50-60 t ikke være begrænset af ilttilførslen. Forudsætning er dog en bestandssammensætning som under forsøgsperioden.

Hvis beluftningskapaciteten og recirkulering udnyttes fuldt ud viser erfaringen fra forsøgsperioden sammen med beregninger af fiskenes iltforbrug efter *Rasmussen & From (1991)*, hvis der anvendes gennemsnitsstørrelsen af fiskene i den stående bestand, at den maksimale stående bestand i produktionsanlægget som minimum kunne være ca. 53 tons fisk uden negativ påvirkning af vækst og foderkoefficient. Såfremt produktionsanlæggets kapacitet skulle udnyttes fuldt ud ville den optimal sammensætning af fiskebestanden have en større gennemsnitsvægt. Dette ville reducere den stående bestands iltforbrug så den maksimale stående bestand kunne være større end som angivet ovenfor. Sammenholdt med den beregnede omsætningshastighed for sektion 1, 2, og 3 på i gennemsnit 2,94 for de to måleår vil den reelle produktionskapacitet på anlægget minimum være ca. 155 tons. Med den opnåede foderkvotient for det samlede anlæg vil dette medføre et foderforbrug på 155 t fisk år * 0,847 = 132 t $år^{-1}$.

Bestandens størrelse i de enkelte sektioner er løbende blevet tilpasset de aktuelle klimatiske forhold med henblik på at sikre en optimal indfodring, under hensyntagen til vilkår i miljøgodkendelsen om en foderfordelingen mellem sommer og vinter halvåret på 60/40 %. Bestanden afspejler således ikke nødvendigvis den optimale produktionssammensætning såfremt produktionen skulle være optimeret.

Vandflowet i de enkelte sektioner er blevet justeret i forhold til bestandens størrelse og det aktuelle iltforbrug. I 2000 blev der produceret 335 kg ørred pr. liter pr. sekund på danske dambrug (*Danmarks Fi-*

skeriundersøgelser, 2002). På Døstrup Dambrug er der i 2. måleår produceret 738 kg ørred pr. liter pr. sekund indtaget åvand og grundvand eller 425 kg ørred pr. liter pr. sekund vandflow i de enkelte sektioner i produktionsanlægget.

Energiforbrug
Energiforbruget er opgjort til 2,28 kW per kilo produceret fisk det første år og tilsvarende 1,9 kW det andet år. I traditionelle standard dambrugsanlæg i Danmark er energiforbruget ved 50 tons og 100 tons henholdsvis 40.000 og 80.000 kW (*Dambrugsudvalget, 2002*), dvs. 0,8 kW pr. kg fisk. Døstrup Dambrug er atypisk i forhold til et standardanlæg da mammutpumperne bruger meget energi.

Ved en fuld udnyttelse af produktionskapaciteten estimeres det ud fra driftserfaringerne, at energiforbruget til kapselblæseren vil stige med ca. 45–50 %, således at det basale energiforbrug ved fuld udnyttelse vil andrage :

Kapselblæser	190.530 kWh
Pumpe til omfangsdræn	13.140 kWh
Total	203.670 kWh

Ved en produktion på 155.000 kg fisk vil energiforbruget pr. kg fisk andrage 1,31 kWh, dvs. godt 30% lavere end opnået under projektet.

Døstrup Dambrug er opbygget som et forsøgsanlæg, hvor det primære sigte ikke har været at gøre anlægget så energieffektivt som muligt, men at skabe de bedst mulige forsøgsvilkår.

Foder
De faktuelle oplysninger om foderets indhold af forskellige stoffer fremgår af kapitel 2, tabel 2.4 i denne rapport. Fra måleår 1 til måleår 2 er der sket en væsentlig ændring i hvilket foder der er anvendt. Den dominerede fodertype i måleår 1 er Dana Feed 30/45 med blodmel (godt 27 tons ud af i alt 51 tons). I måleår 2 er primært anvendt Dana Feed 30/44 uden blodmel (57 tons ud af godt 65 tons) og med et gennemsnitligt lavere indhold i vægtprocent af både kvælstof og fosfor.

I en periode af det første måleår indholder foderet mere fosfor end deklareret på pakkerne. Det forekommer i nogle måneder efter, at der ikke længere måtte anvendes blodmel i foderet. Fiskene kan ikke optage dette højere fosforindhold, der altså ses som et øget fosfortab fra fiskeproduktionen. Det bemærkes også fra tabel 2.4 at det gennemsnitlige fosforindhold i foderet i 1. måleår var 1,16 % mod 1,05% i det andet måleår 2. Dette skyldes således ikke alene brug af andre fodertyper.

Det er vigtigt for projektets faglige resultater, at der anvendes så få fodertyper som muligt. Der er anvendt standardfoder fra én anerkendt leverandør Dana Feed, som har ladet et uafhængigt laboratorium udtage og analysere prøver af hver leverance. Det har som nævnt efterfølgende vist sig at det faktiske indhold af fosfor i en kortere periode i 2000 overstiger det deklarerede indhold, men dog ligger inden for de ret vide tolerancer, som er tilladt i henhold til gældende regler

for dyrefoder. Der er på det foreliggende grundlag ikke belæg for at antage, at det anvendte foder ikke er repræsentativt for ørredfoder anvendt generelt her i landet. Der er heller ikke belæg for at antage, at de fosforrelaterede resultater ikke skulle være anvendelige som vejledende værdier i andre relevante sammenhænge selv om foderet i en kortere periode har indeholdt mere fosfor end deklaret, og dermed har kunnet påvirket nogle af resultaterne.

Medicin og hjælpestoffer
Der er udelukkende udsat vaccinerede fisk i produktionsanlægget jvf. vilkår i den midlertidige Miljøgodkendelse. Der har generelt været meget lidt sygdom i måleperioden, mest i det første måleår. Det har været nødvendigt at behandle yngel- og sættefisksektionerne for rødmundssyge (ERM) som der vaccineres mod. I yngelsektionen (sektion 1) er der to gange behandlet for yngel dødelighedssyndrom (YDS) som der ikke kan vaccineres mod. Der er i alle tre sektioner blevet behandlet for hudsnyltere og bakteriel gælleinfektion. Det samlede forbrug af medicin og hjælpestoffer fremgår af tabel 2.6 og 2.7.

Der er anvendt branzil, florfenicol, kloramin-T, formalin 24% og detarox. I perioden fra september 2001 til april 2002 har der ikke været anvendt medicin og hjælpestoffer. Det er ikke umiddelbart muligt at foretage en sammenligning i forhold til andre dambrug, da en lang række forhold, både interne og eksterne, spiller ind i forhold til sygdomsfrekvenser.

11.4 Udfodring, tilvækst, producerede affaldsstoffer

Resultater
Udfodring, tilvækst og forhold vedrørende affaldsstoffer i de tre kummesektioner er undersøgt særlig intensivt i perioden 4. oktober – 5. december 2001. Resultater vedrørende fodring og tilvækst generelt er behandlet i kapitel 5 sammen med forhold vedrørende de uorganiske affaldsstoffer (kvælstof og fosfor). Den mere komplicerede omsætning af organisk stof i produktionsafsnittet behandles i kapitel 6 under anvendelse af vækstmodeller. Resultaterne vedrørende slamhåndtering gennemgås i kapitel 7.

Tilvæksten i betonkummerne, opgjort ud fra opvejninger i den intensive periode, resulterede i foderkvotienter under 0,8 hos små fisk og 0,85 hos større fisk. På årsbasis er foderkvotienterne 0,83-0,87 hvilket også svarer til hvad der opnås i den samlede 2 årige måleperiode på Døstrup Dambrug.

Kvælstofudnyttelsen (total kvælstof indbygget i tilvæksten) har været 39-44% af kvælstof tilført med foderet. Fosforudnyttelsen har været 40% hos de mindste fisk, hvor foderet har haft et større fosforindhold, og 58% hos større fisk.

For produktionsafsnittet i sin helhed er produktionsbidraget (den ikke udnyttede andel) med kvælstof på 57%. 6-7% af produktionsbidraget er blevet tilbageholdt i slamfælderne, således at opdrætsbidraget (nettobelastning ud af produktionsafsnittet) har været 40 g

kvælstof pr. kg. foder. Fosforregnskabet viser et produktionsbidrag på 52%, hvor ca. 27% af produktionsbidraget er blevet tilbageholdt i slamfælderne, hvorved opdrætsbidraget bliver på 4,3 g fosfor pr. kg foder.

Ca. 40% af foderets energi er blevet udnyttet som tilvækst hos de mindste fisk, stigende til 48% hos større fisk. Under 10% af foderets energi er gået tabt som bundfældelige fækalier, hvoraf 50-78% er tilbageholdt i slamfælderne.

Energitabet i form af ikke-bundfældeligt organisk stof er ikke direkte målbart under praktisk dambrugsdrift. Tabet kan beregnes ved forskellige metoder. Den metode, der i størst grad bygger på data fra projektet, viser, at knap 20 % af det indfodrede organiske stof afgives som ikke-bundfældeligt materiale hos de mindste fisk, faldende til omkring 13-14 % hos de større fisk. Denne afhængighed af størrelse er også kendt fra de eksisterende vækstmodeller for regnbueørred (*From & Rasmussen, 1984; Rasmussen & From, 1991*).

Ud fra massebalancer for organisk stof er det påvist, at egenomsætning (stof-nedbrydning i produktionsafsnittet) fjerner betydelige mængder af det ikke-bundfældelige organiske stof, idet vandets opholdstid er en nøglefaktor herfor. Med den anvendte recirkuleringsgrad på ca. 82%, beregnet for produktionsafsnittet i sin helhed, er den totale opholdstid i kummeanlægget ca. 3 timer, hvorved egenomsætningen fjernede en stofmængde svarende til næsten 80% af de ikke-bundfældelige fækalier.

Det er testet om de eksisterende vækstmodeller for regnbueørred kan beregne tilvæksten korrekt i den intensive undersøgelsesperiode, hvor modellernes input i form af temperaturer, fodertildeling og fiskenes størrelse ved periodens start har været kendt. Under disse ens modelleringsbetingelser er der væsentlig indbyrdes forskel mellem de to modeller. Den faktiske tilvækst i COD- (energi-) enheder er fra 12% (små fisk) til 40% (store fisk) større end forudsagt af den model, der bedst passer til nutidens fodertyper, mens tilvæksten målt i kvælstof (= protein) er fra 30% (små fisk) til 16% (store fisk) mindre end i modellen. Dette er i god overensstemmelse med det forhold, at ikke kun foderets energiindhold er styrende for henholdsvis tilvækst i fedt- og reduktion i fiskens vandindhold. Konkret har man fundet, at regnbueørred fodret med en fedtrig fodertype (31 %) havde 17% højere fedtindhold end fisk tildelt et slankere foder (20%). Dette var til trods for, at de førstnævnte kun havde 7% højere energiindtagelse end fiskene fodret med det slankere foder (*Ramussen et al., 2000*).

11.5 Perspektiver fra den intensive undersøgelse vedr. udfodring, tilvækst og slamhåndtering

Metodevalg ved beregning af produktions- og opdrætsbidrag
Det er påvist (tabel 5.16), at beregning af opdrætsbidrag for kvælstof og fosfor er meget usikker, når den baseres på kemisk analyse af ind- og udløbsvand hen over enkeltkummer. Beregninger baseret på foder og tilvækst synes mere pålidelige, forudsat at de bygger på konkrete

analyser af foder og dambrugets egne fisk, samt gode data for tilvæksten. Det skal i denne sammenhæng påpeges, at forholdet mellem kvælstof (protein), fedt og vand i fisk fra Døstrup Dambrug var væsentligt anderledes end forventet ud fra eksisterende vækstmodeller. Det er både fra naturen og fra vækstforsøg med adskillige fiskearter kendt, at foderets protein/fedt forhold (*Rasmussen, 2001*) og fodernivеauet (*Andersen & Riis-Vestergaard, 2003*) er vigtigt for protein-fedt forholdet i tilvæksten, og at årstiden kan have en kraftig indflydelse (*Eliassen & Vahl, 1982; Smith et al., 1990*). Forskydninger i fiskens protein/fedt forhold vil også give forskydninger i dens fosforindhold. Disse faktorer indikerer dels, at massebalancer for individuelle dambrug bør bygge på analyser af dambrugets egne fisk, dels at man til f.eks. landsdækkende overslagsberegninger bør gennemføre et bredere analyseprogram for regnbueørred opdrættet på nutidens ekstruderede fodertyper.

Optimering af selvrensningseffekten i produktionsafsnittet
Massebalancen for organisk stof i produktionsafsnittet viste, at egenomsætning fjernede knap 80% af produktionsbidraget med opløst organisk stof under betingelser, hvor vandets opholdstid var ca. 3 timer, svarende til ca. 82% recirkulering, beregnet for produktionsafsnittet i sin helhed. Egenomsætningens størrelse styres af et komplekst sampil af mange faktorer, så udfaldet af en optimeringsproces er vanskeligt at forudsige. Der er dog mulighed for (jfr. kapitel 6 figur 6.6), at produktionsafsnittet kan gøres næsten udledningsneutralt mht. opløst organisk stof ved at øge opholdstiden til 4-5 timer.

Optimering af slamhåndteringen i produktionsafsnittet
Hovedresultaterne fra produktionsafsnittet stammer fra en særligt intensiv undersøgelsesperiode, hvor driftsbetingelserne lå fast. En optimeringsproces, hvorunder der systematisk ændres på driftsbetingelserne, har ikke været inkluderet i projektet. De opnåede resultater indikerer klart, at der er gode muligheder for at optimere driften af produktionsafsnittet i retning af at minimere miljøbelastningen ved en proces, hvor man dels registrerer, hvordan belastninger ændrer sig når betingelserne ændres, dels søger at analysere de processer, der er årsag til ændringerne.

I den intensive undersøgelsesperiode blev slamfælder tømt tirsdag og torsdag. Det er påvist, at stofakkumuleringen pr. dag falder kraftigt, når der er 5 dage mellem tømninger, sammenlignet med to dage. Fem døgn mellem tømning af slamfælderne reducerede akkumulering pr. døgn med fra 8% (total kvælstof (TN), sektion 3) til 46% (total fosfor (TP), sektion 1) sammenlignet med 2 døgn mellem tømninger (tabel 7.3). Det er også påvist både for den intensive periode og på årsbasis, at overskudsvandet, som afdrænes fra slamdepoter, indeholder væsentlige andele af det fosfor og kvælstof, som i første omgang blev pumpet til slamdepoterne fra slamfælderne. På Døstrup Dambrug, ligesom på mange andre dambrug, føres overskudsvandet tilbage til vandstrømmen neden for produktionsafsnittet, hvilket er uheldigt, da plantelaguner, biofiltre, mikrosigter og andre almindeligt anvendte renseforanstaltninger har begrænset effekt på opløst kvælstof og fosfor. En minimering af vandforbruget ved tømning af slamfælder vil derfor bidrage til en miljømæssig optimering af driften, om muligt

kombineret med udsprinkling af overskudsvandet på grønne arealer, der kan udnytte fosfor og kvælstof. Dette var også oprindeligt planlagt som en del af projektet men blev fjernet i forbindelse med den midlertidige miljøgodkendelse.

Tømning af fælderne konstant hver anden dag vil beregningsmæssigt øge bruttotilførselen til slamdepoterne; mindst for TN (5-10 %) fordi tilbageholdelsen af TN kun reduceres lidt ved lange intervaller mellem tømninger; mest for TP (25-46 %) fordi tilbageholdelsen hér er mest påvirket af tømningsintervallet.

Ved uændret pumpeprocedure vil den større mængde afdræningsvand imidlertid modvirke forbedringen. Med uændrede stofkoncentrationer i afdræningsvandet viser beregninger, at tømning hver anden dag faktisk formindsker mængden af TN, som netto forbliver i slamdepoterne efter afdræning, med op til 30 %, mens der for de øvrige stoffer er en positiv effekt alene i kraft af hyppigere tømning (tabel 11.1, scenario 2). For TP er der op til 40 % forbedring, fordi denne parameter viser størst nedgang ved at ligge længere i slamfælderne.

Tabel 11.1. Optimering af slamfældetømning: Beregnet netto tilbageholdelse af stof i slamdepoter i % af det, der blev opnået under projektet.
Scenario 1: Det faktisk anvendte i intensivperioden: Slamfælder tømt hver tirsdag og torsdag med et vandforbrug på ca. 5 m^3.
Scenario 2: Forventet resultat ved tømning af slamfælder hver anden dag med uændret vandforbrug pr. gang.
Scenario 3: Forventet resultat ved tømning af slamfælder hver anden dag, vandforbrug nedsat med 25 % pr. gang.
Scenario 4: Forventet resultat ved tømning af slamfælder hver anden dag, vandforbrug nedsat med 50 % pr. gang.
I alle scenarier er antaget, at stofkoncentrationer i det afdrænede overskudsvand fra slamdepoter er som under projektet.

Depot for sektion 1	TN	TP	Tørstof	Organisk Tørstof	BI_5
Scenario 1	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Scenario 2	98 %	140 %	140 %	135 %	126 %
Scenario 3	115 %	150 %	141 %	137 %	129 %
Scenario 4	132 %	161 %	142 %	139 %	133 %

Depot for sektion 2	TN	TP	Tørstof	Organisk Tørstof	BI_5
Scenario 1	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Scenario 2	82 %	127 %	131 %	124 %	123 %
Scenario 3	106 %	140 %	133 %	127 %	127 %
Scenario 4	131 %	152 %	134 %	129 %	130 %

Depot for sektion 3	TN	TP	Tørstof	Organisk Tørstof	BI_5
Scenario 1	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Scenario 2	70 %	109 %	124 %	119 %	107 %
Scenario 3	97 %	119 %	125 %	121 %	111 %
Scenario 4	124 %	129 %	127 %	124 %	114 %

Imidlertid er det tilstrækkeligt at reducere den oppumpede vandmængde med 25% pr. gang for at opnå en optimering også for TN, og en halvering af vandmængderne vil resultere i et netto-forbedring på mere end 24% for TN og op til 61% for TP, de to stoffer, som dambrugets efterfølgende renseforanstaltninger er mindst effektive overfor (tabel 11.1, scenario 3 og 4). Reduktion af vandmængden er af mindre betydning for tørstof, organisk stof og BI_5, som kun findes i lave koncentrationer i det afdrænede vand (tabel 7.5), og som plantelaguner og lignende indretninger med biologisk aktivitet i øvrigt er gode til at reducere.

Det er sandsynligt, at vandmængden til tømning af slamfælderne kan reduceres væsentligt i forbindelse med et ændret design af slamfælderne. Den faktisk anvendte pumpeprocedure var tilrettelagt efter, at alt stof i slamfælderne skulle føres til slamdepotet ved hver tømning, bl.a. for at der kunne udtages repræsentative prøver af slammet. Det vigtigste for en miljømæssig optimering i forhold til proceduren under projektet må være, at stof akkumuleret i slamfælderne ikke kan tilbageføres til vandstrømmen ud af kummeanlægget, og at tilbageføring af stof fra slamdepoterne minimeres.

Mindre end to døgn mellem tømning af slamfælderne vil efter al sandsynlighed også have en optimerende effekt, så alt i alt vil en omhyggelig optimering kunne give en forbedring i tilbageholdelse af stof i slamdepoter. Det skal her tages i betragtning, at hyppigere tømninger har MINDST betydning for TN, MEST betydning for tørstof, organisk stof og BI_5, mens minimering af vandforbruget ved tømning har MEST betydning for TN, MINDST for tørstof, organisk stof og BI_5. TP forholder sig derimellem. Alt efter lokale forhold kan udsprinkling af det afdrænede vand på grønne arealer ligeledes bidrage til miljøoptimeringen.

11.6 Plantelaguner: dækningsgrad og biomasse

De tre sektioner af plantelaguner, hvor en af sektionerne er udformet som et vandløbssystem og de to andre som serielt forbundne søer, blev umiddelbart før starten af fase 2, dvs. i ultimo marts 2000, oprenset jævnfør vilkår i den midlertidig miljøgodkendelse. Plantelagunerne fremstår derfor fuldstændigt nøgne uden vegetation ved starten af det første måleår (se foto 8.1 i kapitel 8). I de oprensede plantelaguner blev der efterfølgende konstateret en kraftig opblomstring af trådlager, der i større eller mindre totter drev ud af lagunerne (se foto 8.2 i kapitel 8). Lagunerne fungerede i perioden efter oprensningen derfor som netto producenter af bl.a. BI_5, og de har i denne periode ikke virket efter hensigten.

Dækningsgrader og plantearter
I løbet af juni og starten af juli 2000 etableres en stadig større biomasse af planter (Brøndkarse og Andemad) som siden har været de dominerende arter (foto 8.5-8.7 i kapitel 8). Der er er fundet i alt 24 plantearter i lagunerne, men hvor trådalger klart dominerer i begyndelsen af måleperioden med dækningsgrader på 50-100%, så har det været Brøndkarse og Andemad, der har været de helt dominerende planter fra juli 2000 både som dækningsgrad og biomasse. Brøndkar-

se og Andemad udviser sæsonvariation med størst dækning i sensommeren og efteråret (tilsammen over 100%), mens kraftig frost har betydet at dækningsgraden reduceres kraftigt i løbet af vinteren. Den første vinter (2000/2001) sker dette sent, da den første nattefrost først indtræffer så sent som midt i december 2000. Brøndkarsen har derfor favorable betingelser for at forblive længe i plantelagunerne, og den reduceres først kraftigt i februar/marts 2001. Da Brøndkarsen har etableret et rodnet i plantelagunerne vil den hurtigere kunne vokse frem det følgende år og registreringer fra foråret 2001 viser, at der ikke er trådalger af nævneværdigt omfang i plantelagunerne, da de andre plantearter når at vokse frem før trådalger får lejlighed til at etablere sig. Brøndkarsen kan få en tidlig start fra rodskud og fordi den overlever (i mindre omfang) langs lagunernes sider og i bunden af lagunerne. I vandløbssystemet formår Brøndkarsen i et vist omfang at være tilstede også om vinteren med en 10-12% dækning fordi der her ikke i samme grad er dannet is på vandoverfladen grundet lidt højere vandhastigheder. De to søsystemer er sent på vinteren og tidligt på foråret stort set uden vegetation (se foto 8.4 i kapitel 8).

Om foråret øges dækningsgraden med Andemad hurtigst især i søsystemerne hvilket tilskrives at vandbevægelsen er lav så disse ikke rodfæstede planter undgår at drifte ud af søsystemerne i større omfang.

Planter og stofomsætning/-optagelse
Planterne danner overflade for en biofilm, hvorpå organismer omsætter BI_5 under forbrug af ilt, men hvor der også sker en optagelse og/eller omsætning af uorganiske kvælstof- og fosforkomponenter. Endvidere vil vandhastigheden imellem planterne og omkring disse være reduceret, så der sker en aflejring af partikler mellem planternes stængler og blade og på bunden af plantelagunerne. Herudover sker der en omsætning af BI_5 i vandfasen som er meget afhængig af opholdstiden (se afsnit 11.4 og 11.11). Opholdstiden i plantelagunerne har i gennemsnit været fra 7 timer og 30 minutter i vandløbssystemet til i gennemsnit mellem 10 timer og 11 minutter i søsystem 1 og 11 timer og 51 minutter i søsystem 2, hvilket tilsyneladende danner basis for en ret stor omsætning af BI_5,. Forsøg fra Døstrup Dambrug viser at op til 75% af BI_5 i vandfasen på dambruget kan omsættes indenfor ca. 10 timer, hvis vandtemperaturen er høj og der er ilt nok tilstede (se afsnit 11.11). Målinger i efteråret 2001 af iltforholdene gennem plantelagunerne viser, at hovedparten af ilten bruges i den opstrøms tredjedel af disse, så iltniveauet er lavt (< 2 mgl/l) i det meste af plantelagunerne. Hvis der blev tilsat ilt i plantelagunerne forventes dette at kunne øge omsætningen af BI_5.

I plantelagunerne vil der også foregå en denitrifikation i bunden af dammene i sedimentet og slammet og en vis ammoniakomsætning i vandfasen.

Plantebiomasse og næringsstofoptag
Det har ikke været hensigten med projektet at kvantificere de forskellige omsætnings-, sedimentations- og optagelsesprocesser i plantelagunerne men alene at komme med et samlet tal for tilbageholdelsen i disse som et nettotal over en periode (uge, måned, sommer,

vinter, år). Målingerne i plantelagunerne muliggør yderligere bearbejdninger af data, men for at kortlægge betydning af de forskellige processer kræves flere målrettede undersøgelser mod disse.

Der kan dog gives et bud på betydningen af planternes optagelse af kvælstof og fosfor til opbygning af biomasse. Brøndkarse når i sensommeren og efteråret op på en biomasse på ca. 500-600 g tørvægt pr. m^2 mens Andemad når op til 80-120 g per m^2 (figur 8.2). Ud fra målinger af indholdet af kvælstof og fosfor i Brøndkarse og Andemad svarer denne biomasse til at der er op til ca. 35 g N og 6 g P pr. m^2 indbygget i biomassen i sensommeren. Dette betyder at der i de tre lagunesystemer tilsammen er bundet op til ca. 175 kg kvælstof og ca. 30 i kg fosfor i plantebiomassen. Dette kan anvendes som et mål for hvor stor en andel af den målte tilbageholdelse i plantelagunerne, der kan tilskrives optagelse i planterne. Gennem sommeren og efteråret hvor plantebiomassen tilsyneladende er næsten konstant i plantelagunerne er der både en tilvækst og et tab af biomasse. Nogle af plantedelene drifter ud af plantelagunerne mens andet bundfældes i disse, hvor næringsstofferne akkumuleres på bunden, hvor de forbliver i en kortere eller længere periode. Hvor stor dette henfald og tilsvarende opbygningen af biomasse er har det ikke været et formål at kvantificere, og derfor har vi ikke et tal herfor, men med de aktuelle plantearter vurderes betydning af være beskeden ift. den stående biomasse.

Det er således kun i perioden april – august at opbygning af plantebiomassen har betydning for tilbageholdelse og i vinterhalvåret kan planterne netto bidrage til udledninger, hvis henfaldene planter ikke samles op (det blev de generelt i Døstrup projektet). Samlet set har optag i planter ikke nogen større betydning for den samlede tilbageholdelse af kvælstof i plantelagunerne (under 10%), men har udgjort op til ca. 30% af fosfortilbageholdelsen i disse (se afsnit 11.10).

Perspektivering
Hvis det er muligt uden en større ophvirvling af slam i plantelagunerne vil en afhøstning og fjernelse af en del af plantematerialet (over vandoverfladen) i sommerens løb fra fuldt tilgroede laguner kunne bidrage til at optimere lagunernes tilbageholdelse af især fosfor, men udarbejdelse af driftsvejledning og driftsoptimering for plantelaguner ligger uden for dette projekts rammer.

Såfremt der gennem indvandring eller kunstigt etableres overvintrende planter vil det medvirke til at lagunernes potentiale for tilbageholdelse og omsætning af næringsstoffer og BI_5 vil kunne øges om vinteren/det tidligere forår. Kunstige planter vil dog naturligvis ikke bidrage til optagelse af næringsstoffer men danne overflade for biofilm og skabe læ imellem "stængler, blade og rødder".

Det har ikke været nødvendigt i måleperioden at oprense plantelagunerne. Hovedparten af planterne i lagunerne er henfaldet i løbet af vinteren, så det ikke har været nødvendigt at opsamle andet end nogle flydende planterester. Det har primært været Andemad og trådalger, der er drevet ud af plantelagunerne og endt i Døstrup Bæk, mens Brøndkarsen er blevet aflejret i bunden af plantelagunerne. Der

er iagttaget nogle mørkere slamaflejringer på de første meter opstrøms i plantelagunerne, og der ligger noget meget letophvirveligt materiale på bunden af lagunerne, når man går i dem. Det har ikke kunnet vurderes, hvor ofte der bør ske en oprensning af plantelagunerne. En sådan oprensning vil naturligvis reducere lagunernes tilbageholdelsesevne for i hvert fald nogle stoffer i en periode. Såfremt planternes rodnet ikke beskadiges væsentligt og oprensningen ikke sker for hårdhændet vil et plantedække dog hurtigt kunne genetableres uden at trådalger kommer til at dominere. På Døstrup Dambrug et det planlagt at lave en slags mobil slamstøvsuger, der kan suge slamaflejringer op uden at ødelægge for mange af planterne.

I forhold til biomasse og optagelse af næringsstoffer er to års målinger for kort tid til at generalisere ud fra. Vi har ikke set effekten af en isvinter eller hvordan en anden artssammensætning af planter kan påvirke vækstdynamikken og påvirke optagelse/tilbageholdelse/omsætning af stoffer (mere herom senere). Resultaterne peger på at større vandbevægelse favoriserer Brøndkarse ift. Andenmad (vandløbssystem) og om vinteren betyder større vandbevægelse at plantelagunerne kan have en større mængde Brøndkarse i kolde perioder. Omvendt vil større vandhastighed kunne reducere omsætning af f.eks. BI_5 grundet en lavere opholdstid.

I forhold til belastning med stoffer der ønskes tilbageholdt/omsat/-optaget i plantelagunerne vil perioden efter en kold vinter (marts-maj) kunne være problematisk i forhold til hvor meget der kan tilbageholdes, dvs. udledningerne kan stige. Hvis der kommer en varm periode mens der ingen planter er i plantelagunerne, skal disse ikke belaste for hårdt gennem for stor fiskeproduktion. Der kan være et behov for at vente nogle uger indtil en vis mængde vegetation er etableret. Alternativt vil udlægning af et kunstigt plantemedie i lagunerne kunne hjælpe, såfremt der ikke er overvintrende og frosttålende plantearter i plantelagunerne. Den omtalte problemstilling vil ikke være udtalt for BI_5 hvor vores resultater viser, at det synes at være opholdstiden som spiller den afgørende rolle for hvor meget der omsættes. Som det omtales senere er der en række aspekter, der bør undersøges yderligere ift. plantelaguner.

11.7 Stofkoncentrationer af kontrolvariable

I kapitel 4 er der fokuseret på koncentrationsforhold herunder udviklingen i koncentrationen i de to måleår af de 5 kontrol kontrolvariable: total kvælstof (TN), total fosfor (TP), suspenderet stof (SS), let omsætteligt organisk stof (BI_5) og ammoniumkvælstof (NH_3+NH_4^+-N) suppleret med nitrat-nitrit kvælstof (NO_{23}-N), orthofosfat (PO_4-P) og glødetab. Der er målt for disse variable ved alle kemiske målestationer, men koncentrationsforholdene er belyst ved at se på det indtagne åvand (st. 20) og grundvand (st. 30) samt for nogle udvalgte målepunkter i dambruget, som er efter udløbet fra produktionsanlægget (st. 400), efter bundfældningsanlægget svarende til indløbsvandet til plantelagunerne (st. 450) samt for udløbet fra de tre plantelagunesystemer (st. 510, 520 og 530) som samtidigt er udløbet fra dambruget.

Koncentrationsniveauer i de kemiske parametres koncentration
For de to måleår er koncentrationsudviklingen i det indtagne grundvand ganske jævn med beskedne variationer. For BI_5, NH_3+NH_4^+-N og suspenderet stof er koncentrationen i grundvandet signifikant lavere end i det indtagne åvand. Til gengæld er nitrat-nitrit indholdet i grundvandet med en gennemsnitskoncentration på 13-14 mg l^{-1} signifikant højere end i åvandet og øger sammen med produktionsbidraget TN-koncentrationen på dambruget. For fosfor er TP-koncentrationen i grundvandet ikke signifikant forskelligt fra det indtagne åvand. Orthofosfat koncentration i grundvandet er dog signifikant højere end åvandets, mens koncentration af partikulært fosfor som ventet er lavere i grundvandet. Koncentrationsudvikling og variationer heri for åvandet er bestemt af oplandsprocesser og processer i vandløbet, klima m.v. Man skal tage højde for at der 1-2 kilometer opstrøms Døstrup Dambrug er en mølledam, som om foråret har en del alger, der ses som forhøjede koncentrationer af suspenderet stof i åvandet nedstrøms.

Sammenlignes koncentrationsniveauer og spredningen ved de nævnte målestationer (figur 4.2, 4.4, 4.6, 4.8, 4.10, 4.12, 4.14 og 4.16) kan man for de enkelte variable over de to måleår få indtryk af hvor der i dambruget sker en forøgelse af koncentrationerne (dvs. hvor der netto tilføres stof) og hvor der er en reduktion heraf (netto fjernes stof) samt et indtryk af variabiliteten af de enkelte variables koncentrationer gennem de to år. I produktionsanlægget er der en signifikant forøgelse i koncentrationen af BI_5 og de forskellige kvælstof- og fosforfraktioner sammenlignet med de tilsvarende koncentrationer i det indtagne åvand. Til gengæld er der et signifikant fald i koncentrationen af suspenderet stof trods bidrag fra fiskeproduktion, fordi slamkeglerne fjerner store mængder suspenderet stof fra bl.a. det indtagne åvand. Herudover bidrager det indtagne grundvand til at reducere koncentrationen.

Bundfældningsanlæggets stoffjernelse er så beskedent at ingen af de målte variable viser et signifikant fald i stofkoncentrationerne hen over dette (st. 450 sammenlignet med st. 400). Til gengæld er af koncentrationen af BI_5, NH_3+NH_4^+-N, suspenderet stof og glødetab signifikant lavere i udløbet fra plantelagunerne (st. 510, 520 og 530) sammenlignet med koncentrationen i udløbet fra produktionsanlægget (st. 400), idet der sker en netto stofomsætning/-tilbageholdelse/ -fjernelse i plantelagunerne. For TN, NO_{23}-N, TP og orthofosfat er koncentrationen i udløbet fra plantelagunerne ikke statistisk signifikant lavere end i udløbet fra plantelagunerne.

Sammenlignes koncentrationen i udløbet fra plantelagunerne med de tilsvarende i det indtagne åvand er NH_3+NH_4^+-N og orthofosfat-koncentrationen signifikant højere i afløbet fra dambruget (set som gennemsnittet af st. 510 + 520 + 530). Omvendt er koncentration af suspenderet stof og gløderest statistisk signifikant lavere i afløbet fra dambruget, således at der på trods af en fiskeproduktion og et afledt produktionsbidrag, er en nettotilbageholdelse af partikulært materiale over dambruget inklusiv lagunerne.

Variation i koncentrationen af de kemiske variable
Figur 4.2, 4.4, 4.6, 4.8, 4.10, 4.12, 4.14 og 4.16 viser at variabiliteten i koncentrationen over de to måleår er lavest i det indtagne grundvand. Overordnet set er variabiliteten i koncentrationerne i det indtagne åvand ikke større end variationerne i koncentrationerne i forskellige dele af dambruget. I afløbet fra plantelagunerne skyldes en del af variabilitet, at der grundet manglede plantevækst har været store variationer i koncentrationerne for de fleste målte stofvariable fra uge til uge i perioden april til juni 2000. Det skal bemærkes at de omtalte figurer er gennemsnit fra tre stationer 510, 520 og 530. Betragtes de enkelte stationer enkeltvis er variationen større, da koncentrationen i udledninger fra de tre plantelaguner af de forskellige variable ikke nødvendigvis har varieret i takt jvf. figur 4.17 – 4.22. Der er tydeligt at for flere stofvariable er det perioden april-juni 2000, som giver anledning til en hel del af variabiliteten. Endvidere betyder henfaldet af planter i vinterperioden og efterfølgende lav plantemængde i lagunerne i foråret at f.eks. koncentrationen af suspenderet stof i afløbet fra plantelagunerne varierer meget.

Nedstrøms bundfældningsanlægget (st. 450) er der en tendens til den største variabilitet i stofkoncentrationerne, som for nogle variable kan skyldes at der hvert 14. dag sker en oppumpning heri (slamfjernelse), der som omtalt i kapitel 4 især i de første måleår påvirkede koncentrationsmålingerne af f.eks. BI_5. Især NH_3+NH_4^+-N-koncentrationen varierer meget. I *Grønborg og Frier (2002)* beskrives at en forstyrrelse af sedimentet (i dette tilfælde slam på bunden af bundfældningsanlægget) vil påvirke/fjerne det oxiske grænselag og derved markant kunne påvirke omsætningsraterne af NH_3+NH_4^+-N indtil grænselaget retableres.

For BI_5, NH_3+NH_4^+-N, suspenderet stof og glødetab er der større variabilitet i koncentrationerne ved st. 510, 520 og 530 end ved de øvrige målestationer. Generelt er dette betinget af de første tre måneders målinger (april-juni 2000) samt enkelt uger med –ikke umiddelbart forklarlige- store udledninger fra en eller flere af plantelagunesystemerne. Der er en tendens til at søsystem 2 (st. 530) har en større variabilitet i koncentration for nogle stoffer, f.eks. BI_5 og suspenderet stof, mens søsystem 1 (st. 520) har en stor variabilitet for TP og vandløbssystem (st. 510) har det for glødetab. En del af denne variabilitet skyldes de første tre måneder i måleperiode 1 og forventes derfor ikke at være udtryk for et generelt mønster i velfungerende plantelaguner. Til gengæld er det naturligt at forskelle i biomasse og vandhastigheder i de tre lagunesystemer (jvf. kapitel 8) vil påvirke såvel kapaciteten for omsætning og tilbageholdelse af nogle stoffer og stabiliteten i koncentrationsforhold. Dette bør undersøges nærmere for at kunne tolkes yderligere.

Koncentrationen af kvælstof og til dels også NH_3+NH_4^+-N synes at variere cyklisk såvel i indløb til som i udløb fra dambruget. Da de analyserede prøver af TN er ugepuljede er der her tale om en længerevarende cyklus, men der kan ikke umiddelbart gives nogen forklaring på fænomenet. Der ses i udløbet fra dambruget også cykliske mønstre i NH_3+NH_4^+-N koncentrationen (prøver til analyse heraf er døgnpuljede), men dette mønster vil blandt andet være påvirket af

stående fiskebestand, udfordring m.v. Således øges NH_3-NH_4^+-N-udskillelsen hos benfisk (herunder regnbueørred) kraftigt kort tid efter fodring (*Rasmussen & Korsgaard, 1998*). Da plantelagunerne gennemsnitligt omsætter under 50 % af belastningen med NH_3-NH_4^+-N (jf. tabel 4.12), passerer en stor del direkte ud med udløbsvandet, hvorfor de målte variationer i koncentrationen højst sandsynlig vil være korreleret med størrelse og tidspunkt for den seneste udfodring.

Det må forventes at et reduceret vandindtag med en øget recirkulering og en stabil besætning af fisk/udfordring vil reducere variabiliteten i udløbet fra produktionsanlægget, hvilket også sker i løbet af de første måneder af måleperioden (april-august 2000). Dette vil også give en mere ensartet belastning af plantelagunerne. Et bedre kendskab til betydningen af forskellige stoffjernelses- og stofomsætningsprocesser i plantelagunerne og hermed forbedret management herunder f.eks. en ilttilsætning vil også kunne stabilisere udledningerne fra disse. Det kan ikke undgå at f.eks. den biologiske aktivitet er afhængig af lys og temperaturforhold som vil give en naturlig variabilitet herunder nogle stokastiske elementer i de processer der omsætter, fjerner og tilbageholder stoffer i plantelagunerne, et forhold som management kun kan dæmpe/udjævne men ikke helt fjerne.

11.8 Overholdelse af udlederkrav

I den midlertidige miljøgodkendelsen er der opstillet vejledende udlederkrav, som er fundet ud fra kravværdier for 5 kontrolvariable TN, TP, SS, BI_5 og NH_3+NH_4^+-N. Nogle af disse er generelt skærpede i forhold til Dambrugsbekendtgørelsen. Endvidere er der ved beregning af de vejledende udlederkrav anvendt et vandindtag svarende til et estimerede medianminimum fra vandløbet på 80 l s^{-1} og 27,7 l s^{-1} grundvand. Danmarks Miljøundersøgelser (DMU) vurderer på baggrund af 4 års målinger i Døstrup Bæk medianminimum til at være knap 150 l s^{-1}. Der må maksimalt udledes 170 l s^{-1} og den maksimale udledning har ikke været over ca. 125 l s^{-1}. Samlet er nogle af de vejledende udlederkrav således skærpet med op til en faktor 2-3 sammenlignet med Dambrugsbekendtgørelsens almindelige kravværdier.

I den midlertidige Miljøgodkendelse angives at der skal anvendes tilstandskontrol på de vejledende udlederkrav. Tilstandskontrol forudsætter rent statistisk at det er koncentrationsforøgelser i udledninger, der skal kontrolleres, hvor udlederkravene er mængder. Der henvises til den midlertidige miljøgodkendelse for en forklaring på hvorfor der er anvist anvendelse af tilstandskontrol på mængder. Som alternativt til den midlertidige miljøgodkendelses kontrolprocedure er der også anvendt to andre metoder til kontrollen. De bygger på en tilstandskontrol af BI_5 og ammonium-N og en transportkontrol (mængdekontrol) af total kvælstof, total fosfor og af suspenderet stof med de tilhørende statistiske kontrolmetoder (se *Larsen og Svendsen, 1998* og *Svendsen et al, 2000*). Endelig er der taget højde for at når man gør brug af transportkontrol bliver kontrollen mere lempelig, således at en tilpasning af kravværdierne er nødvendige for at hindre større udledninger ved transportkontrollen end den tilsvarende tilstandskontrol. I *Larsen & Svendsen (2001)* er beskrevet en metode til at fore-

tage denne justering og metoden er også blevet anvendt for udledningerne på Døstrup Dambrug.

Anvendes miljøgodkendelsens regler for det første måleår er det kun udledningen af ammonium-N samt suspenderet stof der har overholdt de vejledende udlederkrav. Anvendes de alternative og statistisk korrekte kontrolmetoder beskrevet i *Svendsen et al. (2000)* er det kun udledningen af BI_5, der ikke overholder kravene. Overskridelsen er dog hårfin.

Ved anvendelse af den midlertidige Miljøgodkendelses kontrolkrav er det kun udledningerne af NH_3+NH_4^+-N og suspenderet stof, der kan accepteres i de 2 perioder på 52 uger (dvs. de to måleår). Ved anvendelse af de alternative kontrolmetoder fremlagt i *Svendsen et al. (2000)* er det kun udledningen af BI_5 som ikke kan accepteres.

Deles hele måleperioden op i fire delperioder på hver 26 uger (sommer og vinter) findes de største problemer med at overholde de vejledende udlederkrav i den første delperiode (april 2000 til september 2000). Således er det kun udledningen af NH_3+NH_4^+-N som kan accepteres efter miljøgodkendelsens regler. Derimod kan alle stoffer undtagen BI_5 accepteres ved anvendelse af de alternative metoder i *Svendsen et al. (2000)*. Årsagen til de mange afvisninger i denne delperiode skal hovedsageligt findes i store og meget variable udledninger i perioden fra april til juni 2000, som skyldes nøgne, nyoprensede plantelaguner hvori der kommer en trådalgeopblomstring før etablering af rodfæstet plantedække af primært Brøndkarse.

I de andre delperioder er det især TN- og BI_5-udledningsevne som afvises ved anvendelse af miljøgodkendelsens kontrolregler. I den sidste periode afvises også TP. Ved anvendelse af de alternative regler er det kun BI_5 som forkastes.

Efter tilpasning af udlederkravene ved transportkontrol for TN, TP og SS (*Larsen & Svendsen, 2001*) får man de samme resultater som for analysen ved brug af miljøgodkendelsens regler.

Med miljøgodkendelsens kontrolmetode vil store variationer i udledninger kunne medføre at kontrollen viser at de vejledende udlederkrav er overskredet selv om næsten alle ugeværdier ligger under udlederkravet. For suspenderet stof, NH_3+NH_4^+-N og i længere perioder også for BI_5 ligger udledningerne fra juli eller august 2000 uge efter uge under de vejledende udlederkrav. For TN, P og BI_5 er der nogle uger i vinterhalvåret 2000/2001, hvor der forekommer overskridelser af udlederkravene.

Var der stillet udlederkrav efter de almindelige kravværdier i Dambrugsbekendtgørelsen ville udlederkravene i de to måleår have været opfyldt for de 5 kontrolparametre på nær for BI_5, der ikke opfylder kravene i nogen af de to måleår eller andre kontrolperioder uanset kontrolmetode.

Perspektiver
Det skal bemærkes at det øgede foderforbrug i andet måleår giver samme opfyldelse af de vejledende udlederkrav som i måleår 1. Sammenlignes vinterhalvåret 2000/2001 med det tilsvarende 2001/2002 kan det konstateres at udledninger er steget med øget foderforbrug og at det for fosfor betyder, at miljøgodkendelsens vejledende udlederkrav dermed ikke længere opfyldes. Men sammenlignes de to hele måleår er der ikke forskelle i opfyldelse af de vejledende udlederkrav. Havde man anvendt Dambrugsbekendtgørelsen udlederkrav og DMU's beregnede medianminimum for Døstrup Bæk så ville det med såvel 26 som 52 prøvetagninger og det anvendte foderniveau kun være BI_5-udledningerne, der ville overskride udlerkravene i måleår 1 og 2, mens også BI_5 udledningerne ville overholde kravene i vinterhalvåret. Det er for tidligt at vurdere om forholdene ændrer sig på sigt, hvis plantelagunernes funktion ændrer sig.

11.9 Stofbalance for rensekomponenter og for Døstrup Dambrug og produktionsbidrag

Et af formålene med projektet har været at vurdere effekten af forskellige renseforanstaltninger på Døstrup Dambrug for at tilvejebringe mere dokumentation for disse. Der er i den forbindelse opstillet en række massebalancer således at der for slamkegler, slamdepoter, bundfældningsanlæg, hver af de tre plantelagunesystemer og dambruget som helhed kan beregnes stoffjernelse. Dette er beregnet uge for uge så variationen kan vurderes og for de to måleår (april 2000- april 2001 og april 2001 – april 2002). Herudover er der valgt to perioder af 46 uger (maj 2000- april 2001, kaldet P1) og (maj 2001 – april 2002, kaldet P2) hvor foderforbruget har været henholdsvis 44,5 tons og 58,6 tons, dvs. 32% større i den sidste periode for at belyse betydningen af øget foderforbrug.

Fiskeproduktionens stofbidrag
Stoftilbageholdelsen over de forskellige enheder vil bl.a. afhænge af den stofmængde der kommer med det indtagne åvand og grundvand, og den mængde stof fiskeproduktionen giver anledning til. På baggrund af de intensive undersøgelser der er foretaget af udfodring, tilvækst og produktions af affaldsstoffer (kapitel 5 og 6 og afsnit 11.4), er det muligt at sammenholde et teoretisk produktionsbidrag, baseret på de fisk der har været produceret på Døstrup Dambrug, med hvad der bestemmes via massebalancerne baseret på målinger af vandmængder og stofkoncentrationer over produktionsanlægget (kapitel 4). I en massebalance opsummeres alle usikkerheder således at denne vil være forbundet med relativt store usikkerheder, specielt hvis den resulterende størrelse er lille i forhold til de led der i øvrigt indgår i massebalancen. I nærværende projekt har vi dog ved meget hyppige målinger og målinger mange steder kunne begrænse usikkerheden. En sammenligning af det teoretiske produktionsbidrag af TN og TP i perioderne P1 og P2 beregnet ud fra resultaterne i den intensive måleperiode i produktionsanlægget med stofbidraget fra fiskeproduktionen bestemt via massebalancer giver en god overensstemmelse (tabel 11.2).

Tabel 11.2 Produktionsbidraget af TN og TP beregnet ud fra indholdet i foder minus indbygget i fisk (FO – FI) sammenlignet med stofbidrag fra fiskeproduktionen beregnet ud fra massebalancer over produktionsanlægget (MaBa) for perioderne P1 (44,5 tons foder) og P2 (58,6 tons foder) begge på 46 uger. Under MaBa er i parentes angivet forskellen mellem de to opgørelsesmetoder i procent). Der er brugt 32% mere foder i P2 end i P1.

Stofbidrag fra fiskeproduktion er lig produktionsbidraget for stoffer, hvor der ikke er en egenomsætning.

	TN		TP	
	FO – FI (kg)	MaBa (kg)	FO – FI (kg)	MaBa (kg)
P1	1.982	2.195 (11%)	281	266 (-5%)
P2	2.542	2.591(2%)	332	288 (14%)
forskel P1 P2	28%	18%	18%	8%

Forskellen på der to opgørelsesmetoder ligger indenfor ±15%, hvilket er yderst tilfredsstillende. Der redegøres sidst i kapitel 11. 9 for usikkerheden teoretisk vil være på massebalancer over produktionsanlægget for perioder af forskellig længde. Det konkluderes at den største usikkerhed må forventes for de kemiske variable, hvor massebalancen er numerisk lille ift. til de størrelser den er beregnet ud fra.

For TN er der en særdeles god overensstemmelse mellem et øget foderforbrug og et øget produktionsbidrag med TN, mens der for TP tilsyneladende er for lille forøgelse af produktionsbidraget med TP. Det relateres til at fosforindholdet i foderet i en kortere periode af P1 var noget højere end deklareret, hvilket ikke påvirker fiskenes faktiske optagelse af fosfor.

Det er ikke muligt tilsvarende at give et præcist bud på BI_5 produktionsbidraget fra den intensive periode blandt andet grundet en stor egenomsætning, hvorfor der ikke er lavet en tilsvarende sammenligning, men massebalancerne giver for P1 6.255 kg og for P2 8.935 kg svarende til en stigning på 43% fra periode 1 til periode 2.

Pr. kg produceret fisk svarer det målte bidrag fra fiskeproduktionen til 37-38 gram kvælstof, 4,25 gram fosfor og 120-130 gram BI_5. For BI_5 er dette et væsentlig lavere tal end der opereres med i den tekniske anvisning om punktkilder (*Miljøstyrelsen, 2000*), men det ligger på linie med hvad en teoretisk opgørelsesmetode for fækalier fra ørred giver (tabel 11.3) (*Bovbjerg Pedersen et al, 2003*).

Tabel 11.3 Bidrag fra fiskeproduktionen pr. kg produceret fisk, hvor bidraget fra fiskeproduktionen (her produktionsbidraget) er baseret på indhold i foder minus indbygget i fisk (resultater fra den intensive periode). For BI_5 er det dog tal fra massebalancer over produktionsanlægget- P1 er perioden 1 (44,5 tons foder) og P2 periode 2 (58,6 tons foder) begge på 46 uger.

Periode	TN	TP	BI_5
	g kg fisk^{-1}	g kg fisk^{-1}	g kg fisk^{-1}
P1	38,3	4,24	121
P2	37,1	4,18	130

Slamkegler og bundfældningsbassin
Der kan ikke umiddelbart skelnes mellem vandløbsbidragets og stofbidraget fra fiskeproduktionens andel af det tilbageholdte stof. Især i slamkeglerne og til dels i bundfældningsbassinet vil der være en del af det partikulært materiale, som kommer ind med vandløbsvandet der tilbageholdes i disse.

For BI_5 vil den hurtigt omsættelige del overvejende stamme fra fiskeproduktionen. For nitrat er det ikke afgørende om det kommer fra vandløbet, grundvand eller fiskeproduktionen for at vurdere anlæggets kapacitet til at omsætte dette. Det er primært i forhold til partikler at der kan være forskel i forhold til, om de kommer med vandløbsvandet eller fra fiskeproduktionen. Partikler fra fiskene (fækalier mv.) vil generelt have et større indhold af især fosfor pr. vægtenhed end partiklerne fra vandløbsvandet.

Slamkeglerne tilbageholder væsentligt mere stof end bundfældningsbassinet også når der tages højde for det vand der afdrænes fra slamdepoterne (tabel 4.9). Dette er mest udtalt TP hvor der er tilbageholdt ca. 20% af stofmængden i bundfældningsbassinet af den samlede netto tilbageholdelse i slamdepoter plus bundfældningsbassinet. Tilsvarende udgør tilbageholdelse af BI_5 mindre end 20% i bundfældningsbassinet og knap 40% af suspenderet stof. For kvælstof har bundfældningsbassinet tilbageholdt ca. 40%.

Slamkeglerne er derfor en hurtig og ret effektiv måde at fjerne en stor del af de større partikler således at der er færre partikler, der kan fjernes i bundfældningsbassinet. På den anden side har etablering af et bundfældningsbassin nedstrøms slamkeglerne øget tilbageholdelsen med mindst ca. 20% fosfor og mere for TN, BI_5 og suspenderet stof og disse stofmængder ville være blevet transporteret videre til plantelagunerne og nogle af dem formodentligt videre ud i vandløbet. Havde der ikke været slamkegler ville bundfældningsbassinet havde fanget flere partikler. Den hurtige sedimentation i slamkeglerne betyder at der er et mindre tab af næringsstoffer og BI_5 (bl.a. på opløst form) fra fækalier sammenlignet med at fækalierne opholdt sig længere tid i damme, bagkanal eller bundfældningsbassin, før de blev fjernet.

Slamkeglerne tømmes 2 gange om ugen over i tre slambassiner, en for hver produktionssektion. Herfra drænes overskudsvand som udledes opstrøms bundfældningsbassinet. Med slamvandet fjernes kun lidt suspenderet stof og BI_5 mens der for TN er fjernet 20-25% og for TP ca. 15% i periode 1 og 2. Dette skyldes bl.a. at mens slamvandet klares i slambassinerne, vil der fra partiklerne ske en tilførsel af opløst kvælstof, fosfor og BI_5, og endvidere vil nogle meget små partikler samt alger mv. ikke bundfældes i slambassinerne. Der er her basis for at undersøge muligheder for at begrænse tab med det afledte slamvand. Problematikken er yderligere omtalt i afsnit 11.5.

Sammenlignes periode 1 og 2 hvor foderforbruget i sidstnævnte er øget med 32% så er der kun opsamlet henholdsvis 4% mere TN og 6 % mere TP i periode 2 men 39% mere suspenderet stof og 84% mere

BI_5 i slamkeglerne. Dette kan hænge sammen med at en stor del af det ekstra TN og TP som den øgede produktion betinger er på opløst form eller så finpartikulært at det ikke sedimenterer i slamkeglerne. Endvidere skal der også tages højde for at vandløbsbidraget i periode 2 (se tabel 4.18 og 4.19) generelt er 3-9% lavere for de omtalte stoffer end i periode 1, på nær for TP, der er 3% højere (tabel 4.18 og 4.19). I bundfældningsbassinet øges tilbageholdelsen af TN og TP med henholdsvis 48% og 21%, mens SS og BI_5 øges med henholdsvis 22% og 25%. Noget af det ekstra bidrag fra fiskeproduktionen i periode 2 af TN og TP tilbageholdes derfor i stedet i bundfældningsbassinet. Tilsammen tilbageholder slamkegler plus bundfældningsbassin 16% mere TN og 10% mere TP i periode 2 (tabel 4.9) samt 32% mere suspenderet stof og 73% mere BI_5.

Der er om sommeren en større tilbageholdelse i slamkeglerne pr. kg foder end om vinteren, henholdsvis 4% for BI_5, 13% for TN og 23% for TP. Dette kan bl.a. tilskrives højere vandtemperatur med højere biologisk aktivitet (mikrobiel omsætning) og en større algevækst.

Betydning af stoffjernelse i slamkegler og bundfældningsbassin i forhold til plantelagunerne kommer efter omtale af hovedresultater for plantelagunerne.

Plantelaguner
Som omtalt tidligere fungerer plantelagunerne ikke efter hensigten fra starten af måleperioden (april 2000) til ultimo juni 2000. Ud over at der gradvist kommer vandplanter i lagunerne er der en opblomstring af trådalger. Det giver store svingninger uge for uge i tilbageholdelsen af f.eks. suspenderet stof og BI_5 og medfører i nogle uger store negative stoftilbageholdelser.

Ved en sammenligning af stoftilbageholdelse i plantelagunerne i periode 1 (P1) med periode 2 (P2) skal der tages højde for at opholdstiden i gennemsnit er blevet reduceret med ca. 2% i vandløbssystemet og søsystem 2 og med godt 10% i søsystem 1.

Overordnet set er der en positiv tilbageholdelse for hver af de tre plantelaguner de fleste uger for alle parametre fra juli 2000 frem til slutningen af vinteren 2001 med kun ganske få uger med negativ tilbageholdelse. For suspenderet stof er der dog en periode i foråret 2001 med negativ tilbageholdelse især fra vandløbssystemet. Generelt er den positive stoftilbageholdelsen størst når der er mange planter i plantelagunerne, dvs. fra slutningen af juni og frem til frosten enten sent på efteråret eller i løbet af vinterne medfører en markant reduktion i udbredelsen af planterne/plantebiomassen.

Sammenlignes de to perioder med forskelligt foderforbrug P1 og P2 i relation til den absolutte stoftilbageholdelse fås ikke et entydigt billede (tabel 11.4). Mens den positive tilbageholdelsen af BI_5 og TN i absolutte mængder øges med henholdsvis 35% og 24% fra periode 1 til periode 2 er der et tilsvarende fald på henholdsvis 66%, 8%, 26% og 2% for suspenderet stof, NH_3+NH_4^+-N, PO_4-P og TP. Der skal dog tages højde for at tilførslen til plantelagunerne er blevet reduceret med henholdsvis 2.900 kg (28%) suspenderet stof, 58 kg (8%) NH_3+NH_4^+-N

og 600 kg (2%) TN og forøget med henholdsvis 1084 kg (10%) BI_5, 18 kg (6%) PO_4-P og 32 kg (8%) TP. I forhold til BI_5 og TN har lagunerne været mere effektive i periode 2 end i periode 1, mens det modsatte har været tilfældet for de øvrige stoffer. Dette dækker dog over nogle variationer mellem de tre plantelagunesystemer. Som omtalt under afsnittet om tilbageholdelse i slamkegler og bundfældningsanlægget skal man være opmærksom på, hvilken form en øget fodertildeling medfører i øget produktion af affaldsstoffer (opløst kontra partikelbundet form).

For suspenderet stof er det alene vandløbssystemet som har en lavere tilbageholdelsesprocent i periode 2, hvor der kun tilbageholdes 30% af belastningen i forhold til periode 1, mens både søsystem 1 og 2 med 60% tilbageholdelse i periode 2 ligger højere end periode 1. Dette skyldes at der i periode 2 er 11 uger med negativ tilbageholdelse i vandløbssystemet mod kun 2 uger i søsystem 1 og 2, hvor der i periode 1 var en del uger med nettoudledninger i de to søsystemer men ikke i vandløbssystemet. Hvor nettoudledninger i periode 1 kan tilskrives manglende plantedække og opvækst af trådalger især i søsystemerne er der ikke umiddelbart nogen forklaring på det målte i vandløbssystem 1 i måleperiode 2, ud over at der også i foråret 2001 var uger med meget negativ tilbageholdelse af suspenderet stof.

I periode 1 optræder de største tilbageholdelsesprocenter i vandløbssystemet på nær for BI_5 på trods af den laveste opholdstid i dette lagunesystem. Til gengæld er biomassen (plantedækningsgraden) størst heri i periode 1. Det vil være forventeligt af BI_5-tilbageholdelsen (omsætningen) er større i de to søsystemer, idet opholdstiden tilsyneladende har en afgørende betydning på BI_5-omsætningen. Det skal dog bemærkes at BI_5 omsætning er hurtigst de første par timer og at stofbidraget fra fiskeproduktionen i gennemsnit har været ca. 3 timer undervejs før det når til plantelagunerne. Det opholder sig herefter i over syv timer i vandløbssystemet, dvs. det er først efter den 10 times ophold i dambruget at vandet opholder sig længere i søsystemerne end i vandløbssystemet. De ekstra 2-4 timers ophold i søsystem 1 og 2 har derfor nok en betydning for BI_5-omsætningen men ikke nær så stor som hvis det var fra 2. til. 4. times opholdstid i dambruget. Derfor kan andre processer/forhold spiller en større rolle for forskellen mellem BI_5-tilbageholdelsen i vandløbssystemet sammenlignet med søsystemerne.

I periode 2 er biomassen i søsystem 2 lige så stor som i vandløbssystemet og større i søsystem 2. I periode 2 er forskellen i tilbageholdelse mellem de tre plantelagunesystemer mindre, men vandløbssystemet har stadig den største tilbageholdelse for kvælstof og fosfor, men ikke for suspenderet stof og BI_5.

Tabel 11.4 Samlet tilbageholdelse af forskellige stoffer i plantelagunerne i to perioden på hver 46 uger med forskelligt foderforbrug (P1 = 44,5 tons, P2 = 58,6 tons). I parentes er angivet gennemsnitlige procentuelle tilbageholdelse pr. uge i de to perioder for hver af de tre plantelagunesystemer i rækkefølgen vandløbssystem, søsystem 1 og søsystem 2.

	P1 kg og (%)	P2 kg og (%)	Øget tilbageholdelse fra P1 til P2 (%)
SS	5.584	3.709	-66
	(77-57-25)	(30-60-60)	
BI_5	3.050	4.132	35
	(26-29-32)	(32-36-41)	
NH_3+NH_4^+-N	332	306	-8
	(60-39-42)	(57-41-41)	
TN	1.566	1.936	24
	(5-4-4)	(6-5-5)	
Orthofosfat	35	26	-26
	(19-8-9)	(22-8- -2)	
TP	81	79	-2
	(27-16-15)	(22-16-14)	

I afsnit 11.6 omtales at der i maksimal plantebiomasse er ca. 175 kg N og 30 kg P. Hertil kan lægges nogle kg i rødder o.l. Det betyder at for kvælstof har planteoptaget en beskeden betydning (under 10%) på årsplan for TN stoftilbageholdelse/-omsætning i plantelagunerne mens det for fosfor har en ganske stor betydning med op til ca. 1/3 af den samlede TP-tilbageholdelse i plantelagunerne.

Hvis omsætningen/tilbageholdelsen i plantelagunerne omregnes til en gennemsnitlig arealomsætning pr. overfladeareal i plantelagunerne for de to perioder P1 og P2 med forskelligt foderforbrug har denne været lidt større i periode 2 med det højere foderforbrug for BI_5, mens der ikke er nogen signifikant forskel for NH_3+NH_4^+-N, TP og TN (tabel 11.5). Der har været kapacitet for at kunne omsætte mere BI_5 i periode 2 hvor tilførslen er øget. Der er størst tilbageholdelse/omsætning pr. arealenhed i vandløbssystemet for kvælstof og TP og ikke nogen signifikant forskel for BI_5. For kvælstof og fosfor kan det være biomasse/plantedækningsgrader, flowhastigheder og iltforhold, der kan forklare at vandløbssytemet har den største arealomsætning for disse stoffer, mens opholdstiden for BI_5 spiller en afgørende rolle for at vandløbssytemet her ikke er bedre end søsystemerne. I tabel 4.17 er angivet nogle maksimale ugentlige arealomsætningsrater som typisk er 2 til 7 gange større end de gennemsnitlige rater.

Tabel 11.5 Arealomsætning (-tilbageholdelse) i de tre plantelagunesystemer (vandløbssystem st. 510), søsystem 1 (st. 520) og søsystem 2 (st. 530) i to perioder a 46 uger med forskelligt foderforbrug (P1 = 44,5 tons og P2 = 58,6 tons).

	P1			P2		
	g m^{-2} døgn^{-1}			g m^{-2} døgn^{-1}		
	st. 510	st. 520	st. 530	st. 510	st. 520	st. 530
BI_5	1,8	1,9	1,9	2,4	2,4	2,5
NH_3+NH_4^+-N	0,29	0,19	0,17	0,27	0,17	0,16
TN	1,3	0,9	0,7	1,4	1,1	1,0
TP	0,07	0,04	0,04	0,07	0,04	0,03

Det har ikke været muligt under projektet at undersøge om disse arealrelaterede rater holder på sigt, om de kan øges gennem en driftsoptimering, hvad effekten af oprensning af planter og slam i lagunerne vil betyde, hvad et andet plantesamfund betyder herunder større plantemængder om vinteren samt hvad effekten af at tilsætte ilt og øge opholdstiden vil have. Det er heller ikke muligt at vurdere hvad en yderligere stofbelastning vil betyde for plantelagunerne. Den forøgelse der er sket fra periode 1 til periode 2, har ikke betydet en reduktion af den procentuelle stoftilbageholdelse i lagunerne, faktisk er den øget for BI_5. Med det potentiale der ligger i stoffjernelse/-tilbageholdelse i plantelagunerne bør blandt andet ovennævnte forhold undersøges nøjere.

En statistisk analyse af stoftilbageholdelsen fordelt på perioder og sammenlignet mellem de tre plantelagunesystemer findes i afsnit 11.10. Der er ikke lavet standardafvigelser o.l. for de enkelte stoffer eftersom der naturligt skal være en variation i tilbageholdelsen afhængig af belastning, belastningstype (fra fiskeproduktionen eller det indtagne åvand/grundvand), klimatiske forhold (årstiden), plantemængde, lys- og iltforhold m.m.

Samlet stofbalance

Der er opstillet stofbalancer hen over hele dambruget for hver uge i måleperioden, herunder er betydningen af de forskellige renseforanstaltninger blevet vurderet for hvert stof. Tilbageholdelsen/-omsætning af stofinput er blevet relateret til såvel bidraget fra fiskeproduktionen og det samlede stof (dvs. inkl. input fra indtagne åvand og grundvand).

Der har været muligt både at opstille en samlet massebalance hen over dambruget som:

st. 510 + st. 520 + st. 530 – (st. 20 + st. 30)

og som summen af stoftilbageholdelsen hen over slamkegler (slamdepoter), bundfældningsanlæg og plantelaguner fratrukket stofbidraget fra fiskeproduktionen. Der er en særdeles god overensstemmelse mellem hvad de to metoder giver, da der kun er få procents afvigelse mellem disse trods usikkerhed på massebalancerne (se tabel 4.18-4.20). Sammenlignes de to perioder på hver 46 uger med forskel-

ligt foderforbrug får man det samme billede i begge perioder. For TN og BI_5 er plantelagunerne den vigtigste kilde til stoffjernelse/stoftilbageholdelse, mens slamkeglerne er vigtigst for suspenderet stof og TP, men plantelagunerne også her har stor betydning (tabel 11.6). Bundfældningsanlægget betyder for alle stoffer mindst men er dog vigtig ift. suspenderet stof og TP.

Tabel 11.6 Betydningen af de forskellige renseforanstaltninger beregnet i forhold til stofbidrag fra fiskeproduktionen, der i beregningen er sat til 100%. Resultater vist for to 46 ugers perioder med forskelligt foderforbrug (P1 = 44,5 tons og P2 = 58,6 tons).

	Fiskeproduktionens stofbidrag = 100%		Slamdepoter		Bundfældningsanlæg		Plantelagüner		Tilført Døstrup Bæk	
	P1 (kg)	P2 (kg)	P1 (%)	P2 (%)	P1 (%)	P2 (%)	P1 (%)	P2 (%)	P1 (%)	P2 (%)
SS	2.203	3.450	192	171	125	97	253	107	-	-
BI_5	6.255	8.935	27	33	7	6	49	46	17	15
TN	2.195	2.591	6	5	3	4	71	76	20	15
TP	266	288	29	30	7	8	31	27	33	35

For kvælstof tilbageholdes/omsættes næsten 90% i plantelagunerne. For BI_5 er det 55-60% der tilbageholdes/omsættes i plantelagunerne. For fosfor tilbageholdes 45% i slamkeglerne, 44% i plantelagunerne og resten i bundfældningsanlægget.

Døstrup Bæk tilføres kun henholdsvis 15-17% af BI_5-, 15-20% af TN- og 33-35% af TP-bidraget fra fiskeproduktionen. Dette giver dog ikke det faktiske billede, da noget af det stof der kommer ind på dambruget med åvandet og grundvandet herved regnes som tilbageholdt af stofbidraget fra fiskeproduktionen. For nogle stoffer som nitrat er det ligegyldigt om det er åvandets, grundvandets eller fiskeproduktionens bidrag, der tilbageholdes. For NH_3+NH_4^+-N, fosfor som PO_4-P og BI_5 har stofbidraget fra fiskeproduktionen til gengæld en mere direkte (skadelig) effekt på vandmiljøet jvf. tidligere. Sættes stoftilbageholdelse i forhold til den samlede stoftilførsel til dambruget (tabel 4.21) så tilbageholdes/omsættes der i periode 1 og 2 henholdsvis 76 og 79% af suspenderet stof, 42 og 50% af BI_5, 5 og 6% af TN samt 35 og 34% af TP hen over Døstrup Dambrug. Der er således stadig tale om en betydelig tilbageholdelse over dambruget for alle stoffer på nær for TN. En af årsagerne til den lave TN-tilbageholdelse/-omsætning er at koncentrationerne i både åvand og især grundvandet er meget højt og primært på opløst form, således at slamkegler og bundfældningsanlægget kun kan fjerne lidt af vandløbsbidraget og bidraget fra grundvand.

I tabel 11.7 er de samlede tilførsler for periode 2 med det høje foderforbrug blevet sammenstillet og stoffjernelsen/-omsætningen i slamkegler, bundfældningsbassinet og i plantelagunerne er angivet i % af stoftilførsel med åvand, grundvand og affaldsstoffer fra fiskeproduktionen.

Tabel 11.7 Sammenstilling af måleresultater fra Døstrup Dambrug for periode 2 på 46 uger (maj 2001 april 2002) med et foderforbrug på 58,6 tons. Der er angivet det målte vandløbsbidrag, bidrag fra indtagne grundvand og bidrag fra fiskeproduktionen. Stoffjernelsen i slamkegler, bundfældningsanlæg og i plantelagunerne er angivet i % af henholdsvis bidrag fra fiskeproduktionen (står efter "/") og af den samlede stoftilførsel til dambruget (står før "/").

	SS	BI_5	TN	TP
Tilført dambrug fra vandløb (kg)	12.642	5.574	22.478	199
Tilført dambrug grundvand (kg)	368	513	10.228	64
Tilført fra fiskeproduktionen (kg)	3.450	8.935	2.591	288
Tilført dambrug i alt (kg)	16.460	15.022	35.297	551
Fjernelse slamdepoter (%)	36/171	19/33	0/5	15/30
Fjernelse bundfældningsbassin (%)	20/97	4/6	0/4	4/8
Fjernelse i plantelaguner (%)	23/107	28/46	6/76	14/27
Fjernet i alt (%)	79/100	51/85	6/85	34/65
Tilført vandløb fiskeprodukt. (kg)	0	1.360	374	101
Tilført vandløb i alt (kg)	3.489	7.447	33.080	364

Det er værd at bemærke hvor stor betydning grundvandsbidraget har i relation til kvælstof og fosfor. Det skyldes at der er høje NO_{23}-N og PO_4-P koncentrationer i grundvandet. Endvidere bemærkes at hvor fiskeproduktionens bidrag udgør mindre end 8% af de samlede TN tilførsler, så udgør det henholdsvis 52% af TP og 60% af BI_5 tilførslerne. For NH_3-NH_4^+-N udgør fiskeproduktionen også den største andel af tilførslen.

Udledninger fra dambruget i forhold til foderforbrug og fisketilvækst

De udledte stofmængder kan også relateres til anvendt mængde foder og fiskeproduktionen jvf. tabel 11.8.

Tabel 11.8 Udledninger fra Døstrup Dambrug sat i forhold til foderforbrug og fisketilvækst i to perioder af 46 uger (P1 = 44,5 tons foder og P2 = 58,6 tons foder).

	g kg $foder^{-1}$	g kg $fisk^{-1}$	g kg $foder^{-1}$	g kg $fisk^{-1}$
	P1	P1	P2	P2
SS	-214	-184	-149	-127
BI_5	33	28	23	20
NH_3+NH_4^+-N	7	6	5	4
TN	13	11	6	5
TP	2	2	2	2

Sammenlignes udledninger fra Døstrup Dambrug per kg foder og i forhold til fisketilvæksten med andre dambrug skal der bl.a. tages højde for hvor meget stofbidraget fra det indtagne vandløbsvand og grundvandet betyder. Det betyder at selv om slamkegler og plantelagunerne har vist sig ganske effektive overfor en række af kontrolvariablene er udledninger beregnet som i tabel 11.8 ikke særligt lave i

forhold til andre dambrug. Det relativt store vandløbsbidrag slår igennem på udledninger, og det må forventes reduceret såfremt vandløbsbidraget kunne reduceres væsentligt.

Det er bemærkelsesværdigt at tabet i periode 2 med det højere foderforbrug ikke er blevet større, men faktisk er faldet med 30% for NH_3+NH_4^+-N, 40% for BI_5 og 50% for TN. Igen er en væsentlig forklaring at der i periode 1 indgår dele af de første måneder af forsøget, hvor plantelagunerne grundet manglende tilstedeværelse af planter ikke virkede efter hensigten, således at forholdene i periode 2 er mere stabile i plantelagunerne. Endvidere har renseforanstaltningernes kapicitet ikke været fuldt ud udnyttet ved det lave foderforbrug på 50 ton/år i periode 1. Undersøgelserne kan dog ikke dokumentere ved hvilket foderforbrug kapaciteten vil være fuldt udnyttet, således der er risiko for øgede udledninger.

Usikkerhed på massebalancer
I kapitel 2.7 er der givet en vurdering af usikkerheden på massebalancerne over Døstrup Dambrug og over de enkelte rensekomponenter. Usikkerheden er især påvirket af hvor meget der tilbageholdes over dambruget herunder i rensekomponenterne af de kemiske variable, der er medtaget. Da der tilbageholdes relativt mindst af TN og NO_{23}-N er der de største usikkerheder på disse massebalancer. For en 26 ugers periode, som er den korteste periode der beregnet usikkerheder for, vurderes usikkerheden maksimalt at være 15% når tilbageholdelsen er beregnet som sum af massebalancer for henholdsvis slamkegler, bundfældningsanlæg og plantelaguner. For en længere periode bliver usikkerheden lavere.

For suspenderet stof, TP, BI_5 og NH_3+NH_4^+-N beregnes usikkerheden til at være mindre end 12% for summen af tilbageholdelse over dambrugets rensekomponenter for en periode på 26 uger. For stoftilbageholdelse beregnet som (st. 510 + st. 520 + st. 530) – (st. 20 + st. 30) er den tilsvarende usikkerhed for alle kemiske variable mindre end 5-10%. For stoftilbageholdelse over de enkelte rensekomponenter vurderes usikkerheden for en periode på 26 uger at være maksimalt 5-10%, dog lidt højere for TN og NO_{23}-N.

Den mindste usikkerhed på de enkelte rensekomponenter forekommer for plantelagunerne og slamkeglerne hvor der er en stor tilbaholdelse af suspenderet stof, TP og BI_5. Selv for en så kort periode som 26 uger er usikkerheden her maksimalt 5-10% og endnu lavere for de årlige beregnede tilbageholdelser eller for hele måleperioden på 2 år.

Sammenligning med andre undersøgelser
Det er vanskeligt umiddelbart at sammenligne resultaterne fra Døstrup Dambrug vedrørende effekten af renseforanstaltningerne med andre undersøgelser. Forsøgsvilkårene herunder omkring vandindtag, fiskeproduktion, fiskearter, udfodring samt klima er forskellige fra forsøg i udlandet. Endvidere er der kun få målinger på egentlige dambrug, idet de fleste undersøgelser er lavet i renseanlæg (med langt højere koncentrationer) eller i nedsivningsanlæg eller vådområder. Endelig er i få tilfælde målinger med dambrugsvand, men hvor

processerne er målt i tanke eller kunstige medier der er meget forskellige fra Døstrup Dambrug.

Schulz et al. (2003) har målt stoffjernelse/-omsætning i kunstigt etablerede vådområder med emergente planter (planter vokser op gennem et permanent vandspejl) og horisontal udledning af dambrugsvand fra produktion af regnbueørreder. Den hydrauliske belastning har været henholdsvis 1, 3 og 5 l pr. minut svarende til 7,5, 2,5 og 1,5 timers opholdstid i vådområdet.

Der er målt fjernelsesrater på 96-97% for suspenderet stof, 40-62% for TP og 21-42% TN. Den største fjernelse opnås ved høj opholdstid (lav hydraulisk belastning). Koncentrationerne i udløbet til de kunstige vådområder var 9 til 14 mg SS pr. liter, 0,12 til 0,35 mg TP pr. liter og 2,0 til 2,9 mg TN pr. liter. Det betyder, at koncentrationen for TN og TP har været betydeligt lavere end i Døstrup Dambrug.

De daglige fjernelser i gram pr. m^2 pr. dag er beregnet til: 8,6-14,1 for suspenderet stof med den høje opholdstid på 7,5 timer (5 gang højere med den lave opholdstid). For TP er fundet 0,24-0,26 og for TN 0,9-1,0. For TN er disse rater lig med resultater fra plantelagunerne på Døstrup Dambrug (tabel 11.5). *Schutz et al. (2003)* understreger at de målte raterne må formodes at falde hvis forsøget var lavet over en længere periode end nogle måneder.

Skovdam (1995) har for kvælstofomsætning i dambrugssedimenter målt rater på 0,3-1,5 gram pr. m^2 pr. dag, hvor den lave rate svarer til en vintersituation og den høje til en sommersituationvinteren.

11.10 Sammenligning af tilbageholdelse mellem plantelagunesystemerne

Der er lavet en analyse af tilbageholdelse af stof i plantelagunerne for hver af de tre lagunesystemer sammenlignet for forskellige perioder: år 1 mod år 2, sommer mod vinter og sommer mod sommer samt vinter mod vinter for at undersøge om der er nogle statistisk signifikante forskelle (tabel 11.9). Når t-testen giver en P-værdier på under 0,05 er tilbageholdelsen uge for uge for en given variable i to sammenlignede perioder signifikant forskellig. Der er ikke noget entydigt mønster på nær for orthofosfat i søsystem 2 (st. 530), hvor tilbageholdelsen er signifikant forskellig uanset hvilke perioder der er sammenlignet. De fleste signifikante forskelle fås ved at sammenligne sommeren 2001 med vinteren 2001/02. År 1 sammenlignet med år 2 giver færrest signifikante forskelle i tilbageholdelsen af de forskellige stoffer.

Tabel 11.9 P-værdier ved en t-test af om tilbageholdelsen i plantelagunerne for en variable har været forskellig i to perioder. Der er sammenlignet første måleår (april 2000 - marts 2001) med andet måleår (april 2001 - marts 2002), sommer 1 (april 2000 - september 2001) med vinter 1 (oktober 2000 – marts 2001), sommer 2 (april 2001 - september 2001) med vinter2 (oktober 2001 - marts 2002), sommer1 med sommer 2 og vinter 1 med vinter 2. Med fed er angivet signifikansniveau på under 5%, dvs. hvor der er statistisk signifikant forskel i tilbageholdelsen af den givne variable i plantelagunen for de to perioder, der er sammenlignet.

Lagune	Variabel	År1 vs år2	Sommer1 vs vinter1	Sommer2 vs vinter2	Sommer1 vs sommer2	Vinter1 vs vinter2
st. 510	TN	0,6393	0,5425	**<0,0001**	**0,0943**	0,4287
	TP	0,8297	0,1833	**<0,0001**	0,1584	**0,0016**
	SS	**0,0093**	0,4451	0,5091	0,2082	**0,0010**
	BI_5	0,1738	**0,0089**	0,6445	0,1045	0,8805
	NH_3+NH_4^+	0,5787	**0,0010**	0,9221	0,0835	**0,0419**
	glødetab	**0,0022**	0,9433	0,7172	0,0713	**0,0007**
	NO_{23}	0,2641	0,7095	**0,0011**	**0,0256**	0,4775
	PO_4	0,5451	**0,0007**	**<0,0001**	0,0544	0,3078
st. 520	TN	0,6553	0,0577	0,1141	0,9852	0,3218
	TP	0,3364	0,6306	**0,0077**	0,2480	0,2573
	SS	0,0961	0,4702	0,5651	0,3983	0,0513
	BI_5	**0,0202**	**0,0014**	0,3984	**0,0027**	0,6727
	NH_3+NH_4^+	0,6593	**0,0042**	0,0959	**0,0185**	**0,0173**
	glødetab	0,0787	0,8617	0,5786	0,2204	0,1230
	NO_{23}	0,2102	0,4556	**0,0038**	0,0524	0,3312
	PO_4	0,4296	**<0,0001**	**<0,0001**	0,7086	0,1666
st. 530	TN	0,1908	0,1242	**0,0090**	0,2945	0,3447
	TP	0,1286	0,4881	**0,0030**	**0,0387**	0,0761
	SS	0,0598	**0,0283**	0,7993	**0,0378**	0,2143
	BI5	**0,0486**	0,6040	0,4074	0,1153	0,2068
	NH_3+NH_4^+	0,8102	0,1493	0,3120	0,2691	0,1705
	glødetab	0,1910	0,1171	0,6430	0,1358	0,3469
	NO_{23}	0,5893	0,2770	**0,0027**	0,0707	0,1336
	PO_4	**0,0077**	**<0,0001**	**<0,0001**	**0,0198**	**0,0019**

I tabel 11.10 er der lavet en tilsvarende sammenligning som i tabel 11.9 men hvor plantelagunerne sammenlignes parvist. Vandløbssystemet adskiller sig fra søsystemerne i forhold til NH_3+NH_4^+-N, TP og PO_4-P i de fleste perioder, mens tilbageholdelsen af TP også er signifikant forskellig i alle perioder når de to søsystemer sammenlignes. Der skal ved denne sammneligning tages højde for at der sammenlignes uge for uge. Det betyder at hvis de tre lagunesystemer er ude af fase i forhold til tilbageholdelsen af en stofvariabel, kan den statistiske test vise en signifikant forskel i tilbageholdelsen i en periode selv om den samlede aktuelle tilbageholdelse/omsætning i perioden er næsten den samme.

Tabel 11.10 P-værdier ved en parede t-test (en test på differencen) for tilbageholdelsen af forskellige variable i plantelagunerne, hvor plantelagunerne sammenlignes parvis i forskellige perioder: år1 (2000 – marts 2001), år2 (april 2001 – marts 2002), sommer1 (april 2000 – september 2001), vinter1 (oktober 2000 – marts 2001), sommer2 (april 2001 – september 2001) og vinter2 (oktober 2001 – marts 2002). Med fed er angivet signifikansniveau på under 5%, dvs. hvor der er statistisk signifikant forskel i tilbageholdelsen af de givne variable mellem de to sammenlignede plantelaguner i den givne perioder.

Lagunepar	Variabel	År 1	År 2	Sommer1	Vinter 1	Sommer 2	Vinter 2
st. 510-520	TN	0,1338	**0,0217**	0,7243	0,1322	**0,0004**	0,6199
	TP	**0,0002**	**<0,0001**	**0,0035**	**0,0050**	**0,0001**	**0,0018**
	SS	0,2726	0,2438	0,7053	0,0216	0,5256	0,1300
	BI_5	0,8981	0,4402	0,9023	0,5753	0,1888	0,1208
	NH_3+NH_4^+	**<0,0001**	**<0,0001**	**<0,0001**	**<0,0001**	**0,0247**	**<0,0001**
	glødetab	**0,0455**	0,4817	0,3032	**0,0224**	0,8311	0,1239
	NO_{23}	0,9717	0,9613	0,6354	0,8118	0,3319	0,4243
	PO_4	**<0,0001**	**<0,0001**	**0,0002**	**0,0025**	**<0,0001**	**0,0002**
st. 510-530	TN	0,0153	0,0763	0,1292	0,0583	0,0669	0,6832
	TP	0,0054	**<0,0001**	**0,0269**	**0,0230**	**<0,0001**	**0,0106**
	SS	**0,0099**	**0,0800**	**0,0219**	**<0,0001**	0,1647	0,1858
	BI_5	0,2404	0,1081	0,0315	0,1120	0,1123	0,7937
	NH_3+NH_4^+	**<0,0001**	**<0,0001**	**0,0086**	**<0,0001**	**0,0142**	**<0,0001**
	glødetab	**0,0094**	0,1247	**0,0310**	**<0,0001**	0,2093	0,3443
	NO23	0,6519	0,4374	0,6173	0,4268	0,2378	0,7873
	PO4	**0,0008**	**<0,0001**	0,1919	**0,0015**	**<0,0001**	**<0,0001**
st. 520-530	TN	**0,0289**	0,5820	0,1311	**0,0482**	0,1707	0,4294
	TP	**0,0029**	**<0,0001**	**0,0184**	**0,0130**	**<0,0001**	**0,0099**
	SS	**0,0129**	0,5529	**0,0183**	**0,0025**	0,3711	0,3393
	BI5	0,1109	0,0563	0,0168	0,0426	0,3476	0,0327
	NH_3+NH_4^+	0,5441	**0,9657**	**0,0020**	**0,0160**	0,4988	0,3522
	glødetab	**0,0193**	0,4944	**0,0332**	**0,0078**	0,3096	0,2209
	NO23	0,4128	0,2956	0,8724	0,3499	0,4013	0,5374
	PO4	0,0890	**<0,0001**	**0,0169**	0,5468	**0,0181**	**<0,0001**

I tabel 11.11 er stoftilbageholdelsen/-omsætningen i lagunerne sammenlignet for hele måleperioden på 2 år igen parvis på ugebasis. Det samme mønster som i tabel 11.10 fremkommer, således at det især er tilbageholdelsen/omsætningen af NH_3+NH_4^+, PO_4-P og TP der er signifikant forskellig i de tre lagunesystemer, mens der generelt ikke er en signifikant forskel for BI_5 og NO_{23}-N. Det vil kræve yderligere detajlanalyser at afdække årsagerne til disse forskelle og der er givet mere end en årsag til disse forskelle.

Tabel 11.11 P-værdier ved en parede t-test (en test på differencen) for tilbageholdelsen af forskellige variable i plantelagunerne for hele måleperioden april 2000 til april 2002

Variabel	Lagune 510 mod 520	Lagune 510 mod 530	Lagune 520 mod 530
TN	**0,0100**	**0,0025**	0,5511
TP	**<0,0001**	**<0,0001**	**<0,0001**
SS	0,9453	**0,0268**	**0,0185**
BI5	0,6740	0,0516	**0,0222**
NH_3+NH_4^+	**<0,0001**	**<0,0001**	0,6130
Glødetab	0,5651	**0,0344**	**0,0372**
NO_{23}	0,9596	0,9736	0,9823
PO_4	**<0,0001**	**<0,0001**	0,0582

11.11 BI5 henfaldsforsøg og problemer med analysemetoden

Henfaldsforsøg med BI_5

For at undersøge betydningen af opholdstiden i dambruget for omsætningen af let omsætteligt organisk stof, som i følge Dambrugsbekendtgørelse skal måles som modificeret BI_5, blev der på to datoer (220801 og 190901) udtaget en dobbeltprøve i bagkanalen til sektionen med sættefisk i produktionsanlægget (st. 210). Prøverne blev udtaget som øjebliksprøver (2 liter pr. prøve) opbevaret koldt og mørkt og kørt til laboratorium indenfor to timer. Herefter blev prøverne hurtigt tempereret til 20 °C inden BI_5-målingerne blev iværksat. Målinger blev foretaget hyppigt de første timer (2 gange indenfor den første time, herefter hver time i det første døgn), siden med større intervaller således at der indenfor 5 døgn kunne måles til 75 forskellige tidspunkter hvoraf de 25 blev foretaget indenfor det første døgn (figur 11.1). Laboratoriet havde kun kapacitet til at måle 2 prøver af gange og for en af prøver gik det ene instrument i stykker efter godt 24 timer. Der er tydeligt at iltforbruget er hurtigst i starten og herefter aftager, således at størstedelen af BI_5 målt efter 5 døgn (120 timer) reelt allerede er omsat indenfor de første 24 timer. Tre af prøverne følges pænt ad mens prøve D har en endnu hurtigere omsætning end de tre andre.

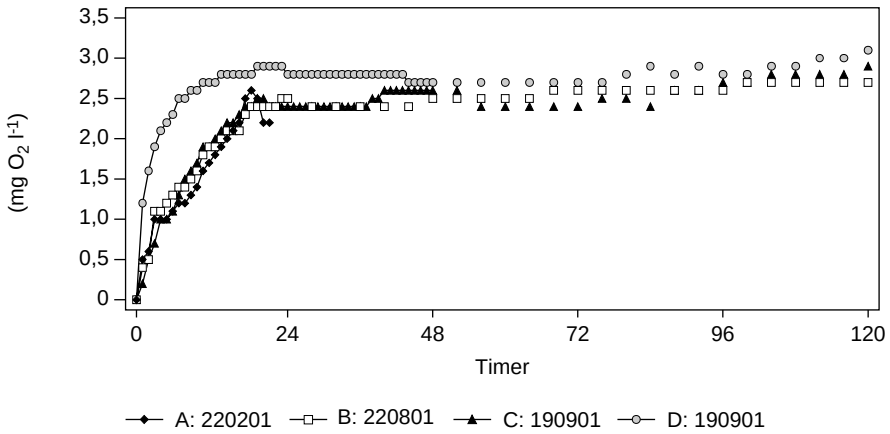


Fig. 11.1 Henfaldsforsøg med BI_5 målinger over 5 dage. Dobbeltprøve udtaget på begge datoer i bagkanalen af produktionssektion sættefisk sektion (station 210).

I tabel 11.12 er opsummeret hvor stor en del af den målte BI_5 (målt efter 5 dage) som er omsat efter et givent antal timer. Der er i den første halve time en omsætningsrate på 0,6 mg BI_5 per liter og anvendes prøve D er omsætningsraten helt oppe på 2,4 mg BI_5 per liter. For den første time, hvor der analyseres, ligger omsætningsraten på fra 0,50-0,60 for prøve A, B og C til 1,6 mg BI_5 per liter for prøve D. Inden prøverne er analyseret er der gået godt to timer fra de er udtaget, og selv om prøven har været opbevaret koldt (ca. 5 °C) er der en omsætning af BI_5 på i størrelsesorden 0,3 til 1,1 mg BI_5 pr. liter i de to timer (se under afsnittet om vurdering af BI_5 metodens egnethed senere i dette delkapitel). Ses bort fra denne omsætning viser tabel 11.12 at 50% af den målte BI_5 ved 20 °C (og reelt endnu mere af den faktiske BI_5-mængde) omsættes inden der er gået 8 timer, 2/3 er omsat efter 12 timer og ¾ efter 16 timer. Opholdstiden ser derfor ud til at spille en afgørende rolle for omsætning (egenomsætningen) af BI_5 i dambrug. I et dambrug der indtager mindre åvand end ved Døstrup Dambrug, kan man forvente at større dele af den tilstedeværende BI_5 er letomsætteligt, således at der ville kunne være endnu større omsætningsrater.

Det skal understreges at der er tal om BI_5 i prøver fra dambrugsvand i bevægelse i produktionsafsnittet. En stor del af dette BI_5 forekommer på opløst form mens hovedparten af resten er knytte til små partikler og er dermed meget let omsætteligt. I fiskefækalier og i foderspil vil det meste BI_5 være partikulært bundet og knyttet til store partikler, hvor der må forventes at være langsommere BI_5-omsætteligt. Dette synes bekræftet at igangværende forsøg foretaget hos DFU (*Per Bovbjerg Pedersen, personlig oplysning*).

Ved lavere temperaturer reduceres omsætningsraten. Normalt anvendes standard-omregningsfaktoren på $e^{0,08*(T2-T1)}$, hvor T2 er den aktuelle temperatur i °C og T1 i dette tilfælde er 20 °C (den temperatur BI_5-analysen er foretaget ved jvf. analyseforeskriften). Ved 15 °C, 10 °C og 5 °C skal omsætningsraten derfor reduceres med henholdsvis en faktor 0,67, 0,45 og 0,30. Det skal dog understreges at den procentuelle del af BI_5, der omsættes efter en given tid, ikke reduceres i samme

omfang, da man samtidigt vil måle en lavere BI_5 efter 5 dage, hvis der måles ved f.eks. 5 °C end ved standardforskriftens 20 °C.

Tabel 11.12 Procentdel af målt BI_5 efter 5 døgn der er omsat efter et givent antal timer og den tilhørende omsætningsrate som gennemsnit for prøve B og C (jvf. figur 11.1).

Timer	% af samlet BI_5	Omsætningsrate mg l^{-1} $time^{-1}$
0,5	10,5	0,60
1	17,5	0,50
2	31,6	0,45
4	38,6	0,28
8	54,4	0,19
12	68,4	0,16
16	77,2	0,14
20	86,0	0,12
24	86,0	0,10
48	89,5	0,05
120	100	0,03

BI_5 og COD forhold

Den 190901 blev der udtaget dobbeltprøver (øjebliksprøver) i indtaget fra Døstrup Bæk til dambruget (st. 020), i bagkanalen til sektionen med sættefisk i produktionsanlægget (st. 210), i indløbet til plantelagunerne nedstrøms bundfældningsanlægget (st. 450) og fra udløbet af plantelagunerne (st. 510, st. 520 og st. 530) for at bestemme indholdet af BI_5 og COD. Resultatet fremgår af figur 11.2. Formålet er at undersøge om der er en systematisk forskel gennem dambruget for indholdet af disse stoffer og sammenligne med vandløbsvandet i BI_5- og COD koncentration. Der skulle også være gennemført BI_5-henfaldsforsøg på prøverne men det lykkedes ikke laboratoriet at få disse prøver gennemført. BI_5 er målt på både en filtreret og en ufiltreret prøve (tabel 11.13).

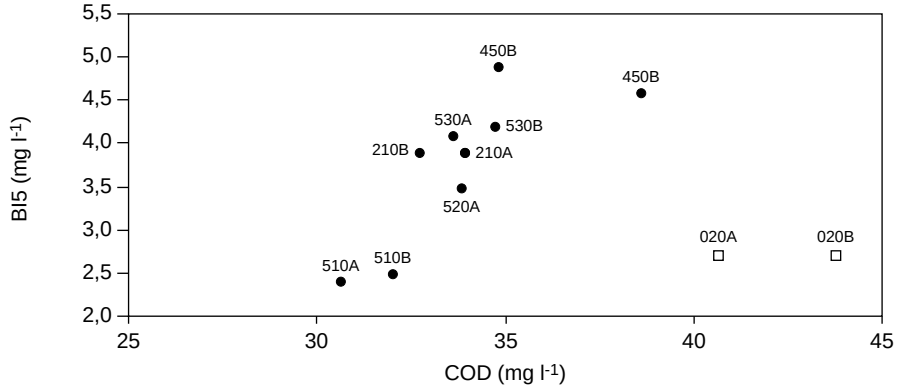


Fig. 11.2 På dobbeltprøver (betegnet A og B) udtaget den 190901 i henholdsvis vandløbet opstrøms Døstrup Dambrug (st. 020), i bagkanalen af sætteanlægsdelen i produktionsanlægget (st. 210), nedstrøms bundfældningsanlægget (st. 450) samt i afløbet fra de tre plantelagunesystemer er målt forholdet mellem BI_5 og COD.

Undersøgelsen viser at vandløbsvandet klart adskiller sig fra prøverne på dambruget med noget højere COD værdier (ca. 42 mg l^{-1}) mod 31-37 mg l^{-1} inde på dambruget. Da vandløbsvandet udgør ca. 75% af det samlede vandindtag og der ikke er COD af betydning i grundvandet, medfører dette umiddelbart en fortynding af åvandets COD koncentration til 31,6 mg COD l^{-1}. Fiskeproduktionen bidrager dog til at øge denne værdi, mens der i plantelagunerne sker en netto fjernelse/omsætning af organisk stof så COD koncentrationen i udledningerne fra dambruget er lavere end i vandløbsvandet opstrøms Døstrup Dambrug. Det er dog ikke muligt at vurdere omsætteligheden af COD i vandløbsvandet sammenlignet med det COD der kommer grundet fiskeproduktionen, men vandløbets COD er givet mere tungt omsætteligt.

For BI_5 er koncentrationen i prøven fra åvandet der indtages til dambruget 1,6 mg l^{-1}, mens BI_5 i det indtagne grundvand er under detektionsgrænsen (og derfor er værdien sat til 0,5 mg l^{-1} svarende til den halve detektionsgrænse som værdi for koncentrationen heri), der således umiddelbart fortynder koncentrationen ned til 1,2 mg l^{-1}. Koncentrationen ved st. 450, hvor der allerede er fjernet en del BI_5 i slamkegler, bundfældningsanlæg og via egenomsætning, er 2,9 mg l^{-1} dvs. ca. 2,5 gange større end blandingen af indtaget åvand og grundvand.

Vandløbsvandets BI_5 må forventes at være væsentligt langsommere omsætteligt end det frisk producerede BI_5 fra fiskeproduktionen som føres videre med dambrugsvandet i dambruget, således at den fjernelse der sker gennem dambruget primært er fra fiskeproduktionens stofbidrag og evt. fra noget stof dannet i plantelagunerne. BI_5-koncentrationerne i afløbet fra plantelagunerne er lidt atypiske, da den laveste koncentration findes i "vandløbssystemet", der ellers har kort opholdstid. Prøven er fra september, der var varm med en stor biologisk aktivitet i lagunerne. Der skal derfor tages højde for såvel biomassen med biofilm i lagunerne, iltforhold i lagunerne, der alt andet lige er bedst (højeste koncentrationer) i vandløbssystemet, hvor der er højere vandhastigheder, samt at der især i søsystemer også foregår en produktion af BI_5. Forholdet mellem BI_5 og COD påvirkes af fiskeproduktionen, idet BI_5-andelen øges som fra indholdet i fiskefækalier.

*Tabel 11.*13 Koncentrationen af BI_5 på filtreret og ufiltreret prøve og af COD som gennemsnit af dobbeltprøver udtaget den 190901 i indløb til Døstrup Dambrug (020), i bagkanalen fra midterste produktionssektion (st. 210), nedstrøms bundfældningsanlægget (st. 450) og ved udløbet fra hver af de tre plantelagunesystemer (st. 510, st. 520 og st. 530).t

Station	BI_5 – filtreret mg l^{-1} /% af total BI_5	BI_5 – ufiltreret mg l^{-1}	COD mg l^{-1}	BI_5-total/ COD
020	1,6/43	2,7	42,2	6,4
210	2,2/56	3,9	33,3	11,7
450	2,9/60	4,8	36,7	13,1
510	1,7/68	2,5	31,3	8,0
520	2,4/65	3,7	33,9	10,9
530	2,5/60	4,2	34,2	12,3

Vurdering af BI_5-målemetodens egnethed ved belastningsundersøgelser på dambrug

Almindelig praksis ved måling af vandets BI_5 ved belastningsundersøgelser indebærer at et antal delprøver pumpes op i en beholder, som er kølet ned til 4-5 °C, med faste tidsintervaller i løbet af et døgn. Herefter bringes prøven til et laboratorium hvor målingen foretages, dvs. man varmer prøven op til 20 °C, gennembobler den med atmosfærisk luft og måler siden hen iltforbruget i prøven efter 5 døgn ved 20 °C. Hvis prøven ankommer til laboratoriet på et ubekvemt tidspunkt bliver den evt. opbevaret på køl til næste dag, før målingen startes.

Som vist ovenfor er det bl.a. undersøgt hvorledes iltforbruget fordeler sig over de 5 døgn, ved at foretage målingen som tidsserie. Her starter laboratoriearbejdet få timer efter at prøverne var udtaget som øjebliksprøver, og iltforbruget er aflæst med små tidsintervaller. I prøver udtaget i kummesektion 1 og 2 var halvdelen af det samlede iltforbrug tilendebragt i løbet af 4-6 timer. Det er beregnet (tabel 6.3) at i kummesektionerne på dambruget forløber de tilsvarende processer døgnet rundt med en lignende hastighed som i starten af ovennævnte tidsserier. I slutningen af den intensive undersøgelsesperiode, hvor vandtemperaturerne svingede mellem 4,5 og 6,5 °C, ligger iltforbruget til egenomsætningen på godt 1 mg pr. liter pr. time i sektion 2 og godt 2 mg pr. liter pr. time i sektion 3. Denne omsætning må forventes at fortsætte med omtrent upåvirket hastighed i prøvebeholderen, hvor temperaturen er næsten uændret, indtil enten iltmangel eller mangel på organisk stof tvinger hastigheden ned. Hvis iltmangel ikke indtræffer må mængden af organisk stof fra de første delprøver være reduceret til stort set nul, når den normale laboratoriemåling starter 25-30 timer senere. Hvis iltmangel indtræffer vil det svare til, at BI_5-restindholdet er reduceret med mindst 6-7 mg/l i de tidlige delprøver. I de særlige øjebliksprøver der blev analyseret som tidsserier, kan indholdet være rundt regnet halveret eller mere inden analysen blev startet.

I prøver taget f.eks. efter passage af en plantelagune eller et biofilter vil omsætningshastigheden formentlig være mindre, dels fordi indholdet af organisk stof er reduceret, dels fordi det allermest let omsættelige stof allerede er fjernet. Men netop fordi den totale mængde organisk stof er mindre kan det procentvise tab inden en normal BI_5-måling startes være lige så stort som i prøver fra produktionsafsnittet.

Egenomsætningen i kummesektionerne er resultatet af beregninger over mange elementer der hver er behæftet med en usikkerhed. Usikkerheden på egenomsætningen er derfor vanskelig at vurdere. Men selv om man som "værst tænkelige tilfælde" antager at den sande egenomsætning kun er 25 % af den beregnede, så vil egenomsætninger på 0,25-0,5 mg pr. liter pr. time stadig være nok til at omsætte størstedelen af det letomsættelige organiske stof i de 18-30 timer, der er til rådighed for den første halvdel af delprøverne i en døgnprøve. De særlige prøver der med kortere forsinkelse er analyseret som tidsserier, viser omsætningshastigheder mellem 0,5 og 1,6 mg pr. liter pr. time i den første time ved 20 °C. Omregnet til nedkølede prøver ved 5 °C svarer dette til 0,15-0,5 mg pr. liter pr. time når man benytter stan-

dard-omregningsfaktoren på $e^{0,08*(T2-T1)}$, hvor T2 er 5 °C og T1 er 20 °C. Hvis analyserne var startet uden tidsforsinkelse ville tallene for den første times omsætning have været højere.

Konklusionen af ovenstående betragtninger må være at der rejses alvorlig tvivl om BI_5-analysens brugbarhed ved belastningsundersøgelser på dambrug. Måleresultater for prøver udtaget efter den almindelige forskrift afspejler langtfra det faktiske indhold af letomsætteligt organisk stof på grund af tidsforsinkelsen, i kummesektionerne på Døstrup Dambrug formentlige mindre end halvdelen.

Et tænkt, absolut realistisk eksempel kan illustrerer forholdene. Her udtages 24 lige store delprøver over et døgn. Det antages at der i den kølede beholder, hvori delprøverne opsamles, sker en omsætning med konstant hastighed uden at iltmangel bliver begrænsende. Laboratoriemålingen som tænkes startet 30 timer efter at den første delprøve er udtaget, viser BI_5 = 4 mg/l (et typisk resultat for kummesektion 2 og 3 på dambruget). Det kan så beregnes, hvad det sande BI_5-indhold må have været ved forskellige omsætningshastigheder i den kølede beholder. Selv ved så lav en omsætning som 0,05 mg pr. liter pr. time, som er langt under de faktiske observationer og beregninger på dambruget viser som realistiske, er det sande indhold 1 mg større end det målte, hvad der svarer til en målefejl på 20%. Ved en hastighed på 0,25 mg pr. liter pr. time, det "værst tænkelige tilfælde" af undervurdering af de faktiske forhold jfr. foregående afsnit, har det oprindelige indhold været ca. 8,5 mg/l eller mere end dobbelt så stort som det målte indhold. Det giver ingen mening at fortsætte beregningerne væsentlig ud over en hastighed på 0,3 mg pr. liter pr. time. Så vil det beregnede oprindelige indhold hurtigt komme langt op over den iltmængde der er til rådighed i delprøven, når den udtages og så må man forvente, at omsætningshastigheden efterhånden vil bremses af iltmangel.

Den hurtige BI_5-omsætning selv ved lave temperaturer viser også at egenomsætningen af organisk stof har betydning selv i et betonanlæg blot der er en opholdstid på bare nogle ganske få timer.

Perspektivering

Det er tydeligt at opholdstiden i dambruget spiller en afgørende rolle for hvor meget let omsætteligt organisk stof, der bliver omsat inden vand fra dambrug ledes ud i recipienten. De beskrevne forsøg er hvad der vil blive målt som egenomsætning. Det BI_5 der dannes i forbindelse med fiskeproduktion på dambrug, omsættes hurtigere end det BI_5 der indtages med åvandet. Eventuelt meget hurtigt omsætteligt BI_5 i åvandet vil generelt være omsat inden det indtages på dambrug, da det organiske stof har opholdt sig en del timer eller dage i vandløbet. Kan opholdstiden forøges fra 1-3 timer til 12-16 timer på et dambrug så tyder forsøget fra Døstrup Dambrug, at omsætningen af let omsætteligt organisk stof kan forøges betydeligt således at op til ¾ af BI_5 efter ca. 16 timer kan være omsat. Langt størstedelen af BI_5 ser således ud til at blive omsat indenfor de første døgn.

Den resterende del af det let omsættelige organiske stof omsættes gradvist over dag 2 til 5, og det betyder at hvis vandet har opholdt sig f.eks. 16 timer på dambruget, så vil det BI_5, der udledes fra dambru-

get, omsættes (under forbrug af ilt) over en meget lang strækning nedstrøms vandløbet. Hvis vandet bevæger sig i gennemsnit med lavt sat 0,3 m s^{-1} i vandløb, vil det kunne bevæge sig over 100 km på fire dage. På disse godt 100 km skal ca. 23% af BI_5 i de udtagen prøver i tabel 11.12 omsættes i vandløbet, hvis opholdstiden på dambruget er 16 timer. Hvis opholdstiden f.eks. kun havde været 1 time på Døstrup Dambrug ville ca. 20% af BI_5 blive omsat nedstrøms dambruget de næste to timer, der med hastigheden fra før ville ske over en strækning på godt 2 km. I dette tilfælde vil der være en risiko for at tilstanden i vandløbet nedstrøms dambruget kunne påvirkes.

Der bør naturligvis laves betydeligt flere af denne slags henfaldsforsøg herunder ved forskellige temperaturforhold og hvor vandløbsbidraget har en mindre betydning for fuldtud at kunne vurdere betydningen af opholdstiden og for at optimere denne på et dambrug, idet der ud over den beskrevne egenomsætning også sker en fysisk fjernelse af letomsætteligt organisk stof i slamkegler, bundfældningsbassin og i plantelagunerne som vil påvirke den faktisk egenomsætnings størrelse. Det skal ligeledes understreges at henfaldsforsøgene er lavet på dambrugsvand i produktionsanlægget, hvor andelen af BI_5 på opløst form og bundet til små partikler er høj og derfor er meget let omsætteligt. For BI_5 i fiskefækalier og foderrester vil det være bundet til (større) partikler og være mindre hurtigt omsætteligt.

Problemstilling med BI_5 metoden omkring forholdet mellem det faktiske indhold i prøven og måleresultatet vil for den enkelte prøve være følsomt over for temperatur- og tidsfaktorer, ligesom forskellige typer prøvetagere kan påvirke resultaterne forskelligt. Kvalitativt kan resultaterne af disse målinger tages som et groft indeks for, om koncentrationen af let omsætteligt organiske stof i et givet målepunkt ændrer sig f.eks. grundet ændrede produktionsforhold (nye fodertyper, nye renseforanstaltninger osv.) eller om der sker ændringer ved passage af et bestemt element i dambruget. Beregninger, hvor resultatet er afhængigt af nøjagtige måleværdier, bør ikke umiddelbart udføres på resultater af prøver indsamlet med den nu anvendte praksis.

Ovenstående overvejelser giver også anledning til at angive at fremføre at målte udledninger af let omsætteligt BI_5 især fra dambrug med en intern kort opholdstid hidtil må have været underestimeret. Jo længere opholdstid inde på dambruget des mere let omsætteligt BI_5 er der brændt af før prøven nedstrøms dambruget eller i udløbet fra dette tages og des mindre fejl begås. Det kan hævdes at selv om BI_5 udledningerne hidtil kan være underestimeret ved en række dambrug, så er der taget højde for dette når det vurderes hvilken BI_5-belastning vandløbet kan tåle, da man har relateret målinger med de målte faunaklasse og herved indirekte taget højde for underestimerede værdier af BI_5. Samtidig kan det også være en af forklaringerne på en stor spredning i værdier omkring en sammenhæng mellem BI_5 og faunaklasse, da det er opstillet for dambrug af vidt forskellige beskaffenhed.

BI_5 metodens egnethed kan derfor diskuteres fordi prøvehåndtering, herunder døgnpuljning, og tid fra prøven er taget til den analyseres er af afgørende betydning. Såfremt opholdstiden øges i fremtidens dambrug bliver problemet betydeligt mindre.

11.12 Iltforhold i Døstrup Bæk

Vilkåret om en iltkoncentration større end 7 mg l^{-1} i 100% af tiden er tilfredsstillet opstrøms dambruget (station 20). Lige nedstrøms Døstrup Dambrug (st. 600) har kravet generelt været opfyldt på nær om natten i to uger i juli og august 2000, som kan henføres til at iltmåleren i perioder stod tildækket i grøde og dermed ikke målte de faktiske forhold i vandløbsvandet. Endvidere er kravet ikke opfyldt et par gange om natten i marts 2002. I august og september 2000 er der enkelte tilfælde hvor kravet ikke er opfyldt 1 km nedstrøms dambruget (st. 990). I 2001 er der om sommeren nogle få tilfælde hvor iltkoncentrationen kommer under 7 mg/l ved st. 20 og 990, mens det ikke er tilfældet umiddelbart nedstrøms dambruget.

Vilkåret om at iltmætningsprocenten altid skal være større end 70% er overholdt i 96% af tiden. I det første måleår er de 6% af tiden hvor kravet ikke var opfyldt ved st. 600 i 1/6 af tilfældene sammenfaldende med at iltmætning også har været under 70% i det vand som tages ind i dambruget fra Døstrup Bæk. I det andet år er kravet kun overtrådt 2% af tiden ved station 600.

Vilkåret i miljøgodkendelsen om at 50% af de daglige minimumsværdier for iltkoncentrationen skal være mindst 9 mg l^{-1} både opstrøms og nedstrøms dambruget har set over hele måleperioden og de to måleår været opfyldt umiddelbart nedstrøms dambruget, mens det ikke har været opfyldt i 6% af perioden i indløbsvandet til dambruget. Deles perioden op i sommer- og vinterhalvår er der ingen problemer i vinterhalvåret, mens der i perioden juli til oktober generelt er minimumsværdier på under 9 mg l^{-1} i over 50% af tilfældene både i indløbsvandet og umiddelbart nedstrøms dambruget.

Der er et stort iltforbrug i plantelagunerne (iltkoncentrationerne når periodisk ned på under 2 mg l^{-1} allerede 1/3 nedstrøms i plantelagunerne), og i sommerhalvåret forekommer nogle meget store døgnsvingninger i iltkoncentrationen. Alligevel bevirker de beluftningskasser som vandet fra plantelagunerne løber igennem før det når Døstrup Bæk, og det stryg frivandet løber ned over mellem st. 20 og 600, at iltforholdene umiddelbart nedstrøms dambruget er mindst ligeså gode som opstrøms og overordnet set overholder de stillede vilkår.

11.13 Overholdelse af målsætning i Døstrup Bæk

Vurdering af opfyldelsen af målsætningen i Døstrup Bæk er baseret på Nordjyllands Amts og DMU's undersøgelser af faunatilstanden ved hjælp af Dansk Vandløbsfaunaindeks DVFI (*Miljøstyrelsen, 1998*) jvf. tabel 10.3. Der er i perioden marts 1998 til marts 2002 foretaget 23 indsamlinger af faunaen på 3 lokaliteter i bækken og i alt identificeret 153.000 individer repræsenterende 84 forskellige arter. De 16 indsamlinger er foretaget indenfor den to årige måleperiode, hvor både DMU og Nordjyllands Amt har foretaget indsamlinger ca. hver tredje måned (vilkåret i den midlertidig miljøgodkendelse var en indsamling per kvartal). Døstrup Bæk er op- og nedstrøms målsat som B1

(gyde- og yngelopvækstområde for laksefisk). Nordjyllands Amt foretog i 1999 en foreløbig fastsættelse af målsætningen til en DVFI faunaklasse på 5 på baggrund af at amtet vurderede den optimale faunaklasse til DVFI 6. DMU har ved vurdering af målsætningsopfyldelse alene brugt de beregnede faunaklasser.

En målerunde viser at bundsubstratet på stationen umiddelbart nedstrøms dambruget er mindst lige så varieret som opstrøms (tabel 10.1). Der er på begge stationer godt 20% groft substrat (sten og groft grus). På en station 990 meter nedstrøms dambruget, hvor der også er taget faunaprøver, udgør groft substrat kun 2%. Her udgør sand, mudder og tørv 93% af substratet. Hastighedsforholdene er vurderet som god til frisk på målestationer opstrøms og umiddelbart nedstrøms dambruget mens den på stationen 990 m nedstrøms dambruget er vurderet som jævn til god.

På stationen opstrøms Døstrup Dambrug har alle 23 DVFI'er været 5, 6 eller 7 og dermed opfyldt målsætningen. Umiddelbart nedstrøms har DVFI været 4 i alle 9 tilfælde frem til og med august 2000, dvs. manglende målsætningsopfyldelse. Herefter indtræder en overgangsfase frem til og april 2001, hvor DVFI har været 4 tre af seks gange og 5 de resterende tre gange. Det efterfølgende år er DVFI bestemt til 5 i 7 tilfælde og 4 en enkelt gang. I denne periode, hvor der fra maj 2001 samtidigt gradvist er sket en forøgelse af foderforbruget, har målsætningen været opfyldt i 7 af 8 af tilfælde. En analyse baseret på den artssammensætning der er målt, er gennemført for at angive usikkerhederne på de målte DVFI'er. Denne analyse viser også at der ved stationen umiddelbart nedstrøms dambruget er sket en ændring fra DVFI på 4 til DFVI omkring 5.

For både stationen opstrøms og umiddelbart nedstrøms Døstrup Dambrug vurderes det grove substrat og de gode hastighedsforhold at give mulighed for rentvandsarter knyttet til faste substrater. Den maksimalt opnåelige faunaklasse (optimale faunaklasse) er 7.

For stationen 990 m nedstrøms har faunaklassen også balanceret mellem 4 og 5 i perioden frem til og med februar 2001 hvorefter DVFI er bestemt til 5 frem til og med marts 2002, dvs. 100% målsætningsopfyldelse. Dette sker trods mere sandet substrat og lavere vandhastigheder, således af den optimale faunaklasse vurderes til 6.

Der er tre forhold i smådyrenes forekomst der har været afgørende for, at faunaklassen varierer mellem 4 og 5 på de to stationer nedstrøms Døstrup Dambrug. De mest rentvandskrævende arter som *Limnius* har endnu ikke etableret sig på trods af den er talrig opstrøms dambruget. Forekomsten af *Asellus* i 5 eller flere individer betyder i en række tilfælde, at faunaklassen ikke kan blive højere end 4. Antallet af *Asellus* har i flere tilfældet ligget mellem 2 og 7. Det tredje forhold der påvirker faunabedømmelsen er den samlede artsdiversitet, hvor man ser på forskellen mellem arter, der regnes for positive og arter, der regnes som negative. Diversiteten har i flere tilfældet også afgjort om faunaklassen er blevet 4 eller 5. Faunaklassen nedstrøms dambruget har således i en periode balanceret i en overgangszone omkring målsætningsopfyldelse og ikke målsætningsopfyldelse

men har i perioden maj 2001 til april 2002 været 5 i 7 af 8 tilfælde og dermed målsætningsopfyldelse i 88% af denne sidste måleperiode, hvor der samtidigt har været det højeste foderforbrug.

Perspektiver
Umiddelbart synes mulighederne for permanent målsætningsopfyldelse at være tilstede på stationen umiddelbart nedstrøms Døstrup Dambrug med de udledninger, der har været, herunder af iltforbrugende stoffer som ammoniak og BI_5 (ammoniak er 4 gange mere iltforbrugende end BI_5 pr. mg der skal omsættes). Vi kender ikke det præcise niveau for de forskellige stoffer på den strækning hvor de opstrøms faunaprøver er taget, som ligger knap 500 m opstrøms station 030. Noget af det organiske stof som udledes fra dambruget er mere letomsætteligt end det organisk stof, der er i vandløbet opstrøms Døstrup Bæk trods den relativt lange opholdstid i dambrugets plantelaguner. Dette kan sammen med det udledte ammoniumkvælstof ikke udelukkes at kunne påvirke faunaen nedstrøms, men det tyder ikke på at det kan hindre at en DVFI på 5 mere permanent kan opnås umiddelbart nedstrøms dambruget. Iltforholdene umiddelbart nedstrøms dambruget har ikke været statistisk signifikant forskellige fra stationen 030 og har overordnet overholdt de stillede vilkår, men vi kender ikke de faktiske iltforhold, hvor DVFI-prøverne er taget opstrøms dambruget.

Hvorvidt DVFI kan bliver højere end 5 umiddelbart nedstrøms dambruget kan projektets resultater ikke afgøre, men vandløbets substrat og hastighedsforhold tilsiger at det absolut er muligt, og den optimale faunaklasse nedstrøms dambruget vurderes af være 7. Hvad et øget foderforbrug vil betyde vil bl.a. afhænge af om dette give anledning til væsentlig højere udledninger af BI_5 og ammonium-N.

Der er et mindre drænudløb umiddelbart opstrøms faunastationen, der ligger umiddelbart nedstrøms Døstrup Dambrug. Det er ikke foretaget målinger på dette drænudløb, men det vurderes ikke umiddelbart at have påvirket faunaklassen ved denne faunastation.

Den manglende målsætningsopfyldelse i begyndelsen af måleperioden kan blandt andet tilskrives, at vandløbet har været forstyrret i forbindelse med anlægsarbejdet, og at der inden fase 2 startede og projektgruppen havde ansvar for projektet, har været et højere foderforbrug end i de to måleår. Samtidig har udledninger varieret meget i de første 2-3 måneder af fase 2 fordi lagunerne blev total oprenset i marts 2000 og efterfølgende tæt begroet af trådalger.

For stationen 990 m nedstrøms Døstrup Dambrug er de fysiske forhold mindre favorable, men alligevel synes en permanent målsætningsopfyldelse at være mulig. Det hurtigst omsættelige organiske stof og ammonium kvælstof der udledes fra dambruget, vil blive omsat inden det når ned til den nedstrøms station, idet der vil gå ca. 1 time før dambrugsvand når denne station. Det skal bemærkes at der kan være belastning fra udledninger fra et regnvandsanlæg fra en motorvej opstrøms denne station, men det kan ikke vurderes om udledningerne herfra har haft indflydelsen på vandløbets smådyrsfauna.

11.14 Overholdelse af vilkår i miljøgodkendelsen

Baseret på måleprogrammet de to måleår på Døstrup Dambrug opsummeres om vilkårene i den midlertidige miljøgodkendelse har været opfyldt. Der er alene medtaget vilkår der kan vurderes ud fra måleprogrammet. Vilkår ift. indretning og drift i øvrigt ligger udenfor denne rapports formål. Referencer er til Miljøklagenævnets afgørelse den 11. november 1999 "…om miljøgokendelse af forsøgsprojektet Døstrup Dambrug".

Oprensning ved projektstart
Inden forsøget blev iværksat skulle hele dambruget tømmes for fisk og oprenses inklusiv plantelaguner (vilkår 3). Dette skete i marts 2000 umiddelbart før målingerne startede, således at der ikke var slamdannelser i produktionsanlæg og bundfældningsanlæg, slamdepoter var tomme og plantelagunerne var nøgne, helt uden planter og slamaflejringer.

Foderforbrug, –sammensætning og –kvotienter
Der kræves ført en driftsjournal (vilkår 83-84). Oplysninger om foderforbrug, -sammensætning, -indhold og –kvotienter er baseret på den af dambrugeren førte driftsjournal. Oplysningerne er indlagt i programmet DJournal.

Fodermængde: I det første produktionsår må der maksimalt anvendes 50 tons foder (vilkår 14). Der blev anvendt godt 51 tons i måleår 1 (april 2000 til april 2001). I slutningen af juni 2001 blev der meddelt tilladelse til at øge foderforbruget til årligt 74 tons. I perioden april 2001 til april 2002 er anvendt godt 65 tons foder.

Fordelingen: Foderforbruget skal være fordelt med 60% i sommerhalvåret (april – september) og 40% i vinterhalvåret (oktober – marts) ifølge vilkår 18. Dette er overholdt.

Foderforbrug til yngel må maksimalt udgøre 15% af den samlede fodermængde i det enkelte produktionsår. Dette er ikke overholdt i måleår 1 men overholdt i måleår 2.

Indhold af kvælstof og fosfor i foderet: Indholdet i foderet i det første måleår var 7,66% kvælstof og 1,16% fosfor. I det andet måleår var det 7,29% kvælstof og 1,05% fosfor. Ifølge vilkår 20 må kvælstofindholdet maksimalt være 8,5% og fosfor maksimalt 0,95%. Det leverede foder har ved alle leverancer overholdt foderstoflovgivningens kontrolkrav for kvælstof og fosforindhold.

For yngelfoder har der også været stillet vilkår til kvælstof og fosforindholdet, hvor fosforindholdet har været 1,51% det første år og dermed højere end vilkår 21 på 1,3%.

Foderkvotienter: Vilkår 22 forskriver at foderkvotienten ikke må overstige 0,9 for konsumfisk, 0,85 for sættefisk og 0,7 for yngel. Vilkåret overholdes for konsum og sættefisk, men ikke for yngel, da der

har været anvendt større yngel end forudsat. Den samlede foderkvotient for de to år har været 0,847.

Medicin og hjælpestoffer
Vilkår 28 omkring maksimalt forbrug af formalin og kloramin-T er overholdt. Der er indhentet supplerende tilladelse hos Nordjyllands Amt til at anvende Detarox.

Vandindtag og -udledning, plantelaguner
Vandflow i produktionsenhederne: Vandflowet i sektion 1 har været 164 ± 31 l s^{-1}, i sektion 2 188 ± 19 l s^{-1} og i sektion 3 169 ± 35 l s^{-1} og har dermed opfyldt vilkår 36, hvor det maksimale vandflow i de tre sektion må være henholdsvis 250, 350 og 450 l s^{-1}.

Plantelaguner: Plantelagunerne skal tilledes lige store vandmængder herunder lige store vandmængder til den enkelte dam (vilkår 37). Den foreskrevne indretning blev lavet, og vilkår 38 om at kunne aflæse overløbshøjden i plantelagunerne er opfyldt, og der er hver uge taget foto af de etablerede skalapæle som dokumentation for overløbshøjden (se foto 8.6 og 8.7 i kapitel 8). Dokumentationen findes hos DMU.

Der er i praksis tilledt de samme vandmængder til plantelagunerne, idet vandløbssystemet i gennemsnit har fået tilledt 34,9 ± 5,1 l s^{-1}, søsystem 1 35,3 ± 5,1 l s^{-1} og søsystem 2 32,1 ± 5,9 l s^{-1}.

Udledning: Der må maksimalt udledes 170 l s^{-1} (vilkår 17). Vandudledning har i hele måleperioden ligget væsentligt under denne grænse.

Grundvand: Der må indtages max. 27,7 l s^{-1} grundvand. Der er i gennemsnit taget 26 ± 2 l s^{-1} (min. 22 og max. 38 l s^{-1}), så der kun i meget korte perioder er taget mere grundvand end den tilladte maksimale grænse. Den daglige indtagne mængde er kendt ud fra aflæsninger på et kvalitetsvandur.

Medianminimum: Miljøgodkendelsen opererer med et medianminimum på 80 ls^{-1}, hvor DMU's beregninger giver 149 l s^{-1}. Der er taget 31% (76 l s^{-1}) af vandføringen i Døstrup Bæk til produktionen i gennemsnit med et minimum på 11% og et maksimum på 59%.

Måleprogram
Der er stillet en række vilkår til hvor der udtages vandprøver til kemiske analyser, og hvilke der i det første måleår skal tages med en frekvens på 52 og i det andet måleår med en frekvens på 26 samt til andre typer af målinger (vilkår 62 til 69). Der er målt på alle forskrevne positioner plus en række ekstra. Endvidere er der målt med en frekvens på 52 i begge måleår ift. vandkemiske prøver. Alle vilkår ift. måleprogrammet er overholdt herunder at DMU har udtaget de vandkemiske prøver og at de er analyseret på akkrediteret laboratorium.

Vilkår 42 om måling af vand afledt fra efterbehandlingssektion gennem trykmåling af vandstande hvert tiende minut er også overholdt.

Øvrige krav til måleprogram er også opfyldt.

Udlederkrav
Miljøgodkendelsens udlederkrav er angivet i tabel 2.1 (vilkår 52). Kontrolreglerne er givet i vilkår 53 og 54 De opstillede kontrolregler og overholdelse heraf kan ikke beskrives i et kort afsnit, men er sammenfattet i afsnit 11.8 hvor der også er set på opfyldelse af udlederkrav ved forskellige kontrolregler. Helt groft sammenfattet for den samlede måleperiode er det alene BI_5 som udlederkravene generelt ikke er overholdt for.

Iltforhold
Der har været en række vilkår omkring iltforholdene opstrøms og nedstrøms dambruget i Døstrup Bæk. Disse er beskrevet i vilkår 58-60 og i 14a. Overordnet er vilkårene umiddelbart nedstrøms dambruget opfyldt og der er givet en opsummering omkring overholdelse af iltkravene i afsnit 11.12.

Faunatilstand
Ifølge vilkår 55 må faunaklassen umiddelbart nedstrøms Døstrup Bæk ikke være mindre end 5 efter DVFI. Dette opfyldes ikke det første måleår.

DMU har som angivet i vilkår 57 foretaget 4 bedømmelser pr. år af faunaklassen efter DVFI på 3 stationer i Døstrup Bæk (vilkår 56 og 57) og disse er suppleret med 4 bedømmelser pr. år udtaget af Nordjyllands Amt. Frem til august 2002 har faunaklassen umiddelbart nedstrøms dambruget været 4 og dermed er målsætningen ikke opfyldt. Fra august 2000 til og med april 2001 har DFVI været 4 tre af seks gange og 5 de tre andre gange. Fra maj 2001 og 1 år frem er DVFI bestemt til 5 7 gange og 4 1 gang. Der er hermed målsætningsopfyldelse i 88% af tilfældene og det er vurderingen, at der med et foderforbrug på 74 tons er basis for permanent målsætningsopfyldelse nedstrøms dambruget. Der har været målsætningsopfyldelse opstrøms dambruget i hele perioden.

11.15 Afrunding og forhold der bør yderligere undersøges

Hovedresultaterne og perspektiveringer er generelt givet i de enkelte afsnit af dette kapitel. Det vil derfor føre for vidt at gentage alle resultater. I dette afsluttende kapitel trækkes de områder frem som der vurderes at være fundet væsentlige resultater for, som kan anvendes som rettesnor eller tommelfingerregel for andre dambrug med sammenlignelige forhold. Der angives nogle yderligere tværgående perspektiveringer samt påpeges behov for forhold som denne undersøgelse viser kræver yderligere undersøgelser. Dels fordi resultaterne fra Døstrup Dambrug ikke kan stå alene dels fordi vores undersøgelser har vist, at der en række væsentlige parametre og processer, der

skal undersøges for at kunne tage højde for væsentlige forhold der påvirker forholdene på dambrug.

Det store måleprogram med 52 puljede målinger pr. år 15 steder på et dambrug og kontinuert registrering af ilt, vandtemperatur, vandmængder m.v. gennem to måleår har vist sig at give meget præcise tal. Der foreligger et meget omfattende dokumentationsmateriale for Døstrup Dambrug, der er et lavteknologisk dambrug, i forhold til:

- statistisk kontrol af vejledende udlederkrav, som ikke alle har kunnet overholdes, bl.a. fordi kravene har været meget skærpede ift. Dambrugsbekendtgørelsen (afsnit 11.7 og 11.8)
- overholdelse af iltkrav (afsnit 11.12)
- præcise opgørelser af stoftilbageholdelse i slamkegler, bundfældningsanlæg og plantelaguner ved to foderniveauer (50 tons pr. år og 74 tons pr. år) for en række stoffer (afsnit 11.9). Plantelagunerne har størst betydning for tilbageholdelse af alle stoffer men især for total kvælstof og BI_5, hvor hovedparten af disse stoffer sker i lagunerne. Herudover er slamkeglerne vigtige for tilbageholdelsen af total fosfor og BI_5. Set i forhold til den samlede stoftilførsel til dambruget tilbageholdes over 75% af suspenderet stof, knap 50% af BI_5, 35% af total fosfor og 5-6% af total kvælstof i dambrugets renseforanstaltninger inkl. plantelaguner og egenomsætning.
- betydning af produktionsbidrag i forhold til vandløbsbidrag (afsnit 11.9)
- udledning af stoffer i forhold til foderforbrug og fisketilvækst ((afsnit 11.9)
- tab af kvælstof- og fosforfraktioner (afsnit 11.9)
- tab af næringsstoffer med slamvand (afsnit 11.9)
- for en 9 ugers periode solid information om fisketilvækst, foderkonvertering, indhold af næringsstoffer m.v. i ørred, produktion af affaldsstoffer, betydning af tømningshyppighed af slamkegler for stoftilbageholdelse (afsnit 11.4 og 11.5)
- dokumentation for vand og energiforbrug, foder inkl. indhold af stoffer heri, forbrug af medicin og hjælpestoffer og driften i øvrigt (afsnit 11.2 og 11.3)
- udvikling i den biologiske tilstand op- og nedstrøms dambruget (afsnit 11.13)
- ikke at ibrugtage nyoprensede plantelaguner i en forårsperiode men vente på at der efter nogle måneder er etableret et vis plantedække (afsnit 11.6).

Resultaterne fra det første måleår dannede baggrund for en del af de forudsætninger for stofomsætning for kommende modeldambrug (*Bekendtgørelse om Modeldambrug, 2002*, *Dambrugsudvalget, 2002* og *Bovbjerg Pedersen et al., 2003*). Resultaterne for de andet måleår viser at bekræfte 1 års målinger og faktisk i en del sammenhænge give endnu bedre resultater i forhold til stoftilbageholdelse/-omsætning især i plantelagunerne.

Det er indlysende at resultaterne ikke kan anvendes ukritisk i forhold til andre dambrugssystemer. Der er for Døstrup Dambrug i de to år opnået resultater med meget høj statistisk sikkerhed, der ikke normalt opnås i undersøgelser. Der er tilvejebragt en guldgrube af informationer og der ligger mange yderligere informationer i det ind-

samlede materiale. Ved en sammenligning med andre dambrug skal der tages højde for at vandløbsbidraget er relativt højt og at koncentrationerne af f.eks. total kvælstof i både vandløbsvandet og grundvandet er høje. BI_5 i det indtagne vandløbsvand er også højt. Anlægget opererer ikke med biofiltre men alene slamkegler og bundfældningsbassin. Det er dokumenteret at slamkeglerne er effektive til at fjerne partikulært bundet stof og at det er vigtigt at tømme slamkeglerne hyppigt og ikke tage for meget vand med, men dette bør undersøges nærmere.

Plantelagunerne har haft overraskende stor renseeffekt og er den vigtigste renseforanstaltning for f.eks. BI_5 og total kvælstof og ammonium-kvælstof (afsnit 11.9 og 11.10). Men der er en række forhold som bør undersøges nærmere, som:

- hvad vil en oprensning af plantelagunerne betyde
- hvor lang tid skal der gå mellem oprensninger
- hvordan opfører lagunerne sig over tid og hvad vil en tidlig og kold vinter betyde
- hvad vil betydningen være af ændret opholdstider, ændrede dimensioner af laguner, ændret belastning (mængde og form, partikulært kontra opløst) af lagunerne i forhold til stoftilbageholdelse osv.
- hvordan vil forholdene være med tilstedeværelse af andre plantesamfund
- vil plantelagunerne kunne optimeres med overvintrende plantesamfund eller kunstigt plantemedie
- hvordan optimeres iltforholdene i lagunerne
- hvad er det for processer der er de vigtigste for stofomsætningen/-tilbageholdelse af forskellige stoffer, herunder hvilke processer foregår i vandfasen kontra i sediment og slam på bunden af lagunerne
- hvordan optimeres driften og hvor cost-effektiv er den ift. andre renseforanstaltninger.

Det er beregnet at anlægget er dimensioneret til et foderforbrug på 132 tons pr. år (afsnit 11.3). Projektet har ikke fået mulighed for at øge foderforbruget til den grænse hvor renseforanstaltninger ikke længere tager en vis procentdel af belastningen eller til hvor udledninger stiger markant. Dette havde været hensigtsmæssigt i relation til at kunne generalisere.

Det er ikke muligt at sige om målsætningen nedstrøms dambruget permanent kan opfyldes ved et højere foderforbrug end de 74 tons pr. år der blev anvendt de sidste 9 måneder. Målsætningen var opfyldt i 7 af 8 tilfælde i det andet måleår og har bevæget sig fra DVFI 4 til 5 på en strækning hvor den optimale faunaklasse er 6 eller 7. Det er oplagt at ikke kun udledninger af BI_5 og ammonium-N har betydning for den biologiske vandløbskvalitet, og det kræver en række undersøgelser at fastlægge, hvilke forhold der påvirker smådyrsfaunaen.

Indholdet af forskellige stoffer (som kvælstof, fosfor, COD, fedt, protein m.fl.) i ørred og i fækalier bør også undersøges på flere tidspunkter af året og der bør udvikles på vækstmodellerne.

Der ligger et potentiale for øget tilbageholdelse af affaldsstoffer fra fiskeproduktionen omkring tømningshyppigheder (helst dagligt og med så lidt slamvand som muligt), anden håndtering, udformning, placering o.l. af slamkegler.

Vi viser at der er en række problemstillinger omkring organisk stof, der bør undersøges yderligere (afsnit 11.11), som:

- analyseproblem i forhold til BI_5 (meget er omsat før analysen sættes i gang) og dermed undervurderes BI_5 indholdet
- om der kan findes et bedre mål for letomsætteligt organisk stof
- at tal for det teoretiske BI_5 bidraget fra fiskeproduktionen fra Miljøstyrelsen kan ikke reproduceres
- henfaldsforsøg med BI_5 herunder ved forskellige temperaturer viser, at der på kun få timer tilsyneladende sker en omsætning af over 50% BI_5 alene ved egenomsætning i vandfasen. Det betyder at en øget opholdstid vil være en stor og måske afgørende gevinst for miljøet, idet meget BI_5 (og måske også ammonium-N) kan omsættes på dambruget før det udledes til vandløb.

12 Referencer

Alsted, N. S. (1989). Miljøfoder til fisk. Ervhervsforskerprojekt mellem Dansk Ørredfoder, Brande, og Danmarks Tekniske Højskole.

Andersen, H.E. & Svendsen, L.M. (1997): Suspended sediment and total phosporus transport in a major Danish river: metods and estimation of effects of a coming major restoration. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, Vol. 7, 265-276.

Andersen, J. & Jensen, J. (1981): Sammenhæng mellem forureningsgraden i vandløb og koncentrationen af biologisk nedbrydeligt stof i vandet. Vatten 2, 115-121.

Andersen, N.G. & Riis-Vestergaard, J. (2003). The effects of food consumption rate, body size and temperature on net conversion efficiency in saithe and whiting. Journal of Fish Biology (in press).

Bekendtgørelse om modeldambrug (2002): Bekendtgørelse om modeldambrug. BEK nr. 923 af 8. november 2002. Skov og Naturstyrelsen. 10 p.

Bovbjerg Pedersen, P. Danmarks Fiskeriundersøgelser. Personlig oplysning.

Bovbjerg Pedersen, P., Grønborg, O. og Svendsen, L.M. (2003). Modeldambrug. Specifikationer og godkendelseskrav. Rapport fra undergruppe under Dambrugsudvalget. Danmarks Miljøundersøgelser. Arbejdsrapport fra DMU nr. 183.

Braun-Blanquet, J. (1964): Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde, ed. 3. – Springer, Wien.

Bray, J.R. & Curtis, J.T. (1957): An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. Ecol. Monogr. 27: 325-349.

Coloso, R.M. et al. (2003). Phosphorus utilization in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed practical diets and its consequences on effluent phosphorus levels. Aquaculture, in press.

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

Danmarks Fiskeriundersøgelser (1998): Redegørelse vedrørende det tekniske grundlag for miljøgodkendelse af dambrug. 96 p. DFU-rapport nr. 52-98.

Danmarks Fiskeriundersøgelser (2002): Udredning vedrørende vandforbrug ved produktion af regnbueørreder i danske dambrug. DFU rapport.

Eliassen, J. & Vahl, O. (1982). Seasonal variations in biochemical composition and energy content of liver, gonad and muscle of mature and immature cod, Gadus morhua (L.) from Balsfjorden, northern Norway. Journal of Fish Biology 20, 707-716.

Fjordback, C., Larsen, S.E., Skriver, J., Svendsen, L.M., Nielsen, P. og Riis-Vestergaard, J. (2001): Forsøgsprojekt Døstrup Dambrug. Statusrapport for det 1. måleår. Danmarks Miljøundersøgelser – 94xx. p. Arbejdsrapport fra DMU nr. 150 .

From, J. & Rasmussen, G. (1984). A growth model, gastric evacuation, and body composition in rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson, 1836. *Dana* **3,** 61-139.

Grønborg, O og Frier, J-O, 2000: Optimering af slutrensning på jorddambrug. Report – Environmental Engineering Laboratory, Aalborg University, No. 1. 94 p.

Hassager, T.K. og Prince, P.S. (1997): Perspektivplan for akvakultur i Danmark 1997. Danmarks Fiskeriundersøgelser. 124 p.

Hymer – hydrometrisystem, Hedeselskabet, Miljø og Energi A/S.

Larsen, S.E. og Svendsen, L.M. (1998): Afløbskontrol af dambrug. Statistiske aspekter og opstilling af kontrolprogrammer. Danmarks Miljøundersøgelser. 88 p. – Faglig rapport fra DMU nr. 260.

Larsen, S.E. og Svendsen, L.M. (2001). Notat vedr. tilpasning af udlederkrav ved overgang fra tilstandskontrol til transportkontrol. Notat fra Danmarks Miljøundersøgelser.

Miljøstyrelsen (1998): Biologisk bedømmelse af vandløbskvalitet. Vejledning nr. 5/1998. Miljø- og Energiministeriet. 39 pp.

Miljøstyrelsen (1999): Teknisk anvisning for punktkilder, version 2. Miljø- og Energiministeriet.

Miljøstyrelsen (2001): Punktkilder 2000, Orientering fra miljøstyrelsen Nr. 13 2001. Miljøministeriet. 169 pp.

Rantz, S.E. (1982): Measurement and compatation of stream flow: Volume 1 and 2. Geological Survey Water-Supply. Paper 2175, 631 pp.

Rasmussen, G. & From, J. (1991). Improved estimates of a growth model and body composition of rainbow trout, *Oncorhynchys mykiss* (Walbaum, 1792) as function of feeding level, temperature and body size. *Dana* **9,** 15-30.

Rasmussen, R.S. & Korsgaard, B. (1998). Ammonia and urea in plasma of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.) in response to external ammonia (Review). Comparative Biochemistry and Physiology A, 120: 163-168.

Rasmussen, R.S. (2001). Quality of farmed salmonids with emphasis on proximate composition, yield and sensory characteristics (review). Aquaculture Research 32: 767-786.

Rasmussen, R.S., Ostenfeld, T.H., McLean, E. (2000). Growth and feed utilisation of rainbow trout subjected to changes in feed lipid concentrations. Aquaculture International. 8: 531-542.

Ringø, E., Strøm, E. & Tabachek, J.-A. (1995). Intestinal microflora of salmonids: a review. *Aquaculture Research* **26,** 773-789.

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

Skovdam, C. (1995): Aspekter af kvælstofomsætning i sedimenter fra ferskvandsdambrug. Rapport. Biologisk Institut, Odense Universitet.

Skriver, J. & Friberg, N. (1996): Smådyrsfauna og miljøtilstand i vandløb. Faglig rapport fra DMU, nr. 177.

Skriver, J., Riis, T., Carl, J., Baattrup-Pedersen, A., 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. NOVA 2003. Danmarks Miljøundersøgelser. 41 s. - Teknisk anvisning fra DMU, nr. 16.

Smith, R.L., Paul, A.J. & Paul, J.M. (1990). Seasonal changes in energy and the energy cost of spawning in Gulf of Alaska Pacific cod. Journal of Fish Biology 36, 1219-1228.

Svendsen, L.M. & Andersen, H.E. (1997): Transport af suspenderet stof og fosfor i den nedre del af Skjern Å-systemet. Danmarks Miljøundersøgelser. 90 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 185.

Svendsen, L.M. & Rebsdrof, Aa. (1994): Kvalitetssikring af overvågningsdata. Retningslinier for kvalitetssikring af ferskvandskemiske data i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram. Danmarks Miljøund ersøgelser. 88 s. – Teknisk anvisning fra DMU nr. 7.

Svendsen, L.M., Fjorback, C., Larsen, S.E., Thomsen, A.G., Skriver, J., Pedersen, M.L., Nielsen, P. & Riis-Vestergaard, J. (2000): Forsøgsprojekt Døstrup Dambrug. Statusrapport for fase 1 og 2. Danmarks Miljøundersøgelser. 68 p. – Arbejdsrapport fra DMU nr. 138.

Trust, T. J. & Sparrow, R. A. H. (1974). The bacterial flora in the alimentary tract of freshwater salmonid fishes. *Canadian Journal of Microbiology* **20,** 1219-1228.

Wetherill og Brown (1991): Statistical Process Control. Theory and Practice. Chapman and Hall. 400 p.

Wiberg-Larsen, P., Larsen, F.G., Knudsen, J. & Adamsen, N.B. (1994). Rent vand – ikke bare en døgnflue? Vand & Jord. 1: 10-13.

Wood, C.M. (1993). Ammonia and urea metabolism and excretion. In: The physiology of fishes (ed. D.H. Evans). pp 370-425. Marine Science Series. CRC Press.

Bilag 1: Miljøgodkendelsens tabel med justeringsfaktorer $k(n)$ for antallet af stikprøver n i intervallet fra 6 til 52.

Antallet af stikprøver	Justeringsfaktor $k(n)$
6	0,62
7	0,68
8	0,73
9	0,77
10	0,81
11	0,84
12	0,87
13	0,89
14	0,91
15	0,93
16	0,95
17	0,97
18	0,98
19	1,00
20	1,01
21	1,03
22	1,04
23	1,05
24	1,06
25	1,07
26	1,08
27	1,09
28	1,10
29	1,10
30	1,11
30	1,12
32	1,13
33	1,13
34	1,14
35	1,14
36	1,15
37	1,16
38	1,16
39	1,17
40	1,17
41	1,18
42	1,18
43	1,19
44	1,19
45	1,20
46	1,20
47	1,20
48	1,21
49	1,21
50	1,22
51	1,22
52	1,22

Bilag 2: Tilstand- og transportkontrol

Tabel 1: Tilstandskontrol. Justeringsfaktorer for de to forskellige metoder.

Metode 1		Metode 2	
n	*k(n)*	*n*	*k(n)*
6	0,6218	6	0,1728
7	0,6819	7	0,2204
8	0,7312	8	0,2583
9	0,7727	9	0,2896
10	0,8084	10	0,3160
11	0,8396	11	0,3387
12	0,8671	12	0,3586
13	0,8917	13	0,3761
14	0,9138	14	0,3917
15	0,9339	15	0,4058
16	0,9523	16	0,4186
17	0,9692	17	0,4303
18	0,9848	18	0,4409
19	0,9992	19	0,4508
20	1,0127	20	0,4599
21	1,0253	21	0,4684
22	1,0371	22	0,4764
23	1,0481	23	0,4838
24	1,0586	24	0,4907
25	1,0685	25	0,4973
26	1,0778	26	0,5035
27	1,0867	27	0,5093
28	1,0951	28	0,5149
29	1,1031	29	0,5201
30	1,1108	30	0,5251
31	1,1181	31	0,5299
32	1,1251	32	0,5345
33	1,1318	33	0,5388
34	1,1383	34	0,5430
35	1,1445	35	0,5470
36	1,1504	36	0,5508
37	1,1562	37	0,5545
38	1,1617	38	0,5580
39	1,1670	39	0,5614
40	1,1721	40	0,5647
41	1,1771	41	0,5679
42	1,1819	42	0,5709
43	1,1866	43	0,5739
44	1,1911	44	0,5767
45	1,1954	45	0,5795
46	1,1996	46	0,5822
47	1,2038	47	0,5848
48	1,2077	48	0,5873
49	1,2116	49	0,5897
50	1,2154	50	0,5921
51	1,2190	51	0,5944
52	1,2226	52	0,5966

Tabel 2: Transportkontrol. Justeringsfaktorer for de to forskellige metoder.

Metode 1		Metode 2	
n	*k(n)*	*n*	*k(n)*
6	-1,5800	6	-0,8447
7	-1,2861	7	-0,7468
8	-1,1159	8	-0,6776
9	-1,0009	9	-0,6251
10	-0,9163	10	-0,5834
11	-0,8506	11	-0,5492
12	-0,7975	12	-0,5205
13	-0,7535	13	-0,4960
14	-0,7161	14	-0,4746
15	-0,6839	15	-0,4559
16	-0,6558	16	-0,4392
17	-0,6309	17	-0,4242
18	-0,6086	18	-0,4107
19	-0,5886	19	-0,3984
20	-0,5705	20	-0,3871
21	-0,5539	21	-0,3768
22	-0,5388	22	-0,3672
23	-0,5248	23	-0,3584
24	-0,5118	24	-0,3501
25	-0,4998	25	-0,3424
26	-0,4886	26	-0,3352
27	-0,4781	27	-0,3285
28	-0,4683	28	-0,3221
29	-0,4591	29	-0,3161
30	-0,4503	30	-0,3104
31	-0,4421	31	-0,3050
32	-0,4343	32	-0,2999
33	-0,4269	33	-0,2950
34	-0,4199	34	-0,2904
35	-0,4132	35	-0,2859
36	-0,4068	36	-0,2817
37	-0,4007	37	-0,2776
38	-0,3949	38	-0,2738
39	-0,3893	39	-0,2700
40	-0,3839	40	-0,2665
41	-0,3788	41	-0,2630
42	-0,3739	42	-0,2597
43	-0,3691	43	-0,2566
44	-0,3646	44	-0,2535
45	-0,3602	45	-0,2505
46	-0,3559	46	-0,2477
47	-0,3518	47	-0,2449
48	-0,3478	48	-0,2422
49	-0,3440	49	-0,2396
50	-0,3403	50	-0,2371
51	-0,3367	51	-0,2347
52	-0,3332	52	-0,2324

Bilag 3: Koncentrationer og stofmængder: gennemsnit, standard afvigelser, varianskoefficienter, minimum og maximum for balancen: 510 + 520 + 530 – (20 + 30).

Tabel 1 Gennemsnit, standard afvigelser, varianskoefficienter, minimum og maximum for de 5 kontrolvariable beregnet for hele perioden april 2000 til april 2001.

	TN	TP	SS	BI_5	NH_3+NH_4^+-N
Gennemsnit (stof) – mg s^{-1}	19,1	4,29	-227	78,4	11,8
Standardafvigelse (stof) – mg s^{-1}	52,5	4,33	423	132	6,09
Gennemsnit (konc.) – mg l^{-1}	0,180	0,042	-2,40	0,699	0,113
Standardafvigelse (konc.) – mg l^{-1}	0,515	0,037	3,84	1,195	0,048
Varianskoefficient (stof) – %	275	101	-187	168	52
Varianskoefficient (konc.) – %	286	89	-160	171	43
Minimum (stof) – mg s^{-1}	-117	0,778	-722	-153	2,53
Maximum (stof) – mg s^{-1}	170	30,4	1599	600	26,7
Minimum (konc.) – mg l^{-1}	-1,284	0,009	-6,14	-1,643	0,028
Maximum (konc.) – mg l^{-1}	1,520	0,258	13,4	5,61	0,214

Tabel 2 Gennemsnit, standard afvigelser, varianskoefficienter, minimum og maximum for de 5 kontrolvariable beregnet for hele perioden april 2001 til april 2002.

	TN	TP	SS	BI_5	$NH_3+NH_4^+$-N
Gennemsnit (stof) – mg s^{-1}	21,0	4,26	-264	59,7	10,7
Standardafvigelse (stof) – mg s^{-1}	76,2	1,966	268	92,3	5,86
Gennemsnit (konc.) – mg l^{-1}	0,251	0,045	-2,53	0,650	0,112
Standardafvigelse (konc.) – mg l^{-1}	0,797	0,026	2,83	0,895	0,059
Varianskoefficient (stof) – %	363	46	-102	155	55
Varianskoefficient (konc.) – %	318	56	-112	138	53
Minimum (stof) – mg s^{-1}	-216	0,381	-814	-275	3,44
Maximum (stof) – mg s^{-1}	250	11,97	717	214	29,3
Minimum (konc.) – mg l^{-1}	-1,628	0,003	-7,68	-2,35	0,026
Maximum (konc.) – mg l^{-1}	3,43	0,164	9,81	2,13	0,283

Tabel 3 Gennemsnit, standard afvigelser, varianskoefficienter, minimum og maximum for de 5 kontrolvariable beregnet for perioden sommerperioden april 2000 til og med september 2000.

	TN	TP	SS	BI_5	$NH_3+NH_4^+$-N
Gennemsnit (stof) – mg s^{-1}	22,7	4,94	-150	138	15,7
Standardafvigelse (stof) – mg s^{-1}	51,7	6,04	569	159	5,81
Gennemsnit (konc.) – mg l^{-1}	0,186	0,044	-1,53	1,20	0,141
Standardafvigelse (konc.) – mg l^{-1}	0,438	0,052	5,04	1,44	0,045
Varianskoefficient (stof) – %	228	122	-379	116	37
Varianskoefficient (konc.) – %	235	118	-330	120	32
Minimum (stof) – mg s^{-1}	-50,5	1,237	-722	-153	4,65
Maximum (stof) – mg s^{-1}	170	30,4	1599	600	26,7
Minimum (konc.) – mg l^{-1}	-0,433	0,011	-6,14	-1,64	0,047
Maximum (konc.) – mg l^{-1}	1,379	0,258	13,4	5,61	0,214

Tabel 4 Gennemsnit, standard afvigelser, varianskoefficienter, minimum og maximum for de 5 kontrolvariable beregnet for vinterperioden oktober 2000 til og med marts 2001.

	TN	TP	SS	BI_5	$NH_3+NH_4^+$-N
Gennemsnit (stof) – mg s^{-1}	15,4	3,64	-303	19,0	7,80
Standardafvigelse (stof) – mg s^{-1}	54,1	0,947	171	53,7	3,03
Gennemsnit (konc.) – mg l^{-1}	0,174	0,039	-3,27	0,196	0,084
Standardafvigelse (konc.) – mg l^{-1}	0,591	0,011	1,77	0,566	0,033
Varianskoefficient (stof) – %	351	26	-56	282	39
Varianskoefficient (konc.) – %	340	27	-54	288	39
Minimum (stof) – mg s^{-1}	-117	0,778	-545	-92,8	2,53
Maximum (stof) – mg s^{-1}	139	5,19	135	111	13,5
Minimum (konc.) – mg l^{-1}	-1,284	0,009	-5,51	-1,04	0,028
Maximum (konc.) – mg l^{-1}	1,520	0,057	1,30	1,08	0,142

Tabel 5 Gennemsnit, standard afvigelser, varianskoefficienter, minimum og maximum for de 5 kontrolvariable beregnet for perioden sommerperioden april 2001 til og med september 2001.

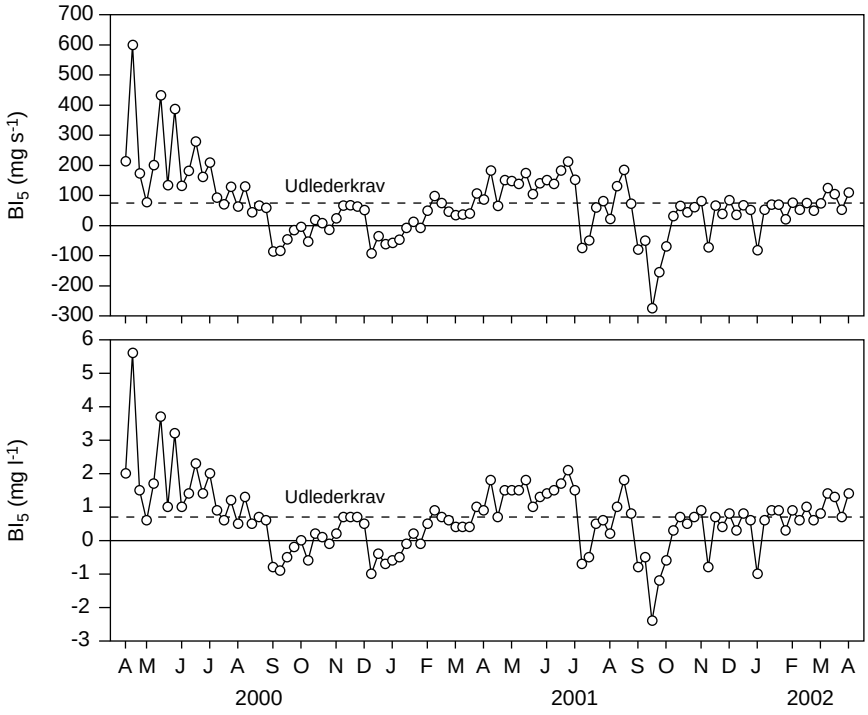
	TN	TP	SS	BI_5	$NH_3+NH_4^+$-N
Gennemsnit (stof) – mg s^{-1}	7,05	3,55	-300	66,4	13,4
Standardafvigelse (stof) – mg s^{-1}	79,6	1,56	275	123	6,53
Gennemsnit (konc.) – mg l^{-1}	0,083	0,034	-2,65	0,681	0,130
Standardafvigelse (konc.) – mg l^{-1}	0,709	0,017	2,63	1,15	0,067
Varianskoefficient (stof) – %	1129	44	-92	185	49
Varianskoefficient (konc.) – %	852	49	-99	170	51
Minimum (stof) – mg s^{-1}	-216	0,381	-647	-275	3,44
Maximum (stof) – mg s^{-1}	125	8,33	538	214	29,3
Minimum (konc.) – mg l^{-1}	-1,628	0,003	-5,97	-2,35	0,026
Maximum (konc.) – mg l^{-1}	1,105	0,091	5,89	2,13	0,283

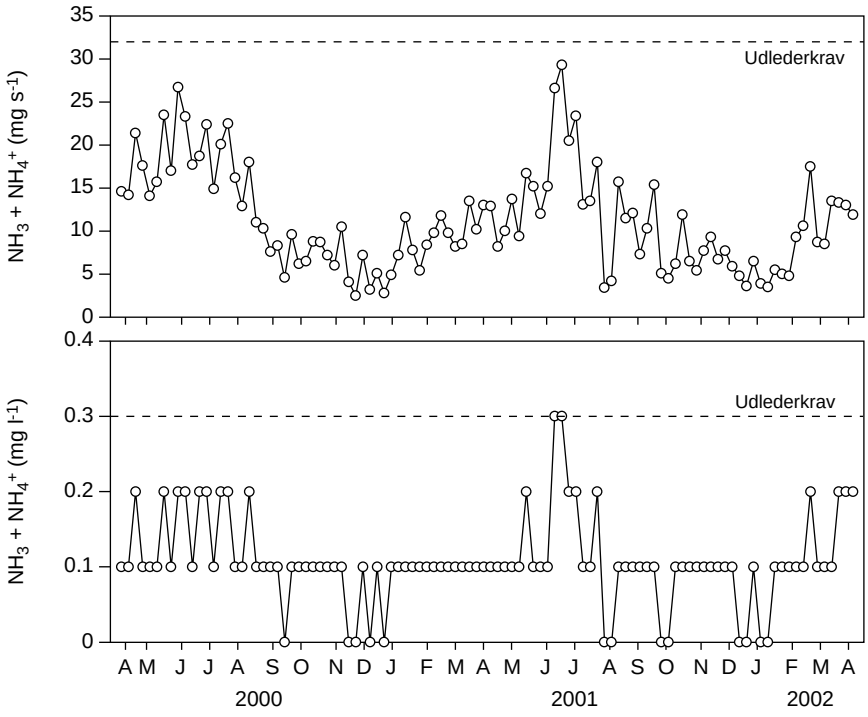
Tabel 6 Gennemsnit, standard afvigelser, varianskoefficienter, minimum og maximum for de 5 kontrolvariable beregnet for vinterperioden oktober 2001 til og med marts 2002.

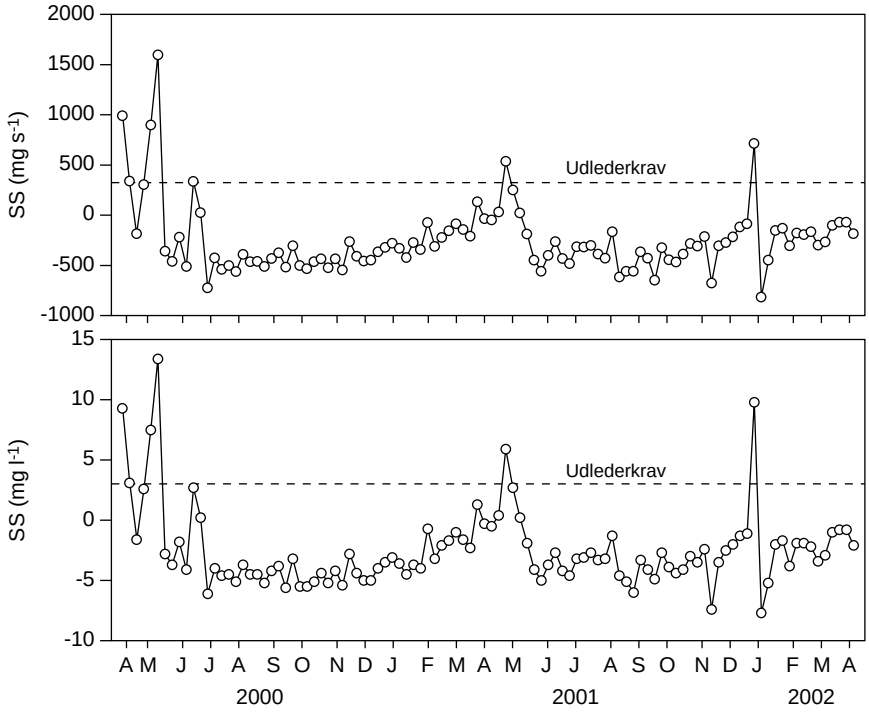
	TN	TP	SS	BI_5	$NH_3+NH_4^+$-N
Gennemsnit (stof) – mg s^{-1}	35,0	4,97	-228	53,1	8,13
Standardafvigelse (stof) – mg s^{-1}	71,5	2,09	262	46,6	3,62
Gennemsnit (konc.) – mg l^{-1}	0,419	0,057	-2,41	0,619	0,095
Standardafvigelse (konc.) – mg l^{-1}	0,858	0,028	3,06	0,547	0,046
Varianskoefficient (stof) – %	204	42	-115	88	45
Varianskoefficient (konc.) – %	205	49	-127	88	48
Minimum (stof) – mg s^{-1}	-121	2,69	-814	-87,3	3,46
Maximum (stof) – mg s^{-1}	250	12,0	717	124	17,5
Minimum (konc.) – mg l^{-1}	-1,292	0,030	-7,68	-1,05	0,039
Maximum (konc.) – mg l^{-1}	3,43	0,164	9,81	1,41	0,226

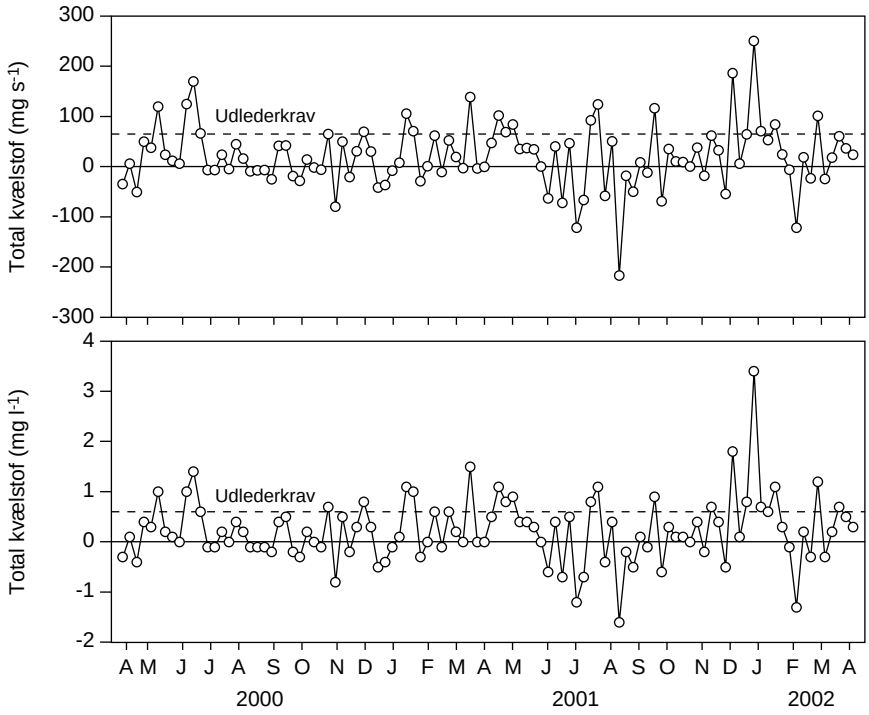
Bilag 4: Udledte stofmængder og udlederkrav

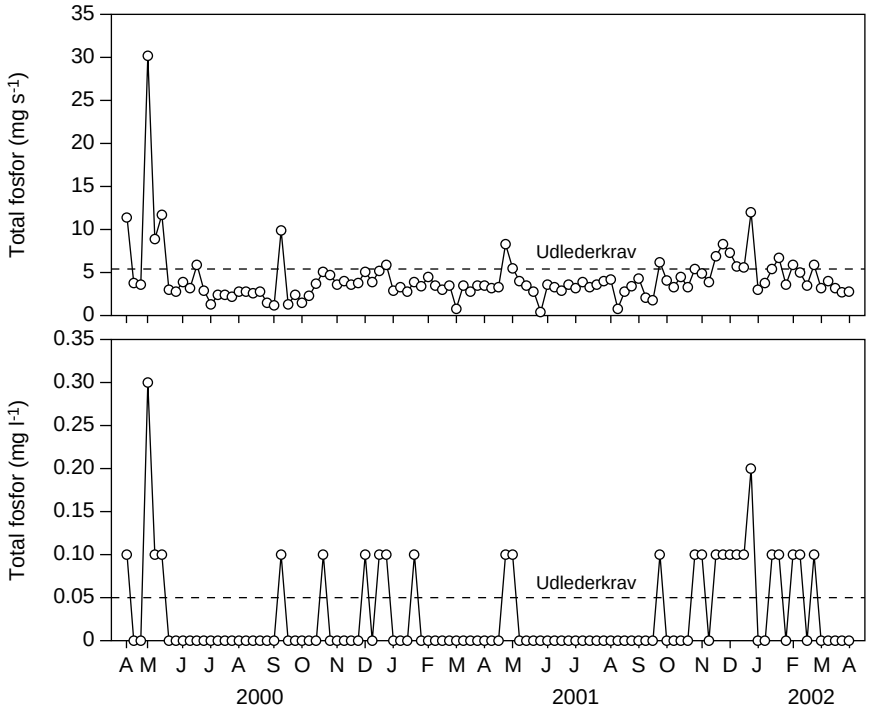
Figurer med den tidslige udvikling i de samlede, udledte stofmængder (mg s^{-1}) og for forskelle i koncentrationer (mg 1^{-1}) for alle 5 kontrolvariable. Alle figurer er baseret på balancen: (st. 510+520+530) – (st. 020+030) (se afsnit 7.2). Udlederkravet er markeret med stiplet linie






SS (mg s-1)
2000
1500
1000
500
0
-500
-1000
Udlederkrav
SS (mg l-1)
15
10
5
0
-5
-10
Udlederkrav
A M J J A S O N D J F M A M J J A S O N D J F M A
2000
2001
2002


Total kvælstof (mg s-1)
300
200
100
0
-100
-200
-300
Udlederkrav
Total kvælstof (mg l-1)
4
3
2
1
0
-1
-2
Udlederkrav
A M J J A S O N D J F M A M J J A S O N D J F M A
2000
2001
2002


Total fosfor (mg s-1)
35
30
25
20
15
10
5
0
Udlederkrav
Total fosfor (mg l-1)
0.35
0.30
0.25
0.20
0.15
0.10
0.05
0
Udlederkrav
A M J J A S O N D J F M A M J J A S O N D J F M A
2000
2001
2002

Bilag 5: Fauna

Døstrup Bæk	17-03-1998				19-08-1998			
	Opstrøms		Nedstrøms		Opstrøms		Nedstrøms	
	Spark	Pille	Spark	Pille	Spark	Pille	Spark	Pille
Polybdyr								
Hydra sp						1	1	
Fimreorme								
Dugesia gonocephala						1	2	
Rundorme								
Nematodae indet					1			
Snegle								
Valvata cristata	2							
Valvata piscinalis	1							
Potamopyrgus antipodarum	1							
Lymnaea pereger	600	12	6		1179		25	1
Planorbis planorbis	2	2						
Ancylus fluviatilis	50	4	5	1	52	5	293	4
Muslinger								
Pisidium sp	600		5		1687		421	
Igler								
Glossiphonia complanata	1	9	3		23	3	12	3
Helobdella stagnalis	1				3		8	
Erpobdella octoculata		3	10	1	1		6	4
Børsteorm								
Oligochaeta indet	600	1	20		746		588	
Vandmider								
Hydracarinae indet	1000		1		24		180	
Småkrebs								
Copepodae indet							1	
Ostracodae indet			1		4		182	
Storkrebs								
Asellus aquaticus		1	17		2		33	
Gammarus pulex	600	3	336	3	1875	1	770	2
Døgnfluer								
Baetis rhodani	34	2	289	2	426	3	54	2
Baetis sp					205		335	
Ephemerella ignita					524	5	348	7
Leptophlebidae indet					1			
Slørvinger								
Nemoura cinerea		1	20					
Nemoura sp							1	
Tæger								
Corixinae indet	1							
Biller								
Brychius elevatus							2	
Oreodytes sanmarki	1		12				25	4
Platambus maculatus			1		2			
Dytiscus sp					1			
Dytiscidae indet					3		18	
Elmis aenea	6	10	16	1	19		53	1
Limnius volckmari	550	9			106	4		
Netvinger								
Sialis lutaria		3	6		2		12	2

Døstrup Bæk	17-03-1998				19-08-1998			
	Opstrøms		Nedstrøms		Opstrøms		Nedstrøms	
	Spark	Pille	Spark	Pille	Spark	Pille	Spark	Pille
Vårfluer								
Rhyacophila fasciata	1	5	35	2	3			
Rhyacophila sp	1	3					8	2
Hydropsyche siltalai	300	12	170					
Hydropsyche sp		1			1			
Ecclisopteryx dalecarlica		1	12		1			
Limnephilus sp			2					
Anabolia nervosa		5	2		3	3	1	1
Potamophylax latipennis	1				3			
Potamophylax sp							1	
Halesus radiatus							2	
Halesus sp			1					
Limnephilidae indet	28	1	3		6		5	1
Silo nigricornis	3	6			14			
Sericostoma personatum		4						
Stankelben								
Hexatominae indet	1				1			
Limoniinae indet					2			
Pediciinae indet					1			
Dicranota sp	1		32		15		12	
Sommerfuglemyg								
Psychodidae indet					14			
Dixidae								
Dixidae indet					2			
Kvægmyg								
Simuliidae indet	13	1	1550		1095		629	1
Våbenfluer								
Stratiomyidae indet			1					
Dansefluer								
Empididae indet			3					
Dansemyg								
Tanypodinae indet	25		97		189		46	
Diamesinae indet		1		1				
Prodiamesa olivacea	314	1	231		130		32	
Orthocladinae indet	301	1	704	2	396	1	146	1
Chironomini indet	12		85		65		41	
Tanytarsini indet			109		194		96	
Diptera puppe					149		23	
Mitter								
Ceratopogonidae indet					1		1	
Fisk								
Bæklampret							1	
3-pigget hundestejle					4		2	

Nøglegruppe	Ng.grp. , 2 taxa:		Ng.grp. 3:		Ng.grp. 1, 1 taxa:		Ng.grp. 3:	
	Limnius, Sericos-toma		*Asellus > 5*		*Limnius*		*Asellus > 5*	
Diversitetsgruppe	Positive	10	Positive	7	Positive	11	Positive	9
	Negative	6	Negative	4	Negative	7	Negative	6
	Pos - neg	4	Pos - neg	3	Pos - neg	4	Pos - neg	3
	DVFI	**6**	**DVFI**	**4**	**DVFI**	**5**	**DVFI**	**4**

Døstrup Bæk	03- 06 - 1999			
	Opstrøms dambrug		Nedstrøms dambrug	
	Spark	Pille	Spark	Pille
Fimreorme				
Dugesia gonocephala	2	1		1
Snegle				
Lymnaea pereger	300	1	3	
Gyraulus laevis	3		5	
Planorbis planorbis	4		7	
Ancylus fluviatilis	120	2	7	4
Muslinger				
Pisidium sp	1200		350	
Igler				
Glossiphonia complanata	19		6	
Helobdella stagnalis			1	
Erpobdella octoculata			9	
Børsteorm				
Eiseniella tetraedra			2	
Oligochaeta indet	54		10	
Vandmider				
Hydracarinae indet	26		350	
Småkrebs				
Ostracodae indet			4	
Storkrebs				
Asellus aquaticus	1		30	
Gammarus pulex	2000	5	1000	
Døgnfluer				
Baetis rhodani	50	2	117	
Baetis sp	132		24	
Ephemerella ignita	538	2	516	
Slørvinger				
Nemoura cinerea			2	
Tæger				
Microvelia sp.	1			
Biller				
Brychius elevatus			6	
Oreodytes sanmarki	1		9	
Dytiscidae indet	1		2	
Elmis aenea	21		24	7
Limnius volckmari	132	1		
Elodes minuta grp.			2	
Elodes sp.	1			
Netvinger				
Sialis lutaria			7	
Sialis fuliginosa	2			
Vårfluer				
Rhyacophila fasciata	1		4	2
Rhyacophila sp	3	2	19	1
Hydropsyche siltalai	11	1	10	
Ecclisopteryx dalecarlica			1	
Limnephilus sp			37	
Anabolia nervosa	8		44	1
Potamophylax latipennis	3	1	5	

Døstrup Bæk	**03- 06 - 1999**			
	Opstrøms dambrug		**Nedstrøms dambrug**	
	Spark	**Pille**	**Spark**	**Pille**
Potamophylax sp	11		6	
Halesus radiatus	6		1	3
Limnephilidae indet	48		57	
Silo nigricornis	4		2	1
Silo sp.		6		
Stankelben				
Dicranota sp	13		18	
Kvægmyg				
Simuliidae indet	400		700	
Dansemyg				
Tanypodinae indet	53		222	
Prodiamesa olivacea	28		92	
Orthocladinae indet	372	1	408	1
Tanytarsini indet	12		576	1
Diptera puppe	2		11	
Nøglegruppe	Ng.grp. 1, 1 grp.		Ng.grp. 3	
	Limnius		*Asellus > 5*	
Diversitets grupper	Positive	11	Positive	11
	Negative	3	Negative	5
	Pos - neg	8	Pos - neg	6
	DVFI	**5**	**DVFI**	**4**

Døstrup Bæk	26-03-2000					
	Opstrøms for dambrug v. vej		Umiddelbart ned-strøms dambrug		950 m ned-strøms dambrug	
			v. styrt (pæl 14)			
	Station 1		Station 2		Station 3	
	Spark	Pille	Spark	Pille	Spark	Pille
Fimreorme						
Dugesia gonocephala	2	1		1	2	2
Polycelis sp						
Hårorme						
Nematomorpha indet.					1	
Snegle						
Physa fontinalis	4					
Lymnaea glabra						
Lymnaea pereger	7		11	2		
Gyraulus albus						
Gyraulus crista						
Gyraulus laevis			1			
Anisus contortus						
Anisus vortex						
Planorbis planorbis			8	1	3	
Ancylus fluviatilis	3	1				
Muslinger						
Pisidium sp.	550		1		11	
Igler						
Glossiphonia complanata	32	1	1			1
Helobdella stagnalis	1		1	3		
Erpobdella octoculata	10		4	1		
Erpobdella sp.						
Børsteorm						
Eiseniella tetraedra			2			
Oligochaeta indet.	500		9		250	
Vandmider						
Hydracarinae indet.	4	1	27		4	1
Småkrebs						
Ostracodae indet.	7		2		6	
Storkrebs						
Asellus aquaticus	4		49	4	3	
Gammarus pulex	4500	2	750	1	900	1
Døgnfluer						
Baetis rhodani	500	2	450	1	300	2
Baetis sp.						
Ephemerella ignita						
Paraleptophlebia submarginata	1	1				
Slørvinger						
Amphinemura standfussi						
Nemoura cinerea			27	5	3	2
Nemoura sp.	2					
Tæger						
Corixinae indet.						
Velia sp.						
Microvelia sp.						

Døstrup Bæk	26-03-2000					
	Opstrøms for dambrug v. vej		Umiddelbart ned-strøms dambrug		950 m ned-strøms dambrug	
			v. styrt (pæl 14)			
	Station 1		Station 2		Station 3	
	Spark	Pille	Spark	Pille	Spark	Pille
Biller						
Brychius elevatus	1		5			
Haliplus sp.			1			
Oreodytes sanmarki			15		1	
Platambus maculatus	1		2	1	1	
Elmis aenea			5	1	1	1
Limnius volckmari	11	2				
Elodes minuta grp.			4			
Dovenfluer						
Sialis lutaria	29	3	4	2	6	3
Vårfluer						
Agapetus (fuscipes)						
Rhyacophila fasciata		4	4	2	4	3
Rhyacophila sp.	2				2	2
Hydropsyche augustipennis	3					
Hydropsyche siltalai	39	7	16	5		
Hydropsyche sp						
Ecclisopteryx dalecarlica	1		3	1	14	
Limnephilus extricatus				3		
Limnephilus sp.	14		11			
Glyphotaelius pellucidus						
Anabolia nervosa	7		4		2	1
Potamophylax cingulatus	6					
Potamophylax latipennis			2	1		4
Potamophylax sp.	10					
Halesus radiatus	2					1
Halesus sp.			1			
Chaetopteryx villosa						
Limnephilidae indet.	45	2	43	3	17	2
Silo nigricornis	3	3				
Beraea maurus	1					
Sommerfugle						
Lepidoptera indet					1	
Stankelben						
Tipulidae indet.						
Hexatominae indet.	2				1	
Dicranota sp.	3		28		7	1
Sommerfuglemyg						
Psychodidae indet.			1			
Glansmyg						
Ptychoptera sp.						
Dixidae						
Dixidae indet						
Kvægmyg						
Simuliidae indet.	58	44	58	11	450	54

Døstrup Bæk	26-03-2000					
	Opstrøms for dambrug v. vej		Umiddelbart ned-strøms dambrug		950 m ned-strøms dambrug	
			v. styrt (pæl 14)			
	Station 1		Station 2		Station 3	
	Spark	Pille	Spark	Pille	Spark	Pille
Dansemyg						
Tanypodinae indet.	25	1			6	2
Diamesa insignipes						
Prodiamesa olivacea	110		47		94	1
Orthocladiinae indet.	364	1	202	3	125	12
Chironomini indet.	25	1	7	1		
Tanytarsini indet.			159	3	131	2
Diptera puppe	42		1		1	
Mitter						
Ceratopogonidae indet.	1					
Dansefluer						
Empididae indet.						
Fisk						
Bæklampret	2					
3-pigget hundestejle			6			
9-pigget hundestejle			1			
Nøglegruppe	Ng.grp. 1:		Ng.grp. 3:		Ng.grp. 2:	
	Limnius		*Asellus > 5*		*Elmis, Rhyacophila*	
Diversitetsgrupper	Positive	11	Positive	8	Positive	7
	Negative	6	Negative	6	Negative	3
	Pos - neg	5	Pos - neg	2	Pos - neg	4
	DVFI	**5**	**DVFI**	**4**	**DVFI**	**5**

Døstrup Bæk	02-07-2000					
	Opstrøms for dambrug v. vej		Umiddelbart ned-strøms dambrug		950 m ned-strøms dambrug	
			v. styrt (pæl 14)			
	Station 1		Station 2		Station 3	
	Spark	Pille	Spark	Pille	Spark	Pille
Fimreorme						
Dugesia gonocephala	1	1			1	
Polycelis sp						
Hårorme						
Nematomorpha indet.	1					
Snegle						
Physa fontinalis			2			
Lymnaea glabra						
Lymnaea pereger	8		59		6	
Gyraulus albus			10		1	
Gyraulus crista						
Gyraulus laevis						
Anisus contortus			4			
Anisus vortex			7			
Planorbis planorbis					1	
Ancylus fluviatilis		2			1	
Muslinger						
Pisidium sp.	14		13		31	
Igler						
Glossiphonia complanata	2	1	24			
Helobdella stagnalis			2		1	
Erpobdella octoculata			4	1		1
Erpobdella sp.			12			
Børsteorm						
Eiseniella tetraedra			2			
Oligochaeta indet.	27		46		15	
Vandmider						
Hydracarinae indet.	10		24		15	
Småkrebs						
Ostracodae indet.	1		24		4	
Storkrebs						
Asellus aquaticus			35			
Gammarus pulex	1300		1253	5	800	1
Døgnfluer						
Baetis rhodani	1000	1			650	1
Baetis sp.	100	20	3607	4		
Ephemerella ignita	770	9	1356	15	325	1
Paraleptophlebia submarginata						
Slørvinger						
Amphinemura standfussi			1			
Nemoura cinerea						
Nemoura sp.						
Tæger						
Corixinae						
Velia sp						
Microvelia sp.					1	

Døstrup Bæk	02-07-2000					
	Opstrøms for dambrug v. vej		Umiddelbart ned-strøms dambrug		950 m ned-strøms dambrug	
			v. styrt (pæl 14)			
	Station 1		Station 2		Station 3	
	Spark	Pille	Spark	Pille	Spark	Pille
Biller						
Brychius elevatus						
Haliplus sp.			3			
Oreodytes sanmarki	1		3		3	
Platambus maculatus					1	
Elmis aenea	2	1	26	2	9	3
Limnius volckmari	18	3				
Elodes minuta grp.						
Dovenfluer						
Sialis lutaria			7		2	
Vårfluer						
Agapetus (fuscipes)						
Rhyacophila fasciata		1	9	10	7	2
Rhyacophila sp.		1	1		5	6
Hydropsyche augustipennis						
Hydropsyche siltalai		2				
Hydropsyche sp						
Ecclisopteryx dalecarlica			2		9	
Limnephilus extricatus						
Limnephilus sp.					7	
Glyphotaelius pellucidus						
Anabolia nervosa	1		3		3	2
Potamophylax cingulatus						
Potamophylax latipennis						
Potamophylax sp.						
Halesus radiatus			1		1	
Halesus sp.						
Chaetopteryx villosa	4		2		2	
Limnephilidae indet.						
Silo nigricornis		3			1	2
Beraea maurus						
Sommerfugle						
Lepidoptera indet					1	
Stankelben						
Tipulidae indet.			1			
Hexatominae indet.	1					
Dicranota sp.	2		68		25	
Sommerfuglemyg						
Psychodidae indet.	5		10			
Glansmyg						
Ptychoptera sp.					1	
Dixidae						
Dixidae indet						
Kvægmyg						
Simuliidae indet.	2500	1	3064		350	

Døstrup Bæk	**02-07-2000**					
	Opstrøms for dambrug v. vej		**Umiddelbart ned-strøms dambrug**		**950 m ned-strøms dambrug**	
			v. styrt (pæl 14)			
	Station 1		**Station 2**		**Station 3**	
	Spark	**Pille**	**Spark**	**Pille**	**Spark**	**Pille**
Dansemyg						
Tanypodinae indet.	30		1		57	
Diamesa insignipes			29			
Prodiamesa olivacea	20		23		29	
Orthocladiinae indet.	260	15	36		192	5
Chironomini indet.	25		2			
Tanytarsini indet.	40		3		72	
Diptera puppe	1				2	
Mitter						
Ceratopogonidae indet.	1		1			
Dansefluer						
Empididae indet.			11			
Fisk						
Bæklampret						
3-pigget hundestejle	1				1	
9-pigget hundestejle						
Nøglegruppe	Ng.grp. : 1 taxa		Ng.grp. 3:		Ng.grp. 2:	
	Limnius		*Asellus > 5*		*Ephemerella, Elmis,*	
					Rhyacophila, Silo	
Diversitetsgrupper	Positive	10	Positive	7	Positive	9
	Negative	2	Negative	6	Negative	4
	Pos - neg	8	Pos - neg	1	Pos - neg	5
	DVFI	**5**	**DVFI**	**4**	**DVFI**	**5**

Døstrup Bæk	04-10-2000					
	Opstrøms for dambrug v. vej		Umiddelbart nedstrøms dambrug		950 m ned-strøms dambrug	
			v. styrt (pæl 14)			
	Station 1		Station 2		Station 3	
	Spark	Pille	Spark	Pille	Spark	Pille
Fimreorme						
Dugesia gonocephala	5	2	2			
Polycelis sp	1					
Hårorme						
Nematomorpha indet.					2	
Snegle						
Physa fontinalis			3			
Lymnaea glabra						
Lymnaea pereger	14		12		6	
Gyraulus albus					4	
Gyraulus crista	1					
Gyraulus laevis						
Anisus contortus						
Anisus vortex						
Planorbis planorbis			61		8	
Ancylus fluviatilis	9	2	2	2		
Muslinger						
Pisidium sp.	8		2		19	
Igler						
Glossiphonia complanata	7	1	3			
Helobdella stagnalis	1					
Erpobdella octoculata	2		1			
Erpobdella sp.						
Børsteorm						
Eiseniella tetraedra						
Oligochaeta indet.	300		6		4	
Vandmider						
Hydracarinae indet.	3		11		6	
Småkrebs						
Ostracodae indet.	9					
Storkrebs						
Asellus aquaticus	5		4		4	
Gammarus pulex	3000	1	1000	2	700	1
Døgnfluer						
Baetis rhodani	400	1	500	3	300	3
Baetis sp.	200				150	
Ephemerella ignita	200	1	100		4	
Paraleptophlebia submarginata	1					
Slørvinger						
Amphinemura standfussi						
Nemoura cinerea						
Nemoura sp.	1		8			
Tæger						
Corixinae indet	1		1		1	
Velia sp			2			
Microvelia sp.						

Døstrup Bæk	04-10-2000					
	Opstrøms for dambrug v. vej		Umiddelbart nedstrøms dambrug		950 m ned-strøms dambrug	
			v. styrt (pæl 14)			
	Station 1		Station 2		Station 3	
	Spark	Pille	Spark	Pille	Spark	Pille
Biller						
Brychius elevatus	1		5			
Haliplus sp.						
Oreodytes sanmarki			2		1	
Platambus maculatus	5		64		1	
Elmis aenea	15		10			
Limnius volckmari	84	5	1	2		
Elodes minuta grp.	2					
Dovenfluer						
Sialis lutaria	1				5	
Vårfluer						
Agapetus (fuscipes)						
Rhyacophila fasciata	8	1	15	1	1	1
Rhyacophila sp.	5	1	14	3	7	4
Hydropsyche augustipennis	1					
Hydropsyche siltalai	10		7			
Hydropsyche sp	4					
Ecclisopteryx dalecarlica			2		82	
Limnephilus extricatus						
Limnephilus sp.	2		1			
Glyphotaelius pellucidus						
Anabolia nervosa						
Potamophylax cingulatus						
Potamophylax latipennis	2					
Potamophylax sp.						
Halesus radiatus						
Halesus sp.						
Chaetopteryx villosa						
Limnephilidae indet.	7		26		4	
Silo nigricornis	8		1		1	4
Beraea maurus						
Sommerfugle						
Lepidoptera indet			2			
Stankelben						
Tipulidae indet.						
Hexatominae indet.					2	
Dicranota sp.	9		48		17	
Sommerfuglemyg						
Psychodidae indet.						
Glansmyg						
Ptychoptera sp.						
Dixidae						
Dixidae indet	2					
Kvægmyg						
Simuliidae indet.	400		400		600	
Dansemyg						
Tanypodinae indet.	11		5		2	

Døstrup Bæk	**04-10-2000**					
	Opstrøms for dambrug v. vej		**Umiddelbart nedstrøms dambrug**		**950 m ned-strøms dambrug**	
			v. styrt (pæl 14)			
	Station 1		**Station 2**		**Station 3**	
	Spark	**Pille**	**Spark**	**Pille**	**Spark**	**Pille**
Diamesa insignipes						
Prodiamesa olivacea	29				46	
Orthocladiinae indet.	73		68		24	
Chironomini indet.	5					
Tanytarsini indet.	6		5			
Diptera puppe	7		3			
Mitter						
Ceratopogonidae indet.						
Dansefluer						
Empididae indet.						
Fisk						
Bæklampret	1					
3-pigget hundestejle	3		5		1	
9-pigget hundestejle						
Nøglegruppe	Ng.grp. 1:		Ng.grp. 1:		Ng.grp. 2:	
	Limnius		*Limnius*		*Rhyacophila, Silo,*	
					Ephemerella	
Diversitetsgrupper	Positive	13	Positive	11	Positive	6
	Negative	6	Negative	3	Negative	3
	Pos - neg	7	Pos - neg	8	Pos - neg	3
	DVFI	**5**	**DVFI**	**5**	**DVFI**	**4**

Døstrup Bæk	12-12-2000					
	Opstrøms for dambrug v. vej		Umiddelbart ned-strøms dambrug		950 m ned-strøms dambrug	
			v. styrt (pæl 14)			
	Station 1		Station 2		Station 3	
	Spark	Pille	Spark	Pille	Spark	Pille
Fimreorme						
Dugesia gonocephala	4	3	3	2	4	1
Polycelis sp		1				
Hårorme						
Nematomorpha indet.	1				7	
Snegle						
Physa fontinalis						
Lymnaea glabra			1			
Lymnaea pereger	41		250	3	3	
Gyraulus albus	2					
Gyraulus crista						
Gyraulus laevis						
Anisus contortus						
Anisus vortex						
Planorbis planorbis			43		4	
Ancylus fluviatilis	13	2	2	2	2	
Muslinger						
Pisidium sp.	12		4		14	
Igler						
Glossiphonia complanata	6		5	1	2	
Helobdella stagnalis	2		1		2	
Erpobdella octoculata	2	1	1	1		
Erpobdella sp.						
Børsteorm						
Eiseniella tetraedra						
Oligochaeta indet.	16		25		20	
Vandmider						
Hydracarinae indet.	2		12			
Småkrebs						
Ostracodae indet.	2		1		4	
Storkrebs						
Asellus aquaticus	1		7		8	
Gammarus pulex	5000	1	1500	2	2500	1
Døgnfluer						
Baetis rhodani	850	3	850	3	900	1
Baetis sp.						1
Ephemerella ignita	2		8		2	1
Paraleptophlebia submarginata						
Slørvinger						
Amphinemura standfussi					1	
Nemoura cinerea					1	
Nemoura sp.	2		70	3		
Tæger						
Corixinae indet						
Velia sp						
Microvelia sp.						

Døstrup Bæk	12-12-2000					
	Opstrøms for dambrug v. vej		Umiddelbart ned-strøms dambrug		950 m ned-strøms dambrug	
			v. styrt (pæl 14)			
	Station 1		Station 2		Station 3	
	Spark	Pille	Spark	Pille	Spark	Pille
Biller						
Brychius elevatus			7			
Haliplus sp.			2			
Oreodytes sanmarki			5			
Platambus maculatus			1		1	
Elmis aenea	8		2	3	4	2
Limnius volckmari	88	3			1	
Elodes minuta grp.						
Dovenfluer						
Sialis lutaria	1		4		2	
Vårfluer						
Agapetus (fuscipes)	5					
Rhyacophila fasciata	12		6	1	9	3
Rhyacophila sp.		1	6	2	12	
Hydropsyche augustipennis	4					
Hydropsyche siltalai	52	1	2			
Hydropsyche sp	3					
Ecclisopteryx dalecarlica			15		12	
Limnephilus extricatus						
Limnephilus sp.	1					
Glyphotaelius pellucidus	1					
Anabolia nervosa						
Potamophylax cingulatus						
Potamophylax latipennis	3		1		5	
Potamophylax sp.						
Halesus radiatus						
Halesus sp.						
Chaetopteryx villosa						
Limnephilidae indet.	13		9		1	
Silo nigricornis	4					1
Beraea maurus						
Sommerfugle						
Lepidoptera indet						
Stankelben						
Tipulidae indet.						
Hexatominae indet.	1				5	
Dicranota sp.	25		66		30	
Sommerfuglemyg						
Psychodidae indet.						
Glansmyg						
Ptychoptera sp.						
Dixidae						
Dixidae indet						
Kvægmyg						
Simuliidae indet.	1200		500		1700	
Dansemyg						
Tanypodinae indet.	3		8		4	

Døstrup Bæk	**12-12-2000**					
	Opstrøms for dambrug v. vej		**Umiddelbart ned-strøms dambrug**		**950 m ned-strøms dambrug**	
			v. styrt (pæl 14)			
	Station 1		**Station 2**		**Station 3**	
	Spark	**Pille**	**Spark**	**Pille**	**Spark**	**Pille**
Diamesa insignipes						
Prodiamesa olivacea	15		19		45	
Orthocladiinae indet.	83		64	2	42	
Chironomini indet.	1					
Tanytarsini indet.	4		4		19	
Diptera puppe						
Mitter						
Ceratopogonidae indet.						
Dansefluer						
Empididae indet.						
Fisk						
Bæklampret	1					
3-pigget hundestejle	1					
9-pigget hundestejle						
Nøglegruppe	Ng.grp.1: 2 taxa		Ng.grp. 3:		Ng.grp.: 3	
	Limnius, Agapetus		*Asellus >5*		*Asellus >5*	
Diversitetsgrupper	Positive	12	Positive	9	Positive	12
	Negative	5	Negative	5	Negative	4
	Pos - neg	7	Pos - neg	4	Pos - neg	8
	DVFI	**6**	**DVFI**	**4**	**DVFI**	**4**

Døstrup Bæk	01-02-2001					
	Opstrøms for dambrug v. vej		Umiddelbart ned-strøms dambrug		950 m ned-strøms dambrug	
			v. styrt (pæl 14)			
	Station 1		Station 2		Station 3	
	Spark	Pille	Spark	Pille	Spark	Pille
Fimreorme						
Dugesia gonocephala	3	2	1	2		1
Polycelis sp						
Hårorme						
Nematomorpha indet.			1			
Snegle						
Physa fontinalis			1			
Lymnaea glabra	1		1			
Lymnaea pereger	30		100	3	6	
Lymnaea truncatula						
Gyraulus albus						
Gyraulus crista						
Gyraulus laevis	2					
Anisus contortus						
Anisus vortex					1	
Planorbis planorbis	2		70		9	1
Ancylus fluviatilis	9	4		4		
Muslinger						
Pisidium sp.	11		2		10	
Igler						
Glossiphonia complanata	9	1	2	1		
Helobdella stagnalis	1					
Erpobdella octoculata			1	1		
Erpobdella sp.						
Børsteorm						
Eiseniella tetraedra			2	1		
Oligochaeta indet.	5		10		17	
Vandmider						
Hydracarinae indet.			5		8	
Småkrebs						
Ostracodae indet.	1		4		4	
Storkrebs						
Asellus aquaticus	2		3		9	
Gammarus pulex	3000	5	1200	1	2000	2
Døgnfluer						
Baetis rhodani	1000	10	500	7	400	3
Baetis sp.						
Centroptilum luteolum						
Cloeon dipterum						
Ephemerella ignita						
Paraleptophlebia submarginata						
Paraleptophlebia sp			2			
Slørvinger						
Amphinemura standfussi						
Nemoura avicularis						
Nemoura cinerea						

Døstrup Bæk	01-02-2001					
	Opstrøms for dambrug v. vej		Umiddelbart ned-strøms dambrug		950 m ned-strøms dambrug	
			v. styrt (pæl 14)			
	Station 1		Station 2		Station 3	
	Spark	Pille	Spark	Pille	Spark	Pille
Nemoura flexuosa			1			
Nemoura sp.	2		78		1	
Tæger						
Corixinae indet					4	
Velia sp						
Microvelia sp.						
Biller						
Brychius elevatus			5		2	
Haliplus sp.						
Oreodytes sanmarki			5		2	
Platambus maculatus					3	
Dytiscidae indet			7	1		
Elmis aenea	11		2		2	
Limnius volckmari	53	5				
Elodes minuta grp.						
Dovenfluer						
Sialis fuliginosa						
Sialis lutaria					8	
Vårfluer						
Agapetus (fuscipes)	4	1				
Rhyacophila fasciata	14	3		2	7	4
Rhyacophila sp.	6		4			2
Hydropsyche augustipennis						
Hydropsyche pellucidula						
Hydropsyche siltalai	20	2	7	1		
Hydropsyche sp	17	1	1			
Plectrocnemia conspersa						
Ecclisopteryx dalecarlica	1		3		3	1
Limnephilus extricatus						
Limnephilus lunatus						
Limnephilus sp.	5		7		4	
Glyphotaelius pellucidus						
Anabolia nervosa			7		4	
Potamophylax cingulatus						
Potamophylax latipennis	28		3		1	
Potamophylax sp.	1				1	
Halesus radiatus						
Halesus sp.						
Chaetopteryx villosa						
Limnephilidae indet.	11		48		27	
Silo nigricornis	22	4	3		1	1
Sericostoma personatum						
Beraea maurus						
Sommerfugle						
Lepidoptera indet						
Stankelben						
Tipulidae indet.						

Døstrup Bæk	**01-02-2001**					
	Opstrøms for dambrug v. vej		**Umiddelbart ned-strøms dambrug**		**950 m ned-strøms dambrug**	
			v. styrt (pæl 14)			
	Station 1		**Station 2**		**Station 3**	
	Spark	**Pille**	**Spark**	**Pille**	**Spark**	**Pille**
Hexatominae indet.					2	
Dicranota sp.	20		37		11	
Sommerfuglemyg						
Psychodidae indet.	1					
Glansmyg						
Ptychoptera sp.						
Dixidae						
Dixidae indet						
Kvægmyg						
Simuliidae indet.	1000		500	2	400	4
Dansemyg						
Tanypodinae indet.	1		2		62	
Diamesa insignipes						
Prodiamesa olivacea	9		1		116	
Orthocladiinae indet.	57	7	104	2	381	3
Chironomini indet.						
Tanytarsini indet.	1		7		41	
Diptera puppe			2			
Mitter						
Ceratopogonidae indet.			1			
Dansefluer						
Empididae indet.						
Fisk						
Bæklampret						
3-pigget hundestejle					1	
9-pigget hundestejle						
Nøglegruppe	Ng.grp.1: 2 taxa		Ng.grp. 2:		Ng.grp. 3:	
	Limnius, Agapetus		*Paraleptophlebia, Elmis,*		*Asellus >5*	
			Rhyacophila, Ancylus			
Diversitetsgrupper	Positive	11	Positive	10	Positive	8
	Negative	4	Negative	3	Negative	3
	Pos - neg	7	Pos - neg	7	Pos - neg	5
	DVFI	**6**	**DVFI**	**5**	**DVFI**	**4**

Døstrup Bæk	03-04-2001					
	Opstrøms for dambrug v. vej		Umiddelbart ned-strøms dambrug		950 m ned-strøms dambrug	
			v. styrt (pæl 14)			
	Station 1		Station 2		Station 3	
	Spark	Pille	Spark	Pille	Spark	Pille
Fimreorme						
Dugesia gonocephala	3	1	2		4	2
Polycelis sp						
Hårorme						
Nematomorpha indet.			2			
Snegle						
Physa fontinalis			1			
Lymnaea glabra						
Lymnaea pereger	16		250		2	
Lymnaea truncatula						
Gyraulus albus						
Gyraulus crista						
Gyraulus laevis						
Anisus contortus						
Anisus vortex						
Planorbis planorbis			24		6	
Ancylus fluviatilis	6	1	2	2		1
Muslinger						
Pisidium sp.	6		2		10	
Igler						
Glossiphonia complanata	18		13		3	1
Helobdella stagnalis	1					1
Erpobdella octoculata	2		4	1	3	
Erpobdella sp.						
Børsteorm						
Eiseniella tetraedra						
Oligochaeta indet.	38		23		23	
Vandmider						
Hydracarinae indet.	5		18		7	
Småkrebs						
Ostracodae indet.			18		5	
Storkrebs						
Asellus aquaticus	2		13		3	
Gammarus pulex	3000	1	2500	1	2000	1
Døgnfluer						
Baetis rhodani	500	2	1000	1	62	1
Baetis sp.						
Centroptilum luteolum						
Cloeon dipterum						
Ephemerella ignita						
Paraleptophlebia submarginata						
Paraleptophlebia sp	2					
Slørvinger						
Amphinemura standfussi						
Nemoura avicularis					1	
Nemoura cinerea	7		45		5	1
Nemoura flexuosa						

Døstrup Bæk	03-04-2001					
	Opstrøms for dambrug v. vej		Umiddelbart ned-strøms dambrug		950 m ned-strøms dambrug	
			v. styrt (pæl 14)			
	Station 1		Station 2		Station 3	
	Spark	Pille	Spark	Pille	Spark	Pille
Nemoura sp.						
Tæger						
Corixinae indet			1			
Velia sp	1					
Microvelia sp.						
Biller						
Brychius elevatus			1		1	
Haliplus sp.						
Oreodytes sanmarki			9		28	1
Platambus maculatus						
Dytiscidae indet						
Elmis aenea	3		4		10	4
Limnius volckmari	300	2				
Elodes minuta grp.					1	
Dovenfluer						
Sialis fuliginosa						
Sialis lutaria	4		5		10	
Vårfluer						
Agapetus (fuscipes)	3	16				
Rhyacophila fasciata	4	2	6		1	2
Rhyacophila sp.				2		
Hydropsyche augustipennis	2				1	
Hydropsyche pellucidula						
Hydropsyche siltalai	11		7			
Hydropsyche sp						
Plectrocnemia conspersa			2			
Ecclisopteryx dalecarlica			21		2	
Limnephilus extricatus						
Limnephilus lunatus						
Limnephilus sp.	3				1	
Glyphotaelius pellucidus						
Anabolia nervosa	10		3		5	
Potamophylax cingulatus						
Potamophylax latipennis	3			1	1	
Potamophylax sp.					1	
Halesus radiatus			1			
Halesus sp.	18		1		1	
Chaetopteryx villosa						
Limnephilidae indet.	43		29		4	
Silo nigricornis	1	1				
Sericostoma personatum						
Beraea maurus						
Sommerfugle						
Lepidoptera indet						
Stankelben						
Tipulidae indet.						
Hexatominae indet.	2		1		5	
Dicranota sp.	5		27		8	

Døstrup Bæk	03-04-2001					
	Opstrøms for dambrug v. vej		Umiddelbart ned-strøms dambrug v. styrt (pæl 14)		950 m ned-strøms dambrug	
	Station 1		Station 2		Station 3	
	Spark	Pille	Spark	Pille	Spark	Pille
Sommerfuglemyg						
Psychodidae indet.			3			
Glansmyg						
Ptychoptera sp.						
Dixidae						
Dixidae indet						
Kvægmyg						
Simuliidae indet.	750		750		28	
Dansemyg						
Tanypodinae indet.	66		44		4	
Diamesa insignipes						
Prodiamesa olivacea	99		158		34	
Orthocladiinae indet.	473		447		37	
Chironomini indet.						
Tanytarsini indet.	22		158			
Diptera puppe	1		5			
Mitter						
Ceratopogonidae indet.	1					
Dansefluer						
Empididae indet.	1		1			
Fisk						
Bæklampret	1					
3-pigget hundestejle					2	
9-pigget hundestejle						
Nøglegruppe	Ng.grp.1: 2 stk.		Ng.grp. 3:		Ng.grp. 2:	
	Limnius, Agapetus		*Asellus >5*		*Elmis, Elodes*	
					Rhyacophila, Ancylus	
Diversitetsgrupper	Positive	12	Positive	8	Positive	9
	Negative	5	Negative	5	Negative	5
	Pos - neg	7	Pos - neg	3	Pos - neg	4
	DVFI	**6**	**DVFI**	**4**	**DVFI**	**5**

Døstrup Bæk	18-06-2001					
	Opstrøms for dambrug v. vej		Umiddelbart nedstrøms dambrug		950 m ned-strøms dambrug	
			v. styrt (pæl 14)			
	Station 1		Station 2		Station 3	
	Spark	Pille	Spark	Pille	Spark	Pille
Fimreorme						
Dugesia gonocephala	1	1				1
Polycelis sp						
Hårorme						
Nematomorpha indet.						
Snegle						
Physa fontinalis			2			
Lymnaea glabra						
Lymnaea pereger			37	1	4	
Lymnaea truncatula						
Gyraulus albus					1	
Gyraulus crista						
Gyraulus laevis						
Anisus contortus						
Anisus vortex						
Planorbis planorbis			17		2	
Ancylus fluviatilis			1	2		
Muslinger						
Pisidium sp.	4		3		18	
Igler						
Glossiphonia complanata	1		3		5	
Helobdella stagnalis						
Erpobdella octoculata			3	1	1	
Erpobdella sp.						
Børsteorm						
Eiseniella tetraedra			2			
Oligochaeta indet.	16	1	3		3	
Vandmider						
Hydracarinae indet.	9		9		28	
Småkrebs						
Ostracodae indet.	1		2			
Storkrebs						
Asellus aquaticus						
Gammarus pulex	1000	2	3000	1	2000	3
Døgnfluer						
Baetis rhodani	80	1	100			1
Baetis sp.	175	1	600	7	37	
Centroptilum luteolum						
Cloeon dipterum						
Ephemerella ignita	350	5	400	2	254	6
Paraleptophlebia submarginata						
Paraleptophlebia sp						
Slørvinger						
Amphinemura standfussi						
Nemoura avicularis						

Døstrup Bæk	18-06-2001					
	Opstrøms for dambrug v. vej		Umiddelbart nedstrøms dambrug		950 m ned-strøms dambrug	
			v. styrt (pæl 14)			
	Station 1		Station 2		Station 3	
	Spark	Pille	Spark	Pille	Spark	Pille
Nemoura cinerea	1					
Nemoura flexuosa						
Nemoura sp.						
Tæger						
Corixinae indet						
Velia sp						
Microvelia sp.						
Biller						
Brychius elevatus			12			
Haliplus sp.			1			
Oreodytes sanmarki	2		57		17	
Platambus maculatus						
Dytiscidae indet			5		12	
Elmis aenea	1	1	7		2	3
Limnius volckmari	72	1				
Elodes minuta grp.					2	
Dovenfluer						
Sialis fuliginosa						
Sialis lutaria	1		1		4	
Vårfluer						
Agapetus (fuscipes)						
Rhyacophila fasciata	6		35		4	3
Rhyacophila sp.					1	
Hydropsyche augustipennis						
Hydropsyche pellucidula						
Hydropsyche siltalai	3	1	6	2		1
Hydropsyche sp						
Plectrocnemia conspersa						
Ecclisopteryx dalecarlica			8	1	6	1
Limnephilus extricatus						
Limnephilus lunatus						
Limnephilus sp.			3		3	
Glyphotaelius pellucidus						
Anabolia nervosa	10	1	3	1	5	1
Potamophylax cingulatus						
Potamophylax latipennis	3	1				1
Potamophylax sp.						
Halesus radiatus	7	2	3	1		
Halesus sp.		2				
Chaetopteryx villosa	7		2		1	
Limnephilidae indet.						
Silo nigricornis	2				2	
Sericostoma personatum		1				
Beraea maurus						
Sommerfugle						
Lepidoptera indet						

Døstrup Bæk	18-06-2001					
	Opstrøms for dambrug v. vej		Umiddelbart nedstrøms dambrug		950 m ned-strøms dambrug	
			v. styrt (pæl 14)			
	Station 1		Station 2		Station 3	
	Spark	Pille	Spark	Pille	Spark	Pille
Stankelben						
Tipulidae indet.						
Hexatominae indet.						
Dicranota sp.	26		43	1	31	
Sommerfuglemyg						
Psychodidae indet.						
Glansmyg						
Ptychoptera sp.						
Dixidae						
Dixidae indet						
Kvægmyg						
Simuliidae indet.	22		223		200	
Dansemyg						
Tanypodinae indet.	31				6	
Diamesa insignipes			4			
Prodiamesa olivacea	8		1		12	
Orthocladiinae indet.	307	6	227		283	5
Chironomini indet.						
Tanytarsini indet.			96			
Diptera puppe						
Mitter						
Ceratopogonidae indet.						
Dansefluer						
Empididae indet.						
Fisk						
Bæklampret						
3-pigget hundestejle						
9-pigget hundestejle						
Nøglegruppe	Ng.grp.1: 2 stk		Ng.grp. 2:		Ng.grp. 2:	
	Limnius, Sericos-toma		*Ephemerella, Elmis*		*Elmis, Elodes*	
			Rhyacophila, Ancylus		*Rhyacophila.*	
Diversitetsgrupper	Positive	11	Positive	7	Positive	9
	Negative	1	Negative	3	Negative	3
	Pos - neg	9	Pos - neg	4	Pos - neg	6
	DVFI	**7**		**5**		**5**

Døstrup Bæk	09-10-2001					
	Opstrøms for dambrug v. vej		Umiddelbart nedstrøms dambrug		950 m ned-strøms dambrug	
			v. styrt (pæl 14)			
	Station 1		Station 2		Station 3	
	Spark	Pille	Spark	Pille	Spark	Pille
Fimreorme						
Dugesia gonocephala	3				1	
Polycelis sp						
Hårorme						
Nematomorpha indet.					1	
Snegle						
Physa fontinalis			5			
Lymnaea glabra	2					
Lymnaea pereger	2000		16			
Lymnaea truncatula						
Gyraulus albus						
Gyraulus crista						
Gyraulus laevis		1	1			1
Anisus contortus						
Anisus vortex						
Planorbis planorbis	4		16	1	11	2
Ancylus fluviatilis	19		8	1		
Muslinger						
Pisidium sp.	700	1			11	
Igler						
Glossiphonia complanata	33		6			
Helobdella stagnalis	1					
Erpobdella octoculata	5		2			
Erpobdella sp.						
Børsteorm						
Eiseniella tetraedra			3		3	
Oligochaeta indet.	200		10		12	
Vandmider						
Hydracarinae indet.	6		8		1	
Småkrebs						
Ostracodae indet.	3		6		4	
Storkrebs						
Asellus aquaticus	3				4	
Gammarus pulex	3000	6	1500	2	1500	3
Døgnfluer						
Baetis rhodani	600	2	350	3	428	2
Baetis sp.	162	3			17	
Centroptilum luteolum					17	
Cloeon dipterum					17	
Ephemerella ignita	23		24		52	
Paraleptophlebia submarginata						
Paraleptophlebia sp						
Slørvinger						
Amphinemura standfussi						
Nemoura avicularis						

Døstrup Bæk	09-10-2001					
	Opstrøms for dambrug v. vej		Umiddelbart nedstrøms dambrug		950 m ned-strøms dambrug	
			v. styrt (pæl 14)			
	Station 1		Station 2		Station 3	
	Spark	Pille	Spark	Pille	Spark	Pille
Nemoura cinerea						
Nemoura flexuosa						
Nemoura sp.						
Tæger						
Corixinae indet			1		1	
Velia sp					1	
Microvelia sp.						
Biller						
Brychius elevatus	1		13			
Haliplus sp.						
Oreodytes sanmarki			7		3	
Platambus maculatus	2		12		9	
Dytiscidae indet			2		3	
Elmis aenea	8		11		1	
Limnius volckmari	39	4	1			
Elodes minuta grp.	3					
Dovenfluer						
Sialis fuliginosa						
Sialis lutaria	11				4	
Vårfluer						
Agapetus (fuscipes)	2					
Rhyacophila fasciata	3			2	2	
Rhyacophila sp.	3		1		2	
Hydropsyche augustipennis						
Hydropsyche pellucidula						
Hydropsyche siltalai	8		6			
Hydropsyche sp						
Plectrocnemia conspersa						
Ecclisopteryx dalecarlica	2		4		59	
Limnephilus extricatus						
Limnephilus lunatus						
Limnephilus sp.						
Glyphotaelius pellucidus						
Anabolia nervosa						
Potamophylax cingulatus						
Potamophylax latipennis						
Potamophylax sp.						
Halesus radiatus						
Halesus sp.						
Chaetopteryx villosa						
Limnephilidae indet.	9		6		1	
Silo nigricornis	8		1		3	1
Sericostoma personatum						
Beraea maurus						
Sommerfugle						
Lepidoptera indet						

Døstrup Bæk	09-10-2001					
	Opstrøms for dambrug v. vej		Umiddelbart nedstrøms dambrug		950 m ned-strøms dambrug	
			v. styrt (pæl 14)			
	Station 1		Station 2		Station 3	
	Spark	Pille	Spark	Pille	Spark	Pille
Stankelben						
Tipulidae indet.						
Hexatominae indet.					3	
Dicranota sp.	9	3	22	1	10	
Sommerfuglemyg						
Psychodidae indet.						
Glansmyg						
Ptychoptera sp.					3	
Dixidae						
Dixidae indet	5					
Kvægmyg						
Simuliidae indet.	29	3	500	3	31	1
Dansemyg						
Tanypodinae indet.	21		9		23	
Diamesa insignipes						
Prodiamesa olivacea	48		47		19	
Orthocladiinae indet.	14		188	1	7	
Chironomini indet.	1					
Tanytarsini indet.	6		17		36	
Diptera puppe	2		5		3	
Mitter						
Ceratopogonidae indet.						
Dansefluer						
Empididae indet.	1					
Fisk						
Bæklampret	1				1	
3-pigget hundestejle			2			
9-pigget hundestejle						
Nøglegruppe	Ng.grp.1: 2 stk		Ng.grp. 2:		Ng.grp.2:	
	Agapetus, Limnius		*Ephemerella, Elmis,*		*Ephemerella,Silo,*	
			Rhyacophila,Ancylus,Silo		*Rhyacophila.*	
Diversitetsgrupper	Positive	12	Positive	9	Positive	8
	Negative	6	Negative	2	Negative	2
	Pos - neg	6	Pos - neg	7	Pos - neg	6
	DVFI	**6**		**5**		**5**

Døstrup Bæk	06-12-2001					
	Opstrøms for dambrug v. vej		Umiddelbart ned-strøms dambrug		950 m ned-strøms dambrug	
			v. styrt (pæl 14)			
	Station 1		Station 2		Station 3	
	Spark	Pille	Spark	Pille	Spark	Pille
Fimreorme						
Dugesia gonocephala	2		3			
Polycelis sp						
Hårorme						
Nematomorpha indet.						
Snegle						
Physa fontinalis						
Lymnaea glabra						
Lymnaea pereger	6		230	1		
Lymnaea truncatula	1					
Gyraulus albus						
Gyraulus crista						
Gyraulus laevis	4				2	
Anisus contortus						
Anisus vortex	1		2	2	3	
Planorbis planorbis	3		10	1	3	
Ancylus fluviatilis	2	1	7	3		
Muslinger						
Pisidium sp.	4	1			3	
Igler						
Glossiphonia complanata	4		4		3	
Helobdella stagnalis						
Erpobdella octoculata	3			1		
Erpobdella sp.						
Børsteorm						
Eiseniella tetraedra			1			
Oligochaeta indet.	18		3		1	
Vandmider						
Hydracarinae indet.						
Småkrebs						
Ostracodae indet.			1			
Storkrebs						
Asellus aquaticus					2	
Gammarus pulex	2500	2	1000	1	3000	1
Døgnfluer						
Baetis rhodani	600	3	64	5	120	5
Baetis sp.						
Centroptilum luteolum						
Cloeon dipterum						
Ephemerella ignita					2	
Paraleptophlebia submarginata						
Paraleptophlebia sp						
Slørvinger						
Amphinemura standfussi						
Nemoura avicularis						
Nemoura cinerea			1			

Døstrup Bæk	06-12-2001					
	Opstrøms for dambrug v. vej		Umiddelbart ned-strøms dambrug v. styrt (pæl 14)		950 m ned-strøms dambrug	
	Station 1		Station 2		Station 3	
	Spark	Pille	Spark	Pille	Spark	Pille
Nemoura flexuosa						
Nemoura sp.			6	1		
Tæger						
Corixinae indet					1	
Velia sp						
Microvelia sp.						
Biller						
Brychius elevatus			2			
Haliplus sp.						
Oreodytes sanmarki	1				1	1
Platambus maculatus						
Dytiscidae indet						
Elmis aenea	7		11		7	
Limnius volckmari	21	2				
Elodes minuta grp.						
Dovenfluer						
Sialis fuliginosa					1	
Sialis lutaria	2	1	2		4	
Vårfluer						
Agapetus (fuscipes)	6					
Rhyacophila fasciata			5		2	2
Rhyacophila sp.	2	1	1		1	1
Hydropsyche augustipennis						
Hydropsyche pellucidula	4					
Hydropsyche siltalai	50	2	1			
Hydropsyche sp			2			
Plectrocnemia conspersa						
Ecclisopteryx dalecarlica			53		21	
Limnephilus extricatus						
Limnephilus lunatus						
Limnephilus sp.						
Glyphotaelius pellucidus						
Anabolia nervosa			1			
Potamophylax cingulatus						
Potamophylax latipennis	3		2		7	
Potamophylax sp.						
Halesus radiatus						
Halesus sp.						
Chaetopteryx villosa			1			
Limnephilidae indet.	6				14	
Silo nigricornis	8		12		2	
Sericostoma personatum						
Beraea maurus						
Sommerfugle						
Lepidoptera indet			1			

Døstrup Bæk	06-12-2001					
	Opstrøms for dambrug v. vej		Umiddelbart ned-strøms dambrug		950 m ned-strøms dambrug	
			v. styrt (pæl 14)			
	Station 1		Station 2		Station 3	
	Spark	Pille	Spark	Pille	Spark	Pille
Stankelben						
Tipulidae indet.			2			
Hexatominae indet.					1	
Dicranota sp.	7	3	22		13	
Sommerfuglemyg						
Psychodidae indet.						
Glansmyg						
Ptychoptera sp.					1	
Dixidae						
Dixidae indet						
Kvægmyg						
Simuliidae indet.	80	2	21		70	4
Dansemyg						
Tanypodinae indet.	1		2		7	
Diamesa insignipes						
Prodiamesa olivacea	7	1			6	
Orthocladiinae indet.	35		12		14	
Chironomini indet.						
Tanytarsini indet.	5		3		55	
Diptera puppe						
Mitter						
Ceratopogonidae indet.	2		1			
Dansefluer						
Empididae indet.						
Fisk						
Bæklampret						
3-pigget hundestejle			1			
9-pigget hundestejle			1			
Nøglegruppe	Ng.grp.1: 2 stk		Ng.grp. 2:		Ng.grp. 2:	
	Agapetus, Limnius		*Elmis, Rhyacophila,*		*Ephemerella,Silo,*	
			Ancylus,Silo		*Rhyacophila, Elmis*	
Diversitetsgrupper	Positive	10	Positive	9	Positive	7
	Negative	3	Negative	3	Negative	2
	Pos - neg	7	Pos - neg	6	Pos - neg	5
	DVFI	**6**		**5**		**5**

Døstrup Bæk	13-03-2002					
	Opstrøms for dambrug v. vej		Umiddelbart ned-strøms dambrug		950 m ned-strøms dambrug	
			v. styrt (pæl 14)			
	Station 1		Station 2		Station 3	
	Spark	Pille	Spark	Pille	Spark	Pille
Fimreorme						
Dugesia gonocephala	1		2	1	5	1
Polycelis sp						
Hårorme						
Nematomorpha indet.						
Snegle						
Physa fontinalis						
Lymnaea glabra						
Lymnaea pereger	1		35	2		
Lymnaea truncatula						
Gyraulus albus						
Gyraulus crista						
Gyraulus laevis						
Anisus contortus						
Anisus vortex						
Planorbis planorbis			5			
Ancylus fluviatilis	2	1	11	3		1
Muslinger						
Pisidium sp.	60				4	
Igler						
Glossiphonia complanata	11	1	3	1	4	
Helobdella stagnalis						
Erpobdella octoculata	3	1			1	
Erpobdella testacea					2	
Erpobdella sp.						
Børsteorm						
Eiseniella tetraedra			3			
Oligochaeta indet.	10		4		23	
Vandmider						
Hydracarinae indet.			1			
Småkrebs						
Ostracodae indet.	4				5	
Storkrebs						
Asellus aquaticus					1	
Gammarus pulex	3000	1	750	1	2000	1
Døgnfluer						
Baetis rhodani	600	1	350		76	1
Baetis sp.						
Centroptilum luteolum						
Cloeon dipterum						
Ephemerella ignita						
Paraleptophlebia submarginata						
Paraleptophlebia sp						
Slørvinger						
Amphinemura standfussi						

Døstrup Bæk	13-03-2002					
	Opstrøms for dambrug v. vej		Umiddelbart ned-strøms dambrug		950 m ned-strøms dambrug	
			v. styrt (pæl 14)			
	Station 1		Station 2		Station 3	
	Spark	Pille	Spark	Pille	Spark	Pille
Nemoura avicularis						
Nemoura cinerea			2		2	
Nemoura flexuosa						
Nemoura sp.	1					
Tæger						
Corixinae indet						
Velia sp						
Microvelia sp.						
Biller						
Brychius elevatus						
Haliplus sp.					1	
Oreodytes sanmarki			12		19	1
Platambus maculatus						
Dytiscidae indet						
Elmis aenea	6	1	2	2		4
Limnius volckmari	132	7				
Elodes minuta grp.						
Dovenfluer						
Sialis fuliginosa						
Sialis lutaria	1				7	
Vårfluer						
Agapetus (fuscipes)	2					
Rhyacophila fasciata	2	1	4	1	1	1
Rhyacophila sp.	2		2	1		
Hydropsyche augustipennis						
Hydropsyche pellucidula	1					
Hydropsyche siltalai	81		11	1		
Hydropsyche sp						
Plectrocnemia conspersa						
Ecclisopteryx dalecarlica	13		17		3	
Limnephilus extricatus						
Limnephilus lunatus						
Limnephilus sp.	1				1	
Glyphotaelius pellucidus						
Anabolia nervosa						
Potamophylax cingulatus						
Potamophylax latipennis	7		1		1	
Potamophylax sp.						
Halesus radiatus						
Halesus sp.					1	
Chaetopteryx villosa						
Limnephilidae indet.	1				7	
Silo nigricornis	7	1	3			
Sericostoma personatum						
Beraea maurus						

Døstrup Bæk	**13-03-2002**					
	Opstrøms for dambrug v. vej		**Umiddelbart ned-strøms dambrug**		**950 m ned-strøms dambrug**	
			v. styrt (pæl 14)			
	Station 1		**Station 2**		**Station 3**	
	Spark	**Pille**	**Spark**	**Pille**	**Spark**	**Pille**
Sommerfugle						
Lepidoptera indet						
Stankelben						
Tipulidae indet.						
Hexatominae indet.	4		2		16	
Dicranota sp.	26		33		10	
Sommerfuglemyg						
Psychodidae indet.						
Glansmyg						
Ptychoptera sp.					2	
Dixidae						
Dixidae indet						
Kvægmyg						
Simuliidae indet.	500	1	61		500	
Dansemyg						
Tanypodinae indet.					10	
Diamesa insignipes						
Prodiamesa olivacea	13		1		35	
Orthocladiinae indet.	65		9		36	
Chironomini indet.						
Tanytarsini indet.			1		56	
Diptera puppe			3			
Mitter						
Ceratopogonidae indet.	2		1			
Dansefluer						
Empididae indet.						
Fisk						
Bæklampret						
3-pigget hundestejle						
9-pigget hundestejle						
Nøglegruppe	Ng.grp.1: 2 taxa		Ng.grp. 2:		Ng.grp. 2:	
	Limnius, Agapetus		*Silo, Elmis,*		*Elmis,*	
			Rhyacophila, Ancylus		*Rhyacophila, Ancylus*	
Diversitetsgrupper	Positive	11	Positive	9	Positive	8
	Negative	3	Negative	1	Negative	3
	Pos - neg	8	Pos - neg	8	Pos - neg	5
	DVFI	**6**	**DVFI**	**5**	**DVFI**	**5**

Bilag 6: Ordliste

Anlægsbidrag: Den stofmængde som forlader dambruget med vandet ved udløbet. Anlægsbidraget er summen af *dambrugsbidraget og vandløbsbidraget.* **(st. 510 *Q_{510}+st. 520*Q_{520}+st. 530*Q_{530})**.

Dambrugsbidraget: Den stofmængde, som det samlede dambrug bidrager med i udløbsvandet. Dambrugsbidraget omfatter således den stofmængde som genereres i selve produktionsanlægget – produktionsbidraget – efter at denne mængde er blevet yderligere omsat og eventuelt reduceret i produktionsdammene, bundfældningsanlæg, eventuelle rensningsforanstaltninger og bagkanal. Dambrugsbidraget er således lig med *anlægsbidraget* minus *vandløbsbidraget*. **(st. 510 *Q_{510}+st. 520*Q_{520}+st. 530*Q_{530}) – (st. 20 Q_{020}+st. 30 *Q_{030})**

Foderkvotient (FK): Kaldes også den biologiske foderkoefficient og er forholdet mellem mængde forbrugt foder og fisketilvæksten inklusiv døde fisk.

Medianminimum: Er et mål for minimumsvandføringen i et vandløb. Det beregnes som medianen af den årlige minimumsvandføring af en vandføringsserie på typisk mindst 20 år.

Opdrætsbidrag: Den stofmængde, der tilføres igennem processerne i selve opdrætssystemet, dvs. den mængde, der kommer frem til rensningsforanstaltningerne minus vandløbsbidrag og effekten af eventuel recirkulering. Opdrætsbidraget adskiller sig fra produktionsbidraget ved at inkludere den stofomsætning, som finder sted i selve opdrætssystemet udover den omsætning der finder sted i fiskene **(st. 400 * Q_{400}) - (st. 20 Q_{020}+st. 30 *Q_{030})**.

Omsætningshastighed Beregnes ved at dividere den gennemsnitlig stående bestand op i den i produktionsperioden realiserede produktion.

Produktionsbidrag: Tilførslen af stof fra selve produktionsprocessen, dvs. den stofmængde der stammer fra foderspild, fækalier mm. Er lig stofbidrag fra fiskeproduktionen for de stoffer, hvor der ikke er en egenomsætning som f.eks. for total fosfor.

Recirkulering

$$\left(1-\frac{Vandindtag}{Flow}\right)\cdot 100\%.$$

Vandindtag kan være i en dam eller en sektion med det tilhørende flow.

Vandløbsbidrag: Den stofmængde, som tilføres dambruget i indløbsvandet fra vandløbet og fra grundvand. Således at definitionen bliver: **(st. 20 Q_{020} + st. 30 *Q_{030})**.

[Tom side]

Appendiks 1: Beregning af COD for fisk og foder fra Døstrup Dambrug

Ved COD (Chemical Oxygen Demand) forstås den iltmængde, der forbruges ved en kemisk "vådforbrænding" af organisk stof. Iltmængden pr. g stof afhænger af stoffets kemiske sammensætning. Den måles normalt i laboratoriet ved en fastlagt standardprocedure, men kan også beregnes teoretisk.

Iltforbruget til forbrænding af fedt fra regnbueørred er i denne rapport beregnet ud fra den kemiske formel for fedtstoffet tripalmitylglycerin, hvor palmityl-fedtsyren er en af de mest almindelige, mættede fedtsyrer. For at gøre beregningen mere sammenlignelig med fiskeolie, der indeholder umættede fedtsyrer, er hvert palmitylmolekyle i beregningen modificeret med to dobbeltbindninger. Iltforbruget til forbrænding af kulhydrat er beregnet for polymeriseret druesukker (bruttoformel $C_6H_{10}O_5$). Til COD-forbrænding af protein er beregningerne foretaget for en simpel aminosyre, som indbygget i protein har molekylvægten 85, svarende ret nøje til det i rapporten anvendte standard-omregningstal protein = N * 6.25. Aminosyren består efter indbygning i protein af en CH-NH_2-gruppe, en CO-gruppe, en CH_2- og en CH_3-gruppe. Amino-delen (-NH_2), som fiskene udskiller som ammoniak, reagerer ikke ved COD-analysen i laboratoriet, mens resten af molekylet gør. Ved beregningen er aminogruppen derfor udeladt.

Til brug i kapitel 5 og 6 bliver den teoretisk beregnede COD-værdi for 1 g stof på dette grundlag 1,88 for protein, 2,88 for fedt og 1,19 for kulhydrat. I kapitel 7 er der i forbindelse med slam beregnet den iltmængde, der forbruges ved en total forbrænding i luft, betegnet TOC (Total Oxygen Consumption). For fedt og kulhydrat er den teoretisk beregnede TOC den samme som COD. Ved total forbrænding af aminosyrer og proteiner vil der også forbruges ilt til at omdanne amino-delen til nitrat. Derfor bliver TOC-værdien ved forbrænding af 1 g protein til 2,54 g ilt. Forholdet mellem COD og TOC for blandede produkter som fisk og foder vil afhænge af blandingsforholdet mellem protein, fedt og kulhydrat. Som en tommelfingerregel antages ofte, at COD udgør 90 % af TOC og at BI_5 udgør 70 % af TOC.

Appendiks 2: Formler for beregning af forskel i koncentrationen i udløbet og i indløbet samt formler for beregning af gennemsnit, standard afvigelse og varianskoefficient

Forskellen i koncentrationen mellem udløbet og indløbet beregnes som

$$x_i = x_{ud_i} - x_{ind_i},$$

hvor

$$x_{ind_i} = \frac{c_{1i} \cdot q_{1i} + c_{2i} \cdot q_{2i}}{(q_{1i} + q_{2i}) \cdot T_i},$$

$$x_{ud_i} = \frac{c_{3i} \cdot q_{3i} + c_{4i} \cdot q_{4i} + c_{5i} \cdot q_{5i}}{(q_{3i} + q_{4i} + q_{5i}) \cdot T_i}$$

med

c_{ji} : koncentrationen af kontrolvariablen ved station *j* og i prøvetagningsperiode *i*,
q_{ji} : opsummerede vandmængde ved station *j* og i prøvetagningsperiode *i*,
T_i : antallet af sekunder i prøvetagningsperiode *i*,
i : angiver prøvetagningsperiode (uge, døgn) og $i = 1,2,2,52$,
j : angiver stationsnummer, $j = 1$ (åvand = st.20), 2 (grundvand = st. 30), 3 (udløb lagune 1 = st. 510), 4 (udløb lagune 2 = st. 520), 5 (udløb lagune 3 = st. 530).

Beregning af gennemsnit:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} x_i,$$

hvor *n* kan antage værdierne fra 6 til 52 alt efter længden af den periode man beregner gennemsnit over.

Standard afvigelse:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}.$$

Varianskoefficient:

$$CV = \frac{s}{\bar{x}}.$$

Danmarks Miljøundersøgelser

Danmarks Miljøundersøgelser - DMU - er en forskningsinstitution i Miljøministeriet. DMU's opgaver omfatter forskning, overvågning og faglig rådgivning inden for natur og miljø.

Henvendelser kan rettes til:

URL: http://www.dmu.dk

Danmarks Miljøundersøgelser
Frederiksborgvej 399
Postboks 358
4000 Roskilde
Tlf.: 46 30 12 00
Fax: 46 30 11 14

Direktion
Personale- og Økonomisekretariat
Forsknings- og Udviklingssektion
Afd. for Systemanalyse
Afd. for Atmosfærisk Miljø
Afd. for Marin Økologi
Afd. for Miljøkemi og Mikrobiologi
Afd. for Arktisk Miljø
Projektchef for kvalitets- og analyseområdet

Danmarks Miljøundersøgelser
Vejlsøvej 25
Postboks 314
8600 Silkeborg
Tlf.: 89 20 14 00
Fax: 89 20 14 14

Overvågningssektionen
Afd. for Terrestrisk Økologi
Afd. for Ferskvandsøkologi
Afd. for Marin Økologi
Projektchef for det akvatiske område

Danmarks Miljøundersøgelser
Grenåvej 12-14, Kalø
8410 Rønde
Tlf.: 89 20 17 00
Fax: 89 20 15 15

Afdeling for Vildtbiologi og Biodiversitet

Publikationer:
DMU udgiver faglige rapporter, tekniske anvisninger, temarapporter, samt årsberetninger. Et katalog over DMU's aktuelle forsknings- og udviklingsprojekter er tilgængeligt via World Wide Web.
I årsberetningen findes en oversigt over det pågældende års publikationer.

Faglige rapporter fra DMU/NERI Technical Reports

2002

Nr. 411: Satellite Tracking of Humpback Whales in West Greenland. By Dietz, R. et al. 38 pp. (electronic)
Nr. 412: Control of Pesticides 2001. Chemical Substances and Chemical Preparations. By Krongaard, T. Petersen, K.K. & Christoffersen, C. 28 pp. (electronic)
Nr. 413: Vegetation i farvandet omkring Fyn 2001. Af Rasmussen, M.B. 138 s. (elektronisk)
Nr. 414: Projection Models 2010. Danish Emissions of SO_2, No_x, NMVOC and NH_3. By Illerup, J.B. et al. 194 pp., 100,00 DKK.
Nr. 415: Potential Environmental Impacts of Soil Spills in Greenland. An Assessment of Information Status and Research Needs. By Mosbech, A. (ed.) 116 pp. (electronic)
Nr. 416: Ilt- og næringsstoffluxmodel for Århus Bugt og Mariager Fjord. Modelopsætning. Af Fossing, H. et al. 72 s., 100,00 kr.
Nr. 417: Ilt- og næringsstoffluxmodel for Århus Bugt og Mariager Fjord. Modelopsætning og scenarier. Af Fossing, H. et al. 178 s. (elektronisk)
Nr. 418: Atmosfærisk deposition 2001. NOVA 2003. Af Ellermann, T. (elektronisk)
Nr. 419: Marine områder 2001 - Miljøtilstand og udvikling. NOVA 2003. Af Ærtebjerg, G. (red.) (elektronisk)
Nr. 420: Landovervågningsoplande 2001. NOVA 2003. Af Bøgestrand, J. (elektronisk)
Nr. 421: Søer 2001. NOVA 2003. Af Jensen, J.P. (elektronisk)
Nr. 422: Vandløb og kilder 2001. NOVA 2003. Af Bøgestrand, J. (elektronisk)
Nr. 423: Vandmiljø 2002. Tilstand og udvikling - faglig sammenfatning. Af Andersen, J.M. et al. 56 s., 100,00 kr.
Nr. 424: Burden Sharing in the Context of Global Climate Change. A North-South Perspective. By Ringius, L., Frederiksen, P. & Birr-Pedersen, K. 90 pp. (electronic)
Nr. 425: Interkalibrering af marine målemetoder 2002. Af Stæhr, P.A. et al. 88 s. (elektronisk)
Nr. 426: Statistisk optimering af moniteringsprogrammer på miljøområdet. Eksempler fra NOVA-2003. Af Larsen, S.E., Jensen, C. & Carstensen, J. 195 s. (elektronisk)
Nr. 427: Air Quality Monitoring Programme. Annual Summary for 2001. By Kemp, K. & Palmgren, F. 32 pp. (electronic)

2003

Nr. 428: Vildtbestande, jagt og jagttider i Danmark 2002. En biologisk vurdering af jagtens bæredygtighed som grundlag for jagttidsrevisionen 2003. Af Bregnballe, T. et al. 227 s. (elektronisk)
Nr. 429: Movements of Seals from Rødsand Seal Sanctuary Monitored by Satellite Telemetry. Relative Importance of the Nysted Offshore Wind Farm Area to the Seals. By Dietz, R. et al. 44 pp. (electronic)
Nr. 430: Undersøgelse af miljøfremmede stoffer i gylle. Af Schwærter, R.C. & Grant, R. 60 s. (elektronisk)
Nr. 432: Metoder til miljøkonsekvensvurdering af økonomisk politik. Af Møller, F. 65 s. (elektronisk)
Nr. 433: Luftforurening med partikler i København. En oversigt. Af Palmgren, F., Wåhlin, P. & Loft, S. 77 s. (elektronisk)
Nr. 435: Preliminary Assessment based on AQ Modelling. Ploiesti Agglomeration in Romania. Assistance to Romania on Transposition and Implementation of the EU Ambient Air Quality Directives. By Jensen, S.S. et al. 53 pp. (electronic)
Nr. 436: Naturplanlægning - et system til tilstandsvurdering i naturområder. Af Skov, F., Buttenschøn, R. & Clemmensen, K.B. 101 s. (elektronisk)
Nr. 437: Naturen i hverdagslivsperspektiv. En kvalitativ interviewundersøgelse af forskellige danskeres forhold til naturen. Af Læssøe, J. & Iversen, T.L. 106 s. (elektronisk)
Nr. 438: Havternen i Grønland. Status og undersøgelser. Af Egevang, C. & Boertmann, D. 69 s. (elektronisk)
Nr. 439: Anvendelse af genmodificerede planter. Velfærdsøkonomisk vurdering og etiske aspekter. Af Møller, F. 57 s. (elektronisk)
Nr. 440: Thermal Animal Detection System (TADS). Development of a Method for Estimating Collision Frequency of Migrating Birds at Offshore Wind Turbines. By Desholm, M. 25 pp. (electronic)
Nr. 441: Næringsstofbalancer på udvalgte bedrifter i Landovervågningen. Af Hansen, T.V. & Grant, R. 26s. (elektronisk)
Nr. 442: Emissionsfaktorer og emissionsopgørelse for decentral kraftvarme. Eltra PSO projekt 3141. Kortlægning af emissioner fra decentrale kraftvarmeværker. Delrapport 6. Af Nielsen, M. & Illerup, J.B. 113 s. (elektronisk)
Nr. 443: Miljøøkonomisk analyse af skovrejsning og braklægning som strategier til drikkevandsbeskyttelse. Af Schou, J.S. 43 s. (elektronisk)
Nr. 444: Tungmetaller i tang og musling ved Ivittuut 2001. Af Johansen, P. & Asmund, G. 32 s. (elektronisk)

Baseret på et meget omfattende 2-årigt måleprogram er der for et lavteknologisk dambrug (Døstrup Dambrug) tilvejebragt dokumentation for renseeffekten af slamkegler, bundfældningsbassin og 3 forskellige plantelagunesystemer. Endvidere er der fra en 9 ugers intensiv periode undersøgt fisketilvækst, foderkonvertering, produktion af affaldsstoffer og optimering af slamhåndtering. Der er gennemført statistiske analyser af overholdelse af udlederkrav. Endvidere er belyst udviklingen i planteforhold.

Danmarks Miljøundersøgelser
Miljøministeriet

ISBN 87-7772-722-3
ISSN 1600-0048