



RENSEEFFEKTIVITET PÅ MODEL 1 DAMBRUG

Rapportering af WP4 under dambrugsteknologiprojektet

Faglig rapport fra DMU nr.842

2011



DANMARKS MILJØUNDERSØGELSER
AARHUS UNIVERSITET



RENSEEFFEKTIVITET PÅ MODEL 1 DAMBRUG

Rapportering af WP4 under dambrugsteknologiprojektet

Faglig rapport fra DMU nr. 842 2011

Lars M. Svendsen¹
Søren E. Larsen¹
Anne Johanne Tang Dalsgaard²
Lisbeth Jess Plesner³
Kaare Michelsen³

¹ Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet

² DTU Aqua

³ Dansk Akvakultur

Danmark og EU investerer i bæredygtig akvakultur.

Projektet er støttet af Fødevareministeriet og EU.

Ministeriet for Fødevarer,
Landbrug og Fiskeri



Den
Europæiske
Fiskerifond



DANMARKS MILJØUNDERSØGELSER
AARHUS UNIVERSITET



Datablad

Serietitel og nummer:	Faglig rapport fra DMU nr. 842
Titel:	Renseeffektivitet på model 1 dambrug
Undertitel:	Rapportering af WP4 under dambrugsteknologiprojektet
Forfattere:	Lars M. Svendsen ¹ , Søren E. Larsen ² , Anne Johanne Tang Dalsgaard ³ , Lisbeth Jess Plesner ⁴ & Kaare Michelsen ⁴
Institutioner, afdelinger:	¹ Forsknings-, Overvågnings- og Rådgivningssekretariatet, ² Afdeling for Ferskvandsøkologi, ³ DTU Aqua, ⁴ Dansk Akvakultur
Udgiver:	Danmarks Miljøundersøgelser© Aarhus Universitet
URL:	http://www.dmu.dk
Udgivelsesår:	Juli 2011
Redaktion afsluttet:	Juni 2011
Faglig kommentering:	Styringsgruppen for Dambrugsteknologiprojektet
Finansiell støtte:	Fødevareministeriet og EU
Bedes citeret:	Svendsen, L.M., Larsen, S.E., Dalsgaard, A.J.T., Plesner, L.J. & Michelsen, K. 2011. Renseeffektivitet på model 1 dambrug. Rapportering af WP4 under dambrugsteknologiprojektet. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. 106 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 842. http://www.dmu.dk/Pub/FR842.pdf
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Sammenfatning:	På basis af dambrugenenes egenkontrolldata, interview og supplerende målinger er renseeffektiviteten og udledninger af kvælstof, fosfor og organisk stof fastlagt for 10 model 1 dambrug med i alt 18 måleår, som anses som repræsentativt for denne type dambrug. Det er den første undersøgelse af disse dambrugs performance og rapporten viser at de fuldt ud lever op til de i Bekendtgørelse for modeldambrug (2006) forudsatte rensegrader. Der er relativ stor spredning i nettorensgraderne for de 10 model 1 dambrug, men kun i ganske få tilfælde (måleår) er forudsætningerne ikke opfyldt og især for total fosfor og total kvælstof er nettorensgraderne væsentligt højere og dermed bedre end forudsat. Fem model 3 dambrug med i alt 8 måleår er blevet vurderet og de lever også fuldt ud op til bekendtgørelsens forudsætninger og de resultater som blev fundet under forsøgsprojektet for model 3 dambrug. På basis af statistiske korrelationer og multiple regressionsanalyser opstilles en række signifikante relationer mellem henholdsvis nettorensgrader og nettoudledninger og en række variable. Her forklarer især opholdstiden i plantelagunerne og over hele dambruget og vandforbruget pr. kg fisk samt for nogle af stofparametrene andelen af stof i vandindtag i forhold til produktionsbidraget en meget stor del af variationen i nettorensgrader og nettoudledninger. Høj opholdstid og lavt vandforbrug pr. kg produceret fisk giver generelt lave nettostofudledninger pr. kg fisk og høje nettorensgrader.
Emneord:	Model 1 dambrug, model 3, nettoudledninger, nettorensgrader, foderforbrug, foderkvotient produktionsbidrag, plantelaguner, dækningsgrader, opholdstid, vandforbrug pr. kg fisk, PCA analyser, regressionsanalyser, variationskoefficient, koncentrationer.
Layout:	Grafisk værksted, DMU Silkeborg
Forsidefoto:	Udsnit af produktionsanlægget ved Bisgård Dambrug (ved Tarm). Foto: Lars M. Svendsen, DMU.
ISBN:	978-87-7073-252-9
ISSN (elektronisk):	1600-0048
Sideantal:	106
Internetversion:	Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) på DMU's hjemmeside http://www.dmu.dk/Pub/FR842.pdf

Indhold

1 Forord 5

2 Sammenfatning og konklusion 6

- 2.1 Baggrund/Formål 6
- 2.2 Metode 6
- 2.3 Resultater 7
- 2.4 Konklusion/Perspektivering 9

3 Indledning og formål med delprojektet (WP4) 11

4 Karakteristik af dambrugene, datagrundlag og baggrundsoplysninger 14

- 4.1 Bekendtgørelsens krav til model 1 og 3 dambrug 14
- 4.2 Hvilke dambrug indgår 16
- 4.3 Interview på dambrug og miljøgodkendelser 18
- 4.4 Overordnet karakteristik af dambrugene 19
- 4.5 Opmåling af plantelaguner/plantedækningsgrader 20
- 4.6 Foder- og produktionsoplysninger 21
- 4.7 Vand, foderforbrug, plantelaguner og opholdstider 23
- 4.8 Kemiske vandanalyser, stof- og vandindtag/-afledning 25
- 4.9 Vandløbskvaliteten op- og nedstrøms dambrugene 30

5 Produktionsbidrag for type 1 og 3 32

- 5.1 Håndtering af datamangler/manglende overensstemmelse mellem foderdata og måleperiode o.l. 32
- 5.2 Beregning af produktionsbidraget 32
- 5.3 Produktionsbidrag og stoftab pr. kg produceret fisk 33

6 Udledninger og rensegrader for type 1 og 3 36

- 6.1 Udledninger model 1 og 3 36
- 6.2 Netto rensegrader for model 1 og 3 39

7 Statistiske analyser og sammenhænge vedr. udledninger og rensegrader 44

- 7.1 PCA analyser 44
- 7.2 Korrelationer mellem nettoudledninger og netto rensegrader mod responsvariable 47
- 7.3 Multipel regressionsanalyser 52

8 Diskussion 57

9 Referencer 68

Bilag 1 Nøgleoplysninger indretning, drift og plantelaguner 70

Bilag 2 Lagunekarakteristik 72

Bilag 3 Foderoplysninger pr. dambrug 74

Bilag 4 Produktionsbidrag pr. kg anvendt foder 78

Bilag 5 Nøgleoplysninger vedr. vandforbrug, koncentrationer og stofmængder, nettostofudledninger, nettorensgrader o.l. 79

Bilag 6 Biologisk vandkvalitet (DVFI) op- og nedstrøms dambrugene 84

Bilag 7 PCA plots 87

Bilag 8 Regressionsplots for nettoudledninger og nettorensgrader mod forskellige variable 99

Danmarks Miljøundersøgelser

Faglige rapporter fra DMU

1 Forord

Denne rapport er en af ni selvstændige rapporter, der er udarbejdet under dambrugsteknologiprojektet "Dambrugsteknologi: Optimering af driften på etablerede modeldambrug og fortsat vidensudveksling af recirkuleringsteknologien". Der er udarbejdet en sammenfatning (Dansk Akvakultur et al., 2011) der bl.a. for hvert delprojekt indeholder 1-2 siders sammenfatning med væsentligste resultater, konklusioner og anbefalinger.

I nærværende rapport findes resultaterne fra WP4 "Dokumentation af udledninger og rensegrader for modeldambrug type 1" under dambrugsteknologiprojektet. Fokus er på at dokumentere nettoudledninger og -rensegrader for modeldambrug type 1 (for defineret heraf se kap. 4.1) og usikkerheden på disse for at kunne vurdere deres performance og om de lever op til de forudsatte rensegrader i Bekendtgørelsen for modeldambrug. Endvidere gennem statistiske analyser at opstille udtryk og sammenhæng til nogle målte variable på dambrugene. WP4 blev udvidet med også at foretage en vurdering af nettoudledninger og -rensegrader på et antal modeldambrug type 3 (defineret i kap. 4.1) for at afklare om disse lever op til de rensegrader, der blev fundet under forsøgsprojektet for modeldambrug (Svendsen et. al, 2008). Resultaterne er overordnet baseret på dambrugenes egenkontrol gennem de seneste år og frem til ultimo 2010 suppleret med foderdata samt interview på dambrugene og opmåling af plantelagunerne i perioden juli-september 2010.

WP4 er gennemført i et samarbejde mellem Dansk Akvakultur, DTU Aqua og DMU, Aarhus Universitet med sidstnævnte som projektansvarlige for WP4.

Projektet er muliggjort med støtte fra Fødevareministeriet og EU, der hermed takkes for den tildelte bevilling.

Der skal rettes en tak til de deltagende dambrug for gæstfrihed ved besøg og for at stille data til rådighed. Det drejer sig om følgende model 1 dambrug: Alskov Dambrug, Bisgård Dambrug, Brejnholm Dambrug, Døstrup Dambrug, Hallundbæk Dambrug, Høgild Dambrug, Høghøj Dambrug, Kølkær Dambrug, Røjdrup Dambrug og Volstrup Dambrug samt følgende model 3 dambrug: Fole Dambrug, Kongeåens Dambrug, Løjstrup Dambrug, Nymølle Dambrug og Nørå Dambrug.

Der skal endvidere rettes en tak til Uffe Mensberg for hans ihærdige indsats med opmåling af plantelaguner, klargøring og bearbejdning af resultater fra disse opmålinger.

Endelig vil vi takke de kommuner dambrugene ligger i for fremskaffelse af faunabedømmelser i vandløbene op- og nedstrøms de involverede dambrug.

Et udkast til rapporten har været sendt i høring i projektets følgegruppe og kommentarer er søgt indarbejdet i den endelige version af rapporten. Der takkes for de modtagne kommentarer.

2 Sammenfatning og konklusion

2.1 Baggrund/Formål

En række dambrug har valgt at bygge om til model 1 dambrug (for definition heraf se kap. 4.1). Der har indtil nu ikke været foretaget en beregning og vurdering af om denne type modeldambrug lever op til de forudsatte netto rensegrader og hvor godt de performer. Formålet er derfor ud fra eksisterende, repræsentative måledata for model 1 dambrug at:

- Fastlægge nettoudledninger og -rensegrader af ammonium og total kvælstof, total fosfor og BI_5 og vurdere sikkerheden af disse
- På basis af statistiske analyser afklare om der kan opstilles signifikante udtryk og sammenhænge for henholdsvis nettoudledninger og -rensegrader med variable og nøgletal på dambruget som indretning, foder, vandforbrug, lagunekaraktistik, koncentrationsforhold i vand indtag og -udledning m.fl.

Herudover er det for udvalgte model 3 dambrug ud fra eksisterende data vurderet om nettoudledninger og -rensegrader som minimum lever op til resultaterne for forsøgsordningen med denne type dambrug.

2.2 Metode

Model 1 dambrug, som har taget 26 vandkemiske målinger til egenkontrol i mindst et produktionsår, blev kontaktet. To dambrug manglende et tilstrækkeligt antal målinger og her er der betalt for at lave supplerende målinger op til de 26. I alt 10 model 1 dambrug er endt med at ville deltage og det med fra 1 til 4 måleår, så der er data for i alt 18 måleår. For enkelte dambrug som indgår med mere end et måleår er medtaget måleår med lidt færre end 26 prøver. Data er målt i perioden 2004-2010 dog primært fra 2007 og frem til og med ultimo oktober 2010. Der er et tilstrækkeligt datagrundlag til at gennemføre statistiske analyser, idet der var forudsat mindst 16 måleår for at kunne gennemføre analysen og forvente statistisk sikre resultater.

Alle dambrug er besøgt og interviewet om indretning, vandflow, produktions- og driftsforhold. Der er modtaget oplysning om fodertype, foderforbrug og fiskeproduktion. Plantelagunerne er ved antaget maksimal biomasse i perioden august-september 2010 opmålt herunder for dækningsgrader og plantearter. Der er desuden anvendt en række baggrundsoplysninger fra dambrugenenes miljøgodkendelser og oversigtstegninger. Der er også modtaget egenkontrolldata fra 5 model 3 dambrug (for definition heraf se kap. 4.1.) i perioden 2007-10 samt foder og produktionsdata for i alt 8 produktionsår og disse dambrug er også besøgt, plantelaguner og dækningsgrader opmålt m.v. For model 3 dambrugene er formålet at afklare om disse fortsat performer ligeså godt som fundet under forsøgsprojektet for model 3 dambrug (Svendsen et al., 2008).

Der er foretaget PCA, korrelation, multipel regressions m.fl. analyser mellem henholdsvis nettoudledninger og rensegrader og en række respons variable for alle dambrug som er med (model 1 og model 3) og for model 1 særskilt.

2.3 Resultater

De 10 model 1 dambrug har mellem 2/3 og 3/4 af det samlede foderforbrug for type 1 dambrug og kan derfor antages at give et rimeligt godt billede for denne type modeldambrug. Der er nogen variation i indretning og drift af de 10 model 1 dambrug: Tre har biofiltre, alle har mikrosigter, der produceres fra yngel til store fisk, hvor nogle dambrug har alle størrelser andre kun konsumfisk. Vandindvinding sker for mange dambrug fra vandløb, 1 kun fra dræn og grundvand og nogle begge typer. Vandaflodningen varierer fra 6 l/s til 285 l/ med et gennemsnit på 108 l/s. Det årlige foderforbrug er i gennemsnit 174 tons (min. 43, max. 250 tons) med en foderkvotienten i gennemsnit på 0,94 (0,85 til 1,01), så på dette punkt er type 1 dambrugene relativt ensartede.

Plantelagunernes størrelse varierer fra 3.900 til 14.000 m² (gennemsnit 8.000 m²) hvilket i gennemsnit svarer til 45,1 m² pr. kg anvendt foder (min. 22; max. 72). Den samlede opholdstid over dambrugene er i gennemsnit godt 63 timer men varierer mellem 13 og 258 timer. Generelt er det plantelagunerne som bidrager mest til opholdstiden (i gennemsnit 45 timer, min. 12 og max. 233), mens opholdstiden i produktionsanlægget varierer meget fra 0,7 til 66 timer (gennemsnit 18,6 timer) afhængig af indretning, recirkuleringsgrad m.v. Vandforbruget pr. kg produceret fisk varierer også meget mellem dambrugene fra godt 1.000 l til 38.600 l med et gennemsnit på knap 18.800 l eller knap 60 l/s pr. 100 tons anvendt foder.

De 5 model 3 dambrug er mere ensartede i forhold til en række af de ovennævnte parametre. I gennemsnit har foderforbruget været 597 tons pr. år (min. 298 og max. 602) med en foderkvotient i gennemsnit på 0,91 (0,79-0,99). Plantelagunearealet er i gennemsnit knap 10.800 m² (3.425 - 15.600 m²) med i gennemsnit kun 17,8 m² pr. kg anvendt foder (11,5 - 56,9 m² pr. kg anvendt foder). Den samlede opholdstid for type 3 er i gennemsnit 106 timer (63 - 261 timer), med i gennemsnit 67 timer over lagunerne (26 - 189 timer) og 39 timer (24 - 72 timer) over produktionsanlægget. Vandforbruget pr. kg produceret fisk varierer fra 970 l til 3.050 l med et gennemsnit på godt 2.220 l eller 8 l/s pr. 100 tons anvendt foder.

Der er for model 1 dambrug beregnet nettoudledninger som her angives som gennemsnittet med ± 2 gange standarderror (svarende til 95 % af fordelingen) og i parentes angives gennemsnitstal for alle ferskvandsdambrug i Danmark i 2008 (sidstnævnte efter By- og Landskabsstyrelsen, 2010):

- NH₄-kvælstof: 7,2 $\pm$ 2,8 gram NH₄-N pr. kg produceret fisk
- Total kvælstof: 9,7 $\pm$ 9,7 (29) gram total N pr. kg produceret fisk
- Total fosfor: 0,45 $\pm$ 0,28 (2,6) gram total P pr. kg produceret fisk
- BI₅: 16,4 $\pm$ 5,8 (99) gram BI₅ pr. kg produceret fisk.

For nettorensesgrader er tilsvarende beregnet (hvor der i parentes er angivet forudsatte rensesgrader i Bekendtgørelse for modeldambrug, 2006, idet der i total kvælstof er taget højde for, hvor meget plantelagune model 1 dambruget i gennemsnit har etableret):

- NH_4 -kvælstof: $74 \pm 9,6$ %
- Total kvælstof: $78 \pm 24,6$ (44) %
- Total fosfor: $90 \pm 5,7$ (55) %
- BI_5 : $78 \pm 8,3$ (70) %.

For de 5 model 3 dambrug findes nettoudledninger som er lig med eller under og nettorensesgrader som er lig med eller endnu højere end dem der blev fundet under forsøgsordning for modeldambrug. Nettostofudledninger er i gennemsnit bestemt til (med resultater fra forsøgsordningen for modeldambrug i parentes):

- NH_4 -kvælstof: $6,2 \pm 3,2$ gram $\text{NH}_4\text{-N}$ pr. kg produceret fisk
- Total kvælstof: $13,1 \pm 6,4$ (20) gram total N pr. kg produceret fisk
- Total fosfor: $0,9 \pm 0,7$ (1,1) gram total P pr. kg produceret fisk
- BI_5 : $4,7 \pm 2,4$ (5,6) gram BI_5 pr. kg produceret fisk.

Nettorensesgraderne for model 3 dambrugene er i gennemsnit (i parentes resultater fra forsøgsordningen og efter $''''/''$ forudsat i modeldambrugsbekendtgørelsen, når der for total kvælstof tages højde for den mængde plantelagune der i gennemsnit er oprettet på de 5 model 3 dambrug):

- NH_4 -kvælstof: $75 \pm 11,6$ (77) %
- Total kvælstof: $66 \pm 15,9$ (50/31) %
- Total fosfor: $85 \pm 10,4$ (76/65) %
- BI_5 : $94 \pm 2,9$ (93/80) %.

Den variation, der er i nettoudledninger og nettorensesgrader, skyldes både en reel variation mellem f.eks. model 1 dambrugene grundet forskellig indretning, produktion og drift, men også at der for mange af model 1 dambrugene er nogen usikkerhed på vandmængderne (både indtagsvand og afledning fra dambruget), som medfører at der også er usikkerhed på de stofmængder, der er fastlagt. Det vurderes, at på de gennemsnitlige rensesgrader for model 1 dambrugene er den maksimale usikkerhed grundet usikre vandmængder på under 10 % og for model 3 dambrugene mindre end dette. Det er oftest vandaflodningen som findes oplyst fra dambrugene, således at et eventuelt nettovandtab (eller vandindsivning) over plantelagunerne er medtaget i beregningerne. Det kan ikke vurderes hvor stor del af den samlede stoffjernelse/-tilbageholdelse over dambrugene som skyldes et stoftab over plantelagunerne grundet nedsivning.

Baseret på multiple regressionsanalyser kan der opstilles signifikante relationer mellem både nettoudledninger og -rensesgrader og nogle responsvariable, som kan forklare størstedelen af den fundne variation. For nettorensesgraden (NRG) findes således:

- NH_4 -kvælstof: NRG stiger med øget samlet opholdstid og øget koncentration af $\text{NH}_4\text{-N}$ i indtagsvand og falder med øget vandforbrug pr. kg produceret fisk.

- Total kvælstof: NRG stiger med højere samlet opholdstid og opholdstiden i plantelagune, øget laguneareal og plantedækningsgrad samt når stof i vandindtag udgør stigende andel af produktionsbidraget men falder med højere vandforbrug pr. kg produceret fisk.
- Total fosfor: NRG stiger med øget samlet opholdstid og øget variationskoefficient i total fosfor koncentrationen i indtagsvandet
- BI₅: NRG stiger med øget opholdstid, stigende koncentration af BI₅ i indtagsvandet og når stof i vandindtag udgør stigende andel af produktionsbidraget, men falder med øget vandforbrug pr. kg produceret fisk.

Samlet set vil høj opholdstid og et lav vandforbrug pr. kg produceret fisk – to variable der samvarierer tæt - give en høj nettorensesgrad for de fleste af overnævnte kemiske stoffer. Endvidere slår det for model 1 dambrug igennem for både total kvælstof, total fosfor og BI₅ at kommer der relativt meget partikulært stof ind med indtagsvandet vil en stor andel af dette tilbageholdes over dambruget og give en højere nettorensesgrad.

De opstillede sammenhænge forklarer for model 1 dambrugene 71 til 94 % af variationen mindst for total fosfor og det regnes sædvanligvis som høje forklaringsgrader.

2.4 Konklusion/Perspektivering

De fundne gennemsnitsnettorensesgrader for de 10 model 1 og 5 model 3 dambrug lever fuldt ud op til de i Bekendtgørelse for modeldambrug (2006) forudsatte. De er især for total kvælstof og total fosfor væsentlig højere end forudsat. De 5 model 3 dambrugs gennemsnitsnettorensesgrader er ca. lig med (ammonium kvælstof og BI₅) eller noget højere end fundet under forsøgsordningen og med en BI₅ rensegrad på 94 % er det ikke hensigtsmæssig den bliver højere, da det kan eller vil give begrænsning i tilgængeligt let omsætteligt organisk stof i plantelagunen og dermed reducere nitrat omsætningen heri. I gennemsnit er nettorensesgraderne over model 1 dambrug for NH₄ kvælstof og fosfor stort set de samme som for de 5 model 3 dambrug, mens nettorensesgraden for total kvælstof er væsentligt højere og for BI₅ væsentligt lavere. En række af model 1 dambrugene har et væsentlig større indtag af især partikler med vandindtaget som sedimenterer over dambruget og medvirker til at øge nettorensesgraden af især total fosfor og BI₅ og i et vist omfang også total kvælstof. Det betyder at hvis model 1 dambrugene brugte mindre vand pr. kg produceret fisk eller alle gik over til at anvende dræn og grundvand med et væsentligt mindre stofindtag med indtagsvandet så kan det godt resultere i en tilbageholdelse af en større andel af produktionsbidraget, men fordi der så ikke er ret meget stof at tilbageholde fra indtagsvandet kan den samlede tilbageholdelse af stof godt falde og det vil nettorensesgraden også kunne gøre.

Der er en noget større variation i resultaterne for model 1 dambrugene grundet større forskel i indretning, drifts- og vandforhold og usikkerhed på data, men det kan med sikkerhed siges de performer generelt bedre end forudsat i modeldambrugsbekendtgørelsen fra 2006. Man kan med – overraskende - stor sikkerhed forudsige nettorensesgraden for de fleste at de undersøgte kemiske stoffer alene ved at kende vandforbrug pr. kg

produceret fisk, som bør være lavt (er et mål for større recirkulering og mere rensning), og opholdstid enten over plantelagunerne eller for det samlede anlæg, som bør være høj. Tilsvarende øges nettoudledninger med lav opholdstid, højt vandforbrug pr. kg produceret fisk. Hvor stof med vandindtaget udgør en væsentlig andel af produktionsbidraget har dette også en betydning for nettorenssegraden. Der er i kapitel 7 opstillet nogle simple matematiske udtryk, der giver høj forklaringsgrad for nettorenssegrader og nettoudledninger.

Selv om model 1 dambrugene performer bedre end forudsat i bekendtgørelsen i gennemsnit spiller indretningen en stor rolle, og for enkelte af model 1 dambrug kan for en eller et par flere af de kemiske parametre ikke fuldt ud opfylde renseforudsætningerne i et måleår. Model 3 dambrugene ser ud til fortsat til at performe mindst ligeså godt eller bedre end fastlagt under forsøgsprojektet for model 3 dambrug jf. Svendsen et al. (2008).

For at øge sikkerheden på nettoudledningerne og nettorenssegraderne er det alt afgørende, at der måles kontinuert på vandmængderne og tages et tilstrækkeligt antal vandkemiske prøver i ind og afløb fra dambrug, typisk 26 pr. år i udløb og tilsvarende i indløb, hvor der anvendes vandløbsvand eller 12 ved grund- og drænvand.

3 Indledning og formål med delprojektet (WP4)

En række dambrug har valgt at bygge om til model 1 dambrug. Det er typisk gennemstrømningsanlæg med damme i jord eller i beton med krav om slamkegler eller decentrale bundfældningszoner og plantelagune. Der er ikke krav om tilstedeværelse af biofilter, men krav om recirkuleringsgrad på mindst 70 % og en opholdstid i produktionsanlægget på mindst 1,8 timer (Bekendtgørelse om Modeldambrug, 2006). Endvidere er vandforsyning til model 1 dambrugene som udgangspunkt vandløbsvand og der tillades et større vandforbrug pr. kg produceret fisk end for model 3 dambrug. Krav til indretning er yderligere uddybet og beskrevet for model 1 og model 3 dambrug i kapitel 4.1. Det kræver en væsentlig mindre investering pr. 100 tons foder at ombygge til model 1 dambrug sammenlignet med model 3. Herudover kræver de ikke samme overvågning og dermed antal ansatte, så det kan være rentable at have mindre anlæg.

Det er et vilkår i miljøgodkendelserne for at kunne ombygge til model 1 og få en øget foderkvote at der i afløbet fra dambrugene tages og analyseres på 26 vandkemiske prøver i mindst en 1-årig periode efter ombygningen for at muliggøre en tilstrækkelig sikker dokumentation af udledninger og om overholdelse af de opstillede udlederkrav. En del model 1 dambrug har valgt at fortsætte med at tage 26 årlige egenkontrolprøver i udløb fra dambrugene.

Ved projektansøgningens indsendelse i 2009 var der etableret ca. 20 model 1. Der havde endnu ikke været foretaget nogen beregning og vurdering af hvor godt model 1 dambrug performer, herunder om deres rensegrader lever op til forudsætningerne i Bekendtgørelsen for modeldambrug på baggrund af målte egenkontrol data. Formålet med delprojekt WP4 under dambrugsteknologiprojektet er derfor på baggrund af eksisterende egenkontrollmålinger og supplerende oplysninger at:

- Fastlægge nettoudledninger af henholdsvis ammonium og total kvælstof, total fosfor og organisk stof udtryk ved BI_5 pr. kg produceret fisk for hver model 1 dambrug og generelt for denne type dambrug.
- Beregne nettorensgrader over hver model 1 dambrug og generelt for denne type dambrug, herunder over plantelagunerne, hvor der er målt separat over disse.
- Vurdere usikkerheden på de fundne nettoudledninger og -rensegrader.
- På basis af statistiske analyser at etablere udtryk/sammenhænge for henholdsvis nettoudledninger og -rensegrader mod variable relateret til indretning af produktionsanlæg, produktion og foder, vandforbrug, plantelagunekarakteristik m.v. Dette skal dels anvendes til at kunne estimere potentielle nettoudledninger og -rensegrader på model 1 dambrug og til at vurdere hvilke parametre der fremmer/hæmmer renseeffektiviteten og dermed stoffjernelse over model 1 dambrug.

Foto 1. Eksempel på søagtige plantelaguner ved Brejnholm Dambrug. Foto: Uffe Mensberg.



For at sikre at der var tilstrækkeligt mange model 1 dambrug med mindst 26 egenkontrolmålinger pr. år over to år har der i delprojektet været suppleret med ekstra prøvetagning og vandanalyser på to dambrug.

Efter projektets start er det besluttet også at indsamle egenkontrol data fra et antal model 3 dambrug for at vurdere om nettoudledninger og –rensegrader kan leve op til de fine værdier, der blev fundet under forsøgsprojektet for modeldambrug (Svendsen et al., 2008).

Det er håbet at resultaterne ud over at dokumentere performance af model 1 dambrug både kan anvendes ved videreudvikling af modeldambrug, som støtte for driften heraf og bidrage til at lette kommunernes forvaltning i forhold til disse dambrug.

Opgaverne under WP4 har været fordelt mellem de involverede aktører således at:

- Dansk Akvakultur (Dak) har kontaktet de involverede dambrug, stået for at indsamle egenkontrol og foder data, miljøgodkendelser, tegnninger m.v. og sendt dette til DMU. Dak har deltaget i interview på dambrugene. Endvidere har Dak sikret at der på 2 model 1 dambrug blev betalt for og gennemført supplerende egenkontrollen op til 26 datasæt på et år.
- DTU Aqua har stået for opfølgning på og bearbejdning af foderdata, lavet beregning af produktionsbidrag og skrevet de tilhørende delkapitler.
- DMU har modtaget og behandlet alle vandkemiske data og foretaget interview på alle dambrug sammen med Dak. Endvidere har DMU opmålt alle plantelaguner og bestemt plantedækningsgrader og behandlet de tilhørende data. DMU har udtrukket relevante data af miljøgodkendelserne og foretaget databehandling af vandkemiske data og alle beregning ift. nettoudledninger og –rensegrader. Endvidere har DMU kontaktet de relevante kommuner for at få tilsendt oplys-

ninger om faunabedømmelser op- og nedstrøms dambrugene. DMU har forestået de statistiske analyser og opstillet relation mellem henholdsvis nettoudledninger og –rensegrader mod relevante variable og foretaget usikkerhedsanalyser. Endelig har DMU skrevet alle rapportens afsnit på nær vedrørende foder og produktionsbidrag og stået for redigering og opsætning af denne.

4 Karakteristik af dambrugene, datagrundlag og baggrundsoplysninger

I dette kapitel redegøres for hvilke dambrug og data, der indgår i delprojektet og hvordan data er fremskaffet. Endvidere gives en overordnet karakteristik af dambrugene ift. indretning, vandforbrug, foder m.v.

I kapitlet gives de fleste resultater som nogle karakteristiske statistiske værdier som median, gennemsnit, max.- og min-værdier, standardafvigelse, variationskoefficient og standarderror, mens resultater for de enkelte dambrug for de respektive måleår findes i bilagene. Data og resultater vises anonymiseret ift. dambrugene, idet de enkelte måleår for dambrugene har fået et tilfældigt nummer.

I kapitel 4, 5, 6 og 8 er der en række foto som dels viser nogle af produktionsanlæg for de model 1 dambrug som indgår og foto af nogle af plantelagunerne ved model 1 og model 3 dambrugene.

4.1 Bekendtgørelsens krav til model 1 og 3 dambrug

I Bekendtgørelse om modeldambrug (2006) (som fra maj 2011 ikke længere er gældende og erstattet af Bekendtgørelse om modeldambrug type 3 eller lignende anlæg (2011)) er der opstillet krav til indretning og drift af modeldambrug (tabel 4.1) og til rensegrader - kaldet reduktionsfaktorer (tabel 4.2). Dette anvendes som sammenligningsgrundlag ift. karakteristikken af de dambrug der indgår i delprojektet og som senere anvendes ved vurdering af hvordan model 1 dambrug performer ift. forudsætningerne.

Tabel 4.1. Udvalgte krav til indretning og drift af modeldambrug (Bekendtgørelse for modeldambrug, 2006).

Type af modeldambrug	Model type 1	Model type 3
Damtype	Jord eller beton	Beton
<u>Driftsforhold:</u>		
- Recirkuleringsgrad (%)	70	95
- Opholdstid i produktionsanlæg (min. timer)	1,8	18,5
- Vandindtag pr. 100 tons foder (max. l/s)	125	15
<u>Renseforanstaltninger:</u>		
- Decentrale bundfældningsanlæg	Ja	Ja
- Anlæg til partikelfjernelse	Ja	Ja
- Biofilter	Nej	Ja
- Plantelagune	Ja	Ja

Model 1 dambrugene er ekstensive anlæg med mekanisk rensning, en vis grad af recirkulering af vand i produktionsanlægget og en relativ lav fisketæthed. Produktionsdammene kan være i jord eller beton. Rensningen og intern omsætning af næringsstoffer og BI₅ sker i slamkegler, biofiltre og mikrosigter (evt. kontaktfiltre) samt i plantelaguner og slambe-handlingsanlæg. Nogle model 1 dambrug har herudover frivilligt installeret biofiltre. Model 3 har højeste grad af teknologi og laveste vandfor-

brug pr. kg produceret fisk med høj grad af recirkulering af vandet og relativ høj fisketæthed. Produktionsanlæggets damme (raceways) skal være i beton. Rensningen foregår ved både mekaniske og biologiske recirkulationsteknologier (slamkegler, mikrosigter, biofiltre) indenfor rensning af produktionsvand og i slambassiner og plantelaguner.

Vandindtag for model 1 dambrug er som udgangspunkt primært fra vandløb, mens det for model 3 dambrug sker fra dræn og boreriger.

Foto 2. Produktionsanlægget ved Brejnholm Dambrug. Foto: Lars M. Svendsen.



De forudsatte rensgrader for model 1 dambrug er lavere end for model 3 (tabel 4.2), hvilket har betydning for den fodertildeling dambrugene kan få ved ombygning til model 1. Ifølge Bekendtgørelse for modeldambrug (2006) fastsættes det højst tilladelige foderforbrug F som:

$$F = ((100\% - R_n(N, P, BI_5)) / (100\% - R_N(N, P, BI_5))) * F_{till}, \quad (1)$$

hvor

R_n = rensgrad for standarddambrug for N, P og BI_5 jvf. Dambrugsbekendtgørelsen (Dambrugsbekendtgørelsen, 2006)

R_N = rensgrad for modeldambrug for N, P og BI_5 jvf. tabel 4.2

F_{till} = tilladte foderforbrug i henhold til Dambrugsbekendtgørelsen.

Tabel 4.2. Forudsatte rensgrader (reduktionsfaktorer) for modeldambrug (Bekendtgørelse for modeldambrug, 2006).

Tal i procent	Total kvælstof	Total fosfor	Organisk stof (BI_5)
Standarddambrug	7	20	20
Modeldambrug 1	7	55	70
Modeldambrug 3	15	65	80
Modeldambrug 3 uden mikrosigter	11	60	75

Foto 3. Del af produktionsanlægget ved Høgild Dambrug. Foto: Lars M. Svendsen.



Hertil kommer at der gives et tillæg på 10 tons foder pr. 1.000 m² laguneareal til det beregnede årlige foderforbrug ved anvendelse af R_N for kvælstof. Et dambrug der ombygger til model 1 kan således opnå $(100-20)/(100-55) = 1,78$ gange godkendt foderforbrug før ombygning såfremt der etableres tilstrækkeligt med plantelagune, så det bliver rensegraden for fosfor der regulerer fodertildelingen.

For modeldambrug type 3 omfattet af forsøgsordningen blev det fastlagt, at i den toårige forsøgsordning er det den næstmindste størrelse der fremkommer af formel (1), som giver foderbegrænsningen, hvilket umiddelbart giver en faktor $(100-20)/(100-65) = 2,29$ ift. oprindelige foderforbrug før ombygning til model 3 og det gives uden at skulle etablere tilsvarende mængde ekstra plantelagune som ved type 1 dambrug. Efter forsøgsordningens ophør vil det typisk være rensegraden for kvælstof, der sætter grænsen for foderforbrug $(100-7)/(100-50) = 1,86$ gange oprindelige foderforbrug, hvis der ikke opnås bedre rensegrader end forudsat i bekendtgørelsen.

4.2 Hvilke dambrug indgår

Det var på forhånd vurderet, at der for at have et datagrundlag med tilstrækkelig variation til at foretage en analyse af nettoudledninger og rensegrader for model 1 dambrug, der kunne give statistisk sikre resultater, var behov for ca. 16 model 1 dambrug med 1 års egenkontrol data med 26 målinger og hvor nogle af dambrugene skulle have 2 års målinger således at der var mindst 20 måleår at analysere på.

For model 3 dambrugene, hvor der via forsøgsprojektet for modeldambrug (Svendsen et al., 2008) allerede var et godt kendskab til nettoudledninger, rensegrader og variationen heri var der ikke på forhånd stillet noget krav til hvor mange dambrug og måleår der skulle inddrages. Det skulle vurderes, når det blev afklaret hvor mange dambrug, man kunne få data fra.

Dansk Akvakultur kontaktede ved delprojektets start i sensommeren/efteråret 2009 de model 1 dambrug, der kunne forventes at have et tilstrækkeligt antal målinger inden sommeren 2010 for at afklare om de ønskede at deltage. Tilsvarende blev model 3 dambrug kontaktet. På baggrund af tilbagemeldinger fra dambrugene, besøg og interview på disse (se afsnit 4.3) og vurdering af tilgængelige egenkontrol data og øvrige data blev det i løbet af 2010 afklaret at 10 model 1 dambrug og 5 model 3 dambrug ville deltage. For 2 dambrug (Bisgård Dambrug og Høgild Dambrug) blev der under delprojekt finansieret udtagelse og analyse af et antal vandprøver, så der kunne medtages et ekstra måleår med 26 prøvesæt. De sidste måledata blev først indsamlet ultimo oktober 2010 og analyserne heraf var klar til december 2010.

I tabel 4.3 og 4.4 vises henholdsvis de type 1 og type 3 dambrug som indgår i delprojektet. Af bilag 1 fremgår hvilke perioder, der anvendes egenkontrollata fra. Det bemærkes, at der indgår 10 model 1 dambrug med i alt 18 måleperioder, hvor der for 5 dambrug er et måleår og for de resterende 5 er 2,3 eller 4 måleår. For de to dambrug hvor delprojektet har finansieret et antal prøver er måleperioden i 2010 kun 10 måneder men med 26 prøver. For de fleste måleperioder er der 26 prøver, men i nogle få tilfælde har der manglet nogle prøver. Det vurderes, at der er et tilstrækkeligt grundlag til at gennemføre de analyser, der er foretaget i rapporten. For både type 1 og 3 dambrug var der et par dambrug (ud over tabel 3) som alligevel ikke ønskede at deltage og som derfor ikke er medtaget i rapporten.

Tabel 4.3. Oversigt over de model 1 dambrug som der analyseres data fra.

Dambrugs navn	Kommune
Alskov Dambrug	Viborg
Bisgaard Dambrug	Ringkjøbing-Skjern
Brejnholt Dambrug	Hedensted
Døstrup Dambrug	Mariager Fjord
Hallundbæk	Ikast-Brande
Høgild Dambrug	Viborg
Høghøj Dambrug	Ringkjøbing-Skjern
Kølkær Dambrug	Herning
Røjdrup Dambrug	Rebild
Volstrup Dambrug	Rebild

Der er data fra 5 type 3 dambrug med i alt 8 måleår, som kan anvendes til at give en vurderingen af om type 3 dambrugene kan leve op til de rensegrader som blev fundet under forsøgsprojektet for modeldambrug (Svendsen et al., 2008). Måleperioder fremgår af bilag 1.

Tabel 4.4. Oversigt over de model 3 dambrug som der analyseres data fra.

Dambrugs navn	Kommune
Fole Dambrug	Haderslev
Kongeåens Dambrug	Vejen
Løjstrup Dambrug	Fauerskov
Nymølle Dambrug	Holstebro
Nørå Dambrug	Billund

Foto 4. Del af produktionsanlægget ved Høghøj Dambrug. Foto: Lars M. Svendsen.



4.3 Interview på dambrug og miljøgodkendelser

De deltagende dambrug blev besøgt i sommeren 2010 med henblik på at få gennemgået indretning og drift og få kendskab til flowforhold, placering og indretning af renseforanstaltninger (slamkegler, mikrosigter, biofiltre, slamdepoter, plantelaguner), hvilke fiskestørrelser der produceres herunder om der er yngel- og sættefiskeanlæg og leveredamme, type vandindtag og friskvandskilder, om der er vandbehandling (okkerfjernelse, kalktilsætning, tilsætning af salt m.v.), hvor ofte tømmes der slamkegler og returskylles biofiltre, slamhåndtering, har der været større fiskedødsepisoder i måleperioderne, indretning af vandindtag og -afløb, hvordan måles vandmængder, har man tal for recirkulering, er der vandtab over dambruget, hvor tages egenkontrol prøver m.v.

Foto 5. Del af produktionsanlægget ved Kølkær Dambrug. Foto: Lars M. Svendsen.



Disse oplysninger anvendes til understøttelse af de data der er modtaget vedrørende vandkemiske analyser, vandindtag og -afledning. Hvor informationerne har kunnet kvantificeres anvendes disse i forbindelse med de statistiske analyser og fortolkning af nettoudledninger og -rensegrader. De anvendes også som støtte når der skal trækkes oplysninger fra miljøgodkendelserne. Nogle af de karakteristiske data for dambrugenes indretning er samlet i bilag 1.

4.4 Overordnet karakteristik af dambrugene

På basis af interview med dambrugene er der sammenstillet nogle nøgleoplysninger til karakteristik af dambrugene, som er vist i tabel 4.5, 4.8 og 4.9. For model 1 dambrugene anvender 9 af de 10 åvand som vandforsyning, men 4 af disse har mulighed for/eller supplerer med dræn eller grundvand. Et model 1 dambrug anvender kun drægrundvand. Af de 9 dambrug som anvender åvand er der stemmeværk ved de 5 og 3 indpumpning fra vandløbet (fladstrøm), se tabel 4.6. Af de 5 stemmeværk er et opkøbt og 2 under forhandling. De 5 model 3 dambrug anvender kun dræn og/eller grundvand.

Tabel 4.5. Visse karakteristiske oplysninger om de model 1 og 3 dambrug som indgår i analysen.

Type	Kun åvand	Dræn/ grundvand	Åvand +grundvand	Mikro-sigter	Biofiltre	Yngel + sættefisk	Fisk 300-600 g	Fisk > 600 g
Model 1	4	1	5	9	3	4	9	3
Model 3	0	5	0	5	5	4	4	1

Tabel 4.6. Oversigt over hvordan vand indtages på de 10 model 1 dambrug.

Dambrugets navn	Vandindtag og kontinuitet
Alskov Dambrug	Indpumpning, ind- og udløb samme sted
Bisgaard Dambrug	Dræn (ikke indtag fra vandløb)
Brejnholt Dambrug	Ingen spærring, flad strøm
Sødstrup Dambrug	Stemmeværk (med stryg)
Hallundbæk Dambrug	Indpumpning, ind- og udløb samme sted
Høgild Dambrug	Indpumpning, ind- og udløb samme sted
Høghøj Dambrug	Stemmeværk
Kølkær Dambrug	Stemmeværk (omløbsstryg)
Røjdrup Dambrug	Stemmeværk
Voldstrup Dambrug	Stemmeværk

Kun ét model 1 dambrug har ikke installeret en eller flere mikrosigter, mens tre af 10 selv om det ikke er et krav har biofiltre installeret. Både fire model 1 og 3 dambrug har yngel og/eller sættefisk anlæg, de fleste dambrug producerer konsum fisk (300-600 g) og i alt 4 modeldambrug producerer store fisk (op til over 1 kg) bl.a. til "Put and Take", udsætning i havbrug, salg til udland m.v.

Der har desuden været adgang til plan- og eller skitsetegninger over dambrugenes produktionsanlæg og plantelaguner.

Foto 6. Del af produktionsanlægget ved Alskov Dambrug. Foto: Lars M. Svendsen.



4.5 Opmåling af plantelaguner/plantedækningsgrader

Plantelagunerne størrelse og plantedækningsgraden i disse forventes at have betydning for renseeffektiviteten for dambrug. Der forelå ikke på forhånd oplysninger om plantedækningsgraden. Plantelagunerne er blevet opmålt ift. samlede overfladeareal og plantedækningsgrad i perioden august-september 2010. På dette tidspunkt af året har målinger på andre dambrug vist, at der normalt vil være maksimum i dambrugenenes plantedækningsgrader, således at der fås et mål for maksimal plantebiomasse (Svendsen et al, 2008).

Den valgte metode til opmåling af areal og bestemmelse af plantedækning er udviklet så den kunne gennemføres på relativt få timer pr. dambrug og skal derfor ses som et estimat med en usikkerhed på det samlede arealer på $\pm 5\%$, mens plantedækningsgraden er bestemt med ca. $\pm 10\%$. Først blev hele plantelagunen besigtiget og delt op i føde- og bagkanaler, gamle jorrdamme, gamle bundfældningsbassiner og søer og det blev vurderet om dammene havde de samme dimensioner, ellers blev de grupperet. Antal jorrdamme, kanaler og søer m.v. blev optalt. Herefter blev arealet opmålt ved afskridtning af alle føde- og bagkanaler af såvel længde som bredde. Jorddamme blev ligeledes afskridtet (længde og bredde), hvor dammene var helt ens blev kun 20 % af dem målt op. Bundfældningsbassiners længde og bredde blev alle afskridtet. Dybden blev målt ved hjælp af et stadie ud fra en række repræsentative stikprøve målinger i henholdsvis føde- og bagkanaler, jorrdamme, bundfældningsbassiner og søer.

Plantedækningsgraden blev målt efter en rundgang for at udvælge repræsentative jorrdamme og repræsentativ strækninger i føde og bagkanaler, tidligere bundfældningsbassiner og søer. Således blev ca. 20 % af arealet plantelagunerne målt op ift. plantedækningsgraden, hvor % dækning af de dominerende plantearter blev bestemt for henholdsvis submerse (undervandsplanter), emergente (planter der har rødder og en

del af stænglen under vand men resten af planten er over vandoverfladen) og flydeplanter (planter der ikke er rodfæstede og ligger i overfladen). For de søer, damme, tidligere bundfældningsbassiner og kanaler, der var så brede eller så usigtbare at de submerse planter ikke ved inspektion kunne ses fra bredden identificeres, blev der med passende mellemrum kastet en Sigurd-Olsen rive ud og lavet et træk langs bunden og herved fulgte planter med riven og kunne bestemmes.

Den samlede plantedækningsgrad kan blive over 100 % fordi den bestemmes særskilt for de submerse, emergente og flydeplanterne.

Der er overordnede resultater vedrørende plantelaguneareal og dækningsgrader i afsnit 4.7 og flere detaljer i bilag 1 og 2.

4.6 Foder- og produktionsoplysninger

Foder- og produktionsoplysninger for måleperioderne blev indhentet fra dambrugene, og omfattede oplysninger om anvendte fodertyper inklusiv pillestørrelser, foderforbrug samt produktionen af fisk. Der blev således anvendt i alt 3.158 ton foder på type 1 dambrugene summeret hen over alle måleperioder og produceret 3.306 ton fisk med en gennemsnitlig foderkvotient (FK = foderforbrug / fiskeproduktion inklusiv døde fisk) på 0,94 beregnet som et simpelt gennemsnit at alle måleår (tabel 4.7). Tilsvarende blev der anvendt 6.226 ton foder på type 3 dambrugene hen over måleperioderne og produceret 7.000 ton fisk med en gennemsnitlig FK på 0,91. Foderkvotienten er derfor tilsyneladende lidt bedre på model 3 dambrugene.

For både model 1 og 3 dambrugene varierer foderkvotienten ikke ret meget jf. tabel 4.7. Det kan ses både ud fra maksimale og minimale værdi af foderkvotienten, standardafvigelsen, på henholdsvis 0,05 og 0,07 og ved de lave variationskoefficienter (CV) og standarderror.

$$\text{Variationskoefficienten} = \text{CV} = \frac{\text{standardafvigelsen}}{\text{middel-værdien}} \cdot 100 \% \quad (1)$$

udtrykker noget om spredningen i datasættet og da det er i procent kan der sammenlignes direkte mellem model 1 og model 3 fordi det er en normaliseret størrelse. CV er lidt større for model 3 dambrugene hvilket kan tilskrives at der indgår færre måleår, der betyder at en given variation mellem dambrugene får større betydning end hvis der var samme variation med flere måleår.

$$\text{SE} = \text{Standarderror} = \frac{\text{standardafvigelsen}}{n^{1/2}} \quad (2)$$

hvor n er antallet, der er regnet på (her måleår), udtrykker usikkerheden på middelværdien (gennemsnittet) og angiver man middelværdier ± 2 gange SE giver det værdierne svarende til 95 % af fordelingen.

En række nøgletal i dette delprojekt vil blive præsenteret på tilsvarende måde. Resultater for de enkelte måleår fremgår af bilag 3 (foder) og 5 (stofkoncentrationer, nettoudledninger, rensegrader m.v.)

Tabel 4.7. Nøgletal for foderkvotienterne for henholdsvis model 1 og model 3 dambrug.

	Foderkvotient model 1	Foderkvotient model 3
Gennemsnit	0,94	0,91
Median	0,94	0,91
Standardafvigelse	0,05	0,07
Max. værdi	1,01	0,99
Min. værdi	0,85	0,79
CV (%)	5,1	7,6
Standarderror	0,01	0,022

Der er anvendt flere forskellige fodertyper på henholdsvis type 1 og 3 dambrugene i løbet af måleperioderne, men mængdemæssigt dominerer nogle få typer (tabel 4.8). I bilag 3 findes yderligere informationer om hvilket og hvor meget foder der er anvendt i de enkelte måleår på dambrugene (anonymiseret).

Tabel 4.8. Fodertyper og mængder anvendt på hhv. type 1 og 3 dambrug i løbet af de 18 måleperioder.

Fodertype	Fodermængde (kg)
Type 1 dambrug	
Aller Elips (3-4 mm)	882.335
Biomar Aquavet S/T (2-3 mm)	9.418
Biomar Efico Enviro 920 (tidligere Ecolife 20, 0,6 - 4,5 mm)	400.400
Biomar Ecostart 17 (2 mm)	1.939
Biomar Ecolife 19 (3-6 mm)	447.160
Biomar Efico Alfa 790 (= Aqualife R90, 3 mm)	261.059
Biomar Efico Enviro 920 (tidligere Ecolife 20, 2 - 6,5 mm)	1.102.872
Biomar Bio-Optimal START (= Inicio Plus, 1,5 mm)	6.850
Biomar Inicio 917 (2 mm)	2.197
Biomar Inicio 918 (2 mm)	43.840
Total	3.158.070
Type 3 dambrug	
Aller 576 (2-4 mm)	5.561.290
Aller Elips (2-4 mm)	137.930
Aller futura (1-4 mm)	22.206
Aller gluvit (3 mm)	16.310
Aller mini (1,5 mm)	28.200
Biomar Aquavet (forskellige typer, 2-5 mm)	9.000
Biomar Efico Enviro 920 (tidligere Ecolife 20, 2 mm)	12.437
Biomar Efico Alfa 790 (= Aqualife R90, 3 mm)	406.092
Biomar Inicio 918 (2 mm)	21.000
Biomar Inicio Plus (1,5-2 mm)	3.000
Ukendt foder (0,5-1,5 mm)	8.800
Total	6.226.265

Foto 7. Plantelagune bestående af små næsten tilgroede små damme ved Fole Dambrug. Foto: Uffe Mensberg.



4.7 Vand, foderforbrug, plantelaguner og opholdstider

En række overordnede produktionsoplysninger for nogle af de væsentligste variable som er medtaget i de gennemførte statistiske analyser er samlet for henholdsvis model 1 dambrug i tabel 4.9 og model 3 dambrug i tabel 4.10. Detajloplysninger pr. dambrug findes i bilag 5. Model 1 dambrugene i denne undersøgelse anvender i gennemsnit 108 l/s vand og 174 tons foder mod 48 l/s vand og 597 tons foder som gennemsnit for de 5 model 3 dambrug. Der anvendes i gennemsnit således ca. 9 gange mere vand til produktion af et kg fisk på model 1 dambrug (18.800 l eller 57 l/s pr 100 tons anvendt foder) end på model 3 dambrugene (2.200 l eller 8 l/s pr. 100 tons anvendt foder)). Model 3 dambrugene er indrettet til at producere med lavere vandforbrug pr. kg produceret fisk ved at have flere renseforanstaltninger installeret som f.eks. biofiltre og anvende en høj grad af recirkulering af vandet m.v. Der er meget større spredning i vandforbruget pr. kg produceret fisk mellem model 1 dambrugene fra 1.000 til næsten 39.000 l pr. kg med CV = 67 %, mens spredningen er beskeden for mellem model 3 dambrugene (fra 1.000 til 3.100 l) med CV = 28 %. Ifølge Bekendtgørelsen for modeldambrug (2006) er det maksimalt tilladte vandforbrug for model 1 dambrug 125 l/s pr. 100 tons foder. Med den opnåede gennemsnits foderkvotient (Fk i tabel 5.2) svarer det til at der max. må anvendes godt 37.800 l pr. kg produceret fisk. For model 3 dambrug må der ifølge bekendtgørelsen maksimalt anvendes 15 l/s pr. 100 tons anvendt foder, der med den opnåede gennemsnits foderkvotient (tabel 4.10) svarer til godt den må anvendes max. 4.700 l pr. kg produceret fisk. Model 1 og 3 dambrug ligger derfor med en enkelt undtagelse (et model 1) under hvad der må anvendes af vand til fiskeproduktion. Der skal gøres opmærksom på at der ved beregning af vandforbruget pr. kg produceret fisk er der anvendt vandafledningen fra dambruget, idet det typisk var disse oplysninger, som der foreligger for de involverede dambrug, og da der på en de fleste dambrug vurderes at være en vis nedsivning over plantelagunerne er det faktisk vandforbrug pr. kg fisk antageligt mellem 0 og 20 % højere (enkelte endnu højere) end det fremgår af tabel 4.9 og 4.10.

Tabel 4.9. Nogle væsentlige karakteristiske værdier for de 10 model 1 dambrug i relation til vand- og foderforbrug, foderkvotient (Fk), plantelagune areal og plantedækningsgrader, opholdstid i plantelaguner og samlet over dambrugene. CV = variationskoefficienten.

Model 1	Indvindings- tilladelse	Vandud- ledning	Foder- forbrug	Vand pr. kg prod. fisk	Lagune areal	Dæknings- grad i alt	Opholdstid lagune	Opholdstid i alt
	l/s	l/s	tons	l pr. kg	m ²	%	timer	timer
Gennemsnit	158	108	174	18.750	7.997	89	45	63
Median	160	97	184	18.623	7.710	99	16	27
Standardafvigelse	95	87	43	12.513	3.443	32	62	73
Max.	380	285	250	38.565	14.000	128	233	258
Min.	15	6	107	1.018	3.900	32	12	13
CV	60	80	25	67	43	36	139	115
Standarderror	22	21	10	2949	812	7,6	15	17

Tabel 4.10. Som tabel 4.9 men for model 3 dambrug. Der er også sammenlignet med resultaterne fra forsøgsprojektet for model 3 dambrug (Svendsen et al., 2008).

Model 3	Indvindings- tilladelse	Vandud- ledning	Foder- forbrug	Vand pr. kg prod. fisk	Lagune areal	Dæknings- grad i alt	Opholdstid lagune	Opholdstid i alt
	l/s	l/s	tons	l pr. kg	m ²	%	timer	timer
Gennemsnit	82	48	597	2,224	10.820	82	67	106
Median	80	37	602	2,239	12.268	75	56	87
Standardafvigelse	34	29	226	626	4.588	28	51	65
Max.	131	94	907	3,053	15.600	138	189	261
Min.	45	18	298	970	3.425	52	26	63
CV	41	61	38	28	42	34	77	62
Standarderror	12	10	80	221	1.622	9,9	18	23
Svendsen et al. 2008	-	39	398	3.600	7.180	83	30	62

Model 1 dambrugene har trods et gennemsnitsfoderforbrug på under en tredjedel af model 3 dambrugene (174 tons mod 597 tons) i gennemsnit plantelaguner der kun er ca. 25 % mindre end model 3 dambrugene (8.000 m² mod 10.800 m²). Dette afspejler at model 1 dambrugene i modsætning til model 3 dambrugene kan få ekstra foder ved at etablere mere plantelagune. Udtryk relativt har model 1 dambrugene i gennemsnit 45 m² plantelagune pr. tons anvendt foder mod model 3 dambrugen 18 m², hvilket umiddelbart vil påvirke plantelagunerne betydning for stofjernelsen over dambruget (se kapitel 8).

Den samlede opholdstid over model 3 dambrug er i gennemsnit godt 40 % større for model 3 dambrug (106 timer) end for model 1 dambrug (63 timer). Sammenlignes gennemsnittet af opholdstiden over plantelagunerne er der relativt set ikke den store forskel (45 timer for model 1 mod 67 timer model 3 eller 33 % større), mens der er større forskel i opholdstiden i produktionsanlægget (18 timer i gennemsnit for model 1 mod 39 timer for model3 eller 54 %). Model 3 dambrugen indretning med høj recirkuleringsgrad giver den større opholdstid i selve produktionsanlægget. Der er en meget stor variation i opholdstiden i plantelagunerne for model 1 (CV= 139 %) mens den er mere moderat for model 3 (CV=34 %) og 6 af de 10 model 1 dambrug har en opholdstid på 1-2 timer.

Foto 8. Brejnholm Dambrug og en del af plantelagunerne ved dambruget. Foto: Lars M. Svendsen.



Den gennemsnitlige dækningsgrad er næsten ens for de to typer model-dambrug med henholdsvis 89 % (model 1) og 82 % (model 3) og der er stort set samme variation (CV) indenfor de to typer dambrug.

Gennemsnitsdybden i plantelagunerne ligger på mellem 0,7-0,9 m med et gennemsnit for både model 1 og model 3 dambrug på 0,8 m (bilag 1). For 2 model 1 og 2 model 3 dambrug består plantelagunerne alene af større søer, mens de for 2 model 1 og 2 model 3 dambrug alene består af forbundne jorddamme/kanaler så de virker som et mæanderende vandløb. For de resterende 6 model 1 og det ene model 3 dambrug består plantelagunerne af en kombination af jorddamme/kanaler, der er blevet forbundet kombineret med søer/tidligere bundfældningsbassiner, hvor enten søer eller sammengravede jorddamme dominerer (bilag 2).

4.8 Kemiske vandanalyser, stof- og vandindtag/-afledning

Dansk akvakultur (Dak) har løbende under projektet indsamlet analyseresultater fra de vandkemiske analyser dambrugene får foretaget på udtagne prøver i indløbsvand til og afløbsvand fra dambrugene som en del af egenkontrollen. Endvidere er modtaget oplysninger om vandindtag og/eller -afløb som principielt skal være et gennemsnit over prøvetagningsdøgnet men i praksis er det ofte en øjebliksvurdering. Vandprøverne skal i princippet tages i afløbet som en døgnpuljet prøve, og tilsvarende hvis indløbsvandet er fra vandløb, mens det ved dræn- eller grundvand kan være en øjebliksprøve. Dak har videresendt de kemiske analyseresultater og de angivne vandmængder til DMU. Da de sidste vandprøver først blev udtaget i slutningen af oktober 2010 er analyseresultaterne først modtaget sidst i 2010.

DMU har gennemgået og vurderet de kemiske analyseresultater for at kontrollere for tastefejl og evt. faktor 10, 100 eller tusinde fejl og disse er blevet rettet, hvor det umiddelbart var indlysende ellers er analyseresultaterne anvendt som modtaget. I de relativt få tilfælde hvor der har

manglet et eller flere analyseresultater for en given dato er der lavet en lineær interpolation mellem resultaterne fra forrige og efterfølgende prøvetagningsdato. Det er primært for dræn og grundvandsprøver der for nogle dambrug er taget færre prøver end for udløbet og hvor der har været behov for at lave lineær interpolation, men da koncentrationerne i dræn- og grundvandet ikke varierer ret meget hen over et år vil det normalt kun give en mindre usikkerhed at lave den lineære interpolation.

Der har i en række tilfælde kun været opgivet enten vandmængder i dambrugets afløb eller nogle gange kun for indtagsvand på prøvetagningsdatoen, og for nogle vandprøvetagningsdage er der slet ikke angivet vand. Der er anvendt følgende principper ved estimering af manglende vandmængder:

- For dambrug hvor både vandmængden i indtag og afløb for prøvetagningsdage findes og angives at være ens sættes de også lig hinanden for de prøvetagningsdatoer, hvor kun den ene værdi er opgivet.
- Hvor kun enten vandmængden i indtag eller i udløb er angivet for hele perioden sættes vand ind = vand ud.
- Hvor der er forskel på vand ind og vand ud og der mangler værdier for ind og/eller ud på prøvetagningsdatoer interpoleres der mellem målte værdier for henholdsvis vand ind og vand ud som beskrevet under koncentrationer.

Generelt kan det konstateres at der ift. at fastlægge vandmængder for en del dambrug er store mangler. Ud over at en del dambrug kun angiver vand i afløbet og jævnligt mangler at angive vandmængder, så er de angivne vandmængder i flere tilfælde fuldstændigt konstante over hele måleperioden (flere år), hvilket umiddelbart ikke virker helt sandsynligt. Endvidere er det heller ikke sandsynligt at vand ind = vand over et eller flere måleår. Erfaringen fra målinger over model 3 dambrug under forsøgsordninger var at der ofte var et vandtab over især plantelagunerne grundet nedsivning eller i nogle tilfælde en netto indsivning (Svendsen et al., 2008). Selv om model 1 dambrug har en mindre opholdstid over plantelagunerne end model 3 dambrugene vil der især i sommerhalvåret kunne forventes en vis nettonedsivning over de fleste plantelaguner, men ift. de angivne vandmængder kan det kun med sikkerhed dokumenteres for 2 af dambrugene, at der foregår et nettovandtab over plantelagunerne på henholdsvis ca. 85 % (!) og 27 %. Det er u hensigtsmæssigt at der kommer usikkerhed på vandmængderne som igen giver usikkerhed på de stofmængder, som beregnes i indtag og afløb fra dambruget. Hvis der reelt tabes vand over en plantelagune, men der kun er angivet vandmængder for indtaget vand overestimeres udledninger fra dambruget. Problemstillingen omkring usikkerhed på vandmængder og konsekvenser for nettoudledninger og rensegrader uddybes i kapitel 8.

For at få det bedst mulige estimat for stofmængder der indtages til og afledes fra dambrugene er der ved hjælp af lineær interpolation mellem prøvetagningsdatoer bestemt daglige koncentrationsværdier og vandmængder for såvel indtags- som afløbsvand. De daglige koncentrationsværdier ganges med de daglig vandmængder, og disse døgnstoftransporter summeres så over kontrolperioden, som generelt har været 12 måneder. Den lineære interpolation omkring en dato foregår for den ½ periode før og efter den pågældende prøvetagningsdato.

Foto 9. Dam i plantelagune med udbredt vækst af Brøndkarse ved Røjdrup Dambrug. Foto: Uffe Mensberg.



Der er sammenfattet nøgleoplysninger vedrørende gennemsnitskoncentrationen af ammonium og total kvælstof, total fosfor og BI_5 i indtags- og afløbsvand for model 1 og model 3 dambrug samt den vandføringsvægtede koncentration (udledte stofmængde i kontrolperiode divideret med den tilhørende afledte vandmængde) for de samme stoffer i tabel 4.11-4.14. De mere detaljerede oplysninger herom for de enkelte dambrug findes i bilag 5.

Stofkoncentrationer i vandindtag

Koncentrationen i indtagsvandet (C_{ind}) varierer en del mellem dambrugene. Da der blandt model 1 dambrugene er nogle der anvender åvand og andre både å- og dræn-/grundvand og en enkelt drænvand som friskvandkilde er det en af årsagerne til den relativt store spredning i den kemiske koncentration i indtagsvandet, da koncentrationen for de fleste af de analyserede stoffer vil være højst i vandløbsvand. Den geografiske beliggenhed spiller en rolle, herunder om det er sand- eller lerjord-soplande ikke mindst når der indvindes grund-/drænvand fra og arealudnyttelsen i oplandet. Den største forskel mellem max. og min. koncentrationsværdier findes for model 1 dambrugene på nær for total fosfor, hvor den er størst for model 3 dambrugene. Variationskoefficienten (CV) er ligeledes størst for model 1 dambrugene på nær for total fosfor.

For model 1 dambrugene er gennemsnitskoncentrationen i indtagsvandet for ammonium kvælstof på 0,161 mg/l (tabel 4.11) noget lavere end den tilsvarende koncentration for model 3 dambrugene (0,395 mg/l), som udelukkende indtager grund- og drænvand. Endvidere er gennemsnitskoncentrationen i indtagsvandet for total fosfor lidt højere i model 3 dambrug (0,140 mg/l) sammenlignet med model 1 (0,101 mg/l), tabel 4.13. For total kvælstof og BI_5 er gennemsnitskoncentrationen i indtagsvandet størst for model 1 dambrugene (tabel 4.12 og 4.14). Årsagerne til disse forskelle diskuteres i kapitel 8.

Tabel 4.11. Karakteristiske værdier for gennemsnits ammonium kvælstofkoncentrationen pr. måleår for de 10 model 1 og 5 model 3 dambrug for henholdsvis indtagvand (C_{ind}) og for afledt vand fra dambrugene opgjort både som målte koncentration (C_{ud}) og den vandføringsvægtede koncentration (CQ_{ud}). CV = variationskoefficienten.

NH₄-N	Model 1			Model 3		
	C_{ind}	C_{ud}	CQ_{ud}	C_{ind}	C_{ud}	CQ_{ud}
Gennemsnit (mg/l)	0,161	0,716	0,686	0,395	3,024	3,015
Median (mg/l)	0,061	0,490	0,482	0,376	2,5	2,4
Standard afvigelse (mg/l)	0,219	0,655	0,581	0,264	1,5	1,4
Max. værdi (mg/l)	0,878	2,550	2,294	0,698	5,8	5,7
Min. værdi (mg/l)	0,027	0,262	0,261	0,100	1,5	1,6
CV (%)	136	91	85	67	48	47
Standarderror (mg/l)	0,05	0,15	0,14	0,09	0,52	0,50

Ammonium kvælstof udgør i gennemsnit godt 3 % af total kvælstof for model 1 dambrug og 11 % for model 3. Den større andel af reduceret kvælstof ved model 3 dambrug kan bl.a. skyldes at vandet indvindes fra borer i jordlag, hvor der er reducerende forhold, men kan også skyldes at noget af det vand der nedsiver fra model 3 dambrugenes plantelaguner med ret højt ammonium indhold genindvindes med drænvandet.

Variationerne i koncentrationen i indtagsvandet hen over de enkelte kontrolperioder udtrykt ved CV er størst for ammonium kvælstof (35-143 % for model 1 dambrug og 4-271 % for model 3) og total fosfor (17-123 % for model 1 og 6-158 % for model 3) men lavest for total kvælstof (9-26 % for model 1 og 5-28 % for model 3) samt for BI₅ (24-89 for model 1 og 27-43 % for model 3) (bilag 5).

Tabel 4.12. Som tabel 4.11 for total kvælstof.

Total N	Model 1			Model 3		
	C_{ind}	C_{ud}	CQ_{ud}	C_{ind}	C_{ud}	CQ_{ud}
Gennemsnit (mg/l)	4,9	6,1	6,3	3,5	10,0	10,0
Median (mg/l)	4,2	4,6	4,7	4,0	9,2	9,1
Standard afvigelse (mg/l)	3,1	3,0	3,6	2,1	2,8	2,9
Max. værdi (mg/l)	11,3	12,2	15,9	6,3	15,2	15,0
Min. værdi (mg/l)	0,100	2,9	2,8	0,30	6,4	6,5
CV (%)	64	49	57	61	28	29
Standard error (mg/l)	0,74	0,71	0,85	0,76	1,00	1,02

Tabel 4.13. Som tabel 4.11 for total fosfor.

Total P	Model 1			Model 3		
	C_{ind}	C_{ud}	CQ_{ud}	C_{ind}	C_{ud}	CQ_{ud}
Gennemsnit (mg/l)	0,101	0,134	0,138	0,140	0,494	0,494
Median (mg/l)	0,097	0,138	0,136	0,119	0,527	0,520
Standardafvigelse (mg/l)	0,040	0,049	0,060	0,087	0,352	0,339
Max. værdi (mg/l)	0,180	0,232	0,284	0,282	1,220	1,189
Min. værdi (mg/l)	0,043	0,061	0,059	0,049	0,130	0,157
CV (%)	39	36	43	62	71	69
Standard error (mg/l)	0,009	0,011	0,014	0,031	0,125	0,120

Foto 10. Del af produktionsanlægget ved Bisgård Dambrug. På for- og bagsiden af rapporten vises også produktionsanlægget fra dette dambrug. Foto: Lars M. Svendsen.



Stofkoncentrationer i udledninger

Koncentrationen i udledningerne fra dambrugene afhænger især af netstoffjernelse/-tab over dambruget (indretning og renseforanstaltningerne og driften heraf), fodersammensætning og -forbrug, fiskeproduktionen, vandforbrug, koncentrationen i indtagsvandet m.fl. I tabel 4.11-4.14 er gennemsnitskoncentrationen i udledningerne fra model 1 og 3 dambrugene angivet (C_{ud}) sammen med den tilsvarende gennemsnits vandføringsvægtede koncentration (CQ_{ud}). Fiskeproduktionen medfører trods renseforanstaltninger en nettoforøgelse af koncentrationen for alle 4 stoffer hen over dambrugene som både absolut og procentuelt er størst for model 3 dambrugene (tabel 4.14). Disse har også både større foderforbrug og et lavere vandforbrug pr. kg produceret fisk. Koncentrationsbetragtning siger ikke umiddelbart noget om udledningernes størrelse eller rensegraderne hen over dambrugene, hertil kræves mængdeopgørelser og det fremgår af kapitel 6, hvor resultaterne i tabel 4.15 diskuteres.

Tabel 4.14. Som tabel 4.11 for BI_5 .

BI_5	Model 1			Model 3		
	C_{ind}	C_{ud}	CQ_{ud}	C_{ind}	C_{ud}	CQ_{ud}
Gennemsnit (mg/l)	1,1	2,1	2,1	0,56	2,7	2,7
Median (mg/l)	0,96	2,1	2,1	0,57	2,5	2,4
Standard afvigelse (mg/l)	0,46	0,5	0,5	0,17	0,9	0,8
Max. værdi (mg/l)	2,5	3,2	3,4	0,77	4,6	4,5
Min. værdi (mg/l)	0,54	1,2	1,2	0,31	1,7	1,7
CV (%)	42	24	25	30	32	31
Standard error (mg/l)	0,11	0,12	0,13	0,06	0,31	0,29

Tabel 4.15. Gennemsnits nettoforøgelse i koncentration hen henholdsvis model 1 og model 3 dambrug opgjort i både mg/l og procentuelt. Baseret på tab el 4.11-4.14.

	Model 1 mg/l	Model 1 %	Model 3 mg/l	Model 3 %
NH ₄ -N	0,56	344	2,63	665
Total N:	1,2	24	6,5	138
Total P	0,037	38	0,354	253
BI ₅	1,0	91	2,1	102

Variationen i koncentrationen i afløbsvandet hen over de enkelte måleperioder udtrykt ved CV er størst for ammonium kvælstof (30-152 % for model dambrug 1 og 32-93 % for model 3) og total fosfor (17-160 % for model 1 og 21-71 % for model 3) men lavest for total kvælstof (9-25 % for model 1 og 11-34 % for model 3) og for BI₅ (3-75 for model 1 og 20-52 % for model 3) (bilag 5). Trods størst produktion og højeste koncentrationer i udledningerne er koncentrationsvariationen mindst for model 3 dambrugene.

4.9 Vandløbskvaliteten op- og nedstrøms dambrugene

Den biologiske vandløbskvalitet bestemmes ved at se på smådyrssammensætningen på bunden af vandløbene ved anvendelse af Dansk Vandløbsfauna Indeks, kaldet DVFI (Miljøstyrelsen, 1998 og Skriver et al., 1999). Kommunerne som model 1 og model 3 dambrugene ligger i har været så venlige at sende oplysninger om DVFI op- og nedstrøms de involverede dambrugene for nogle år før og efter ombygningen til modeldambrug. I tabel 4.16 er vist de nyeste DVFI værdier, der er modtaget. Der udtages mindst en prøve henholdsvis opstrøms- og nedstrøms hvert år, men ikke alle steder var prøverne for 2010 blevet analyseret. For målsætningsopfyldelse skal DVFI oftest være 5 men i enkelte tilfælde højere (de reneste vandløb med højeste biologiske vandløbskvalitet har DVFI 7). I bilag 6 er angivet alle de modtagne biologiske vandløbsbedømmelser.

Nedstrøms 3 af 10 model 1 dambrug ikke var målsætningsopfyldelse, mens den er opfyldt nedstrøms de fem model 3 dambrug. De steder hvor målsætningen er opfyldt nedstrøms ved den seneste kendte måling er den heller ikke opfyldt opstrøms og i to tilfælde hvor der ikke er målopfyldt opstrøms er der det nedstrøms. Manglende målopfyldelse opstrøms kan skyldes både dårlige fysiske forhold i vandløbet og/eller påvirkning fra forurenende stoffer som f.eks. ammonium, organisk stof m.fl. Der er ikke foretaget fysisk bedømmelse af vandløbskvaliteten, da det lå udenfor projektets formål og rammer. Ved et dambrug er der usædvanligt dårlige biologisk vandløbsforhold (nr. 6) både op- og nedstrøms og DVFI 2 findes kun sjældent i vandløbene i de seneste år.

Tabel 4.16. Nyeste tilgængelige biologisk vandløbsbedømmelse, DVFI op- og nedstrøms model 1 (10 første rækker) og model 3 dambrugene (5 nederste rækker), som behandles i denne rapport. Se også bilag 6.

Dambrug nr.	Tidspunkt	DVFI opstrøms	DVFI nedstrøms
2	Forår 2009	6	5
3	Forår 2009	5	5
	Efterår 2009	4	5
5	Forår 2009	4	4
6	Forår 2009	3	-
	Efterår 2009	2	2
8	Forår 2010	4	5
9	Forår 2010	6	5
11	Forår 2010	7/5	6
12	Forår 2010	7	7
14	Forår 2009	5	5
15	Forår 2010	4	4
1	Forår 2009	7	7
4	Efterår 2009	7	6
7	Forår 2010	7	6
10	Forår 2010	5	5
13	Forår 2010	7	7

Der kan ud fra DVFI ikke erkendes nogen generel udviklingstendens i den biologiske vandløbskvalitet nedstrøms de 15 dambrug, men vurderet ud fra DFVI værdierne og antal positive og negative fauna grupper som påvirker DVFI værdien er kvaliteten blevet bedre nedstrøms mindst fire af dambrugene og nok mindre god ved 1 dambrug. For de sidste 10 dambrug kræver det en nærmere analyse af faunalisterne for at vurdere om der er sket en forbedring i den biologiske vandløbstilstand fra før til efter ombygning til modeldambrug.

5 Produktionsbidrag for type 1 og 3

5.1 Håndtering af datamangler/manglende overensstemmelse mellem foderdata og måleperiode o.l.

Der er i videst mulig omfang indhentet foder- og produktionsoplysninger for de aktuelle måleperioder hos dambrugene. I nogle få tilfælde har det imidlertid kun været muligt at få produktionsoplysningerne opgivet pr. hele kalenderår, og produktionsbidragene er i disse tilfælde beregnet ud fra kalenderår frem for måleperioder og derefter fordelt forholdsmæssigt i forhold til måleperioden (tabel 5.1).

Tabel 5.1. Tilfælde af uoverensstemmelser mellem måleperioder og produktionsperioder oplyst af dambrugene. Produktionsbidragene er her beregnet på baggrund af tal fra de oplyste produktionsperioder frem for i måleperioderne.

Dambrug nr.	Måleperiode	Produktionsoplysninger
1	01/09/07 - 31/08/08; 01/09/08 - 31/08/09	2007, 2008, 2009
4	01/06/07 - 31/05/08; 01/06/08 - 31/05/09	2007, 2008, 2009
6	01/11/07 - 31/10/08; 01/04/09 - 31/08/10	2008, 2009
10	01/08/08 - 31/07/09; 01/08/09 - 31/07/10	2008, 2009

5.2 Beregning af produktionsbidraget

Produktionsbidraget beskriver den del af næringsstofferne i foderet, der ikke inkorporeres i fiskene (biomassetilvækst), men udskilles igen via fækalierne (= partikulært bidrag), over gællerne og skindet (slim) samt gennem urinen (= opløst bidrag).

Det totale, partikulære og opløste (inklusive suspenderet stof) produktionsbidrag af kvælstof, fosfor, og organisk stof, henholdsvis BI5 (biologisk iltforbrug målt over 5 døgn) og COD (kemisk iltforbrug), er beregnet for de forskellige måleperioder. Beregningerne er foretaget på baggrund af oplysningerne om de anvendte fodertyper, mængden af udfodret foder og tilsvarende produktion af fisk, samt fordøjelighedsoplysninger.

Fodertyper og pillestørrelser er anvendt til at indhente oplysninger fra hhv. Biomar A/S og Aller Aqua A/S om foderets næringsstofsammensætning for at få oplysninger om protein (som svarer til 16 % total kvælstof), fedt, kulhydrat, fibre, aske, fosfor samt vand ud fra sammenhørende foderdeklarationer. Informationer om foderets fordøjelighed, dvs. den del af foderets næringsstoffer der optages af fiskene, stammer fra en række fordøjelighedsforsøg udført af DTU Aqua i forbindelse med forsøgsprojektet for modeldambrug (Svendsen *et al.*, 2008). Der blev i det projektet primært kørt forsøg på de mest anvendte fodertyper, og produktionsbidragene i det aktuelle projekt blev i overensstemmelse hermed beregnet på baggrund af fordøjelighedsforsøg med: Aller Elips, Aller 576, Aller gluvit, Biomar Ecolife 19, Biomar Ecolife 20 (= Efico Enviro 920) og Biomar Aqualife R90 (= Efico Alfa 790). I de tilfælde hvor andre fodertyper er anvendt på et dambrug, er mængden af dette foder fordelt

forholdsmæssigt ud på de mest anvendte fodertyper på dambruget forud for produktionsbidragsberegningerne.

Produktionsbidragene af N og P er beregnet som beskrevet i Pedersen *et al.* (2003) men med total kvælstof og total fosfor indholdet i regnbueørreder sat til henholdsvis 2, 75 og 0,43 % af vådvægten jf. Svendsen *et al.* (2008). Endvidere er mængden af $\text{NH}_4\text{-N}$ beregnet ud fra en antagelse om, at alt opløst/suspenderet N udover ammonium (dvs. urinstoffer og andre N-forbindelser såsom protein (primært fra slim) og aminosyrer) ultimativt nedbrydes og bringes på $\text{NH}_4\text{-N}$ form.

Produktionsbidragene af organisk stof (BI5 og COD) er beregnet som beskrevet i Dalsgaard and Pedersen (2011) med en antagelse om et generelt foderspild på alle dambrug på 1 % af det udfodrede foder, således som det også er forudsat i Svendsen *et al.* (2008). Foderspildet blev behandlet som et partikulært, organiske stofbidrag (i tillæg til det partikulære, organiske stofbidrag fra ufordøjet foder).

5.3 Produktionsbidrag og stoftab pr. kg produceret fisk

I bilag 3 findes resultater vedrørende produktionsbidrag og foderkvotienter for alle dambrugene opgjort for hver måleperiode, mens der i tabel 5.2-5.4 tilsvarende er givet nogle nøgletal for henholdsvis model 1 og model 3 dambrugene under et. I gennemsnit har foderkvotienten (udtrykt som foderforbrug pr. kg produceret fisk inklusiv døde fisk) været lidt lavere for model 3 dambrugene (0,91) end for model 1 (0,94) jf. tabel 5.2. Dette skyldes bl.a. det anvendte foder, den størrelse fisk der produceres, produktionsform, sygdom m.v. Den højeste foderkvotient for begge dambrugstyper er ca. 1,0, mens den laveste er henholdsvis 0,79 (model 3) og 0,85 (model 1). Der vil normalt være størst foderkvotient for dambrug med produktion af store fisk og de lavest ved små fisk, da andelen af energi til vedligehold frem for vækst generelt øges med størrelsen (Waagbø *et al.* 2001). Der er ikke den store forskel i variationskoefficienten for model 1 og model 3 dambrugene. Et gennemsnit for foderkvotienten på 0,94 ligger tæt på gennemsnittet for alle dambrug som har været ca. 0,95 de seneste år jf. By- og Landskabsstyrelsen (2010).

Tabel 5.2. Karakteristiske værdier for gennemsnit af foderkvotienten pr. måleår for de 10 model 1 og 5 model 3 dambrug. CV = variationskoefficienten.

Foderkvotient	Model 1	Model 3
Gennemsnit	0,94	0,91
Median	0,94	0,91
Standard afvigelse	0,05	0,07
Max. værdi	1,01	0,99
Min. Værdi	0,85	0,79
CV (%)	5,1	7,6
Standard error	0,010	0,022

Foto 11. Kanallagune ved Alskov Dambrug. Foto: Lars M. Svendsen.



Produktionsbidraget pr. kg produceret fisk er i gennemsnit lidt lavere for model 3 dambrugene for kvælstof (ammonium og total kvælstof) men omvendt lidt højere for total fosfor og BI_5 (tabel 5.3 og 5.4). Tilsvarende ses for produktionsbidraget pr. kg foder (tabel A.4.1 og A.4.2. i bilag 4). Forskellen kan primært tilskrives forskelle i fodersammensætningen, men set som et gennemsnit er forskellen mellem model 1 og model 3 dambrugene på dette punkt beskeden. Dette gælder også variationen mellem dambrugene udtrykt ved CV som for alle 4 parametre er på 10-13 % for model 1 og 7-14 % for model 3 dambrugene. For de 8 model 3 dambrug under forsøgsprojektet blev der i øvrigt fundet i andet måleår sammenlignelige produktionsbidrag (Svendsen et al., 2008):

Total kvælstof:	40,3 gram pr. kg produceret fisk
Total fosfor:	4,36 gram pr. kg produceret fisk
BI_5 :	88,1 gram pr. kg produceret fisk.

Tabel 5.3. Karakteristiske værdier for gennemsnit af produktionsbidraget pr. kg produceret fisk pr. måleår for de 10 model 1 dambrug. CV = variationskoefficienten.

	NH_4N g/kg prod. fisk	TN g/kg prod. fisk	TP g/kg prod. fisk	BI_5 g/kg prod. fisk
Gennemsnit	27,0	41,8	4,2	71,9
Median	27,2	42,0	4,1	74,8
Standard afvigelse	3,2	4,4	0,5	7,3
Max.	31,1	47,7	5,1	85,3
Min.	22,2	35,9	3,4	54,8
CV	12,0	10,5	13,0	10,2
Standarderror	0,71	0,96	0,12	1,60

Tabel 5.4. Karakteristiske værdier for gennemsnit af produktionsbidraget pr. kg produceret fisk pr. måleår for de 5 model 3 dambrug. CV = variationskoefficienten.

	NH₄N g/kg prod. fisk	TN g/kg prod. fisk	TP g/kg prod. fisk	BI₅ g/kg prod. fisk
Gens.	25,1	39,8	4,5	80,0
Median	24,1	38,1	4,3	78,1
Standard afvigelse	3,3	5,0	0,6	5,8
Max.	27,9	44,0	5,0	84,9
Min.	18,4	29,6	3,2	68,0
CV	13,0	12,5	14,3	7,2
Standarderror	1,03	1,57	0,20	1,83

6 Udledninger og rensegrader for type 1 og 3

I dette kapitel er beregnet gennemsnits nettoudledninger og netto rensegrader og variationer heri for henholdsvis model 1 og model 3 dambrug. Resultater pr. måleperiode for hvert dambrug findes i bilag 5. Resultaterne diskuteres i kapitel 8.

6.1 Udledninger model 1 og 3

Nettoudledningen (U_N) fra et dambrug af en givent stof beregnes som den stofforøgelse der kommer fra dambruget, dvs. som:

$$U_N = U_m - I, \text{ hvor}$$

U_m = målte udledning fra dambruget af et givent stof

I = stofmængde i indtagsvandet af et givent stof.

Nettoudledningen beregnes typisk pr. kg produceret fisk (tabel 6.1-6.4) eller pr. kg anvendt foder.

Nettoudledningen skulle dermed i princippet kunne relateres til produktionsbidrag og rensning hen over dambruget. I praksis kan man dog ikke skelne mellem om det stof der udledes stammer fra fiskeproduktionen eller kommer med friskvandet. Det betyder også at det stof som renseforanstaltninger tilbageholder og/eller omsætter både kan stamme fra fiskeproduktionen og fra friskvandsindtaget.

I gennemsnit er nettoudledningen fra de 10 model 1 dambrug af total kvælstof (9,7 g N pr. kg produceret fisk) og total fosfor (0,45 g P pr. produceret kg fisk) lavere end det tilsvarende gennemsnit for de 5 model 3 dambrug (13,1 g N pr. kg produceret fisk og 0,90 g P pr. kg produceret fisk) (tabel 6.1 og 6.2). Det modsatte gør sig gældende for ammoniumkvælstof (7,2 g $\text{NH}_4\text{-N}$ pr. kg produceret fisk i model 1 mod 6,2 g $\text{NH}_4\text{-N}$ pr. kg produceret fisk i model 3) og BI_5 (16,4 g BI_5 pr. kg produceret fisk mod 4,7 g BI_5 pr. kg produceret fisk). For total fosfor er den gennemsnitlige nettoudledning fra model 1 dambrugene derfor kun det halve af gennemsnittet for model 3 dambrugene, mens nettoudledningen af BI_5 i gennemsnit er næsten fire gange større fra model 1 dambrugene sammenlignet med model 3. Der er større forskel i nettoudledningerne udtrykt ved både standardafvigelse, max.-min.-værdier og CV for model 1 dambrugene end for model 3 på nær for total fosfor, hvilket ikke er overraskende da indretning og vandforsyning af model 1 dambrugene varierer noget mere end model 3 dambrugene.

For model 1 dambrugene er (de teoretiske) gennemsnit udledningerne pr. kg produceret fisk fra samtlige ferskvandsdambrug i Danmark angivet (tabel 6.1) jf. By- og Landskabsstyrelsen (2010). Udledningerne for de 10 model 1 dambrug er i gennemsnit på ca. 1/3 af landsgennemsnittet for total kvælstof og ca. 1/6 for total fosfor og BI_5 og selv maksimumsud-

ledningerne ligger på nær for et dambrug for total kvælstof pænt under landsgennemsnittet.

Tre model 1 dambrug har installeret biofilter. For at få en indikation af om udledningen fra de tre dambrug afviger væsentligt fra gennemsnittet for de ti model 1 dambrug er den gennemsnitlige nettoudledning for de tre beregnet særskilt (tabel 6.1). Forskellen mellem de tre ift. gennemsnittet for alle ti model 1 dambrug er ikke så stor at den er signifikant selv der er en noget højere total kvælstof og lavere total fosforudledning fra de tre dambrug. Men da vandforbruget pr. kg produceret fisk varierer meget mellem de tre model 1 dambrug med biofilter og de indtager henholdsvis åvand, grundvand og både å- og grundvand med meget forskelligt stofindhold ift. produktionsbidraget, er det statistiske grundlag for spinkelt til at vurdere nettoudledninger alene på de tre dambrug.

Tabel 6.1. Gennemsnits nettoudledninger af ammonium kvælstof, total kvælstof, total fosfor og BI₅ for 10 model 1dambrug og tilhørende karakteristiske statistiske værdier for variationen heri. CV = variationskoefficienten. Endvidere er vist gennemsnittet for de 3 model 1 dambrug med biofiltre. Til sammenligning er i sidste række gennemsnitsudledninger g pr. kg produceret fisk for samtlige danske ferskvandsdambrug i 2008 jf. By- og Landskabsstyrelsen (2010).

Nettoudledning Type 1	NH₄N g/kg prod. fisk	TN g/kg prod. fisk	TP g/kg prod. fisk	BI₅ g/kg prod. fisk
Gennemsnit	7,2	9,7	0,45	16,4
Median	7,2	10,1	0,34	15,7
Standardafvigelse	5,9	20,5	0,58	12,4
Max.	18,4	47,1	1,14	36,7
Min.	-4,6	-43,4	-1,11	-3,6
Variationskoefficient (CV)	83	212	128	76
Standard error	1,4	4,8	0,14	2,9
Kun dambrug med biofilter (gennemsnit)	5,8	21,4	0,18	14,6
Gennemsnit for DK i 2008		29	2,6	99

Nettoudledningerne fra de fem model 3 dambrug er sammenlignet med resultaterne fra forsøgsprojektet for model 3 dambrug i tabel 6.2 (Svendsen et al., 2010). I gennemsnit er nettoudledningerne lavere for både ammonium kvælstof (19 %), total kvælstof (ca. 35 %), total fosfor (ca. 18 %) og BI₅ (ca. 16 %) end der blev målt under forsøgsprojektet og hvor nettoudledningen af kvælstof er signifikant lavere. Enkelte af de 5 modeldambrug har dog højere udledninger af de ammonium og total kvælstof, total fosfor og BI₅ end gennemsnittet målt under forsøgsprojektet.

Tabel 6.2. Gennemsnits nettoudledninger af ammonium kvælstof, total kvælstof, total fosfor og BI₅ for 5 model 3 dambrug og tilhørende karakteristiske statistiske værdier for variationen heri. CV = variationskoefficienten. Som sammenligningsgrundlag er vist resultaterne fra forsøgsprojektet for model 3 dambrug i nederste række (Svendsen et al., 2008)

Nettoudledning Type 3	NH₄N g/kg prod. fisk	TN g/kg prod. fisk	TP g/kg prod. fisk	BI₅ g/kg prod. fisk
Gennemsnit	6,2	13,1	0,90	4,7
Median	4,8	11,8	0,67	4,1
Standardafvigelse	4,6	9,1	1,03	3,4
Max.	16,3	32,1	3,29	12,6
Min.	1,5	2,4	0,07	1,5
Variationskoefficient (CV)	74	69	114	73
Standard error	1,6	3,2	0,36	1,2
Forsøgsprojekt modeldambrug	7,7	20	1,1	5,6

Foto 12. Sølagune med meget Andemad ved Nymølle Dambrug. Foto: Lars M. Svendsen.



Det bemærkes at der er model 1 dambrug med negativ nettoudledning for mindst en måleperiode. Det kan ske i de tilfælde hvor stofmængden i friskvandindtaget er relativt stor ift. produktionsbidraget og hvor der samtidigt tilbageholdes/omsættes en stor andel af det tilførte stof over dambruget. Det ses således jævnligt at traditionelle dambrug kan have negative nettoudledninger af fosfor og suspenderet stof, når friskvandsforsyningen er fra vandløb, der kan indeholde meget partikulært materiale.

Betydningen af stofmængden som kommer med friskvandsindtaget er vurderet ved at beregne det som en procentdel af produktionsbidraget for hvert dambrug pr. måleperiode (bilag 5) og gennemsnit og statistik omkring variationer er vist i tabel 6.3 (model 1) og 6.4 (model 3). Stofinput med vandindtaget udgør i gennemsnit procentuelt en større andel for alle fire kemiske parametre for model 1 dambrug sammenlignet med model 3 og forskellen er især udtalt for total kvælstof og BI_5 og mindst for ammonium kvælstof. Variationen mellem model 1 dambrugene i betydning af stofinput med friskvand er væsentlig større for alle stoffer i model 1 dambrugene men især udtalt for total kvælstof. For total kvælstof er der meget stor variation mellem de enkelte dambrug i betydningen af stofinput i friskvand ift. produktionsbidraget. For en række model 1 dambrug kommer langt over halvdelen af total kvælstof med friskvandet. De store forskelle mellem model 1 dambrugene kan relateres dels til at der anvendes forskellige kilder som friskvand (åvand, dræn og grundvand). For model 3 dambrugene er stofinputtet med friskvand i gennemsnit kun 2-6 % ift. produktionsbidraget på nær for total kvælstof hvor det udgør 23 %. For ammonium kvælstof, total fosfor og BI_5 udgør stofinput med friskvand maksimalt 14 % af stofinput med produktionsbidraget på samme dambrug. Der er relativ lille forskel mellem model 3 dambrugene som alle kun anvender dræn- og grundvand og i gennemsnit også anvender en 8-9 gange mindre vand pr. kg produceret fisk end i model 1 dambrugene jf. tabel 4.9 og 4.10.

Tabel 6.3. Gennemsnit af stofinput med friskvand i procent af produktionsbidraget for hver af de 10 model 1 dambrug pr. måleperiode for ammonium kvælstof, total kvælstof, total fosfor og BI₅ med tilhørende karakteristiske statistiske værdier for variationen heri. CV = variationskoefficienten.

Model 1	NH₄N	TN	TP	BI₅
	%	%	%	%
Gennemsnit	8,9	228	40	31
Median	5,2	147	36	26
Standardafvigelse	9,2	216	29	25
Max.	30,0	740	100	78
Min.	0,5	21	5,9	2,2
Variationskoefficient (CV)	103	95	72	79
Standard error	2,2	51	6,7	5,8

Tabel 6.4. Gennemsnit af stofinput med friskvand i procent af produktionsbidraget for hver af de 5 model 3 dambrug pr. måleperiode for ammonium kvælstof, total kvælstof, total fosfor og BI₅ med tilhørende karakteristiske statistiske værdier for variationen heri. CV = variationskoefficienten.

Model 3	NH₄N	TN	TP	BI₅
	%	%	%	%
Gennemsnit	4,3	23	6,0	1,7
Median	3,7	26	4,9	1,8
Standardafvigelse	3,4	13	5,1	0,6
Max.	9,4	39	14	2,5
Min.	0,4	0,7	1,3	0,6
Variationskoefficient (CV)	79	56	84	36
Standard error	1,2	4,5	1,8	0,2

6.2 Netto rensegrader for model 1 og 3

Netto rensegraden R_N for et givent stof er et mål for hvor stor en procent del af produktionsbidraget som tilbageholdes eller omsættes over dambruget og det beregnes derfor som:

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

U_N = nettoudledningen af et givent stof

P = produktionsbidraget af et givent stof.

Reelt kan der ikke skelnes mellem om det er stof fra produktionsbidraget eller indtagsvandet som tilbageholdes/ omsættes over dambruget, men det giver et mål hvor stor del af det stof der netto tilføres dambruget grundet fiskeproduktionen som tilbageholdes/fjernes. Da der ikke er oplysninger om vandbalancer hen over plantelagunerne vil nettostoftab med udsivning fra disse bevirke større netto rensegrad over et dambrug, mens en nettostoftilførsel via indsivning omvendt vil reducere netto rensegraden.

I gennemsnit har de 10 model 1 dambrug væsentligt højere rensegrader end forudsat for model 1 dambrug i Bekendtgørelse for modeldambrug (2006) - se tabel 6.5. Netto rensegraden for total kvælstof er på 78 % hvilket er højere end de i gennemsnit 66 % for de 5 model 3 dambrug (tabel 6.6). Ved sammenligning med de i bekendtgørelsen forudsatte netto rense-

segrad for total kvælstof skal der tages højde for at mange af model 1 dambrugene har etableret ekstra plantelagune for at få et fodertillæg (der gives jf. bekendtgørelsen 10 tons ekstra foder pr. 1.000 m² plantelagune). Da der forudsættes fjernet 1 g N pr. m² plantelagune pr. dag betyder det med den gennemsnitlige plantelagunestørrelse (8.000 m²) for de 10 model 1 dambrug og et gennemsnitsproduktionsbidrag på 7.850 kg at den forudsatte nettorensesgrad skal korrigeres til:

$$7 \% + (0,001 \text{ kg m}^{-2} \text{ dag}^{-1} * 365 \text{ dage} * 8.000 \text{ m}^2) / 7.850 \text{ kg} * 100 \% = 7 + 37 = 44 \%,$$

som i gennemsnit fuldt ud er opfyldt. Nettorensesgraden for kvælstof varierer dog meget mellem model 1 dambrugene. Således er der målt fra -4 % til 219 % og standardafvigelsen er på ± 52 %! Der er dog kun et år for et model 1 dambrug med negativ total kvælstof nettorensesgrad ellers er den mindst 27 %. Den negative nettorensesgrad optræder på et dambrug hvor stofinput med friskvand er 50 % større end produktionsbidraget (bilag 5). Det er omtalt i kapitel 4.8 at der er en del usikkerhed omkring vandindtag og -afløb for en del af dambrugene (model 1), som kan betyde at såvel stofindtag som stofafløb er over- eller underestimeret og umiddelbart bør negative nettorensesgrader kun kunne forekomme, hvis der er en netto større stofindsivning til plantelagunen via bund og sider kombineret med en meget beskedne stoffjernelse over dambruget. Nettorensesgrader på over 100 % er teoretisk mulig, f.eks. hvis stofindtaget med indtagsvandet er større end produktionsbidraget og en af dette stofinput og af produktionsbidraget tilbageholdes over dambruget og/eller hvis der f.eks. er en betydende nettoudsivning fra bund og sider af plantelagunen. Hvis man ser bort fra dambruget med negativ nettorensesgrad og dambruget med rensesgrader over 100 % bliver gennemsnittet for de resterende 8 model 1 dambrug 74 % og dermed tæt på gennemsnittet for alle 10 model 1 dambrug. De tre model 1 dambrug med biofiltre har et lavere gennemsnit for nettorensesgrad af total kvælstof (50 %) end for alle model 1 dambrug.

For model 3 dambrugene kan der også beregnes en forudsat nettorensesgrad for total kvælstof når der tages højde for at der i gennemsnit er 10.820 m² plantelagune og et gennemsnits produktionsbidrag på 24.540 kg total kvælstof:

$$15 \% + (0,001 \text{ kg m}^{-2} \text{ dag}^{-1} * 365 \text{ dage} * 10.820 \text{ m}^2) / 24.650 \text{ kg} * 100 \% = 15 + 16 = 31 \%$$

De opnåede 66 % i gennemsnit ligger væsentlig over det forudsatte og også højere end de 50 % der blev fundet under forsøgsprojektet for modeldambrug (Svendsen et al., 2008) og over de forudsatte 31 % i modeldambrugsbekendtgørelsen, når der tages højde for størrelse af plantelagune og produktionsbidrag (mængde anvendt foder). Der er også nogen spredning mellem de 5 model 3 dambrugs nettorensesgrader for total kvælstof fra 27 til 94 %, men kun 1 af de 8 måleår ligger nettorensesgraden under de forudsatte 31 %. Det er værd at bemærke at nettorensesgraden for total kvælstof i gennemsnit er større for model 1 end for model 3 dambrugene.

Foto 13. Sølaguner ved Kølør Dambrug. Bemærk svanerne, der om vinteren har græsset så meget, at der ikke var særlig meget vegetation i søerne i juli 2010.
Foto: Lars M. Svendsen.



Nettorensgraden for ammonium kvælstof er 74 % i gennemsnit for model 1 dambrugene, men her lidt højere for de tre med biofilter (83 %), hvilket indikerer at der sker en omsætning af ammonium i biofiltrene. Nettorensgraden for ammonium er i gennemsnit som fundet for de 5 model 3 dambrug (75 %) som i øvrigt kun er en smule mindre end der blev opnået under forsøgsprojektet for modeldambrug med 77 % (se tabel 6.6.). Variationen i nettorensgraden for ammonium kvælstof er væsentlig mindre end for total kvælstof, hvilket i høj grad kan være relateret til at ammonium indtaget med vandløbsvandet udgør en væsentlig mindre andel af den samlede stoftilførsel end det er tilfældet for total kvælstof (tabel 6.5).

Tabel 6.5. Gennemsnits nettorensgrad for ammonium kvælstof, total kvælstof, total fosfor og BI_5 for 10 model 1 dambrug og tilhørende karakteristiske statistiske værdier for variationen heri. CV = variationskoefficienten. Endvidere er vist gennemsnittet for de 3 model 1 dambrug med biofilter. Til sammenligning er i sidste række den forudsatte nettorensgrad for model 1 dambrug i Bekendtgørelse for modeldambrug(2006) for total kvælstof dog uden at tage højde evt. ekstra plantelagune, hvor der jf. teksten skal tillægges 37 % (*).

Rensegrader	NH₄N	TN	TP	BI₅
Netto type 1	%	%	%	%
Gennemsnit	74	78	90	78
Median	76	77	92	78
Standardafvigelse	20	52	12	18
Max.	120	219	120	104
Min.	41	-4	71	45
Variationskoefficient (CV)	28	67	13	23
Standard error	4,8	12	2,9	4,2
Kun dambrug med biofilter (gennemsnit)	83	50	87	82
Bekendtgørelse modeldambrug (2006)	-	7+*	55	70

Nettorensgraden for total fosfor er i gennemsnit 90 % for model 1 dambrug og 85 % for model 3. I modeldambrugsbekendtgørelsen er forudsat 55 % for model 1 og 65 % for model 3 (med mikrosigter) som resultaterne derfor ligger væsentlig over. Variationen i nettorensgraden

for total fosfor er relativ beskeden (standardafvigelse på 12 %) for model 1 dambrugene hvor alle dambrug i alle måleår ligger over det forudsatte. For model 3 dambrugene er variationen også beskeden (standardafvigelse på 15 %) hvor der for et dambrug i et måleår er en nettorensesgrad for total fosfor under det forudsatte, mens resten ligger langt over (bilag 5). Model 3 dambrugene gennemsnits nettorensesgrad for total fosfor er end de 76 % blev i gennemsnit blev fundet under forsøgsprojektet (tabel 6.6).

Nettorensesgraden for BI₅ er i gennemsnit 78 % for model 1 dambrug og 94 % for model 3. I modeldambrugsbekendtgørelsen er forudsat 70 % for model 1 og 80 % for model 3 (med mikrosigter) som resultaterne derfor ligger pænt over. Variationen i nettorensesgraden for BI₅ er relativ beskeden (standardafvigelse på 18 %) for model 1 dambrugene, men hvor 5 af 18 måleår ligger (lidt) under det forudsatte. For model 3 dambrugene er variationen meget beskeden (standardafvigelse på 4 %) hvor alle måleår har en nettorensesgrad for BI₅ over det forudsatte (bilag 5). Model 3 dambrugene gennemsnits nettorensesgrad for BI₅ er reelt identisk med hvad der blev fundet under forsøgsprojektet (tabel 6.6).

Der er tydeligt at jo mindre andel af det samlede stofinput til et dambrug, der kommer med friskvandindtaget, des mindre variation er der i de opnåede nettoudledninger og nettorensesgrader. Renseforanstaltningerne er primært rettet mod at fjerne det kvælstof, fosfor og organisk stof på den form som kommer grundet fiskeproduktionen (produktionsbidraget) og vil i varierende omfang kunne tilbageholde noget af det stof, der følger med friskvandet. Især når friskvandskilden er vandløbsvand kan andelen af stoffer bundet på partikulær form variere meget og det har betydning for tilbageholdelsen over dambrugene. Samtidig vil et relativt stort stofindtag med friskvand kombineret med samtidig usikkerhed på indtagne og afledte vandmængder give en større usikkerhed end hvor produktionsbidraget er den primære stofkilde. Endvidere ser det ud til at sikkerheden på vandmængde fastlæggelse ind og ud af model 1 dambrug ikke er så god som på model 3 dambrugene. Det er alt andet lige lettere at måle vandindtag fra en boring præcist samtidigt med at model 3 dambrugene har haft krav om veldefinerede afløb og mindre vandmængder, der skal måles på. Dette udelukker dog ikke at nettorensesgraderne af total kvælstof og total fosfor er højere på model 1 dambrugene fordi en stor del af det stof der kommer med indtagsvandet på model 1 dambrug er partikulært bundet og derfor tilbageholdes på dambrugene.

Den ret ensartede indretning og tilstedeværelsen af flere renseforanstaltninger samt alt andet lige mere ensartede og standardiserede driftsprocedurer i model 3 dambrug bør også bidrage til at der findes mere ensartede rensegrader for disse.

Tabel 6.6. Gennemsnits nettorensesgrad for ammonium kvælstof, total kvælstof, total fosfor og BI₅ for 5 model 3 dambrug og tilhørende karakteristiske statistiske værdier for variationen heri. CV = variationskoefficienten. Der er i næstsidste række vist hvad der blev opnået under forsøgsprojektet for model 3 dambrug (Svendsen et al, 2008). Til sammenligning er i sidste række den forudsatte nettorensesgrad for model 3 dambrug (med mikrosigte) i Bekendtgørelse for modeldambrug (2006) for total kvælstof dog uden at tage højde for evt. ekstra plantelagune, hvor der jf. teksten skal tillægges 16 % (*).

Rensegrader	NH₄N	TN	TP	BI₅
Netto type 3	%	%	%	%
Gennemsnit	75	66	85	94
Median	78	70	88	95
Standardafvigelse	16	22	15	4
Max.	94	94	99	98
Min.	42	27	53	85
Variationskoefficient (CV)	22	34	17	4
Standard error	5,8	8,0	5,2	1,4
Forsøgsprojekt modeldambrug	77	50	76	93
Bekendtgørelse modeldambrug (2006)	-	15+*	65	80

7 Statistiske analyser og sammenhænge vedr. udledninger og rensegrader

I dette kapitel præsenteres de udvidede statistiske analyser af de indsamlede data vedrørende stofudledninger og rensegrader. De statistiske analyser foretages på de data som omtales i kapitel 4-6, hvor der er lavet simple statistiske analyser som gennemsnits- og medianværdi, standardafvigelse, variationskoefficient og standarderror.

De statistiske analyser er fokuseret på nettoudledninger og nettorensgrader af de 4 kontrolstoffer: $\text{NH}_4\text{-N}$, Totalt N, Totalt P og BI_5 . En mere detaljeret beskrivelse af alle de indsamlede data er givet i kapitel 4, 5 og 6.

7.1 PCA analyser

Som omtalt i kapitel 4.2 er der for 10 model 1 dambrug 18 måleår og for de 5 model 3 dambrug 8 måleår, så det samlede datasæt indeholder derfor i alt 26 observationsrækker og de enkelte observationsrækker repræsenterer i de fleste tilfælde 52 uger. Periodelængder fremgår af bilag 1.

Udover simple statistiske analyser er der behov for at analysere datasættet for signifikante relationer mellem variable, der beskriver nettoudledning fra og nettorensgrader overmodeldambrugene og variable vedrørende produktion, drift og indretningsmæssig forhold. Der er medtaget følgende variable i analysen (hvor der i parentes angives den forkortelse som anvendes i analyserne):

- Nettoudledning pr. kg produceret fisk (netudfis), jf. formel i kapitel 6.1
- Nettorensgrad (netreng), jvf. formel i kapitel 6.2

som de to responsvariable som skal relateres til følgende forklarende variable:

- Vandforbrug pr. kg produceret fisk (vand)
- Koncentration af stof i indløbsvand i mg/l (koncind)
- Variationskoefficient for stoffkoncentrationer i indløb i mg/l (cvkoncind)
- Produktionsbidrag pr. kg produceret fisk (pbidfisk)
- Stofmængde i indtagsvandet (kg)/Produktionsbidrag (kg) * 100 % (stofpbid)
- Plantelagune type (laguntyp)
- Plantelagune areal i m^2 (lagunareal)
- Plantelagune rumfang i m^3 (lagunrum)
- Opholdstid i plantelagune i timer (opholdla)
- Opholdstid i produktionsanlæg i timer (opholdan)
- Opholdstid i alt i timer (sum af opholdstid i plantelagune og i produktionsanlægget) (opholdia)
- Biofilterareal i m^2 (biofilitre)
- Dækningsgrad i alt af planter i plantelagune i % (daekialt)
- Dækningsgrad af planter i overfladen i lagunen i % (daekover).

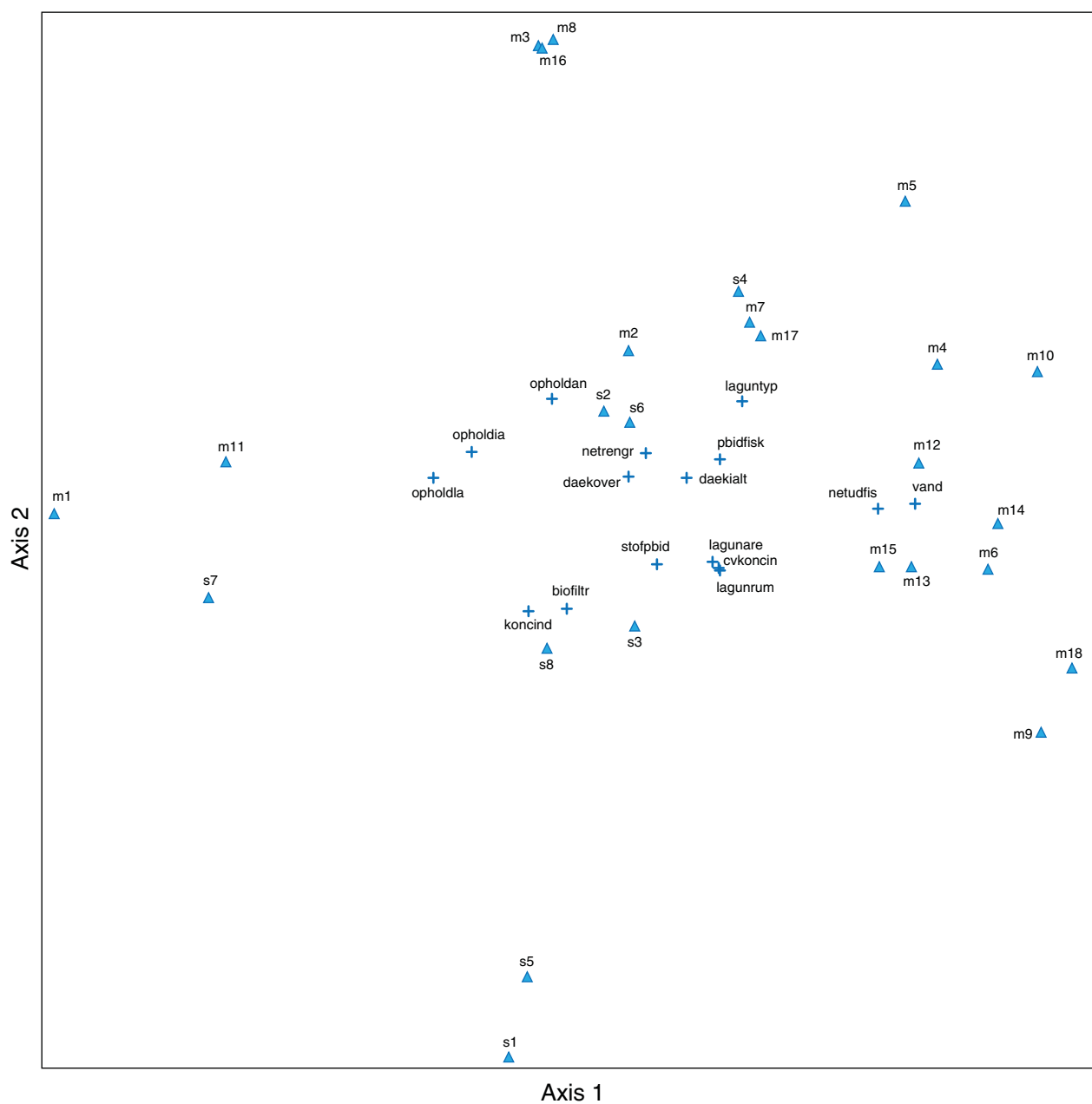
De forklarende variable er et udvalg af alle de variable som der er data for og som umiddelbart forventes at have mest indflydelse på de to responsvariable og som udgangspunkt ikke er forhold mellem to forklarende variable som allerede indgår i analysen. Variable som ikke er angivet som relative størrelser er fravalgt i den statistiske analyse.

For at få et overblik over hvilke mulig relationer der findes i data er der gennemført dels principale komponent analyser (PCA) og korrelationsanalyser. PCA er en matematisk/statistisk metode som primært anvendes til at undersøge grafisk om der kan være relationer til stede i datasættet. I figur 7.1 og 7.2 vises eksempler på PCA analyserne som plots og de resterende PCA analyser findes i bilag 7.

PCA-analysens resultater præsenteres bedst i grafer. Man vil normalt plotte dels dambrugsår (f.eks. s2, m4 i figur 7.1 og 7.2) og målte variable (f.eks. "vand" og "opholdla") i samme plot (et så kaldt biplot). Variable kan enten repræsenteres ved en vektor med udgangspunkt i origo (0,0 i et koordinatsystem) eller et punkt placeret i spidsen af vektoren. Som standard plotter man de 3 første PCA-akser parvist mod hinanden (hvor der i figur 7.1 og 7.2 er vist det sæt med de mest tydelige sammenhænge, akse 1 og akse 2), mens der i bilag 7 også er vist sætterne akse1-akse3 og akse 2-akse3. Fortolkningen af grafer er således at dambrugsår som ligger tæt på hinanden i grafen, har målte værdier for de variable som er med i analysen, som ligner hinanden meget. Dambrugsår som ligger langt fra hinanden på grafen har målte værdier som slet ikke er ens. Variable som fysisk er tæt på hinanden i figuren er stærkt positivt korreleret, hvorimod variable som ligger modsat hinanden er stærkt negativt korreleret. Tilsvarende vil dambrugsår, som ligger i forlængelse af en variable have store værdier af den pågældende variable og modsat hvis dambrugsåret ligger i den modsatte retning af variabelen. PCA analyse er beskrevet i ter Braak og Smilauer (1998)

Figur 7.1 viser at nettoudledningen af $\text{NH}_4\text{-N}$ (netudfis) relaterer sig positivt til især vandforbruget pr. kg produceret fisk (vand), (de to "plusser" ligger meget tæt på hinanden i figuren) og negativt til opholdstiden i plantelagunen. Modsat relaterer nettorensgraden af $\text{NH}_4\text{-N}$ sig positivt til opholdstider, dækningsgrad i plantelagune, koncentrationen i indløbsvandet og negativt til vandforbruget pr. kg produceret fisk. Endvidere kan man se at nettorensgraden er høj for dambrugene m1, m11 og s7 og lav for m6, m9, m14 og m18. Til sidst fortæller plottet også at data for henholdsvis dambrugene m3, m8 og m16 samt s1 og s5 ligner hinanden meget, mens de to grupper er meget forskellige fra hinanden.

Også for BI₅ viser PCA plottet at nettoudledningen pr. kg produceret fisk relaterer sig positivt til dambrugenes vandforbrug pr. kg produceret fisk samt stof transport ind i dambruget divideret med produktionsbidraget og negativt til opholdstider, dækningsgrader og areal af biofiltre. Plottet viser også at nettorensgraden for model 3 dambrug generelt er høj og dermed er nettoudledningen af BI₅ lav for model 3 dambrugene.



Figur 7.1. Plot fra PCA for NH_4 -kvælstof. m angiver model 1 dambrug (hvor måleår er nummereret fra m1 til m18) og tilsvarende s er model 3 dambrug (med s1 til s8 for 8 måleår). Dambrug markeret med trekantssymbol, mens + er de forskellige variable i analysen, hvor navne forkortelse er forklaret i starten af afsnit 7.1.

De beregnede korrelationskoefficienter for de 15 dambrug med 26 måleår findes i tabel 7.1-7.4, mens der i tabel 7.5-7.8 findes tilsvarende korrelationskoefficienter for de 10 model 1 dambrug med 18 måleår.

Tabel 7.1. Korrelationer (R^2) for BI_5 for 10 model 1 og 5 model dambrug 3 med i alt 26 måleår. Korrelationer markeret med * er signifikant på et 5 % niveau.

BI_5	Nettoudledning pr. kg produceret fisk	Nettorensesgrad (%)
<u>Forklarende variable:</u>		
Stofmængde i indtagsvand/produktionsbidrag * 100%	0,69*	-0,70*
Produktionsbidrag (g) pr. kg produceret fisk	-0,51*	0,58*
Koncentration af stof i indløbsvand (mg/l)	0,43*	-0,45*
Variationskoefficient af stof i indløbsvand (mg/l)	-0,22	0,22
Vandforbrug pr. kg produceret fisk (l)	0,90*	-0,90*
Plantelagunetype	0,19	-0,16
Plantelaguneareal (m^2)	0,31	-0,34
Plantelagunerumfang (m^3)	0,31	-0,34
Opholdstid i plantelagune (timer)	-0,89*	0,89*
Dækningsgrad af planter i overfladen (%)	-0,24	0,21
Dækningsgrad af planter i alt (%)	-0,02	0,03
Opholdstil i produktionsanlæg (timer)	-0,75*	0,77*
Opholdstid i alt (timer)	-0,89*	0,91*
Biofilterareal (m^2)	-0,37	0,39*

Tabel 7.2. Korrelationer for NH_4-N . Korrelationer markeret med * er signifikant på et 5 % niveau. Se tabel 7.1.

NH_4-N	Nettoudledning pr. kg produceret fisk	Nettorensesgrad (%)
<u>Forklarende variable:</u>		
Stofmængde i indtagsvand/produktionsbidrag * 100 %	0,19	-0,20
Produktionsbidrag (g) pr. kg produceret fisk	0,59*	-0,48*
Koncentration af stof i indløbsvand (mg/l)	-0,17	0,09
Variationskoefficient af stof i indløbsvand (mg/l)	0,18	-0,16
Vandforbrug pr. kg produceret fisk (l)	0,72*	-0,65*
Plantelagunetype	0,16	-0,15
Plantelaguneareal (m^2)	0,26	-0,31
Plantelagunerumfang (m^3)	0,26	-0,31
Opholdstid i plantelagune (timer)	-0,76*	0,71*
Dækningsgrad af planter i overfladen (%)	-0,20	0,21
Dækningsgrad af planter i alt (%)	0,04	0,02
Opholdstil i produktionsanlæg (timer)	-0,48*	0,42*
Opholdstid i alt (timer)	-0,71*	0,66*
Biofilterareal (m^2)	-0,26	0,14

Der er også ved denne analyse de samme tendenser med især vandforbrug pr. kg produceret fisk og andre forklarende variable som opholdstider og vedrørende stofkoncentrationer i indløbsvandet som værende signifikant korreleret til både nettorensesgrad og nettoudledning pr. kg produceret fisk. Det er også væsentligt at bemærke her, at de to responsvariable nettorensesgrad og nettoudledning pr. kg produceret fisk indbyrdes er stærkt negativt korreleret og man vil derfor forvente at relationer for de to responsvariable vil indeholde stort set de samme forklarende variable blot med modsat fortegn.

Den højeste korrelation for nettoudledning pr. kg produceret fisk og for nettorensgraden er for:

- BI₅ vandforbrug pr. kg produceret fisk og opholdstid i plantelagune
- NH₄-kvælstof: opholdstid lagune og vandforbrug pr. kg produceret fisk/opholdstid i alt
- Total kvælstof: opholdstid lagune og opholdstid i alt
- Total fosfor: variationskoefficienten i koncentration af TP i friskvand og opholdstiden i alt.

De højeste korrelationskoefficienter findes for BI₅ ($R^2 \pm 0,9$), næsthøjeste for ammonium kvælstof (R^2 over $\pm 0,7$) og lavest for total fosfor (R^2 godt $\pm 0,55$).

Tabel 7.3. Korrelationer for total N. Korrelationer markeret med * er signifikant på et 5 % niveau. Se tabel 7.1.

NTOT	Nettoudledning pr. kg produceret fisk	Nettorensgrad (%)
<u>Forklarende variable:</u>		
Stofmængde i indtagvand/produktionsbidrag *100 %	0,23	-0,14
Produktionsbidrag (g) pr. kg produceret fisk	0,09	0,05
Koncentration af stof i indløbsvand (mg/l)	-0,17	0,21
Variationskoefficient af stof i indløbsvand (mg/l)	0,14	-0,12
Vandforbrug pr. kg produceret fisk (l)	0,49*	-0,40*
Plantelagunetype	0,06	-0,08
Plantelaguneareal (m ²)	0,21	-0,23
Plantelagunerumfang (m ³)	0,21	-0,22
Opholdstid i plantelagune (timer)	-0,64*	0,57*
Dækningsgrad af planter i overfladen (%)	0,10	-0,06
Dækningsgrad af planter i alt (%)	-0,02	0,11
Opholdstil i produktionsanlæg (timer)	-0,46*	0,40*
Opholdstid i alt (timer)	-0,61*	0,56*
Biofilterareal (m ²)	0,16	-0,27

Tabel 7.4. Korrelationer for total P. Korrelationer markeret med * er signifikant på et 5 % niveau. Se tabel 7.1.

PTOT	Nettoudledning pr. kg produceret fisk	Nettorensgrad (%)
<u>Forklarende variable:</u>		
Stofmængde i indtagvand/produktionsbidrag *100 %	0,30	-0,40*
Produktionsbidrag (g) pr. kg produceret fisk	0,18	-0,02
Koncentration af stof i indløbsvand (mg/l)	0,34	-0,33
Variationskoefficient af stof i indløbsvand (mg/l)	-0,55*	0,57*
Vandforbrug pr. kg produceret fisk (l)	0,34	-0,43*
Plantelagunetype	-0,07	0,04
Plantelaguneareal (m ²)	0,25	-0,17
Plantelagunerumfang (m ³)	0,28	-0,20
Opholdstid i plantelagune (timer)	-0,42*	0,49*
Dækningsgrad af planter i overfladen (%)	0,08	-0,15
Dækningsgrad af planter i alt (%)	-0,07	0,03
Opholdstil i produktionsanlæg (timer)	-0,28	0,37
Opholdstid i alt (timer)	-0,44*	0,52*
Biofilterareal (m ²)	0,02	0,09

Der er lavet en tilsvarende korrelationsanalyse men kun på data for de 10 model 1 dambrug dvs. med i alt 18 måleår, men med samme forklarende variable og responsvariable. Korrelationskoefficienterne er vist i tabel 7.5-7.8). Resultaterne ligner dem når analysen inkluderer model 3 dambrugene, men det er ikke i alle tilfælde med de samme forklarende variable som giver de bedste korrelationskoefficienter. Der opnås for både BI₅ og ammonium kvælstof korrelationskoefficienter (R²) på over ± 0,86 og for total kvælstof og total fosfor på over 0,7 og dermed mindst ligeså som høje eller højere end hvad der findes for analysen på alle dambrug. Den højeste korrelation for nettoudledning pr. kg fisk og for nettorensgraden er for:

- BI₅ vandforbrug pr. kg produceret fisk, opholdstid i alt, laguneareal samt stofinput i vandindtag ift. produktionsbidraget
- NH₄-kvælstof: vandforbrug pr. kg produceret fisk, opholdstid i plantelagunen, produktionsbidraget pr. kg produceret fisk
- Total kvælstof: opholdstid i plantelagune, opholdstid i alt og i produktionsanlæg samt vandforbrug pr. kg produceret fisk
- Total fosfor: stofinput i vandindtaget ift. produktionsbidraget, opholdstid i alt og opholdstid i produktionsanlægget samt variationskoefficienten i koncentration af TP i vandindtaget.

Tabel 7.5. Korrelationer (R²) for BI₅ for 10 model 1 med i alt 18 måleår. Korrelationer markeret med * er signifikant på et 5 % niveau.

BI ₅	Nettoudledning pr. kg produceret fisk	Nettorensgrad (%)
<u>Forklarende variable:</u>		
Stofmængde i indtagsvand/produktionsbidrag * 100 %	0,74*	-0,79*
Produktionsbidrag (g) pr. kg produceret fisk	-0,51*	0,65*
Koncentration af stof i indløbsvand (mg/l)	0,31	-0,40*
Variationskoefficient af stof i indløbsvand (mg/l)	-0,46	0,42
Vandforbrug pr. kg produceret fisk (l)	0,91*	-0,91*
Plantelagunetype	0,02	0,05
Plantelaguneareal (m ²)	0,76*	-0,75*
Plantelagunerumfang (m ³)	0,76*	-0,76*
Opholdstid i plantelagune (timer)	-0,76*	0,77*
Dækningsgrad af planter i overfladen (%)	-0,37	0,33
Dækningsgrad af planter i alt (%)	0,02	-0,03
Opholdstil i produktionsanlæg (timer)	-0,68*	0,72*
Opholdstid i alt (timer)	-0,80*	0,84*
Biofilterareal (m ²)	-0,17	0,28*

I bilag 7 er vist en række plots mellem henholdsvis nettoudledninger pr. kg produceret fisk og nettorensgrader for BI₅, ammonium kvælstof, total kvælstof samt total fosfor mod nogle af de forklarende variable der giver de højeste korrelationskoefficienter.

Tabel 7.6. Korrelationer for NH₄-N. Korrelationer markeret med * er signifikant på et 5 % niveau. Se tabel 7.5.

NH₄-N	Nettoudledning pr. kg produceret fisk	Nettorensgrad (%)
<u>Forklarende variable:</u>		
Stofmængde i indtagvand/produktionsbidrag * 100 %	0,11	-0,09
Produktionsbidrag (g) pr. kg produceret fisk	0,69*	-0,64*
Koncentration af stof i indløbsvand (mg/l)	-0,21	0,24
Variationskoefficient af stof i indløbsvand (mg/l)	0,46	-0,44
Vandforbrug pr. kg produceret fisk (l)	0,86*	-0,86*
Plantelagunetype	0,01	-0,03
Plantelaguneareal (m ²)	0,68*	-0,67*
Plantelagunerumfang (m ³)	0,66*	-0,65*
Opholdstid i plantelagune (timer)	-0,75*	0,79*
Dækningsgrad af planter i overfladen (%)	-0,28	0,33
Dækningsgrad af planter i alt (%)	0,26	-0,21
Opholdstil i produktionsanlæg (timer)	-0,49*	0,50*
Opholdstid i alt (timer)	-0,67*	0,70*
Biofilterareal (m ²)	-0,28	0,22

Tabel 7.7. Korrelationer for total kvælstof. Korrelationer markeret med * er signifikant på et 5 % niveau. Se tabel 7.5.

NTOT	Nettoudledning pr. kg produceret fisk	Nettorensgrad (%)
<u>Forklarende variable:</u>		
Stofmængde i indtagvand/produktionsbidrag *100 %	0,44	-0,35
Produktionsbidrag (g) pr. kg produceret fisk	0,22	-0,14
Koncentration af stof i indløbsvand (mg/l)	-0,14	0,23
Variationskoefficient af stof i indløbsvand (mg/l)	0,06	-0,03
Vandforbrug pr. kg produceret fisk (l)	0,63*	-0,57*
Plantelagunetype	0,09	-0,15
Plantelaguneareal (m ²)	0,31	-0,26
Plantelagunerumfang (m ³)	0,34	-0,28
Opholdstid i plantelagune (timer)	-0,79*	0,75*
Dækningsgrad af planter i overfladen (%)	-0,17	0,17
Dækningsgrad af planter i alt (%)	-0,05	0,03
Opholdstil i produktionsanlæg (timer)	-0,72*	0,67*
Opholdstid i alt (timer)	-0,75*	0,70*
Biofilterareal (m ²)	0,26	-0,28

Tabel 7.8. Korrelationer for total fosfor. Korrelationer markeret med * er signifikant på et 5 % niveau. Se tabel 7.5.

PTOT	Nettoudledning pr. kg produceret fisk	Nettorensgrad (%)
<u>Forklarende variable:</u>		
Stofmængde i indtagvand/produktionsbidrag pr. kg produceret fisk	0,75*	-0,71*
Produktionsbidrag (g) pr. kg produceret fisk	0,01	0,10
Koncentration af stof i indløbsvand (mg/l)	0,22	-0,20
Variationskoefficient af stof i indløbsvand (mg/l)	-0,65*	0,62*
Vandforbrug pr. kg produceret fisk (l)	0,60	-0,55*
Plantelagunetype	-0,03	0,07
Plantelaguneareal (m ²)	0,43	-0,33
Plantelagunerumfang (m ³)	0,44	-0,37
Opholdstid i plantelagune (timer)	-0,49*	0,53*
Dækningsgrad af planter i overfladen (%)	0,07	-0,11
Dækningsgrad af planter i alt (%)	0,15	-0,19
Opholdstil i produktionsanlæg (timer)	-0,70*	0,61
Opholdstid i alt (timer)	-0,71*	0,60*
Biofilterareal (m ²)	-0,52*	0,34

7.3 Multipel regressionsanalyser

Resultaterne fra PCA og korrelationsanalyser giver et indblik i hvilke variable der med stor sandsynlighed vil beskrive variationen i de to responsvariable nettorensgraden og nettoudledningen pr. kg produceret fisk. Analyserne i afsnit 7.1 og 7.2 viser det sig især drejer sig om forklarende variable vandforbrug pr. kg produceret fisk, opholdstid især i plantelagunen, variation af koncentrationer i indløbsvand, og forholdet mellem stofinput i vandindtaget og produktionsbidraget.

Der er endvidere anvendt statistiske regressionsmodeller for yderligere at kunne beskrive variationen i nettorensgraden og nettoudledningen pr. kg produceret fisk. De statistiske regressionsmodeller som er anvendt i analysen er alle additive, det vil sige bidrag fra de enkelte led i modellen lægges sammen til et estimat for enten nettorensgraden eller nettoudledning pr. kg produceret fisk. Forklarende variable kan indgå som et simpelt lineært led men også som mere komplicerede ikke-lineære komponenter. Regressionsanalyser er beskrevet i Snedecor og Cochran (1989).

Der er estimeret en række relationer som gengives i tabel 7.9-7.12 ved anvendelse af den statistiske regressionsmetode, hvor R²-værdien beskriver hvor stor en andel af den samlede spredning i data som forklares af relationen. En relation med en R²-værdi på 0,75 og derved anses for at være en god beskrivelse af data og relationerne angivet i tabellerne 7.9-7.12 kan derfor i næsten alle tilfælde beskrives som rigtigt eller særdeles gode modeller for nettorensgraden og nettoudledningen. Der kan opstilles mange forskellige relationer, men de viste er de som er simple og med stor forklaringsgrad. I tabellerne er der lavet relationer for alle model 1 og model 3 dambrug under et og alene for de 10 modeldambrug.

Tabel 7.9. Relationer ud fra multiple regressionsanalyser for henholdsvis nettorensgrad (%) og stofudledning pr. kg produceret fisk for BI₅. Relationerne er lavet for 10 model 1 og 5 model 3 dambrug under et og kun for de 10 model 1 dambrug. R² værdier på 0,75 og derover er udtryk for høj forklaringsgrad (R² = 1 betyder al variation forklares). Hvad de forkortede variable navne betyder, står i begyndelsen af kapitel 7.1.

BI ₅	Formel for relation	R ² -værdi
Relation nummer		
<u>Alle dambrug:</u>		
1	netreng=98,2-0,0011*vand	0,86
2	netreng=92,9+0,043*opholdia-0,0009*vand	0,86
3	netreng=92,7+7,54*koncind-0,089*vand/pbidfisk	0,81
4	netudfi=1,41+0,0008*vand	0,86
5	netudfi=4,21+0,0009*vand-4,58*koncind	0,89
6	netudfi=3,22+23,8*stofpbid ² +0,177*sqrt(vand)-12,1*koncind	0,92
<u>Kun for model 1 dambrug:</u>		
7	netreng=100,6-0,0012*vand	0,85
8	netreng=100,4-0,085*vand/pbidfisk	0,85
9	netudfi=0,0008*vand	0,95
10	netudfi=1,23+0,001*vand-3,46*koncind	0,89
11	netudfi=24,0+55,5*stofpbid-21,0*koncind-0,075*opholdia	0,92

Det bemærkes at det ikke nødvendigvis er de to forklarende variable med de største korrelationskoefficienter, der indgår i samme relation hvis de f.eks. korrelere henholdsvis positivt og negativt. Det betyder at nogle af de forklarende variable som ikke havde højeste, næst- eller tredje-højeste korrelationskoefficienter i tabel 7.1-7.8 kan indgå i relationerne nedenfor som f.eks. koncentration i indtagsvandet (koncind) og biofilter-arealet (biofiltre).

Tabel 7.10. Relationer ud fra multiple regressionsanalyser for henholdsvis nettorensgrad (%) og stofudledning pr. kg produceret fisk for NH₄-kvælstof. Relationerne er lavet for 10 model 1 og 5 model 3 dambrug under et og kun for de 10 model 1 dambrug. R² værdier på 0,75 og derover er udtryk for høj forklaringsgrad (R² = 1 betyder al variation forklares). Hvad de forkortede variable navne betyder, står i begyndelsen af kapitel 7.1.

NH ₄ -N	Formel for relation	R ² -værdi
Relation nummer		
<u>Alle dambrug:</u>		
1	netreng=66,9+0,187*opholdia	0,52
2	netudfi=139,5/opholdia	0,80
3	netudfi=0,0004*vand	0,72
<u>Kun for model 1 dambrug:</u>		
4	netreng=99,5+22,6*koncind-0,0012*vand	0,78
5	netreng=93,5+39718/vand-0,114*daekialt-0,0008*vand	0,85
6	netudfi=-2,20+6,04*pbidfisk/opholdia	0,78
7	netudfi=0,0004*vand-2,00*koncind	0,90

Tabel 7.11. Relationer ud fra multiple regressionsanalyser for henholdsvis nettorensesgrad (%) og stofudledning pr. kg produceret fisk for total kvælstof. Relationerne er lavet for 10 model 1 og 5 model 3 dambrug under et og kun for de 10 model 1 dambrug. R^2 værdier på 0,75 og derover er udtryk for høj forklaringsgrad ($R^2 = 1$ betyder al variation forklares af en ligning). Hvad de forkortede variable navne betyder, står i begyndelsen af kapitel 7.1.

NTOT	Formel for relation	R^2 -værdi
Relation nummer		
<u>Alle dambrug:</u>		
1	$\text{netreng} = 11,98 + 1,09 * \text{pbidfisk} + 0,105 * \text{koncind} * \text{opholdla}$	0,70
2	$\text{netreng} = 0,342 * \text{daekialt} + \text{opholdia} * \text{sqrt}(\text{stodpbid})$	0,94
3	$\text{netudfi} = 13,52 + 0,793 * \text{koncind} - 0,039 * \text{koncind} * \text{opholdla}$	0,67
4	$\text{netudfi} = 20,23 - 0,233 * \text{opholdlagun} - \text{stofpbid}$	0,56
<u>Kun for model 1 dambrug:</u>		
5	$\text{netreng} = 43,1 - 0,0012 * \text{vand} + 0,0048 * \text{lagunareal} + 0,355 * \text{daekialt} - 0,0004 * \text{biofiltre}$	0,78
6	$\text{netreng} = 1,34 * \text{pbidfisk} + 0,669 * \text{opholdla}$	0,94
7	$\text{netudfi} = 17,43 + 0,239 * \text{opholdialt} + 0,00016 * \text{biofiltre}$	0,92

Tabel 7.12. Relationer ud fra multiple regressionsanalyser for henholdsvis nettorensesgrad (%) og stofudledning pr. kg produceret fisk for total fosfor. Relationerne er lavet for 10 model 1 og 5 model 3 dambrug under et og kun for de 10 model 1 dambrug. R^2 værdier på 0,75 og derover er udtryk for høj forklaringsgrad ($R^2 = 1$ betyder al variation forklares). Hvad de forkortede variable navne betyder, står i begyndelsen af kapitel 7.1.

PTOT	Formel for relation	R^2 -værdi
Relation nummer		
<u>Alle dambrug:</u>		
1	$\text{netreng} = 97,0 - 272,7 / \text{cvkoncind}$	0,53
2	$\text{netreng} = 94,2 - 0,293 * \text{daekialt} + 0,151 * \text{opholdialt}$	0,44
3	$\text{netudfi} = 20,398 / \text{cvkoncind}$	0,81
4	$\text{netudfi} = 360,0 / (\text{cvkoncind} * \text{opholdla})$	0,79
<u>Kun for model 1 dambrug:</u>		
5	$\text{netreng} = 71,2 + 0,061 * \text{opholdia} + 0,296 * \text{cvkoncind}$	0,71
6	$\text{netudfi} = 1,37 - 0,016 * \text{cvkoncind}$	0,66
7	$\text{netudfi} = 25,7 / (\text{cvkoncind} - \text{biofiltre})$	0,68

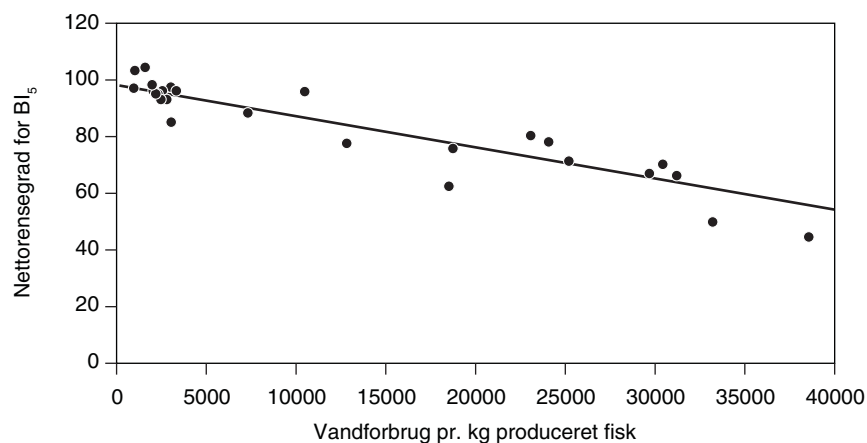
Baseret på den ligning som giver den højest korrelationskoefficient er det for alle 15 dambrug under et og for de 10 model 1 for sig er det opsamlet i tabel 7.13 hvilke responsvariable der ud fra den multiple regressions analyse alene eller i kombination kan anvendes for i høj grad at kunne forudsige nettorensesgrad og nettostofudledningen pr. kg produceret fisk.

Tabel 7.13. Opsummering af den multiple regressionsanalyse og resultaterne i tabel 7.9-7.12. Der er vist de forklarende variable der alene eller i kombination bedst kan forudsige nettostofudledninger pr. kg produceret fisk og nettorenssegrader. De mest betydende responsvariable er vist først. Fortegnet angiver om den forklarende variable varierer positivt eller negativt med henholdsvis nettoudledninger eller nettorenssegraden.

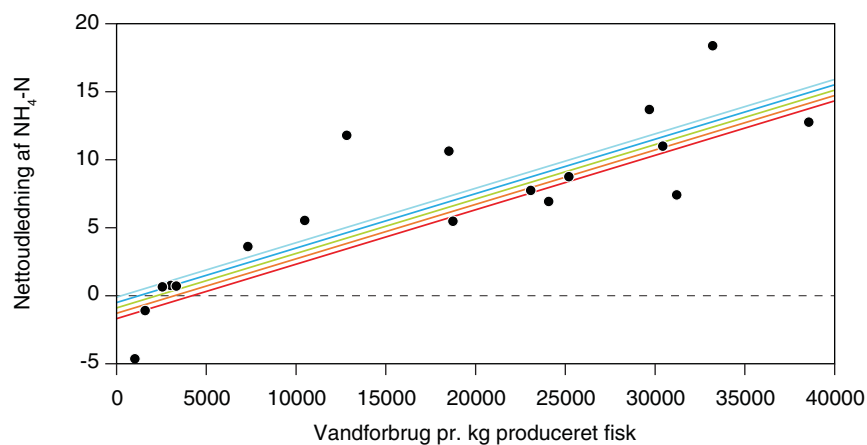
Stofparameter		Nettoudledning pr. kg produceret fisk	Nettorenssegrad (%)
BI₅:	Model 1 og model 3	Stof i indtagvand i % af produktionsbidrag (+) Vandforbrug pr. kg produceret fisk (+) Koncentration i indtagvand (-)	Vandforbrug pr. kg produceret fisk (-) Opholdstid i alt (+) Koncentration i indtagvand (+)
	Kun model 1	Vandforbrug pr. kg produceret fisk (+) Stof i indtagvand i % af produktionsbidrag (+) Koncentration i indtagvand (-) Opholdstid lagune (-)	Vandforbrug pr. produceret kg fisk (-) Stof i indtagvand i % af produktionsbidrag (+) -
NH₄-N:	Model 1 og model 3	Opholdstid lagune (-) Vandforbrug pr. kg produceret fisk (+)	Opholdstid i alt (+)
	Kun model 1	Vandforbrug pr. kg produceret fisk (+) Koncentration i indtagvand (-) Produktionsbidrag pr. kg produceret fisk (+) Opholdstid lagune (-)	Vandforbrug pr. kg produceret fisk (-) Dækningsgrad i alt (-) Koncentration i indtagvand (+)
Tot-N:	Model 1 og model 3	Koncentration i indtagvand (+) Opholdstid lagune (-) Stof i indtagvand i % af produktionsbidrag (-)	Dækningsgrad i alt (+) Opholdstid i alt (+) Stof i indtagvand i % af produktionsbidrag (+) Produktionsbidrag pr. kg fisk (+) Koncentration i indtagvand (+) Opholdstid lagune (+)
	Kun model 1	Opholdstid i alt (+) Biofilter areal (+)	Produktionsbidrag pr. kg produceret fisk (+) Opholdstid lagune (+) Vandforbrug pr. kg fisk (-) Lagune areal (+) Biofilter areal (-)
Tot-P:	Model 1 og model 3	Variationskoefficient for koncentration i indtagvand (-) Opholdstid lagune (-)	Variationskoefficient for koncentration i indtagvand (+) Opholdstid i alt (+) Dækningsgrad i alt (-)
	Kun model 1	Variationskoefficient for koncentration i indtagvand (-) Biofilter areal (+)	Opholdstid i alt (+) Variationskoefficient for koncentration i indtagvand (+)

I figur 7.3 og 7.4 er vist to eksempler på hvordan to af relationerne ser ud rent grafisk.

Figur 7.3. Grafisk fremstilling af relation 1 i tabel 7.9 for BI_5 . Vandforbruget er l pr. kg produceret fisk og nettorensgrad i %.



Figur 7.4. Grafisk fremstilling af relation 7 i tabel 7.10 for NH_4-N . De 5 rette linjer repræsenterer 5 forskellige niveauer (0,05; 0,25; 0,45; 0,65 og 0,85) af koncentrationen af NH_4-N i indløbsvandet, hvor nederste linje er med NH_4-N koncentration i indløbsvandet = 0,85. Vandforbruget er l pr. kg produceret fisk og nettorensgrad i %.



8 Diskussion

I dette kapitel diskuteres nogle af de væsentligste resultater som et supplement til præsentationen af resultaterne i kapitel 4-7. Nogle af resultaterne bliver fortolket og forklaret ligesom der gives nogle supplerende resultater ved at opdele model 1 dambrugene for at afklare f.eks. betydning af at indtage åvand. Der er en samlet vurdering af usikkerheden og der konkluderes omkring det væsentligste resultater som denne undersøgelse giver.

Usikkerhed i forhold til datagrundlaget

Det er vigtigt at understrege at udgangspunktet for vurderingen af performance af model 1 dambrugene i denne rapport sker på basis af indsamling af de oplysninger, det har været muligt at fremskaffe. Analysen er baseret på at ca. 2/3 af model 1 dambrugene samt 5 model 3 dambrug velvilligt har stillet egenkontrolldata, miljøgodkendelser og foderoplysninger til vores brug samt deltaget i et enkelt 2-3 timers interview. Data har ikke været indsamlet med viden om at de efterfølgende skulle anvendes ift. den analyse og datasammenstilling som er foretaget og for næsten alle dambrug ligger måleperioden før projektet er gennemført. Der har ikke været noget målrettede måleprogram for at måle stofinput og stoftab fra dambrugene og måle på eventuelt vandtab over plantelagunerne. Mens de vandkemiske prøver er udtaget og analyseret af akkrediteret laboratorier er målemetode til bestemmelse af dambrугenes vandindtag og vandaflledning afløb ikke fuldt ud kendt. Tilsvarende har dambrugene ikke vidst, at der senere var behov for mere specifikt at kende hvilke fodertyper og hvor meget, der har været anvendt på bestemte tidspunkter og til hvilken størrelse fisk samt nøje registrering af fiskebestande og tilvækst for de forskellige dele af dambrugets produktion.

Kun for størrelsen af plantelagunerne og den maksimale dækningsgrad er der under projektet lavet et specifikt måleprogram. Det er dog sket med en ekstensiv metode, hvor der på under en dag pr. dambrug ved antaget plantemaksimum i sensommeren/tidligere efterår 2010 er foretaget målinger og registreringer. Disse forudsættes dog at give en god indikation for den maksimale biomasse, der er hvert år såfremt plantelagunerne ikke først har været etableret indenfor de seneste 1-2 år.

Dette medfører at der naturligvis er usikkerhed på de resultater, som er opnået. Den variation der fremgår af resultaterne i kapitel 4-6 skyldes derfor både den faktiske forskel, der er i performance mellem de dambrug, der indgår i analysen, og så den variation der kommer grundet usikkerhed på data.

Foto 14. Vandløbsagtigt kanallagune ved Hallundbæk Dambrug.
Foto: Uffe Mensberg.



Delprojektet er den første mere omfattende analyse af model 1 dambrug med henblik på at få et estimat på nettostofudledning pr. kg produceret fisk og nettorensgrader og hvor stor variation, der er mellem model 1 dambrugene heri. Det er uhensigtsmæssigt at især vandmængderne på mange dambrug er usikkert fastlagt, fordi det påvirker de værdier der fastlægges for nettoudledninger og af rensgrader. Det medfører at det ikke har været muligt at vurdere om noget af stoftabet over dambrugene sker grundet nedsivning fra plantelagunerne. Kun for to dambrug kan der med sikkerhed påvise, at der er vandtab over plantelagunerne og for disse tabes henholdsvis ca. 85 % af vandindtaget og ca. 27 %. For nogle få dambrug er der tilsyneladende kun et beskedent vandtab over plantelagunerne, men for hovedparten af dambrugene mangler der enten oplysninger om vandindtag eller vandafledning, der er huller i tidsserierne eller der angives fuldstændigt samme vandmængde over et eller flere måleår. Erfaringerne fra forsøgsprojektet for model 3 dambrug viste at hverken vandindtag eller vandafledningen kan være konstant over et helt måleår selv ved indtag af grundvand med pumpe, og at alle dambrug havde enten signifikant nettovandudsivning vandindsivning over plantelagunerne på mindst ± 10 % (Svendsen et al, 2008). Grundet korte opholdstider/mindre plantelaguner (større vandtilførsel pr. m^2 plantelagune) for model 1 dambrugene vil vandtabet i gennemsnit antageligt være mindre for denne type dambrug sammenlignet med model 3.

I de fleste tilfælde hvor der mangler oplysninger om vand er det for vandindtaget. Hvor der mangler data er der enten interpoleret mellem de målinger der findes, men mangler der helt oplysninger om vandindtaget eller vandafledningen har det været nødvendigt at antage at vand ind er lig vand ud. Underestimeres vandmængden ind eller ud vil stofinput og stofafledning tilsvarende beregnes for lavt. Det vurderes at der oftest kan være tale om at både vand indtaget og vandafledningen er underestimeret, hvilke trækker i samme retning så fejlen på nettoudledninger og nettorensgrader derfor bliver knap så stor. Hvor der kun er tal for vandindtag risikere dambrugeren grundet vandtab over plantelagunerne at de udledninger der beregnes overestimeres og dermed at de

beregnete udledninger bliver for høje, hvilke betyder at nettostoftabet pr. kg produceret fisk bliver for højt og tilsvarende nettorensgraderne for lave.

Det modsatte gælder hvis vandmængden reelt er højere end det opgives. Det er ikke muligt at give et konkret bud på hvor stor usikkerhed, der skyldes mangelfuld eller ikke målte vandmængder, men for enkelte dambrug vurderes det at fejlen over et helt år kan være op til 30-50 % på vand indtag og vandafløden og mest på indtaget, hvilket på forskellen så giver en usikkerhed på $\pm 20-35$ % i de værste tilfælde men antageligt generelt på $\pm 10-15$ % på nettostofudledninger pr. kg produceret fisk og nettorensgrader for model 1 dambrugene og lavere for model 3 dambrugene. Der er også en vis usikkerhed på de kemiske analyser og beregningen af daglige koncentrationer i indtag og udledninger. Ses på gennemsnitsværdierne for nettorensgrader og nettostofudledninger pr. kg produceret fisk for de 10 model 1 dambrug vurderes usikkerheden grundet de usikre vandmængder at være mindre end eller lige ± 10 %. Den variation der ses mellem dambrugene skyldes derfor både faktiske variationer og en vis usikkerhed.

De omtalte usikkerheder påvirker kun i mindre grad de statistiske sammenhænge der opstilles mellem nettorensgrader og nettostofudledninger pr. kg produceret fisk og responsvariable, idet det primært vil have betydning for hvor høj korrelationskoefficienten bliver da variation grundt usikkerhed kan medføre at regressionerne bliver mindre signifikante.

Nettoudledninger pr. kg produceret fisk og nettorensgrader

For at have et tilstrækkeligt statistisk grundlag er der behov for mindst 16 måleår, hvorfor der ikke umiddelbart kan ske en underopdeling af de 10 model 1 dambrug for at se f.eks. om dem med de største relative andele af stof med indtagsvand ift. produktionsbidraget har større nettorensgrader end de øvrige, eller om der er forskelle i nettoudledninger pr. kg produceret fisk for model 1 dambrug, der kun anvender å vand sammenlignet med dem som kun anvender grundvand. Der er alligevel lavet en gennemsnitsberegning for de 5 model 1 dambrug der kun anvender åvand som friskvandskilde, de fire der både har åvand suppleret med grundvand samt det ene dambrug der kun anvender grundvand for at få en indikation af om der er nogle forskelle.

For de 5 model 1 dambrug som kun anvender åvand som friskvand og de 4 model 1 dambrug som anvender både åvand og supplere med grundvand som friskvand er der som gennemsnit en tendens til højere nettoudledninger pr. kg produceret fisk og lidt lavere nettorensgrader hvad angår ammonium kvælstof (50 %), total fosfor (75 %) og BI_5 (25 %), mens det modsatte er tilfældet for total kvælstof ca. 20 % højere). For begge typer model 1 dambrug er stofinput af total kvælstof med indtagsvandet ca. 3 gange større end produktionsbidraget af samme stof. De 5 model 1 dambrug som kun anvender åvand har i gennemsnit 10 % mindre plantelaguner og anvender ca. 20 % mindre vand pr. kg. produceret fisk sammenlignet med de 4 model 1 der både anvender åvand og grundvand. Der er den dobbelte opholdstid i gennemsnit over plantelagunerne og tredobbelte opholdstid over produktionsanlægget sammenlignet med de 4 model 1 dambrug som anvender både åvand og grund-

vand. Tre af de 5 model 1 dambrug som kun anvender åvand har installeret biofilter mens ingen af de 4 model 1 dambrug der både anvender å- og grundvand har biofilter. Der er ikke nogen entydig forklaring på hvorfor der netop for total kvælstof tilsyneladende er lidt højere rensegrader, hvor der anvendes både åvand og grundvand når der tages højde for de omtalte forskelle i opholdstid og vandforbrug pr. kg. produceret fisk, men som sagt datagrundlaget til denne detailtolkning er ikke tilstrækkeligt stort og der er en den omtalte usikkerhed på vandmængder m.v..

Det ene model 1 dambrug som kun anvender grundvand har et meget stort vandtab (85 %) over plantelagunerne og giver ikke noget grundlag for at sammenligne dette ift. til de øvrige 9 model 1 dambrug.

Det er karakteristisk at dambrug der anvender mindst vand pr. kg produceret fisk og bruger grundvand (både model 1 og 3) også har den højeste koncentrationsforøgelse over dambruget og udleder med de højeste koncentrationer, men samtidigt ikke har de største udledninger pr. kg produceret fisk. De har således højere rensegrader end model 1 dambrug, der kun anvender åvand. Effektiviteten af renseforanstaltningerne er højere ved højere koncentrationer i det vand der skal processes og der fjernes derfor en større andel af stoffet.

For de 10 model 1 dambrug er gennemsnits nettoudledningerne ± 2 gange standarderror (svarende til 95 % af fordelingen) følgende, idet der i parentes sammenlignes med gennemsnitstal for alle ferskvandsdambrug i Danmark i 2008 fra By- og Landskabsstyrelsen (2010):

- NH_4 -kvælstof: $7,2 \pm 2,8$ gram pr. kg produceret fisk
- Total kvælstof: $9,7 \pm 9,7$ (29) gram pr. kg produceret fisk
- Total fosfor: $0,45 \pm 0,28$ (2,6) gram pr. kg produceret fisk
- BI_5 : $16,4 \pm 5,8$ (99) gram pr. kg produceret fisk.

Nettorensgraderne er tilsvarende idet der i parentes er angivet forudsatte rensegrader i Bekendtgørelse for modeldambrug, 2006, når der for total kvælstof er taget højde for hvor meget plantelagune model 1 dambruget i gennemsnit har etableret:

- NH_4 -kvælstof: $74 \pm 9,6$ %
- Total kvælstof: $78 \pm 24,6$ (44) %
- Total fosfor: $90 \pm 5,7$ (55) %
- BI_5 : $78 \pm 8,3$ (70) %.

Resultaterne viser at nettoudledninger pr. kg produceret fisk fra model 1 dambrugene i gennemsnit ligger betydeligt under gennemsnittet for tilsvarende udledninger fra alle danske dambrugs i 2008 for både total kvælstof, total fosfor og BI_5 . Selv når der tages højde for den store indbyrdes variation mellem de 10 model 1 dambrug udtryk ved ± 2 gange standard error er nettoudledningerne pr. kg produceret fisk lavere (total kvælstof) eller meget lavere (total fosfor og BI_5) for model 1 dambrugene. Gennemsnits nettorensgraderne for model 1 dambrugene for total kvælstof, total fosfor og BI_5 er væsentlig højere end forudsat i modeldambrugsbekendtgørelsen og selv med ± 2 standarderror er de højere især for total fosfor og det er kun 2 måleår for total kvælstof og et for BI_5 , med nettorensgrader under bekendtgørelsens forudsætninger. En årsag

til de høje nettorensgrader er tilbageholdelsen af de ret betydelige stofmængder som der føres ind med indtagsvandet for de 9 model 1 dambrug, der anvender åvand eller primært anvender åvand. Stofindtaget med åvand udgør i gennemsnit henholdsvis 228 %, 40 % og 31 % af det tilsvarende produktionsbidrag af total kvælstof, total fosfor og BI₅ og en del af dette stof tilbageholdes/omsættes over dambruget. Da de fleste danske ferskvandsdambrug anvender åvand som primær kilde for vandindtag kan resultaterne for de model 1 dambrugene umiddelbart sammenlignes med disse.

Andre årsager til at der tilbageholdes og omsættes relativt meget stof over model 1 dambrugene sammenlignet med traditionelle dambrug er tilstedeværelsen af relativt store plantelaguner, den relativt høje opholdstid, lavere vandforbrug pr. kg produceret fisk og tilstedeværelse af renseforanstaltninger til hurtigere fjernelse af slam i selve produktionsenhederne sammenlignet med gennemsnittet af de danske ferskvandsdambrug. I model 1 dambrugene er der i gennemsnit 47,8 m² plantelagune ± 6,4 m² pr. tons anvendt foder hvilket er væsentligt mere end model 3 dambrugene, der har 18,1 m² ± 3,0 m² plantelagune pr. tons anvendt foder. Det betyder at selv om der på model 1 dambrugene må forventes at fjerne/omsætte relativt mindre stof pr. tons anvendt foder over selve produktionsanlægget, så er der mere plantelagune pr. kg anvendt foder til at tilbageholde/omsætte i hvert fald nitrat, BI₅ og fosfor. En anden årsag til at der på model 1 dambrugene er relativt meget plantelagune skyldes at der gives et tillæg på 10 tons foder pr. 1.000 m² plantelagune jf. Bekendtgørelse om modeldambrug (2006). De 10 model 1 dambrug har i gennemsnit anvendt 18.750 l vand pr. kg produceret fisk (eller 57 l/s pr. 100 tons anvendt foder), hvilket er ca. halvdelen af den vandmængde som bekendtgørelsen tillader.

De 5 model 3 dambrug har nettoudledninger som er lig med eller under og nettorensgrader som er lig med eller endnu højere end dem, der blev fundet under forsøgsordning for modeldambrug (i parentes resultater fra forsøgsordningen for modeldambrug, Svendsen et al., 2008):

- NH₄-kvælstof: 6,2±3,2 (7,7) gram pr. kg produceret fisk
- Total kvælstof: 13,1±6,4 (20) gram pr. kg produceret fisk
- Total fosfor: 0,9±0,7 (1,1) gram pr. kg produceret fisk
- BI₅: 4,7±2,4 (5,6) gram pr. kg produceret fisk.

Nettorensgraderne for model 3 dambrugene er idet der i parentes er resultater fra forsøgsordningen og efter ""/ hvad der er forudsat i modeldambrugsbekendtgørelsen fra 2006, når der for total kvælstof tages højde for den mængde plantelagune der i gennemsnit er oprettet på de 5 model 3 dambrug:

- NH₄-kvælstof: 75±11,6 (77) %
- Total kvælstof: 66±15,9 (50/31) %
- Total fosfor: 85±10,4 (76/65) %
- BI₅: 94±2,9 (93/80) %.

Foto 15. Vandløbsstrækning nedstrøms Nymølle Dambrug med blomstrende Vandranukel. Foto: Lars M. Svendsen.



Nettorenssegraderne er væsentligt bedre end forudsat i bekendtgørelsen og særlig meget i relation til total kvælstof, dog lig med eller en anelse lavere for ammonium kvælstof. Kun for et dambrug i et måleår har nettorenssegraden for total kvælstof og total fosfor været på eller under forudsætninger. Det er hensigtsmæssigt med højere renssegrader for total kvælstof, da det under forsøgsprojektet viste sig at nogle af model 3 dambrugene havde problemer med at overholde udlederkravene ift. total kvælstof (og også for ammonium kvælstof) (Svendsen et al., 2008). Der har derfor efterfølgende været fokus på at forbedre kvælstof omsætning og fjernelse over modeldambrugene, bl.a. ved en optimeret drift af biofiltrene herunder kraftigere beluftning af disse, styring af pH, returskylning, fysiske indretning af biofiltrene (Janning et al. 2011; Suhr & Pedersen 2011). Endvidere har man forbedret slamhåndtering herunder tilsat fældningsmidler, der skal sikre at mere fosfor fældes og tilbageholdes i slambassinene. Samtidigt er vandforbruget reduceret fra i gennemsnit 3.600 l pr. kg produceret fisk under forsøgsprojektet til i gennemsnit godt 2.220 l pr. kg produceret fisk (eller 8 l/s pr. 100 tons anvendt foder) og der har givet været med til at sikre at model 3 dambrugene performer mindst ligeså godt eller bedre end under forsøgsprojektet. Model 3 dambrugene anvender således kun ca. 1/9 af den vandmængde som model 1 bruger til produktion af et kg fisk.

Sammenlignes gennemsnits nettorenssegrader mellem model 1 og model 3 findes:

- Samme nettorenssegrader for ammonium kvælstof
- Højere nettorenssegrader for total kvælstof (13 procentpoint) og total fosfor (5 procentpoint) for model 1 dambrugene
- Lavere nettorenssegrad for BI₅ (16 procentpoint) for model 1 dambrugene.

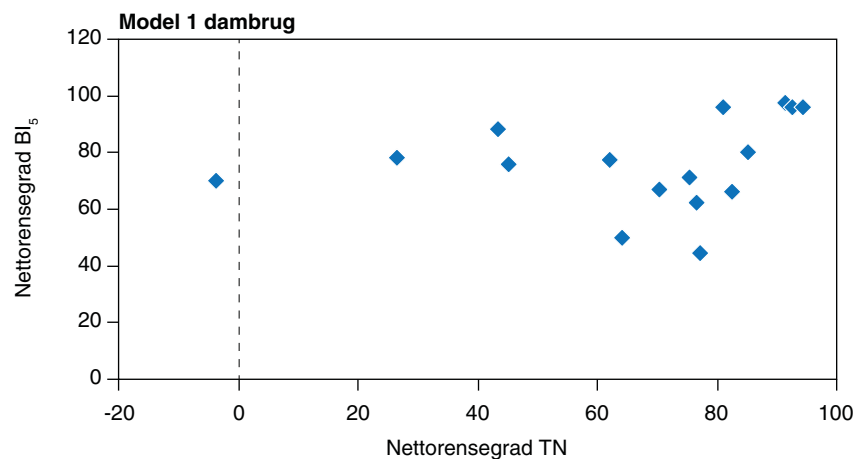
Som omtalt ovenfor bidrager tilbageholdelse af de store mængder partikulært materiale som indtages med vandløbsvand til de relativt høje nettorenssegrader af total kvælstof, total fosfor og BI₅ på model 1 dambrugene. Det betyder at model 1 dambrugene kan få højere nettorenssegrader

end model 3 dambrugene selv om sidstnævnte givet tilbageholder/fjerne en større andel af produktionsbidraget. Dette gælder ikke mindst for total kvælstof, hvor stofindtaget i gennemsnit for model 1 dambrugene udgør 228% af det tilsvarende produktionsbidrag, hvor det for model 3 dambrugene i gennemsnit kun udgør 23 % (for total fosfor er det 40 % for model 1 mod 6 % for model 3 og for BI₅ 31 % for model 1 mod 1,7 % for model 3). Til gengæld er den høje nettorensgrad for ammonium kvælstof lidt sværere at forklare, da de fleste model 1 dambrug ikke har specifikke foranstaltninger som biofiltre til at omsætte ammonium til f.eks. nitrat. Til gengæld er koncentrationen af ammonium kvælstof i indtagsvandet i model 3 dambrugene i gennemsnit over dobbelt så højt (0,36 mg N/l) sammenlignet med model 1. En umiddelbar årsag til at nettorensgraden i gennemsnit for ammonium kvælstof er ens mellem de 10 model 1 og 5 model 3 dambrug kan være at der grundet højere koncentrationer i procesvand og dermed antageligt også i det vand der afledes til slambassinerne i højere grad dannes ammonium kvælstof i disse og som når det afledes til plantelagunen kun i beskeden grad kan fjernes i disse (med mindre der er væsentlig nedsivning). Under forsøgsprojektet for modeldambrug var det tydeligt at der forekom omfattende omdannelse af nitrat til ammonium kvælstof i slambassinerne (Svendsen et al, 2008). Derfor kan der trods en større omsætning af ammonium kvælstof til nitrat i produktionsanlægget grundet tilstedeværelse af biofiltrene i model 3 dambrug godt dannes så meget ammonium i slambassinerne at nettorensgraderne mellem model 1 og model 3 dambrugene bliver i samme størrelsesorden. Den højere koncentration i indtagsvandet af ammonium kvælstof for model 3 dambrugene skyldes antageligt, at der grundet nedsivning under plantelagunerne med drænvand/grundvand indvindes indtagsvand med forhøjede ammonium koncentrationer.

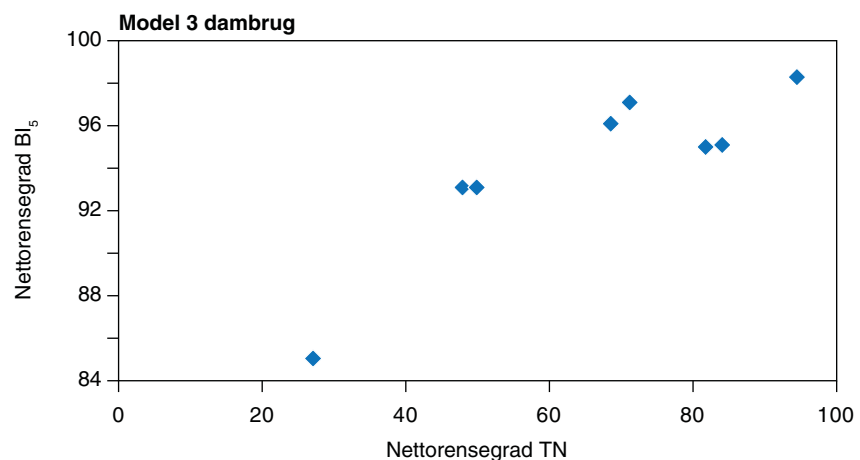
For BI₅ er det trods potentiel sedimentation i model 1 dambrugene heraf af stof i indtagsvandet tydeligt at der er en markant større omsætning af letomsætteligt stof over model 3 dambrugene. Det skyldes både at det indgår ved omsætning af ammonium til nitrat i biofiltrene, fjernelse heraf i slamkegler og mikrosigter og ikke mindst grundet den væsentlig højere opholdstid over model 3 dambrugene sammenlignet med model 1.

Det påpeges i Suhr og Pedersen (2011) at BI₅ omsætningen på model 3 dambrug kan være så høj i produktionsanlægget, at der vil mangle tilstrækkeligt med letomsætteligt organisk stof (små fede syrer - VFA'er) til denitrifikationsprocessen og det dermed bliver begrænsende for den samlede total kvælstof omsætning. For at afklare om der er antydninger heraf i det behandlede materiale er nettorensgraderne for BI₅ plottet mod de tilsvarende værdier for total kvælstof for henholdsvis de 8 model 1 dambrug (figur 8.1) og de 5 model 3 dambrug (figur 8.2). For model 3 dambrugene er der med 10 måleår ikke tilstrækkeligt grundlag til at erkende nogen tendens ud over at de dambrug der performer godt for BI₅ også gør det for total kvælstof, men det kan ikke vurderes om der har været en begrænsning af små fede syrer for kvælstofomsætningen. For model 1 dambrugene er der langt større spredning i resultaterne, hvor der ikke kan erkendes nogen sammenhæng mellem nettorensgrader for total kvælstof og for BI₅. Dette afspejler den variation i indretning og drift/produktionsforhold der er mellem model 1 dambrugene herunder at nogle af dambrugene indtager meget partikulært stof med indtagsvandet og som kan tilbageholdes på disse dambrug.

Figur 8.1. Nettoensegrader af total kvælstof som funktion af nettoensegrader af BI_5 for model 1 dambrugene. Nettoensegrader er i %.



Figur 8.2. Nettoensegrader af total kvælstof som funktion af nettoensegrader af BI_5 for model 3 dambrugene. Nettoensegrader er i %



Der er en noget større variation i udledningerne hen over året for ammonium og total kvælstof udtrykt ved variationskoefficient fra model 1 dambrug sammenlignet med model 3, mens den for total fosfor er noget lavere (kapitel 4). Koncentrationen i udledningerne fra model 3 dambrug er betydeligt højere end fra model 1, men eftersom de anvender væsentligt mindre vand pr. kg produceret fisk og har flere renseforanstaltninger er nettoudledningerne for f.eks. BI_5 og ammonium kvælstof lavere end fra model 1 dambrugene.

Forudsigelse af nettoudledninger og rensegrader

En række statistiske analyser viser med stor statistisk sandsynlighed at der er nogle relativt få variable som kan forklare de beregnede variationer i nettoudledninger pr. kg produceret fisk og nettoensegrader, der er fundet for model 1 og model 3 dambrugene (kapitel 7). Generelt har de variable som er positivt korreleret med nettostofudledninger en tilsvarende negativ korrelation med nettoensegraden eftersom nettostoftilbageholdelsen pr. kg produceret fisk er tæt men negativt korreleret med nettoensegraden. Følgende variable er generelt vigtige:

- Opholdstiden ikke mindst over plantelagunerne
- Vandforbruget pr. kg produceret fisk.

De to variable er ved simpel korrelationsanalyse signifikant for nettorensgraden for både ammonium og total kvælstof, total fosfor og for BI_5 . Jo større opholdstid desto højere nettorensgrad for alle fire stoffer med markant højeste korrelationskoefficient for BI_5 (0,90) og ammonium kvælstof (0,7) mens den for total kvælstof og total fosfor er knap så høj, ca. 0,55. Forholdet er det samme men med modsat fortegn for vandforbruget pr. kg produceret fisk. En høj opholdstid opstår ved at anvende lidt vand ift. til det samlede volumen i produktionsanlæg og/eller i plantelagunerne. I produktionsanlægget fås dette ved at recirkulere vandet, hvorved det vil passere renseforanstaltningerne flere gange, mens de i plantelagunerne opnås ved at have en lav hydraulisk belastning af disse. Model 1 dambrug havde i gennemsnit en hydraulisk belastning på 1 l pr 183 m² og i model 3 dambrugene 1 l pr. 326 m² mod forudsat 1 l pr. 48 m² i modeldambrugsbekendtgørelsen.

Ved høj recirkuleringsgrad øges koncentrationen også i det vand der recirkuleres, således at renseforanstaltninger har mere at virke på plus at man typisk ved recirkulering har biofilter for at undgå for høje ammonium koncentrationer i produktionsvandet. Jo større plantelaguner/højopholdstid i disse desto længere tid er der til at omsætte organiske stof og give mulighed for denitrifikation samt til at få sedimenteret fine partikler med bl.a. fosfor. Hidtil har undersøgelser vist at optag af nitrat og opløst fosfor i plantebiomassen kun kan forklare ganske få procent af stoftilbageholdelsen (Fjorback et al, 2003 og Svendsen et al, 2008). Endelig vil evt. nettoudsivning (eller evt. indsivningen) have væsentlig større betydning foret stoftab (eller stofgevinst) over en plantelagune med høj opholdstid og lav hydraulisk belastning pr. m² plantelagune.

En tæt korrelation mellem en variabel og responsvariablen er ikke et bevis for en årsagssammenhæng, men der er gode forklaringer på vigtigheden for de fleste signifikante variable. Da især model 1 dambrugene er forskelligt indrettede, renseforanstaltningerne ikke er placeret i samme rækkefølge på dambrugene samt der er nogen usikkerhed på de fastlagte udledninger grundet bl.a. problemstillingerne omkring fastlæggelse af vandmængder, vil der altid være en variation i nettorensgrader og nettostofudledninger som ikke vil kunne forklares fuldt ud. Samtidig vil betydningen af de enkelte renseforanstaltninger variere, både ift. hvor meget stof der er at fjerne (man kan kun fjerne stoffet en gang), hvilke driftsforhold de udsættes for osv. Et resultat som kan fremhæves vedrører opholdstiden i plantelagunerne, hvor der tilsyneladende er en grænse på 100-120 timer for hvor stor opholdstiden kan være for at øge BI_5 fjernelsen over disse (se sidste figur i bilag 7). Da størstedelen af BI_5 omsættes indenfor 1-2 dage (Fjorback et al., 2003) er dette ikke overraskende, og inden det meste BI_5 når frem til plantelagunen har det opholdt sig fra en til nogle timer i produktionsanlægget. Den fulde opholdstid i en plantelagune udnyttes dog næppe dels grundet præference strømninger dels fordi det kræver at alt vand tilføres helt opstrøms i plantelagunen.

Der er andre variable som har signifikant betydning for nettostofudledninger og nettorensgrader. De findes både ved de simple korrelationer med forklarende variable og med multiple regressionsanalyser, hvor en kombination af flere variable giver den bedst mulige forklaringsgrad. På basis heraf er der i kapitel 7 opstillet signifikante relationer mellem både nettoudledninger og -rensgrader og kombinationer af nogle få variable,

som kan forklare langt størstedelen af den fundne variation. De angivne udtryk kan anvendes til at få et rimeligt godt og let opnåeligt bud på de forventede udledninger af forskellige stoffer, når man har oplysninger om de variable, der er angivet i de opstillede formler. For nettorensgraden (NRG) findes følgende væsentlige forklarende variable:

- NH_4 -kvælstof: NRG stiger med øget samlet opholdstid og øget koncentration af $\text{NH}_4\text{-N}$ i indtagsvand og falder med øget vandforbrug pr. kg produceret fisk
- Total kvælstof: NRG stiger med højere samlet opholdstid og opholdstiden i plantelagune, øget laguneareal og plantedækningsdækningsgrad samt når stof i vandindtag udgør stigende andel af produktionsbidraget, men falder med højere vandforbrug pr. kg produceret fisk
- Total fosfor: NRG stiger med øget samlet opholdstid og øget variationskoefficient i total fosfor koncentrationen i indtagsvandet
- BI_5 : NRG stiger med øget opholdstid, stigende koncentration af BI_5 i indtagsvandet og når stof i vandindtag udgør stigende andel af produktionsbidraget, men falder med øget vandforbrug pr. kg produceret fisk

For nettostofudledningerne findes generelt de samme responsvariable men med modsat fortegn.

Trods den usikkerhed der er på data og en række forhold som giver relativ stor spredning i resultaterne for især model 1 dambrugene kan der opstilles simple relationer, der kan forklare en overraskende meget høj grad af variationen i nettoudledninger og nettorensgraderne. Der er forklaringsgrader på 85-95 % på nær for total fosfor, hvor den er op til 80 %. Ud over opholdstiden (enten over plantelagunen, produktionsanlæg eller i alt over dambruget) og vandforbruget pr. kg produceret fisk har -variable relateret til stofindtaget med friskvandet, som koncentrationen i indtagsvandet eller variationen heri og andel af stof med indtagsvandet i % af produktionsbidraget betydning for nettostofudledninger pr. kg produceret fisk og nettorensgraderne. Det indikerer tydeligt for model 1 dambrugene at jo mere især partikulært stof som kommer med friskvandsindtaget (åvand) ift. produktionsbidraget jo større betydning får dette for den samlede nettorensgrad, da en stor andel af dette stof fanges i renseforanstaltningerne og bidrager til høje nettorensgrader. De høje nettorensgrader fra model 1 dambrugene siger derfor ikke entydigt noget om, hvor stor en andel af produktionsbidraget de fjerner sammenlignet med model 3 dambrugene, hvor stoffbidraget med friskvandet er så lavt at den stoftilbageholdelse/-omsætning der sker hovedsageligt er på produktionsbidraget.

Hvis model 1 dambrugene på sigt anvender mindre åvand og mere grundvand vil det kunne betyde at nettorensgraden kan falde, selv om der samtidigt kan være en større andel af produktionsbidraget som bliver tilbageholdt/omsat over dambruget. Omlægning til anvendelse af grundvand vil dog alt andet lige betyde at man vil reducere vandforbruget pr. kg produceret fisk ved recirkulering og øge opholdstiden samt optimere eller øge renseindsatsen, således at der fortsat opnås pæne nettorensgrader for de fleste kemiske parametre og udledningerne vil over året blive mere stabile og dambrugene vil samlet performe mere ensartet. De 10 model 1 dambrug som har indgået i undersøgelsen har haft store

plantelaguner ift. produktionen og den hydrauliske belastning har været lav og det har helt klart medvirket til de fine rensegrader, som er målt.

Afslutningsvist skal det understreges at det er afgørende nødvendigt at øge bestemmelsen på sikkerheden af nettoudledningerne og nettorensgraderne ved at måle kontinuert på vandmængderne og tage et tilstrækkeligt antal vandkemiske prøver i ind- og afløb fra dambrug. Der anbefales typisk 26 pr. år i udløb og tilsvarende i indløb hvor der anvendes vandløbsvand eller 12 ved grund- og drænvand (Svendsen et al., 2008). Der kan opnås meget ved at få målt vandmængderne kontinuert, idet netop usikkerheden på vandmængderne har været den største usikkerhedskilde under dette projekt.

Det vil være hensigtsmæssigt mere målrettet at afklare hvor stor betydningen stoffjernelse/omsætning over produktionsanlægget har sammenlignet med den tilsvarende over plantelagunerne for model 1 dambrug. Det er ikke muligt ud fra de eksisterende data at vurdere betydningen af netto ind/udsivning af vand og stof over plantelagunerne som på model 3 dambrugene under forsøgsprojektet havde nogen betydning for stoftab (Svendsen et. al, 2008). For de fleste model 1 dambrug antages netto ind-/udsivning at spille knap så stor en rolle grundet det noget større vandforbrug pr. kg produceret fisk og den lavere opholdstid over plantelaguerne sammenlignet med model 3, men reducerer model 1 dambrugene fremover vandforbruget og øger opholdstiden vil det kunne få øget betydning. Størstedelen af det stof der følger med nedsivningsvandet forventes dog ikke at nå ud til overfladevandet, men antages ved øget brug af dræn- og grundvand genindvundet eller omsat/bundet i jordlagene under plantelagunerne (Svendsen et al., 2008).

Foto 16. Vandløbsagtige kanaler ved afløb fra plantelagune ved Høghøj Dambrug. Foto: Lars M. Svendsen.



9 Referencer

Bekendtgørelse om Ferskvandsdambrug, BEK nr. 1325 af 20/11/2006. Internet: <https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=12998>

Bekendtgørelse om Modeldambrug, BEK nr. 1327 af 20/11/2006. Internet: <https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=13002>

Bekendtgørelse om modeldambrug type 3 eller lignende anlæg. BEK nr. 478 af 10/05/2011: Internet: <https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=137112>

By- og Landskabsstyrelsen (2010). Punktkilder 2009. By- og Landskabsstyrelsen, 111 p.

Dalsgaard, J., Pedersen, P. 2011. Solid and suspended/dissolved waste (N, P, O) from rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture 313 (1-4): 92-99.

Dansk Akvakultur, DTU Aqua, DHI, DMU Aarhus Universitet, Billund Akvakulturservice ApS, Københavns Universitet, DTU Food, BioMar A/S 2011. Dambrugsteknologi. Optimering af driften på etablerede modeldambrug og fortsat videreudvikling af recirkuleringsteknologien. Dansk Akvakultur, 22 pp.

Fjorback, C., Larsen, S.E., Skriver, J., Svendsen, L.M., Nielsen, P. & Riis-Vestergaard, J. (2003): Forsøgsprojekt Døstrup Dambrug. Resultater og konklusioner. Danmarks Miljøundersøgelser. 272 s – Faglig rapport fra DMU nr. 260.

Janning, K., Petersen, P.B., Michelsen, K. og Olsen, B.H. 2011. Optimeret nitrifikation i biofiltre på modeldambrug, type 3. Dansk Akvakultur. Rapport januar 2011, 47 pp.

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

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

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

Snedecor, G. W. and Cochran, W. G. (1989) Statistical Methods. Iowa State University Press. Ames, Iowa.

Suhr, K.I. og Pedersen, P.B. (2011): Dambrugsteknologi – reduktion af kvælstofudledning fra Modeldambrug: Test af denitrifikationsfiltre. DTU Aqua, Danmarks Tekniske Universitet. DTU Aqua rapport nr. 234-2011, 35 pp.

Svendsen, L.M., Sortkjær, O., Ovesen, N.B., Skriver, J., Larsen, S.E., Bouterup, S., Pedersen, P.B., Rasmussen, R.S., Dalsgaard, A.J.T., Suhr, K., 2008. Modeldambrug under forsøgsordningen. Faglig slutrapport for måle- og dokumentationsprojekt for modeldambrug. DTU Aqua, Technical University of Denmark. DTU Aqua-rapport nr. 1993-08, 226 p.

Ter Braak, C J F, Smilauer, P (1998) CANOCO Reference Manual and User's Guide to Canoco for Windows. Software for Canonical Community Ordination (version 4).

Waagbø, R., Espe, M., Hamre, H, Lie, Ø. (red). 2001. Fiskeernæring. Kystnæringen Forlag & Bokklubb AS.

Bilag 1 Nøgleoplysninger indretning, drift og plantelaguner

Sammenstilling af nøgletal for de 10 model 1 og 5 model 3 dambrug vedr. måleperiode, vandindvindingsstype (1 = åvand, 2 = dræn/grundvand og 3 = kombination af 1 og 2), vandafledning, vandbehandling, vandforbrug pr. 100 tons foder, hydraulisk belastning plantelagune (antal m² lagune pr. l/s), karakteristik af dambruget ift. indretning, opholdstider, plantelagunetype (1 = forbundne damme som mæandrerende vandløb, 2 = søer, 3 = 1 og 2 mest 1, 4 = 1 og 2 mest 2), plantelagunestørrelse og plantedækningsgrader m.v.

Nr.	Periode start	Periode slut	Indv. til-ladelse	Ind type	Vand-udledn. l/s	Med. Min. nedst. l/s	Vandbe-handling *	Lagune										Dæk-nings grad i alt %	Dæk-nings grad i alt %	Bio-filter areal m2	Mikro-slam-bed sigter	
								Lagune type	Lagune areal målt m2	Lagune gens. dybde m	Lagune areal/ Opholds-areal/ anvendt foder m² pr. ton	Opholdstid i alt timer	Prod. anlæg timer	Vand til lagune m² pr. l/s	Dæk-nings grad %	Dæk-nings grad %	Dæk-nings grad %					
m1	01-04-2008	31-03-2009	131,3	2	6	190	kalk	1	6300	0,8	37,3	233,3	25	258,3	1050	15	15	75	105	nej	2	630
m2	01-10-2009	30-09-2010	197	1	40	68	kalk	3	7260	0,7	47,8	35,3	11,1	46,4	182	29	33	48	110	110000	ja	ja
m3	01-02-2008	31-01-2009	15	1	15	170	nej	4	3900	0,8	28,3	57,8	66	123,8	260	20	49	0	69	92160	ja	ja
m4	01-11-2007	31-10-2008	150	1	150	345	nej	4	8160	0,9	43,6	13,6	1,1	14,7	54,4	11	18	3	32	150000	2	ja
m5	01-01-2007	31-12-2007	80	3	60	130	nej	4	4670	0,7	34,4	15,1	13,2	28,3	77,8	56	14	36	106	nej	ja	200
m6	01-06-2007	31-05-2008	236	3	190	485	nej	2	11500	0,9	56,8	15,1	12	27,1	60,5	67	19	42	128	nej	ja	ja
m7	01-01-2010	31-10-2010	80	3	50	130	nej	4	4670	0,7	41,4	18,2	13,2	31,4	93,4	56	14	36	106	nej	ja	200
m8	01-02-2007	31-01-2008	15	1	15	170	nej	4	3900	0,8	26,7	57,8	66	123,8	260	20	49	0	69	92160	ja	ja
m9	01-09-2005	31-07-2006	380	1	285	410	nej	2	14000	0,85	72,4	11,6	2,0	13,6	49,1	76	7	9	92	nej	3	500
m10	01-04-2009	31-08-2010	150	1	150	345	nej	4	8160	0,9	36,5	13,6	1,1	14,7	54,4	11	18	3	32	150000	2	ja
m11	01-01-2010	31-10-2010	131,3	2	7,6	190	kalk	1	6300	0,8	55,7	184,2	19,7	203,9	829	15	15	75	105	nej	2	630
m12	01-07-2006	30-06-2007	181	3	118	547	nej	3	9240	0,9	47,3	19,6	1,0	20,6	78,3	14	20	34	68	nej	ja	ja
m13	01-08-2008	31-07-2009	236	3	190	485	nej	2	11500	0,9	48,3	15,1	12	27,1	60,5	67	19	42	128	nej	ja	ja
m14	01-05-2006	30-04-2007	199	1	199	45	nej	4	12920	0,9	64,9	16,2	1,0	17,2	64,9	24	18	7	49	nej	ja	ja
m15	01-08-2009	31-07-2010	236	3	183	485	nej	2	11500	0,9	46,0	15,7	12	27,7	62,8	67	19	42	128	nej	ja	ja
m16	01-04-2009	31-03-2010	15	1	15	170	nej	4	3900	0,8	21,5	57,8	66	123,8	260	20	49	0	69	92160	ja	ja
m17	01-10-2004	30-09-2005	170	3	75	213	nej	1	4560	0,75	42,5	12,7	0,7	13,4	60,8	0	31	48	79	nej	nej	585
m18	01-06-2006	31-05-2007	236	3	202	485	nej	2	11500	0,9	59,9	14,2	12	26,2	56,9	67	19	42	128	nej	ja	ja

Nr.	Periode start	Periode slut	Indv. til-ladelse	Ind type	Vand-udledn.	Med. Min. nedst.	Vandbe-handling	Lagune type	Lagune areal målt m2	Lagune gens. dybde m	Lagune areal/Opholds-				Vand til lagune m ² pr. l/s	Dæk-nings grad	Dæk-nings grad	Dæk-nings grad	Dæk-grad i alt	Bio-filter areal m2	Mikro-sigter bed	Slam-bed m ³
											anvendt foder	tid lagune timer	prod. anlæg timer	tid i alt timer								
s1	01-06-2008	31-05-2009	131	2	86,8	1781	nej	1	14800	0,9	16,3	42,6	24	66,6	171	10	36	25	71	440000	ja	2000
s2	01-09-2009	31-08-2010	45	2	26,5	330	okkerbeh.	1	6700	0,8	16,1	56,2	31	87,2	253	50	10	35	95	175000	ja	1000
s3	01-09-2008	31-08-2009	80	2	55	1610	kalk, salt og okkerbeh.	3	12268	0,9	17,9	55,8	42	97,8	223	3	23	26	52	318000	ja	600
s4	01-09-2007	31-08-2008	83	2	29,2	1080	nej	2	3425	0,8	11,5	26,1	45	71,1	117	0	13	66	79	150000	ja	800
s5	01-06-2007	31-05-2008	131	2	94	1781	nej	1	14800	0,9	16,7	39,4	24	63,4	157	10	36	25	71	440000	ja	2000
s6	01-08-2008	31-07-2009	45	2	26,7	330	okkerbeh.	1	6700	0,8	17,5	55,8	31	86,8	251	50	10	35	95	175000	ja	1000
s7	01-01-2009	31-12-2009	60	2	18,3	830	kalk og okker-anlæg	2	15600	0,8	26,9	189,4	72,0	261,4	853	22	39	77	138	400000	ja	800
s8	01-09-2007	31-08-2008	80	2	45	1610	kalk, salt og okkerbeh.	3	12268	0,9	19,6	68,2	42	110,2	273	3	23	26	52	318000	ja	600

Bilag 2 Lagunekarakteristik

Overordnet beskrivelse af plantelagunernes indretning, hvilke plantearter der forekommer og hvilke der er dominerende. Størrelse og dimensioner af plantelagunerne og dækningsgrader fremgår af bilag 1. Oplysningerne er baseret på opmålinger i sensommeren 2010 og for enkelte dambrug for opmålinger under forsøgsprojektet for model dambrug 3 (Svendsen et al, 2008).

Dambrug nr.	Indretning	Plantearter	Dominerende plantearter
2	19 jorddamme, 1 kanal og en kanalagtig lagune	Brøndkarse, Dunhammer, Lodden Dueurt, Lysesiv, Padderok, Svømmende Vandaks, Manna-Sødgræs og Høj Sødgræs, Vandranunkel, Vandstjerne	Andemad, Vandpest og Manna-Sødgræs
3	2 lange parallelle kanaler	Andemad, Dunhammer, Lodden Dueurt, Pindsvineknop, Svømmende Vandaks, Manna-Sødgræs og Høj sødgræs, Vandpest, Vandstjerne	Brøndkarse og Svømmende Vandaks
5	2 lang2 kanalagtige laguner, 2 søer hvoraf den store delt i to	Andemad, Berula, Brøndkarse, Dunhammer, Lodden Dueurt, Lysesiv, Pindsvineknop, Svømmende Vandaks, Sødgræs og Vandstjerne	Vandstjerne og Andemad
6	1 bundfældningsbassin, 2 jorddamme, et samle bassin, 2 brede laguner og 2 smalle dele af brede laguner	Andemad, Berula, Dunhammer, Lodden Dueurt, Lysesiv, Pindsvineknop, Svømmende Vandaks, Manna-Sødgræs og Vandstjerne	Vandstjerne, Pindsvineknop og Berula
8	Bundfældningsbassin, 3 søer-laguner af forskellige størrelse, føde- og bagkanaler, 25 jorddamme	Andemad, Berula, Brøndkarse, Dunhammer, Lodden Dueurt, Pindsvineknop, Kruset Vandaks, Manna-Sødgræs, Høj Sødgræs, Vandpest	Andemad, Vandpest og Brøndkarse
9	19 jorddamme	Andemad, Brøndkarse, Dunhammer, Pindsvineknop	Andemad og Brøndkarse
11	2 store sølaguner	Andemad, Dunhammer, Lodendueurt, Pindsvineknop, Lysesiv, Manna-Sødgræs, Tagrør, Svømmende Vandaks, Vandpest, Vandranunkel, Vandstjerne	Vandstjerne, Vandpest og Svømmende Vandaks
12	3 store sølaguner	Andemad, Dunhammer, Pindsvineknop, Kruset Vandaks, Svømmende Vandaks, Manna-Sødgræs, Tagrør, Vandpest, Vandstjerne	Andemad, Vandpest og Pindsvineknop
14	18 jorddamme, 1 føde og 1 bagkanal, og søagtig lagune med slyngninger	Andemad, Brøndkarse, Dunhammer, Eng-Forglemmigej, Lodden Dueurt, Lysesiv, Pindsvineknop, Kruset Vandaks, Manna-Sødgræs, Høj Sødgræs, Vandpest, Vandranunkel, Vandstjerne	Andemad, Manna-Sødgræs og Vandstjerne
15	Jorddamme, 1 sø lagune, 1 bundfældningsbassin og kanaler	Andemad, Brøndkarse, Dunhammer, Lodden Dueurt, Pindsvineknop, Kruset Vandaks, Vandranunkel, Manna-Sødgræs Høj-Sødgræs, Vandpest, Vandranunkel	Vandpest, Brøndkarse og Høj Sødgræs

Dambrug nr.	Indretning	Plantearter	Dominerende plantearter
1	Fødekanal, 19 jorddamme, bagkanal, kanal, sø-lagune	Andemad, Lodden Dueurt, Pindsvineknop, Svømmende Vandaks, Manna-Sødgræs og Høj Sødgræs, Vandpest, Vandstjerne, Ærenpris	Andemad, Manna-Sødgræs og Høj Sødgræs
4	Føde og bagkanal, 2 sølaguner, forbindelseskanaaler og 51 jorddamme	Andemad, Lodden Dueurt, Pindsvineknop, Manna-Sødgræs og Høj Sødgræs, Smalbladet-mærke, Trådalger, Vandpest	Manna- og Høj Sødgræs og Liden Andemad
7	4 sølaguner	Andemad, Brøndkarse, Dunhammer, Lodden Dueurt, Pindsvineknop, Lysesiv, Manna-Sødgræs og Høj Sødgræs, Tagrør, Vandpest, Vandstjerne, Vejbred Skeblad	Manna-Sødgræs, Høj Sødgræs, Andemad og vandpest
10	Føde og bagkanal, sølagune og 22 jorddamme af varierende størrelse	Andemad, Lodden Dueurt, Manna-Sødgræs og Høj Sødgræs, Smalbladet mærke, Svømmende Vandaks, Trådalger, Vandpest, Vandstjerne	Manna- og Høj Sødgræs, Andemad og vandstjerne
13	3 store sølaguner	Andemad, Dunhammer, Lysesiv, Pindsvineknop, Manna-Sødgræs og Høj Sødgræs, Ærenpris	Andemad og Manna-Sødgræs

Bereg- nings- Nr.	Perio.	Måleperiode	Fodertype	Pille-	Foder-	Fiske-	COD (kg/ton produce- ret.fisk)						Bl5 (kg/ton produceret fisk)				Kvælstof (N, kg/ton pro- duceret fisk)				Fosfor (P, kg/ton prod. fisk)			
				stør.	forb.	prod.	Total	Part.	Opføst/ susp	COD	COD	Opføst/ Total	Partik.	Opføst/ NH4-N	Urin- stof	susp. N	Andre opløst/TP	Ortho-P						
				mm	kg	kg	%	spild	%	spild	%	spild	%	spild	%	spild	%	spild	%					
m1a	01-04-08	30-03-09	Ecolife 20	3	43711	0,91	48034	1	250,9	183,8	67,1	76,7	43,1	33,6	38,0	3,9	34,1	24,5	3,4	6,1	3,9	2,9	1,0	
m1b	01-04-08	30-03-09	1290 biomar/alfa 790	3	125368	0,91	137767	1	254,4	186,1	68,3	77,5	43,4	34,2	36,6	5,8	30,8	22,2	3,1	5,5	3,9	2,9	1,0	
m2	01-10-09	30-09-10	Biomar 920	3	151875	0,88	172585	1	242,6	177,7	64,9	74,2	41,7	32,5	35,9	3,8	32,1	23,1	3,2	5,8	3,6	2,8	0,8	
m3	01-02-08	31-01-09	Ecolife 20	3 og 4.5	138009	0,97	142534	1	262,7	192,4	70,2	80,4	45,2	35,1	40,8	4,1	36,7	26,4	3,7	6,6	4,4	3,0	1,4	
m4	01-11-07	31-10-08	Ecolife 20	3	187000	0,95	197000	1	261,7	191,7	70,0	80,0	45,0	35,0	40,8	4,1	36,7	26,5	3,7	6,6	4,2	3,0	1,3	
m5	01-01-07	31-12-07	Biomar 920	**	135750	0,92	147554	1	244,5	179,2	65,3	74,8	42,2	32,7	42,1	4,2	37,9	27,3	3,8	6,8	4,0	2,9	1,1	
m6	01-06-07	31-05-08	Aller Elips	3 og 4*	202420	1,00	202420	1	234,1	172,2	61,9	72,4	41,5	30,9	47,7	4,5	43,2	31,1	4,3	7,8	5,1	3,3	1,8	
m7	01-01-10	31-10-10	Biomar 920	**	112775	0,90	125306	1	250,4	183,4	67,0	76,5	43,0	33,5	36,3	3,8	32,4	23,4	3,2	5,8	3,8	2,8	1,0	
m8	01-02-07	31-01-08	Ecolife 20	3 og 4.5	145860	0,94	155815	1	249,3	182,6	66,6	76,3	43,0	33,3	43,0	4,2	38,7	27,9	3,9	7,0	4,1	2,9	1,2	
m9a	01-09-05	31-07-06	Ecolife 19	3	115800	0,91	127956	1	198,0	145,8	52,2	61,4	35,3	26,1	42,0	4,2	37,8	27,2	3,8	6,8	3,8	2,9	1,0	
m9b	01-09-05	31-07-06	Ecolife 20	3	77200	0,91	85304	1	202,9	149,3	53,5	62,8	36,1	26,8	42,0	4,2	37,8	27,2	3,8	6,8	3,8	2,9	1,0	
m10	01-04-09	31-08-10	EficoEnviro 920		223500	1,01	220700	1	279,2	204,5	74,7	85,3	48,0	37,4	45,4	4,4	41,0	29,5	4,1	7,4	4,8	3,2	1,6	
m11	01-01-10	31-10-10	Alfa 790 Biomar	3	113147	0,91	124337	1	264,3	193,3	71,1	80,4	44,9	35,5	36,6	5,8	30,8	22,2	3,1	5,5	3,9	2,9	1,0	
m12	01-07-06	30-06-07	Ecolife19&20 (begge 3 & 4.5 mm)+350 kg Aquavet (2mm))+1000 kg Ecolife 19, 6 mm	3-4.5	195350	0,97	201100	1	223,0	164,0	59,0	68,9	39,4	29,5	45,8	4,4	41,4	29,8	4,1	7,4	4,4	3,1	1,4	

Bereg- nings. Nr.	Perio.	Måleperiode	Fodertype	Pille- stør.	Foder- forb.	FK	Fiske- prod.	kg	spild %	COD (kg/ton produce- ret.fisk)				B15 (kg/ton produceret fisk)				Kvælstof (N, kg/ton pro- duceret fisk)				Fosfor (P, kg/ton prod- fisk)									
										Total		Part. opløst/ susp		Total		Partik.		Opløst/Total N		B15susp. B15		Partik.		Opløst/ NH4-N		Urin- opløst/ Andre		TP		Part. Ortho-P	
										COD	COD	COD	COD	B15	B15	COD	COD	B15	B15	N susp.	N susp.	Stof.	susp. N	P	P						
m13	01-08-08	31-07-09	Aller Elips	3 og 4*	237880	1,00	237880	1,00	237880	1	234,1	172,2	61,9	72,4	41,5	30,9	47,7	4,5	43,2	31,1	4,3	7,8	5,1	3,3	1,8						
m14	01-05-06	30-04-07	Ecolife 19&20 (begge 3 & 4.5 mm)+8000 kg Ecolife 19, 6mm	3-4.5	199121	0,99	201133	0,99	201133	1	226,5	166,6	59,9	70,0	40,1	29,9	47,4	4,5	42,9	30,9	4,3	7,7	4,6	3,1	1,5						
m15	01-08-09	31-07-10	Aller Elips	3 og 4* 3 og 4.5	250170	1,00	250170	1,00	250170	1	234,1	172,2	61,9	72,4	41,5	30,9	47,7	4,5	43,2	31,1	4,3	7,8	5,1	3,3	1,8						
m16	01-04-09	31-03-10	Ecolife 20	4.5	181450	0,98	185153	0,98	185153	1	270,2	198,0	72,2	82,7	46,5	36,1	42,7	4,2	38,5	27,7	3,9	6,9	4,7	3,1	1,5						
m17	01-10-04	30-09-05	Ecolife 19 (3 & 4.5 mm)+1200 kg Aquavet (2mm)+6850 kg Biooptimal start (1.5 mm)	3-4.5	107275	0,85	126205	0,85	126205	1	175,8	129,7	46,1	54,8	31,7	23,1	37,4	3,9	33,5	24,1	3,4	6,0	3,4	2,7	0,7						
m18	01-06-06	31-05-07	Aller Elips	3 og 4*	191865	1,00	191865	1,00	191865	1	234,1	172,2	61,9	72,4	41,5	30,9	47,7	4,5	43,2	31,1	4,3	7,8	5,1	3,3	1,8						
s1a	2008	01-06-08	31-05-09	Aller 576	3	901275	0,79	1137000	1	223,1	163,3	59,8	68,0	38,1	29,9	29,6	29,6	4,0	25,6	18,4	2,6	4,6	3,2	2,6	0,5						
s1b	2009		Aller 576	3	914500	0,86	1069000	0,86	1069000	1	240,8	176,2	64,6	73,4	41,1	32,3	34,1	4,3	29,8	21,4	3,0	5,4	3,7	2,8	0,9						
s2	2009	01-08-09	31-07-10	Aller 576	3	415735	0,99	421442	1	277,7	203,2	74,5	84,7	47,4	37,2	43,5	43,5	5,0	38,6	27,8	3,9	6,9	5,0	3,2	1,7						
s3a	2008	01-09-08	31-08-09	Aller 576	3	664430	0,92	723000	1	258,7	189,3	69,4	78,9	44,2	34,7	38,7	38,7	4,6	34,0	24,5	3,4	6,1	4,3	3,0	1,3						
s3b	2009		Aller 576	3	693000	0,90	769000	0,90	769000	1	253,6	185,6	68,0	77,3	43,3	34,0	37,4	4,5	32,8	23,6	3,3	5,9	4,2	3,0	1,2						
s4	01-09-07	31-08-08	Forskelligt Aller foder	2-4	298161	0,99	302465	0,99	302465	1	272,8	199,7	73,1	83,3	46,8	36,5	44,0	5,2	38,8	27,9	3,9	7,0	5,0	3,2	1,7						
s5	2007	01-06-07	30-05-08	Aller 576	3	879670	0,87	1007000	1	245,9	179,9	66,0	75,0	42,0	33,0	35,4	35,4	4,4	31,0	22,3	3,1	5,6	3,9	2,9	1,0						
s6	2008	01-08-08	31-07-09	Aller 576	3	334660	0,99	338405	1	278,3	203,7	74,7	84,9	47,5	37,3	43,7	43,7	5,0	38,7	27,9	3,9	7,0	5,0	3,3	1,7						
s8	2007	01-09-07	31-08-08	Aller 576	3	545000	0,85	638000	1	240,4	175,9	64,5	73,3	41,1	32,2	34,0	34,0	4,3	29,7	21,4	3,0	5,3	3,7	2,8	0,9						
	01-01-09	31-12-09	PrimærtBlomar Alpha 790 (= 2-3 mm Aqualife R90)	Primaert	579834	0,97	595000	0,97	595000	1	273,4	200,0	73,4	83,3	46,6	36,7	41,8	6,0	35,8	25,8	3,6	6,4	4,6	3,1	1,5						

Tabel 3.b. Produktionsbidrag opdelt på de forskellige stoffer.

Dambrug	Måleperiode			COD (kg)			B15 (kg)			Kvælstof (N, kg)			Fosfor (P, kg)		
	Start	Slut	Total	Part.	Opløst/susp	Total	Part.	Opløst/susp	Total	Part.	Opløst/susp	Total	Part.	Opløst/susp	Total
<i>Type 1 dambrug</i>															
2	01/04/08	30/03/09	12174	8916	3258	3721	2092	1629	1826	189	1637	187	138	49	
	01/04/08	30/03/09	35406	25899	9507	10786	6033	4753	5037	794	4243	536	395	141	
	01/04/09	31/12/09	6367	4657	1709	1940	1085	855	906	143	763	96	71	25	
	01/01/10	31/10/10	33199	24272	8927	10100	5636	4464	4546	717	3829	484	356	127	
3	01/02/07	31/01/08	39229	28745	10484	12005	6763	5242	6696	659	6037	643	459	183	
	01/02/08	31/01/09	37816	27706	10110	11569	6514	5055	5813	584	5229	629	435	194	
	01/04/09	31/03/10	49691	36407	13284	15202	8560	6642	7780	767	7013	850	572	279	
5	01/01/07	31/12/07	36441	26702	9739	11152	6283	4869	6211	616	5595	587	428	160	
	01/01/10	31/10/10	31689	23207	8482	9683	5442	4241	4544	479	4065	476	355	121	
6	2008		52081	38143	13938	15917	8948	6969	8047	808	7239	836	589	247	
	2009		62247	45589	16659	19024	10695	8329	10023	966	9057	1062	704	358	
8	01/07/06	30/06/07	45360	33363	11997	14019	8020	5999	9215	885	8330	892	615	277	
9	01/10/04	30/09/05	22408	16531	5877	6980	4041	2939	4723	492	4232	423	338	85	
11	01/09/05	31/07/06	25586	18843	6743	7935	4563	3371	5375	534	4841	492	365	127	
	01/09/05	31/07/06	17481	12867	4614	5414	3107	2307	3583	356	3227	328	243	85	
12	01/06/06	31/05/07	45364	33375	11989	14031	8036	5995	9152	866	8286	983	633	350	
	01/06/07	31/05/08	47860	35211	12649	14803	8478	6324	9655	913	8742	1037	668	370	
	01/08/08	31/07/09	56244	41380	14864	17396	9964	7432	11347	1073	10274	1219	785	434	
	01/08/09	31/07/10	59150	43518	15632	18294	10478	7816	11933	1129	10804	1282	825	457	
14	01/10/09	30/09/10	42299	30979	11320	12927	7267	5660	6189	656	5533	625	478	146	
15	01/05/06	30/04/07	46009	33843	12166	14223	8140	6083	9543	904	8638	927	627	300	

Bilag 4 Produktionsbidrag pr. kg anvendt foder

Tabel A.4.1. Karakteristiske værdier for gennemsnit af produktionsbidraget pr. kg anvendt foder pr. måleår for de 10 model 1 dambrug. CV = variationskoefficienten.

	NH₄N g/kg anvendt foder	TN g/kg anvendt foder	TP g/kg anvendt foder	BI₅ g/kg anvendt foder
Gens.	28,7	44,5	4,4	77,5
Median	29,2	44,8	4,4	82,3
Standardafv.	2,4	3,0	0,4	7,4
Max.	31,2	47,9	5,1	89,3
Min.	24,4	40,2	3,9	65,1
CV	8,3	6,6	8,2	9,6
Standarderror	0,52	0,65	0,08	1,62

Tabel A.4.2. Karakteristiske værdier for gennemsnit af produktionsbidraget pr. kg foder pr. måleår for de 5 model 3 dambrug. CV = variationskoefficienten.

	NH₄N g/kg anvendt foder	TN g/kg anvendt foder	TP g/kg anvendt foder	BI₅ g/kg anvendt foder
Gens.	26,6	42,2	4,7	85,9
Median	26,1	41,8	4,6	86,7
Standardafv.	1,6	2,3	0,4	0,9
Max.	28,3	44,6	5,1	86,7
Min.	23,2	37,3	4,0	84,1
CV	6,2	5,5	7,4	1,0
Standarderror	0,52	0,73	0,11	0,28

NH ₄ -N	Start	Slut	Stof vand	Målt Udledn. NH4-N	Netto Udledn. NH4-N	Foder forbrug NH4-N	Fiske- prod. NH4-N	Foder prod. NH4-N	Foder Kvotient	Prod. bidrag NH4-N	Prod. bid. g pr. fisk	Vand udledt	Vand l pr. prod. fisk	Vand l/kg	Vand l/s pr. 100 tons anvendt-foder	Netto g pr. fisk	Stof ind i prod.bid.	Netto rense-grad	Konc. vand ind gens. spredn.	Konc. vand ud gens. spredn.
Nr.			ind														%	%	mg/l	mg/l
s1	01-06-2008	31-05-2009	1852	6319	4467	906785	1108667	0,82	21766	19,6	86,8	2469	10	4,0	8,5	79	0,679	0,184	2,420	1,230
s2	01-09-2009	31-08-2010	117	1365	1248	415735	421442	0,99	11699	27,8	26	1983	6	3,0	1,0	89	0,130	0,178	1,690	1,570
s3	01-09-2008	31-08-2009	639	6983	6344	683477	753667	0,91	18029	23,9	55	2301	8	8,4	3,5	65	0,386	0,316	4,070	1,600
s4	01-09-2007	31-08-2008	329	5245	4916	298161	302465	0,99	8441	27,9	29,2	3053	10	16,3	3,9	42	0,365	0,014	5,830	2,820
s5	01-06-2007	31-05-2008	2043	7376	5333	888672	1061167	0,84	21833	20,6	94	2794	11	5,0	9,4	76	0,682	0,107	2,500	0,801
s6	01-08-2008	31-07-2009	169	1926	1757	381954	386843	0,99	10755	27,8	26,7	2177	7	4,5	1,6	84	0,120	0,168	2,320	1,940
s7	01-01-2009	31-12-2009	60	965	905	579834	595000	0,97	15347	25,8	18,3	970	3	1,5	0,4	94	0,100	0,011	1,470	1,130
s8	01-09-2007	31-08-2008	1048	5741	4693	624620	694667	0,90	16360	23,6	45	2048	7	6,8	6,4	71	0,698	0,270	3,890	2,560

Bilag 5b. Som bilag 5a men for total kvælstof.

Total N	Start	Slut	Stof	Målt	Netto	Foder	Fiske-	Foder	Prod.	Prod. bid.	Vand	Vand	Vand	Vand	Netto	Konc.	Konc.	Konc.	Konc.
Nr.			vand ind	Udled. TN	Udled. TN	forbrug TN	prod. TN	kvotient TN	bidrag TN	g pr. kg. TN prod. fisk	udledt l pr. kg. prod. fisk	l/s	l/kg	foder	g/kg	i % prodbid.	Rense- grad	vand ind gens. spredn.	vand ud gens. spredn.
			kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	g/kg	l/s	l/kg	g/kg	l/s	g/kg	%	mg/l	mg/l	mg/l
m1	01-04-2008	31-03-2009	8301	1730	-6571	169079	185801	0,91	6863	36,9	6	1018	4	-35,4	121,0	196	5,90	0,99	9,4
m2	01-10-2009	30-09-2010	5840	9351	3511	151875	172585	0,88	6189	35,9	40	7309	26	20,3	94,4	43	4,70	0,45	7,6
m3	01-02-2008	31-01-2009	1660	2091	431	138009	142534	0,97	5813	40,8	15	3328	11	3,0	28,6	93	3,50	0,52	4,4
m4	01-11-2007	31-10-2008	11232	17137	5905	187000	197000	0,95	8047	40,8	150	24078	80	30,0	139,6	27	2,41	0,46	3,66
m5	01-01-2007	31-12-2007	3892	6247	2355	135750	147554	0,92	6211	42,1	60	12824	44	16,0	62,7	62	2,10	0,29	3,6
m6	01-06-2007	31-05-2008	24136	27001	2865	202420	202420	1,00	9655	47,7	190	29682	94	14,2	250,0	70	4,00	0,72	4,4
m7	01-01-2010	31-10-2010	2839	3705	866	112775	125306	0,90	4544	36,3	50	10481	44	6,9	62,5	81	0,10	0,32	2,9
m8	01-02-2007	31-01-2008	1608	2188	580	145860	155815	0,94	6696	43,0	15	3036	10	3,7	24,0	91	3,40	0,58	4,6
m9	01-09-2005	31-07-2006	34899	36931	2032	193300	213260	0,91	8958	42,0	285	38565	147	9,5	389,6	77	4,30	0,97	4,6
m10	01-04-2009	31-08-2010	15518	25922	10404	223500	220700	1,01	10023	45,4	150	30418	67	47,1	154,8	-4	2,33	0,35	3,84
m11	01-01-2010	31-10-2010	3882	-1520	-5402	113147	124337	0,91	4546	36,6	7,6	1605	7	-43,4	85,4	219	5,00	0,06	7,5
m12	01-07-2006	30-06-2007	56934	59094	2160	195350	201100	0,97	9215	45,8	118	18504	60	10,7	617,8	77	10,60	1,33	11,2
m13	01-08-2008	31-07-2009	25248	28054	2806	237880	237880	1,00	11347	47,7	190	25188	80	11,8	222,5	75	4,20	0,85	4,7
m14	01-05-2006	30-04-2007	70637	72318	1681	199121	201133	0,99	9543	47,4	199	31202	100	8,4	740,2	82	11,30	1,65	11,6
m15	01-08-2009	31-07-2010	27446	29227	1781	250170	250170	1,00	11933	47,7	183	23069	73	7,1	230,0	85	5,10	1,30	5,4
m16	01-04-2009	31-03-2010	1632	2060	428	181450	185153	0,98	7780	42,0	15	2555	8	2,3	21,0	94	3,30	0,49	4,3
m17	01-10-2004	30-09-2005	26377	28967	2590	107275	126205	0,85	4723	37,4	75	18741	70	20,5	558,5	45	11,10	1,00	12,2
m18	01-06-2006	31-05-2007	26751	30042	3291	191865	191865	1,00	9152	47,7	202	33202	105	17,2	292,3	64	4,10	0,90	4,6
s1	01-06-2008	31-05-2009	4446	21865	17419	906785	1108667	0,82	34800	31,4	86,8	2469	10	15,7	12,8	50	1,60	0,46	8,2
s2	01-09-2009	31-08-2010	4308	5322	1014	415735	421442	0,99	18343	43,5	26	1946	6	2,4	23,5	94	3,94	0,26	6,43
s3	01-09-2008	31-08-2009	10955	16138	5183	683477	753667	0,91	28485	37,8	55	2301	8	6,9	38,5	82	6,30	0,68	9,3
s4	01-09-2007	31-08-2008	4112	13810	9698	298161	302465	0,99	13295	44,0	29,2	3053	10	32,1	30,9	27	4,50	0,22	15,2
s5	01-06-2007	31-05-2008	4821	22951	18130	888672	1061167	0,84	34802	32,8	94	2794	11	17,1	13,9	48	1,60	0,25	7,8
s6	01-08-2008	31-07-2009	4842	7513	2671	381954	386843	0,99	16862	43,6	26,7	2177	7	6,9	28,7	84	4,14	0,47	9,07
s7	01-01-2009	31-12-2009	183	7322	7139	579834	595000	0,97	24874	41,8	18,3	970	3	12,0	0,7	71	0,30	0,07	11,9
s8	01-09-2007	31-08-2008	8860	16969	8109	624620	694667	0,90	25869	37,2	45	2048	7	11,7	34,2	69	5,80	1,20	11,8

Bilag 5c. Som bilag 5a men for total fosfor.

Total P	Start	Slut	Stof	Målt	Netto	Foder	Fiske-	Foder	Vand	Prod.Prod. bid.	Vand	Vand	Vand	Netto udl	Stof ind	Netto	Konc.	Konc.	Konc.
Nr.			vand ind	Udled. TP	Udled. TP	forbrug TP	prod. TP	kvotient TP	bidrag TP prod. fisk	kg	g/kg	l/s	l pr. prod. fisk	l/s pr. 100 tons anvendt-	i % prod.bid.	Rense-grad	Konc. vand ind	Konc. vand ind	Konc. vand ind
			kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	g/kg	l/s	l/kg	foder	%	%	mg/l	mg/l	mg/l
m1	01-04-2008	31-03-2009	62,5	46,5	-16	169079	185801	0,91	1059	5,7	-0,09	4	1018	4	5,9	102	0,043	0,026	0,370
m2	01-10-2009	30-09-2010	58,5	97,2	38,7	151875	172585	0,88	625	3,6	0,22	26	7309	26	9,4	94	0,048	0,017	0,029
m3	01-02-2008	31-01-2009	56,2	61,8	5,6	138009	142534	0,97	629	4,4	0,04	11	3328	11	8,9	99	0,120	0,058	0,082
m4	01-11-2007	31-10-2008	254,4	282,9	28,5	187000	197000	0,95	836	4,2	0,14	80	24078	80	30,4	97	0,058	0,031	0,010
m5	01-01-2007	31-12-2007	184,2	253,5	69,3	135750	147554	0,92	587	4,0	0,47	44	12824	44	31,4	88	0,114	0,098	0,064
m6	01-06-2007	31-05-2008	557,1	778,5	221,4	202420	202420	1,00	1037	5,1	1,09	94	29682	94	53,7	79	0,095	0,016	0,022
m7	01-01-2010	31-10-2010	156,4	189,7	33	112775	125306	0,90	476	3,8	0,27	44	10481	44	32,9	93	0,115	0,078	0,061
m8	01-02-2007	31-01-2008	38,2	35,4	-2,8	145860	155815	0,94	643	4,1	-0,02	10	3036	10	5,9	100	0,080	0,044	0,019
m9	01-09-2005	31-07-2006	481,9	484,1	2,2	193300	213260	0,91	820	3,8	0,01	147	38565	147	58,8	100	0,060	0,029	0,015
m10	01-04-2009	31-08-2010	404,1	513,2	109	223500	220700	1,01	1062	4,8	0,49	67	30418	67	38,1	90	0,061	0,043	0,022
m11	01-01-2010	31-10-2010	170,9	32,6	-138	113147	124337	0,91	689	5,5	-1,11	7	1605	7	24,8	120	0,180	0,221	0,082
m12	01-07-2006	30-06-2007	827,3	1057,2	229,9	195350	201100	0,97	892	4,4	1,14	60	18504	60	92,7	74	0,154	0,036	0,041
m13	01-08-2008	31-07-2009	588	840,4	252,4	237880	237880	1,00	1219	5,1	1,06	80	25188	80	48,2	79	0,098	0,025	0,040
m14	01-05-2006	30-04-2007	927,2	1101,2	174	199121	201133	0,99	927	4,6	0,87	100	31202	100	100,0	81	0,143	0,042	0,036
m15	01-08-2009	31-07-2010	765,9	871,7	105,8	250170	250170	1,00	1282	5,1	0,42	73	23069	73	59,7	92	0,150	0,089	0,027
m16	01-04-2009	31-03-2010	50,6	84,1	33,5	181450	185153	0,98	850	4,6	0,18	8	2555	8	6,0	96	0,124	0,105	0,115
m17	01-10-2004	30-09-2005	201,1	325,2	124,1	107275	126205	0,85	423	3,4	0,98	70	18741	70	47,5	71	0,085	0,028	0,038
m18	01-06-2006	31-05-2007	627,6	838,4	210,8	191865	191865	1,00	983	5,1	1,10	105	33202	105	63,8	79	0,096	0,022	0,025
s1	01-06-2008	31-05-2009	754,9	1479,1	724,2	906785	1108667	0,82	5442	4,9	0,65	10	2469	10	13,9	87	0,282	0,111	0,555
s2	01-09-2009	31-08-2010	50,4	153	102,6	415735	421442	0,99	2925	6,9	0,24	6	1946	6	1,7	96	0,049	0,016	0,117
s3	01-09-2008	31-08-2009	224,4	1068,8	844,4	683477	753667	0,91	4507	6,0	1,12	8	2301	8	5,0	81	0,129	0,156	0,234
s4	01-09-2007	31-08-2008	101,9	1098	996,1	298161	302465	0,99	2110	7,0	3,29	10	3053	10	4,8	53	0,109	0,007	0,330
s5	01-06-2007	31-05-2008	749,6	1699,5	949,9	888672	1061167	0,84	5458	5,1	0,90	11	2794	11	13,7	83	0,250	0,049	0,567
s6	01-08-2008	31-07-2009	56,9	160,8	103,9	381954	386843	0,99	2889	7,0	0,27	7	2177	7	2,1	96	0,050	0,013	0,099
s7	01-01-2009	31-12-2009	51	90,6	39,6	579834	595000	0,97	3837	6,4	0,07	3	970	3	1,3	99	0,090	0,014	0,090
s8	01-09-2007	31-08-2008	233,6	710,3	476,7	624620	694667	0,90	4090	5,9	0,69	7	2048	7	5,7	88	0,159	0,115	0,499

Bilag 5d. Som bilag 5a men for BL_s.

BL _s	Start	Slut	Stof	Målt	Netto	Foder	Fiske-	Foder	Prod.Prod. bid.	Vand	udledt	I pr. kg.	Vand	Vand	Netto udl	Stof ind	Netto	Konc.	Konc.	Konc.
Nr.			vand ind	Udled. BL5	Udled. BL5	forbrug BL5	prod. BL5	kvotient	bidrag BL5	g pr. kg.	BL5 prod. fisk	prod. fisk	100 tons anvendt-	l/s pr	g pr. kg	i %	grad	Konc. ind	Konc. vand	Konc. vand
			kg	kg	kg	kg	kg		kg	g/kg	g/kg	l/s	l/kg	foder	g/kg	%	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
m1	01-04-2008	31-03-2009	959	478	-481	169079	185801	0,91	14507	78,1	6	1018	4	-2,6	6,6	103	0,676	0,295	3,000	2,240
m2	01-10-2009	30-09-2010	1205	2711	1506	151875	172585	0,88	12927	74,9	40	7309	26	8,7	9,3	88	0,990	0,343	2,200	0,990
m3	01-02-2008	31-01-2009	401	849	448	138009	142534	0,97	11569	81,2	15	3328	11	3,1	3,5	96	0,890	0,410	1,700	0,430
m4	01-11-2007	31-10-2008	3483	6975	3492	187000	197000	0,95	15917	80,8	150	24078	80	17,7	21,9	78	0,725	0,206	1,490	0,260
m5	01-01-2007	31-12-2007	1162	3662	2500	135750	147554	0,92	11152	75,6	60	12824	44	16,9	10,4	78	0,650	0,312	3,200	0,760
m6	01-06-2007	31-05-2008	5598	10498	4900	202420	202420	1,00	14803	73,1	190	29682	94	24,2	37,8	67	0,943	0,259	1,800	0,300
m7	01-01-2010	31-10-2010	2106	2505	399	112775	125306	0,90	9683	77,3	50	10481	44	3,2	21,7	96	1,540	1,370	1,900	0,450
m8	01-02-2007	31-01-2008	269	578	309	145860	155815	0,94	12005	77,0	15	3036	10	2,0	2,2	97	0,540	0,280	1,200	0,380
m9	01-09-2005	31-07-2006	8640	16047	7407	193300	213260	0,91	13349	62,6	285	38565	147	34,7	64,7	45	1,100	0,260	2,000	0,690
m10	01-04-2009	31-08-2010	5867	11535	5668	223500	220700	1,01	19024	86,2	150	30418	67	25,7	30,8	70	0,885	0,419	1,670	0,290
m11	01-01-2010	31-10-2010	981	534	-447	113147	124337	0,91	10100	81,2	7,6	1605	7	-3,6	9,7	104	0,890	0,438	2,700	0,980
m12	01-07-2006	30-06-2007	7532	12797	5265	195350	201100	0,97	14019	69,7	118	18504	60	26,2	53,7	62	1,400	64,000	2,500	1,140
m13	01-08-2008	31-07-2009	7914	12899	4985	237880	237880	1,00	17396	73,1	190	25188	80	21,0	45,5	71	1,310	0,467	2,100	0,880
m14	01-05-2006	30-04-2007	8851	13657	4806	199121	201133	0,99	14223	70,7	199	31202	100	23,9	62,2	66	1,400	0,580	2,210	0,950
m15	01-08-2009	31-07-2010	14251	17854	3603	250170	250170	1,00	18294	73,1	183	23069	73	14,4	77,9	80	2,500	0,510	2,400	0,820
m16	01-04-2009	31-03-2010	385	968	583	181450	185153	0,98	15202	82,1	15	2555	8	3,1	2,5	96	0,900	0,560	2,000	0,700
m17	01-10-2004	30-09-2005	3607	5298	1691	107275	126205	0,85	6980	55,3	75	18741	70	13,4	51,7	76	1,500	0,939	2,200	1,230
m18	01-06-2006	31-05-2007	6990	14029	7039	191865	191865	1,00	14031	73,1	202	33202	105	36,7	49,8	50	0,969	0,427	1,900	0,550
s1	01-06-2008	31-05-2009	1671	7087	5416	906785	1108667	0,82	78613	70,9	86,8	2469	10	4,9	2,1	93	0,615	0,159	3,040	0,770
s2	01-09-2009	31-08-2010	794	1410	616	415735	421442	0,99	36042	85,5	26	1946	6	1,5	2,2	98	0,769	0,205	1,720	0,895
s3	01-09-2008	31-08-2009	905	3868	2963	683477	753667	0,91	59253	78,6	55	2301	8	3,9	1,5	95	0,527	0,138	2,210	0,770
s4	01-09-2007	31-08-2008	347	4154	3807	298161	302465	0,99	25448	84,1	29,2	3053	10	12,6	1,4	85	0,360	0,153	4,600	2,100
s5	01-06-2007	31-05-2008	1892	7206	5314	888672	1061167	0,84	77042	72,6	94	2794	11	5,0	2,5	93	0,630	0,180	2,450	0,480
s6	01-08-2008	31-07-2009	411	2042	1631	381954	386843	0,99	33113	85,6	26,7	2177	7	4,2	1,2	95	0,305	0,145	2,530	1,190
s7	01-01-2009	31-12-2009	309	1754	1445	579834	595000	0,97	50059	84,1	18,3	970	3	2,4	0,6	97	0,530	0,240	3,000	1,200
s8	01-09-2007	31-08-2008	1136	3243	2107	624620	694667	0,90	54151	78,0	45	2048	7	3,0	2,1	96	0,750	0,287	2,240	0,700

Bilag 6 Biologisk vandkvalitet (DVFI) op- og nedstrøms dambrugene

Oversigt medbiologiske vandløbstilstand målt som Dansk Vandløbsfauna Indeks (DVFI) op- og nedstrøms for de 10 model 1 og 5 model 3 dambrug for en periode før og frem til efter ombygningen af dambrugene. Data er modtaget fra de kommuner dambrugene ligger i og faunabedømmelse for 2010 var i flere tilfælde ikke afsluttet da kommunerne i efteråret 2010 fremsendte disse data til DMU. Ved en del dambrug er der målt både forår og efterår. Der angives, hvor oplysningerne er modtaget, antal positive og negative diversitetsklasser som indgår ved beregning af DVFI. Negative diversitetsklasser er arter, der typisk er forureningstolerante, mens positive er arter der kræver relativt rent vand. Stor forskel mellem positive og negative diversitetsklasser giver typisk et højere DVFI, mens nogle rentvandsarter (positive) har større betydning end andre for DVFI (Skriver et al, 1999). Numrene på dambrugene er de samme som er anvendt i bilag 2 og 3 b.

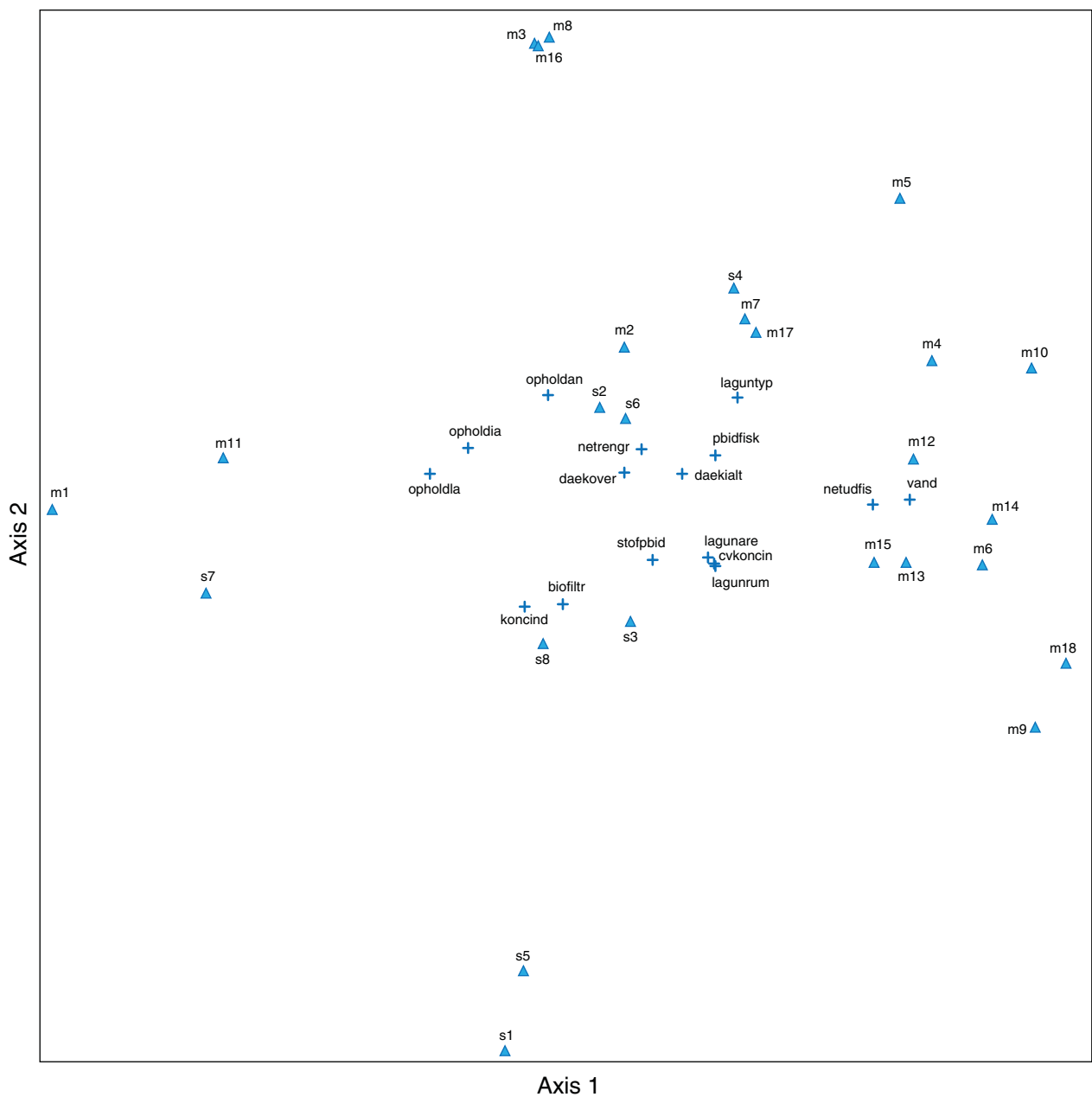
Nr.	År	Opstrøms						Nedstrøms					
		Forår			Efterår			Forår			Efterår		
		DVFI	Positive	Negative	DVFI	Positive	Negative	DVFI	Positive	Negative	DVFI	Positive	Negative
2	2005	5	9	0				5	7	3			
	2006	5	10	2				4	5	3			
	2007	6	11	1				6	8	2			
	2008	6	9	2	7	14	2	7	12	2	6	17	1
	2009	6	11	1				6	12	1	5	7	2
3	2005	4	8	2				5	6	1			
	2006	5	6	2				5	8	1			
	2007	5	6	2	4	4	2	5	7	3	5	5	0
	2008	5	9	0									
	2008	5	9	0	5	7	1	4	6	2	5	6	1
5	2009	5	7	1	4	6	1	5	8	2	5	7	2
	2005	4						4					
	2006	3						3					
	2007							4					
	2008	3						4					
6	2009	4						4					
	2005	3						3					
	2006	3						2					
	2007	3						2					
	2008	2						2					
8	2009	3			2			2					
	2005	4	8	2				4	5	5			
	2006	4	8	3				4	8	3			
	2007	4	11	4				4	8	6			
	2008	4	7	3				4	7	3			
9	2009	4	10	2				4	6	3			
	2010	4	9	2				5	8	3			
	1998				5	9	3				4	9	5
	1999	5	9	3				4	8	5			
	2000	6	12	3	5	9	3	4	9	6	4	7	2
2001	2000				5	10	4				5	13	5
	2001	7	14	4				4	9	4			
	2001	7	14	3	6	10	3	5	11	4			

Nr.	År	Opstrøms						Nedstrøms					
		Forår			Efterår			Forår			Efterår		
		DVFI	Positive	Negative	DVFI	Positive	Negative	DVFI	Positive	Negative	DVFI	Positive	Negative
	2002	5	9	4				4	8	4			
	2002	6	11	5	6	11	3	5	12	5	5	9	3
	2003	7	12	1				5	13	4			
	2004	6	11	2				5	10	5			
	2005	5	7	1				5	8	2			
	2006	6	12	5				5	11	4			
	2007	6	11	4				4	8	6			
	2008	7	13	3				5	12	6			
	2009	6	13	5				5	13	5			
	2010	6	13	6				5	10	4			
11	2005	6/5	10/8	3/1				4	7	4			
	2006	6/4	11/5	2/2				4	8	5			
	2007	7	13/12	2/2				6	11	5			
	2008	6	9/12	1/3				6	13	4			
	2009	6	14/12	5/4				7	14	4			
	2010	7	11/8	1/2				6	13	4			
12	2000	7	18	4									
	2001	7	17	2									
	2002	7	15	3				6	13	5			
	2003	7	20	3				7	19	5			
	2004	7	17	2				6	13	5			
	2005	7	18	4	7	16	4	7	19	5	7	21	4
	2006	7	16	4	7	21	2	7	21	4	7	20	4
	2007												
	2008	7	14	1	7	13	1	7	16	4	7	14	1
	2009	7	17	3	7	15	2	7	18	3	6	12	3
14	2010	7	14	1				7	15	4			
	2000	4	3	0				5	7	0			
	2001	4	4	1				5	9	1			
	2002	5	7	1				4	8	2			
	2003	5	7	0				5	8	3			
	2004	4	5	2				5	7	2			
	2005	5	8	1				5	8	3			
	2006	5	8	2				5	7	2			
	2007	5	9	1				5	11	3			
	2008	5	7	1				5	9	1			
15	2009							5	6	2			
	2005	5	8	2				4	7	3			
	2006	5	8	3				4	6	5			
	2007	4	10	4				4	6	7			
	2008	4	9	4				4	8	5			
	2009	5	10	3				4	8	3			
	2010	4	7	4				4	7	5			
1	2001	6	12	0	5	10	2	5	10	3	5	8	3
	2001				5	7	2				5	9	1
	2002	5	8	3	5	8	1	5	8	2	3	2	4
	2003	5	8	4	5	8	4	5	11	5	3	2	4
	2004	6	10	4	4	8	2	5	13	4	4	7	5
	2005	4	9	6	5	9	3	5	11	5	3	2	5
	2006	5	11	3				4	6	5			

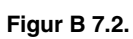
Nr.	År	Opstrøms						Nedstrøms					
		Forår			Efterår			Forår			Efterår		
		DVFI	Positive	Negative	DVFI	Positive	Negative	DVFI	Positive	Negative	DVFI	Positive	Negative
	2007	6	13	4	6	10	2	5	8	1	6	12	2
	2008	7	13	1	5	12	3	7	13	1	6	11	1
	2009	7	16	5				7	14	2			
4	2005	6	12	3	7	14	4	6	12	4	7	14	4
	2006	6	15	2	7	17	5	7	15	4	7	16	3
	2007	6	12	4				6	12	3			
	2008	7	12	1	6	12	4	6	12	3	7	13	3
	2009	5	11	3	7	14	4	5	8	2	6	10	3
	2010							5	9	2			
7	2005	6	13	4				5	11	3			
	2006	6	11	3				4	9	3			
	2007												
	2008	4	12	3				6	15	3			
	2009	5	12	3	5	14	3	4	15	3	5	16	1
	2010	7	18	3				6	15	4			
10	2005	5	8	3	7	13	1	4	6	5	4	9	5
	2006	5	8	3	5	8	2	5	10	3	5	10	4
	2007	4	4	1				4	7	4			
	2008	5						4					
	2009	4						4					
	2010	5						5					
13	2005	7	17	3	7	17	5	7	14	3	7	14	4
	2006	7	15	3	7	18	4	7	17	3	6	14	5
	2007	7			7	14	4	7			6	12	4
	2008	7						7					
	2009												
	2010	7						7					

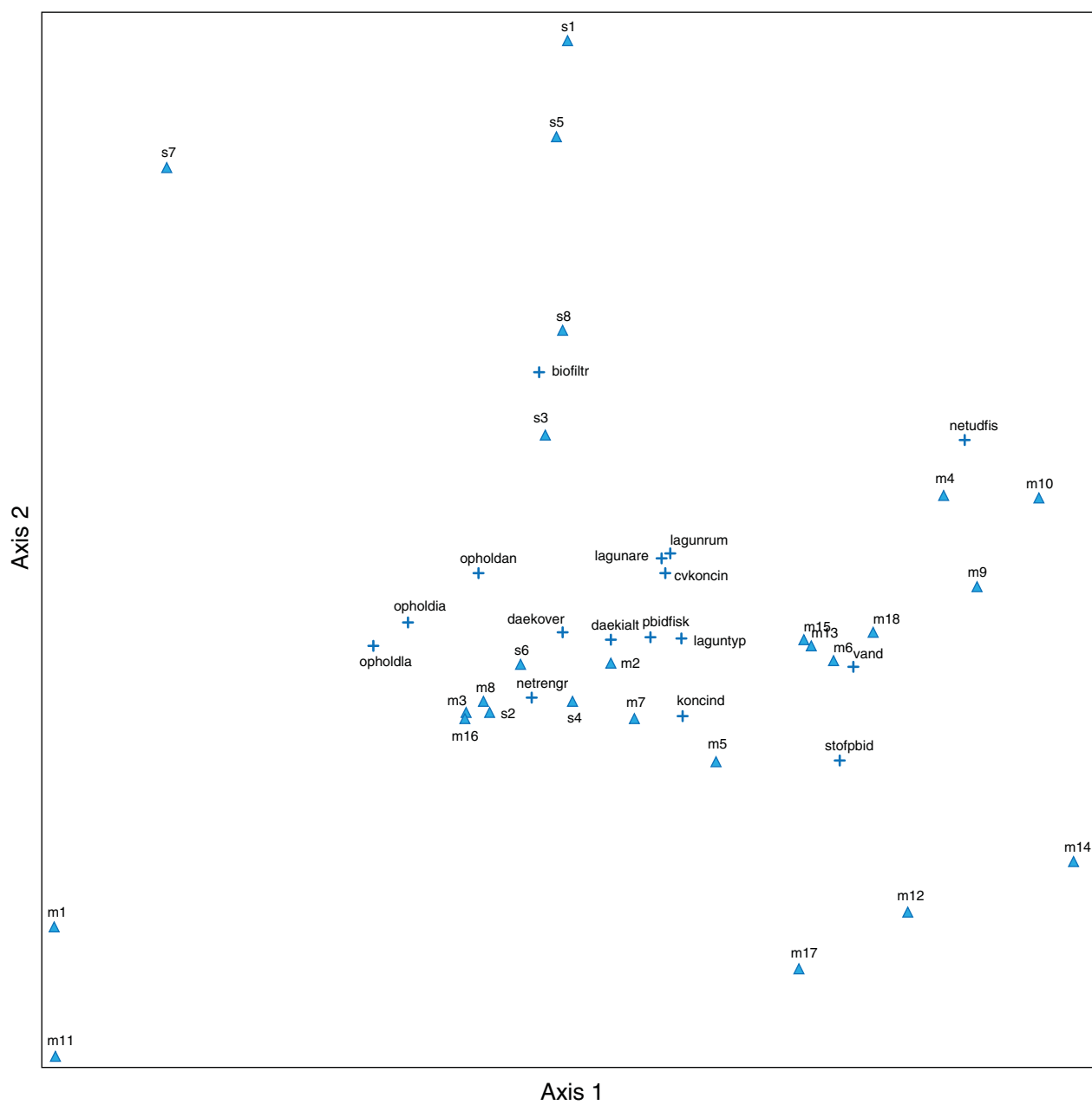
Bilag 7 PCA plots

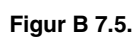
PCA plot for hvert af de fire stoffer ammonium kvælstof, total kvælstof, total fosfor og BI₅, hvor de tre første PCA-akser er plottet parvist (akse 1 mod akse 2, akse 1 mod akse 3 og akse 2 mod akse 3). Dambrugene er angivet med trekantssymboler og de enkelte måleår er angivet med s1-s18 for model 1 dambrugene og m1-m8 for model 3 dambrugene, mens variablenes værdi har symbolet "+" og et forkortet navn ovenover. Hvad disse forkortelser står for og hvordan PCA plottene tolkes er angivet i kapitel 7.1.

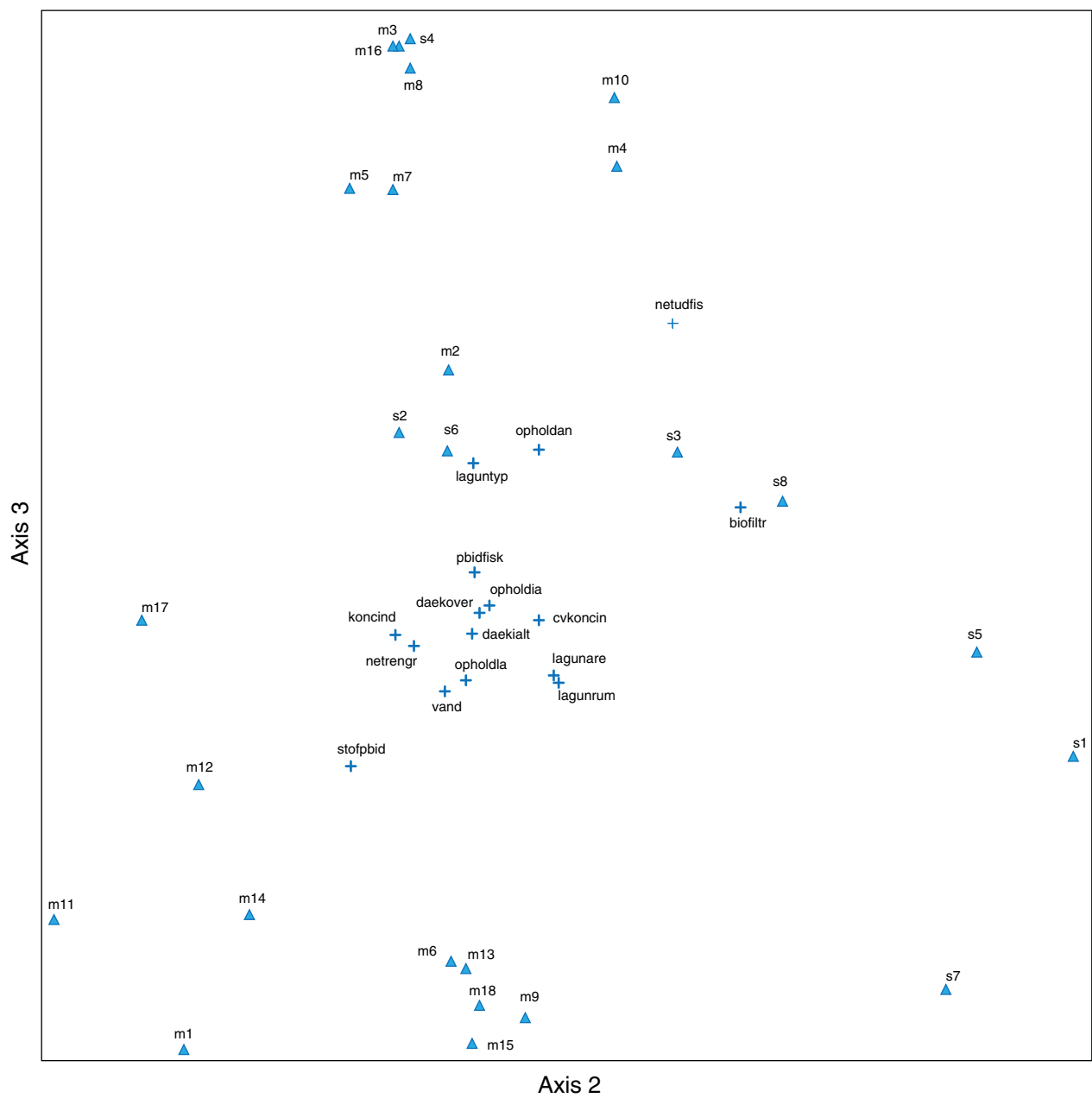


Figur B 7.1.

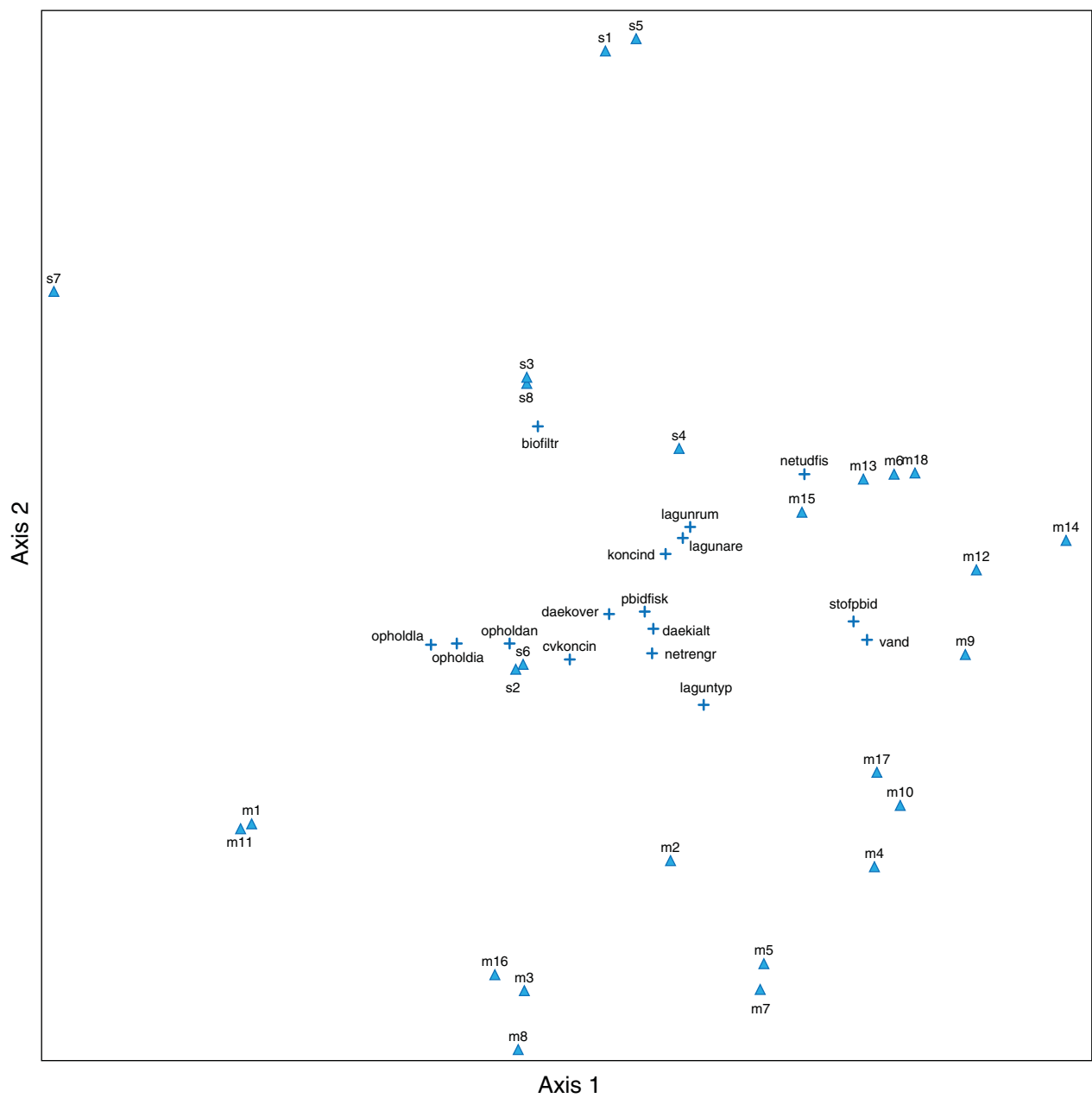




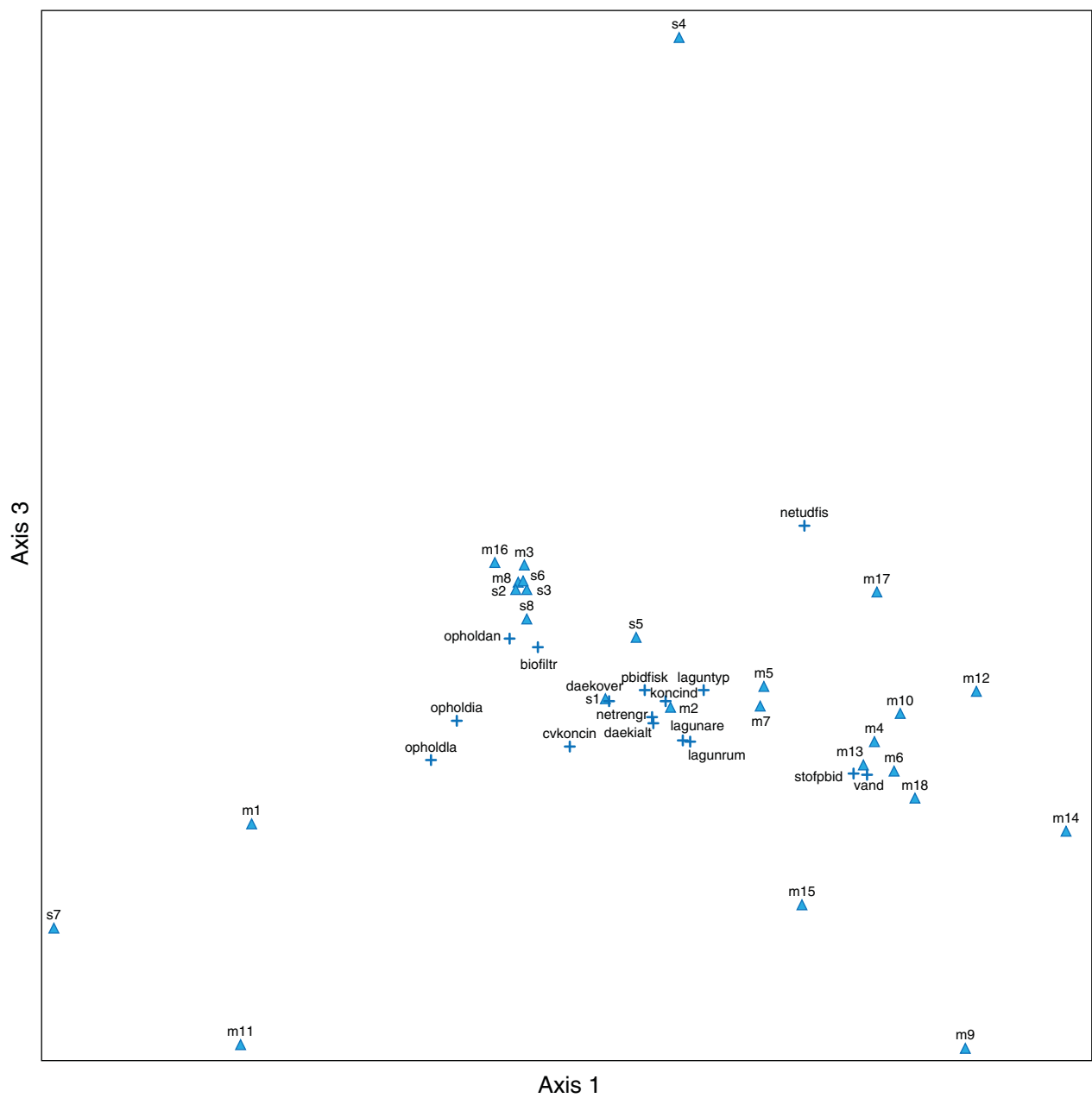




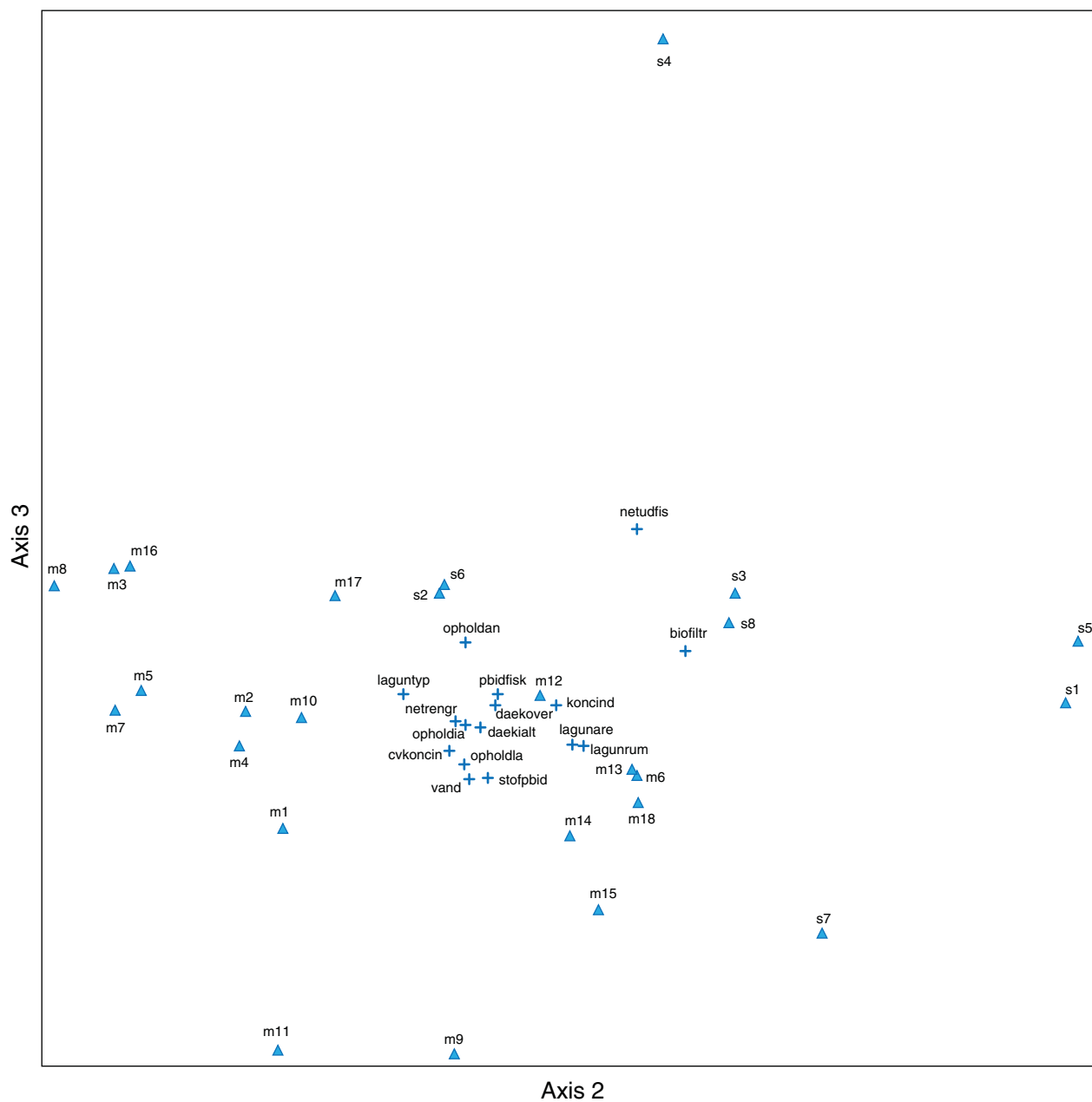
Figur B 7.6.



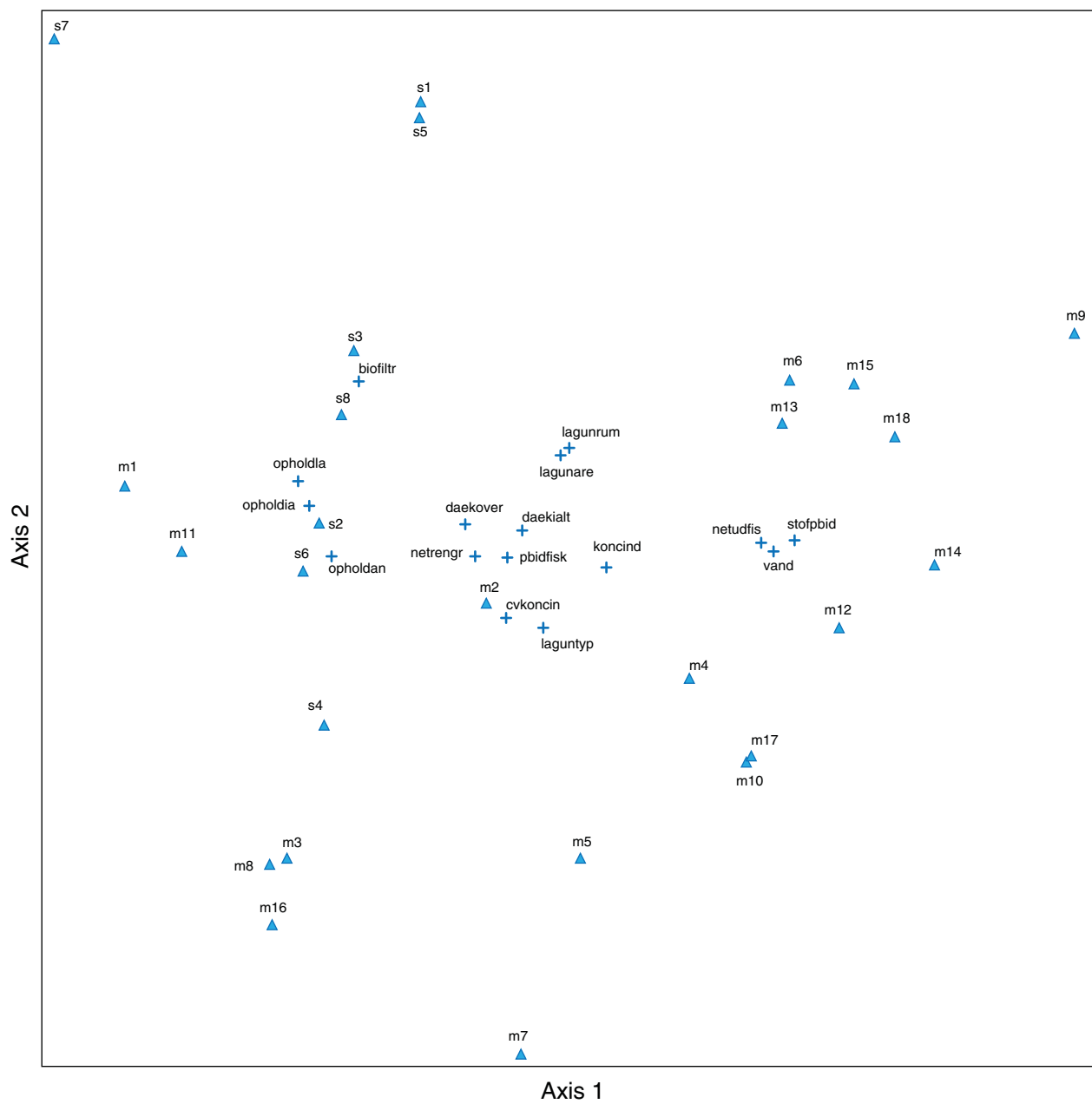
Figur B 7.7.



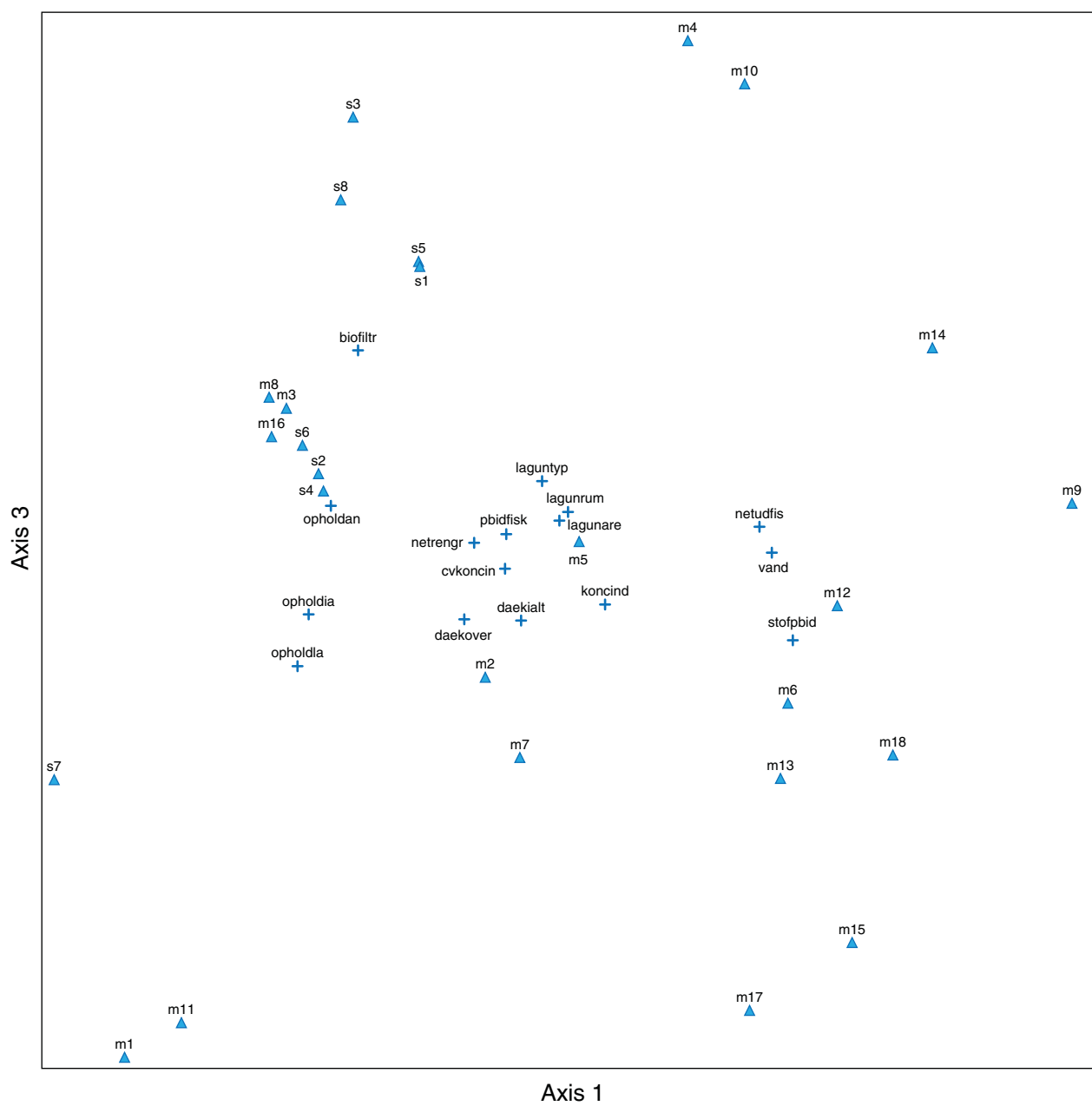
Figur B 7.8.



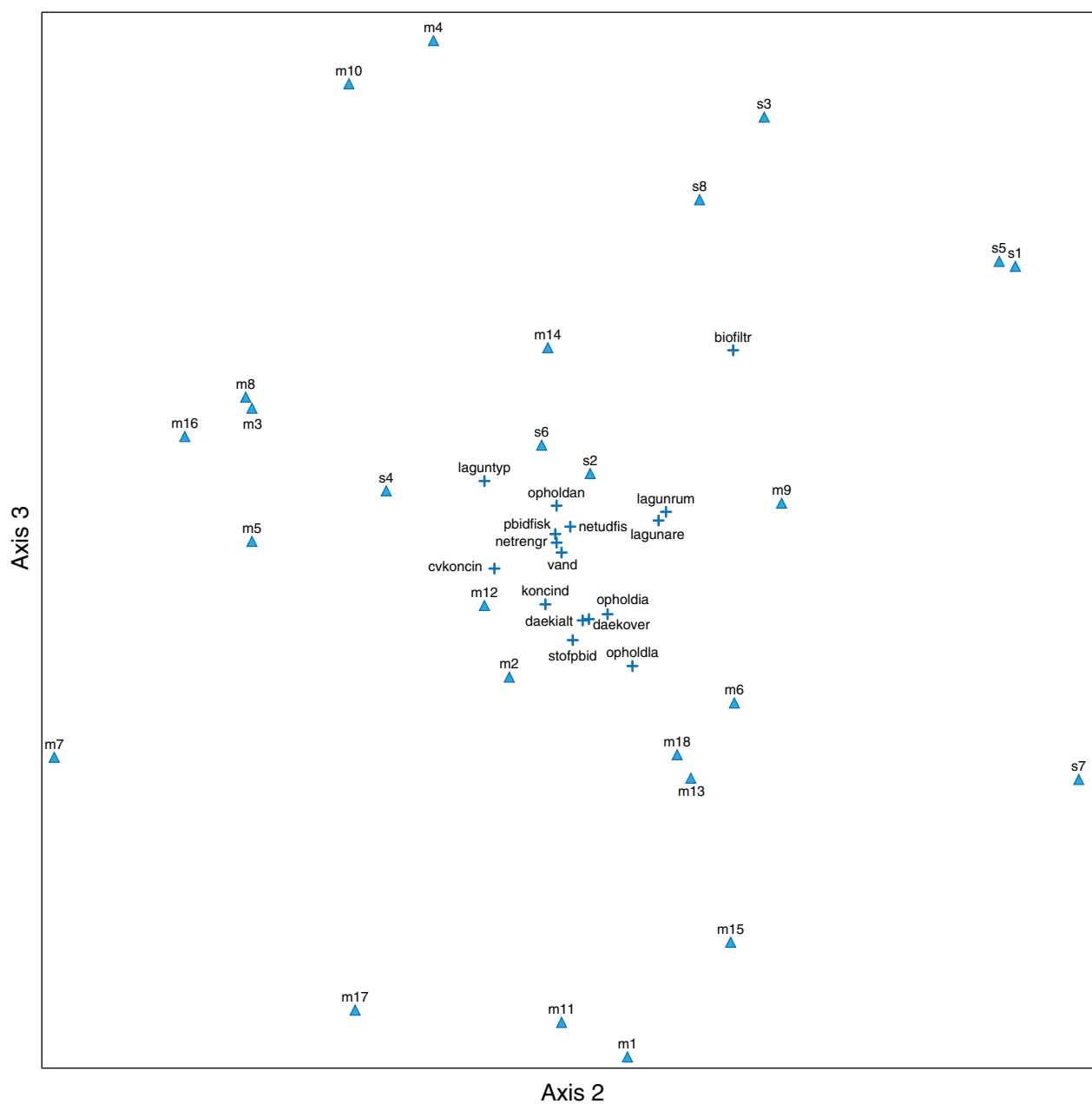
Figur B 7.9.



Figur B 7.10.



Figur B 7.11.



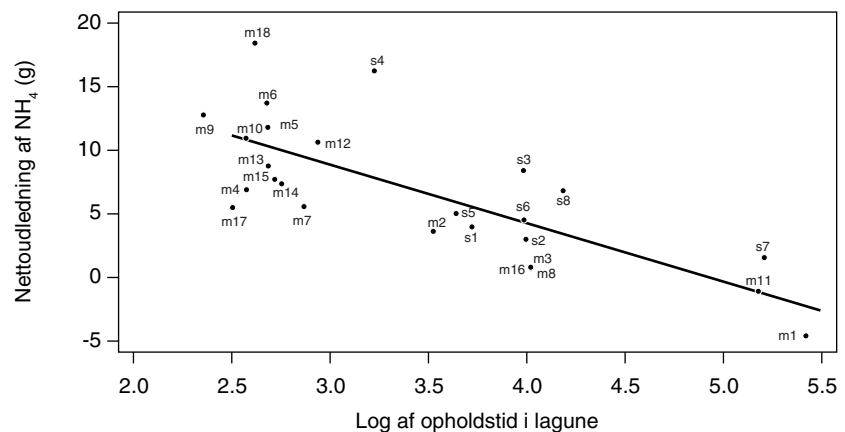
Figur B 7.12.

Bilag 8 Regressionsplots for nettoudledninger og nettoensegrader mod forskellige variable

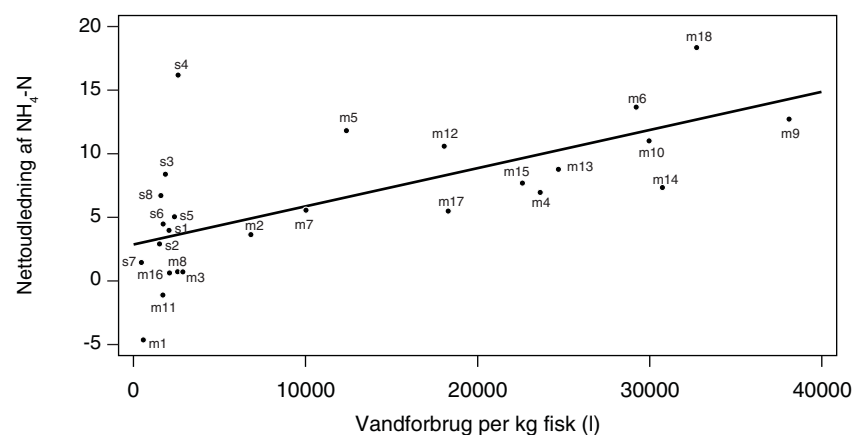
Der er vist en række plots mellem henholdsvis nettoudledninger pr. kg produceret fisk og nettoensegrader for ammonium kvælstof, total kvælstof, total fosfor og BI_5 mod nogle variable som jf. analysen i kapitel 7 giver de højeste korrelationskoefficienter. Opholdstiden er angivet i timer og hvor der er logaritmer er det den naturlige logaritme, der er anvendt, hvor f.eks. 4,5 = 90,0 timer.

NH_4-N :

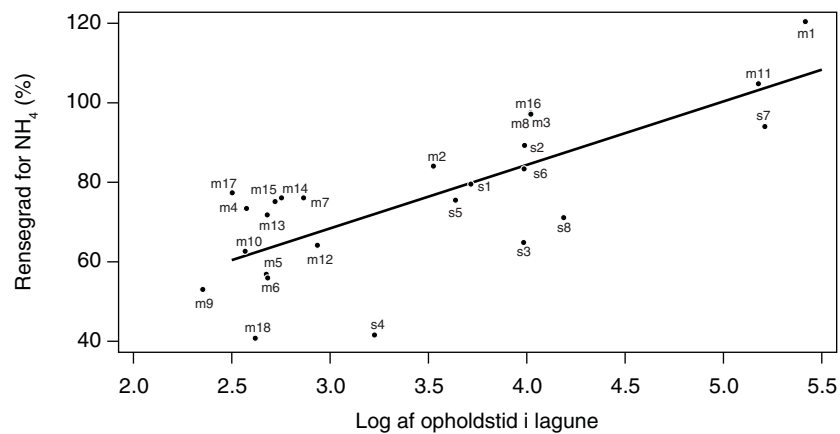
Figur B 8.1. Opholdstid i timer og nettoudledning i g pr. kg produceret fisk.



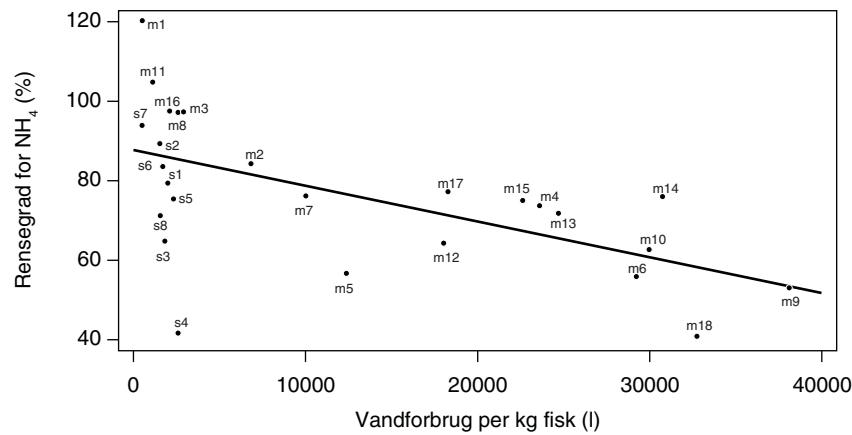
Figur B 8.2. Vandforbrug i l pr. kg fisk og nettoudledning i g pr. kg produceret fisk.



Figur B 8.3. Opholdstid i timer og nettorensgrad i %.

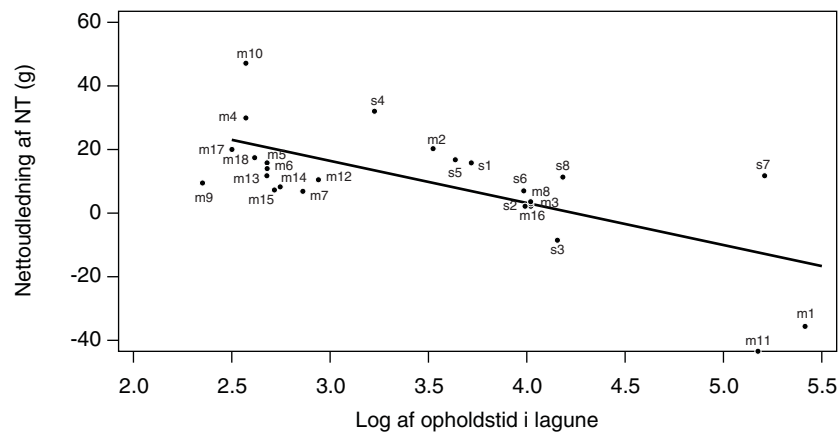


Figur B 8.4. Vandforbrug i l pr. kg fisk og nettorensgrad i %.

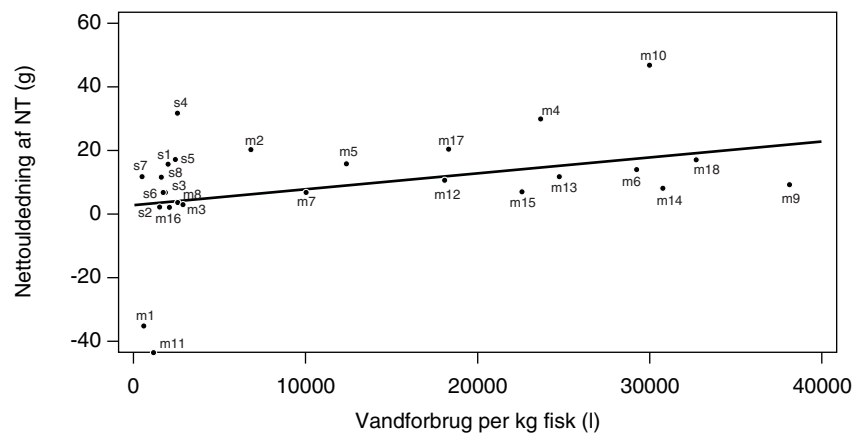


Ntot:

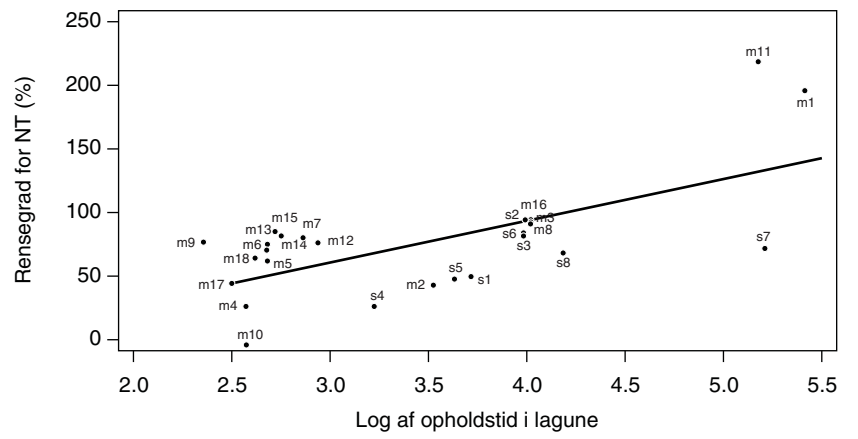
Figur B 8.5. Opholdstid i timer og nettoudledning i g pr. kg produceret fisk.



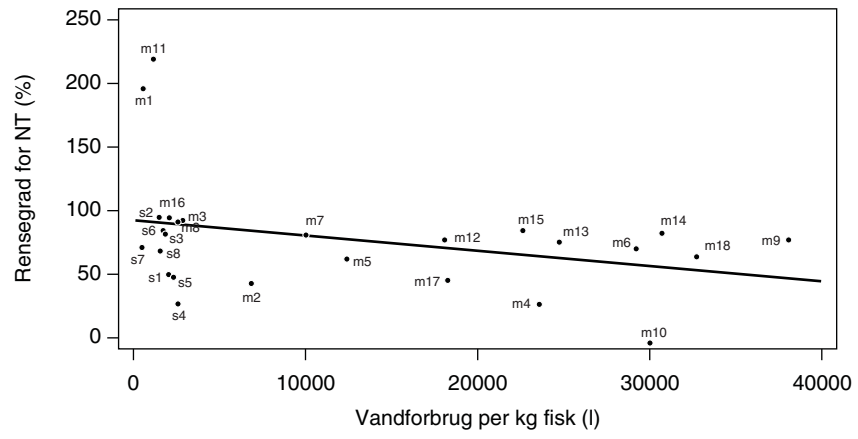
Figur B 8.6. Vandforbrug i l pr. kg fisk og nettoudledning i g pr. kg produceret fisk.



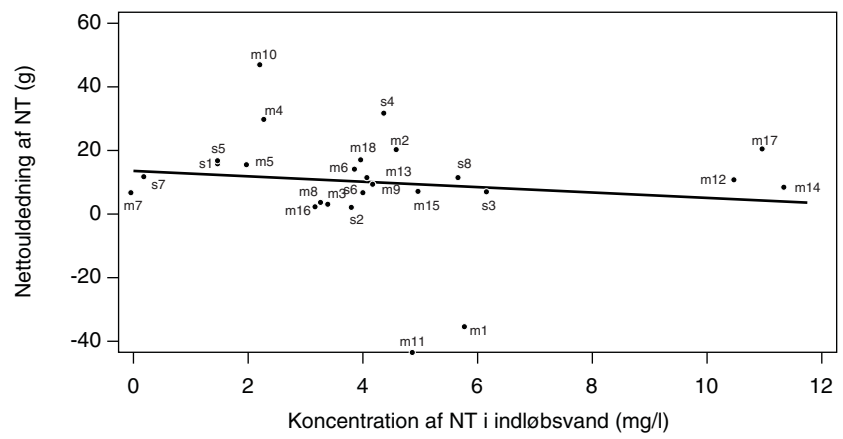
Figur B 8.7. Opholdstid i timer og nettorensgrad i %.



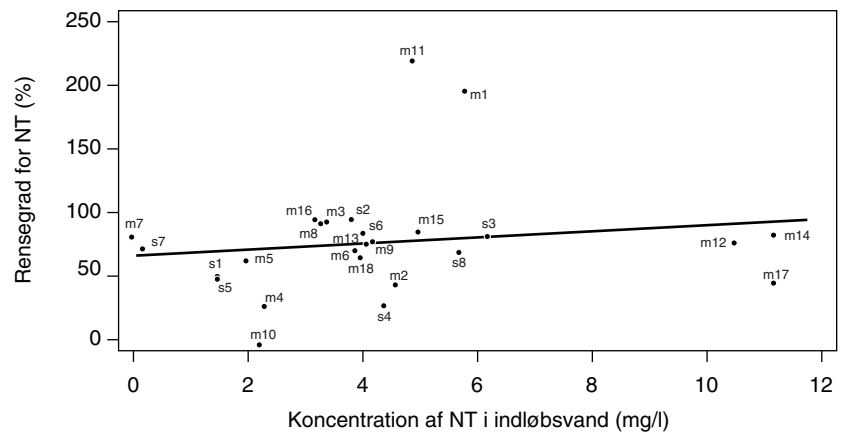
Figur B 8.8. Vandforbrug i l pr. kg fisk og nettorensgrad i %.



Figur B 8.9. Koncentration i mg/l og nettoudledning i g pr. kg produceret fisk.

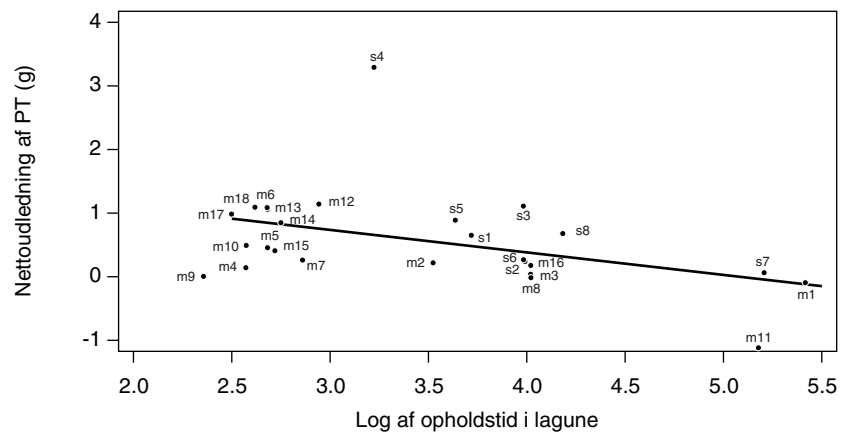


Figur B 8.10. Koncentration i mg/l og netto rensegrader i %.

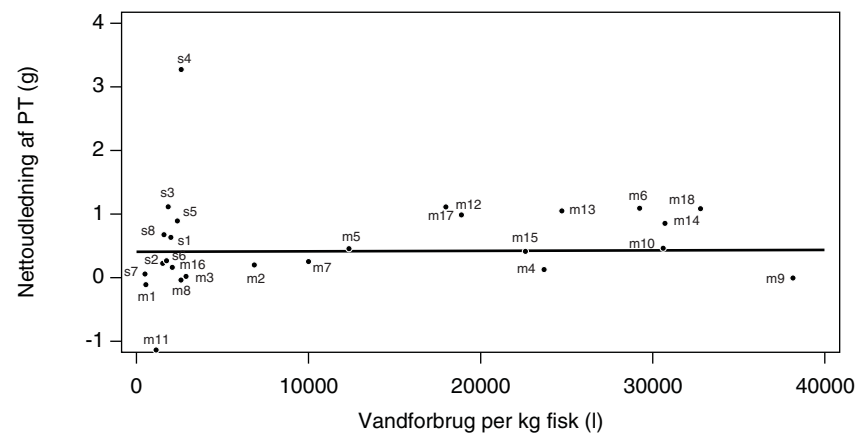


Ptot:

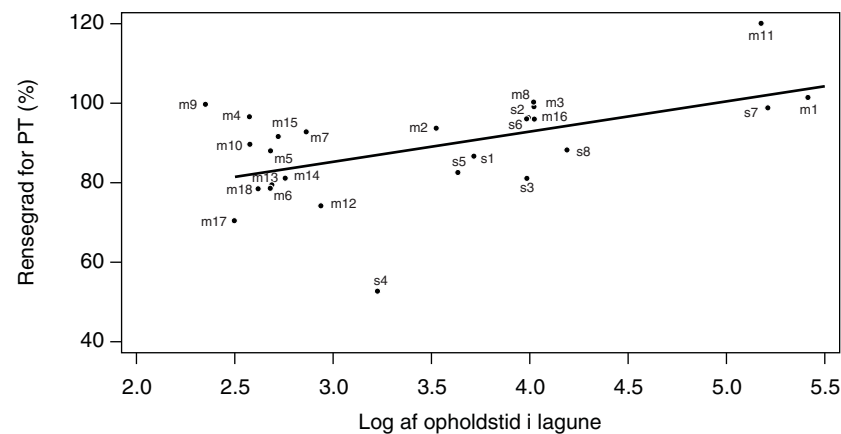
Figur B 8.11. Opholdstid i timer og nettoudledning i g pr. kg produceret fisk.



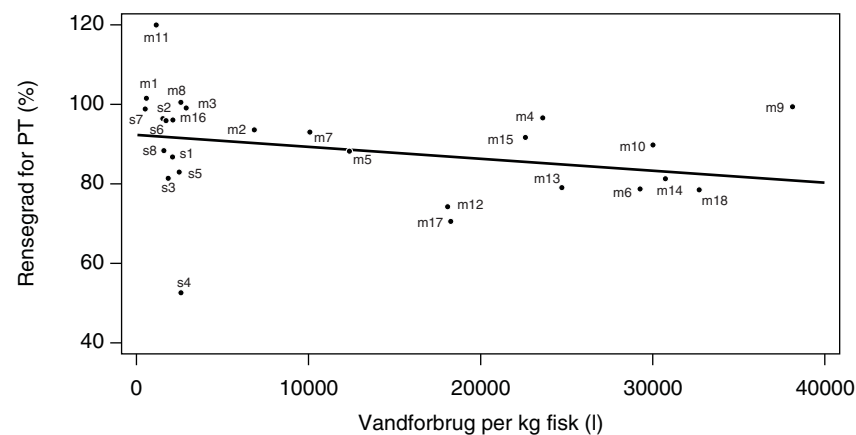
Figur B 8.12. Vandforbrug i l pr. kg fisk og nettoudledning i g pr. kg produceret fisk.



Figur B 8.13. Opholdstid i timer og nettorensgrad i %.

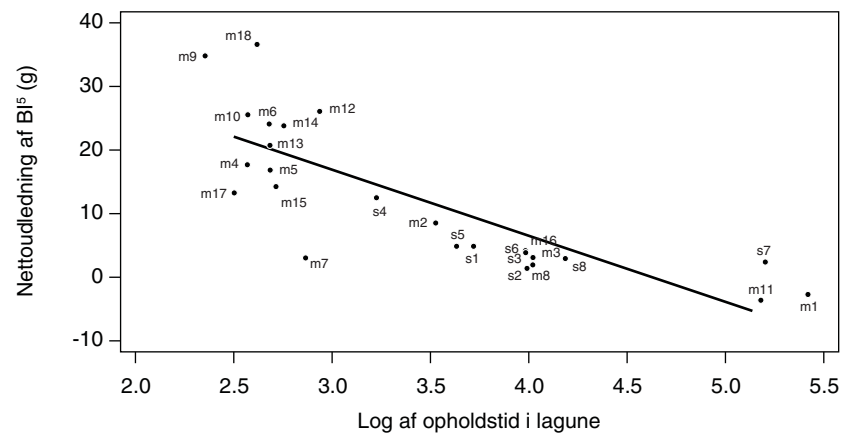


Figur B 8.14. Vandforbrug i l pr. kg fisk og nettorensgrad i %.

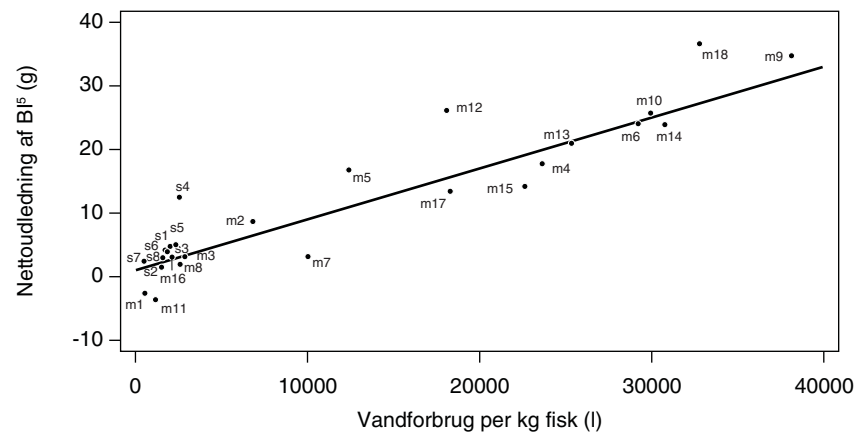


BI₅:

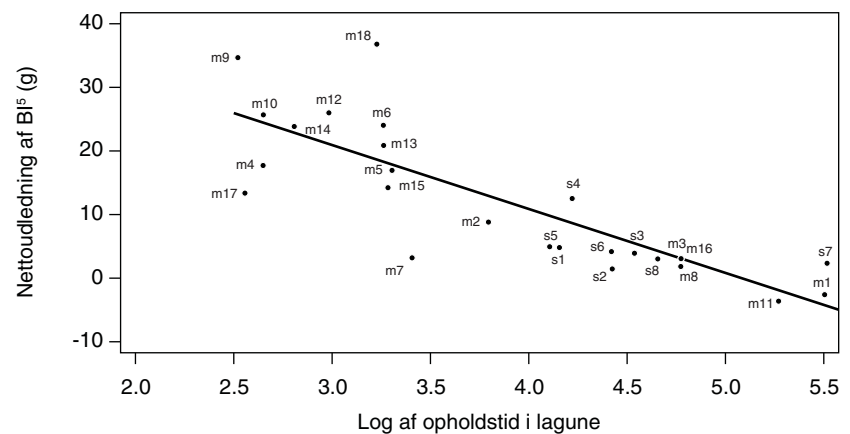
Figur B 8.15. Opholdstid i timer og nettoudledning i g pr. kg produceret fisk.



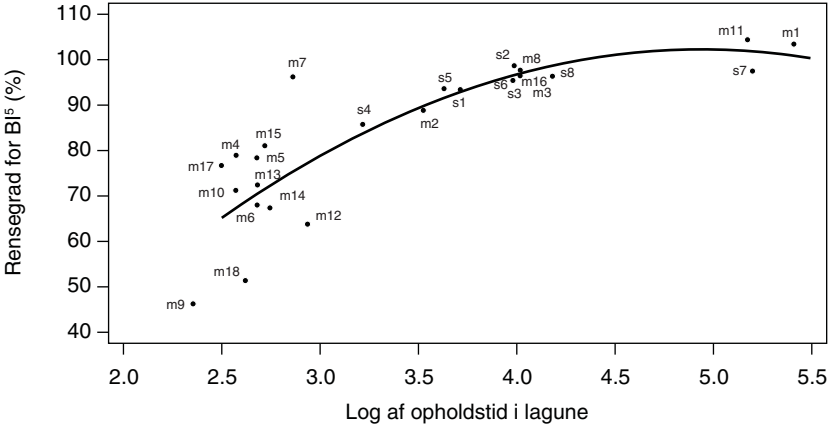
Figur B 8.16. Vandforbrug i l pr. kg fisk og nettoudledning i g pr. kg produceret fisk.



Figur B 8.17. Opholdstid i timer og nettoudledning i g pr. kg produceret fisk.



Figur B 8.18. Opholdstid i timer og nettorensesgrad i %.



DMU Danmarks Miljøundersøgelser

Danmarks Miljøundersøgelser er en del af Aarhus Universitet.	På DMU's hjemmeside www.dmu.dk finder du beskrivelser af DMU's aktuelle forsknings- og udviklingsprojekter.
DMU's opgaver omfatter forskning, overvågning og faglig rådgivning inden for natur og miljø.	Her kan du også finde en database over alle publikationer som DMU's medarbejdere har publiceret, dvs. videnskabelige artikler, rapporter, conferencebidrag og populærfaglige artikler.

Yderligere information: www.dmu.dk

Danmarks Miljøundersøgelser Frederiksborgvej 399 Postboks 358 4000 Roskilde Tlf.: 4630 1200 Fax: 4630 1114	Administration Afdeling for Arktisk Miljø Afdeling for Atmosfærisk Miljø Afdeling for Marin Økologi Afdeling for Miljøkemi og Mikrobiologi Afdeling for Systemanalyse
---	--

Danmarks Miljøundersøgelser Vejlsovej 25 Postboks 314 8600 Silkeborg Tlf.: 8920 1400 Fax: 8920 1414	Afdeling for Ferskvandsøkologi Afdeling for Terrestrisk Økologi
--	--

Danmarks Miljøundersøgelser Grenåvej 14, Kalø 8410 Rønde Tlf.: 8920 1700 Fax: 8920 1514	Afdeling for Vildtbiologi og Biodiversitet
---	--

Faglige rapporter fra DMU

På DMU's hjemmeside, www.dmu.dk/Udgivelser/, finder du alle faglige rapporter fra DMU sammen med andre DMU-publikationer. Alle nyere rapporter kan gratis downloades i elektronisk format (pdf).

Nr./No. 2011

- 817 Improving the Greenlandic Greenhouse Gas Inventory.
By Nielsen, O.-K., Baunbæk, L., Gyldenkerne, S., Bruun, H.G., Lyck, E., Thomsen, M., Mikkelsen, M.H., Albrechtsen, R., Hoffmann, L., Fauser, P., Winther, M., Nielsen, M., Plejdrup, M.S., Hjelgaard, K. 46 pp.
- 815 Danmarks biodiversitet 2010 – status, udvikling og trusler.
Af Ejrnæs, R., Wiberg-Larsen, P., Holm, T.E., Josefson, A., Strandberg, B., Nygaard, B., Andersen, L.W., Winding, A., Termansen, M., Hansen, M.D.D., Søndergaard, M., Hansen, A.S., Lundsteen, S., Baattrup-Pedersen, A., Kristensen, E., Krogh, P.H., Simonsen, V., Hasler, B. & Levin, G. 152 s. (also available in print edition, DKK 150)
- 814 Bynaturen i hverdagslivet.
Af Petersen, L.K. & Nielsen, S.S. 80 s.
- 813 Environmental monitoring at the Seqi olivine mine 2010.
By Søndergaard, J. & Asmund, G. 36 pp.

2010

- 812 Environmental monitoring at the cryolite mine in Ivittuut, South Greenland, in 2010.
By Johansen, P., Asmund, G., Rigét, F. & Schledermann, H. 34 pp.
- 811 Environmental monitoring at the Nalunaq Gold Mine, South Greenland, 2010.
By Glahder, C.M., Søndergaard, J., Asmund, G. & Rigét, F. 32 pp.
- 810 Danish emission inventories for agriculture. Inventories 1985 - 2009.
By Mikkelsen, M.H. Albrechtsen, R. & Gyldenkerne, S. 136 pp.
- 809 Review, improvement and harmonisation of the Nordic particulate matter air emission inventories.
By Nielsen, O.-K., Illerup, J.B., Kindbom, K., Saarinen, K., Aasestad, K., Hallsdottir, B., Winther, M., Sjödin, Å., Makela, K. & Mikkola-Pusa, J. 77 pp.
- 808 Temporal and spatial variations in the long-term fluctuations of wildlife populations in Greenland.
By Moshøj, C.M., Forchhammer, M. & Aastrup, P. 36 pp.
- 807 Evaluation of local contamination sources from the former mining operation in Maarmorilik.
By Johansen, P., Asmund, G., Schiedek, D. & Schledermann, H. 44 pp.
- 806 Vandmiljø og Natur 2009. NOVANA. Tilstand og udvikling – faglig sammenfatning.
Af Nordemann Jensen, P., Boutrup, S., Bijl, L. van der, Svendsen, L.M., Grant, R., Wiberg-Larsen, P., Bjerring, R., Ellermann, T., Petersen, D.L.J., Hjorth, M., Søgaard, B., Thorling, L. & Dahlgren, K. 108 s.
- 805 Arter 2009. NOVANA.
Af Søgaard, B., Pihl, S., Wind, P., Clausen, P., Andersen, P.N., Bregnballe, T. & Wiberg-Larsen, P. 114 s.
- 804 Vandløb 2009. NOVANA.
Af Wiberg-Larsen, P., Windolf, J., Baattrup-Pedersen, A., Bøgestrand, J., Ovesen, N.B., Larsen, S.E., Thodsen, H., Sode, A., Kristensen, E. & Kjeldgaard, A. 98 s.
- 803 Søer 2009. NOVANA.
Af Bjerring, R., Johansson, L.S., Lauridsen, T.L., Søndergaard, M., Landkildehus, F., Sortkjær, L. & Wiindolf, J. 96 s.
- 802 Landovervågningsoplande 2009. NOVANA.
Af Grant, R., Blicher-Mathiesen, G., Jensen, P.G., Hansen, B. & Thorling, L. 124 s.
- 801 Atmosfærisk deposition 2009. NOVANA.
Af Ellermann, T., Andersen, H.V., Bossi, R., Christensen, J., Løfstrøm, P., Monies, C., Grundahl, L. & Geels, C. 95 s.
- 800 Marine områder 2009. NOVANA. Tilstand og udvikling i miljø- og naturkvaliteten.
Af Petersen, D.L.J. & Hjorth, M. (red.) 127 s.
- 799 The Danish Air Quality Monitoring Programme. Annual Summary for 2009.
By Ellermann, T., Nordstrøm, C., Brandt, J., Christensen, J., Ketzel, M. & Jensen, S.S. 61 pp.
- 798 Økologisk risikovurdering af genmodificerede planter i 2009. Rapport over behandlede forsøgsudsætninger og markedsføringssager.
Af Kjellsson, G., Damgaard, C., Strandberg, M., Sørensen, J.G. & Krogh, P.H. 46 s.

RENSEEFFEKTIVITET PÅ MODEL 1 DAMBRUG

Rapportering af WP4 under dambrugsteknologiprojektet

På basis af dambruges egenkontrolldata, interview og supplerende målinger er renseseffektiviteten og udledninger af kvælstof, fosfor og organisk stof fastlagt for 10 model 1 dambrug med i alt 18 måleår, som anses som repræsentativt for denne type dambrug. Det er den første undersøgelse af disse dambrugs performance og rapporten viser at de fuldt ud lever op til de i Bekendtgørelse for modeldambrug (2006) forudsatte rensesgrader. Der er relativ stor spredning i nettorensesgraderne for de 10 model 1 dambrug, men kun i ganske få tilfælde (måleår) er forudsætningerne ikke opfyldt og især for total fosfor og total kvælstof er nettorensesgraderne væsentligt højere og dermed bedre end forudsat. Fem model 3 dambrug med i alt 8 måleår er blevet vurderet og de lever også fuldt ud op til bekendtgørelsens forudsætninger og de resultater som blev fundet under forsøgsprojektet for model 3 dambrug. På basis af statistiske korrelationer og multiple regressionsanalyser opstilles en række signifikante relationer mellem henholdsvis nettorensesgrader og nettoudledninger og en række variable. Her forklarer især opholdstiden i plante-lagunerne og over hele dambruget og vandforbruget pr. kg fisk samt for nogle af stofparametrene andelen af stof i vandindtag i forhold til produktionsbidraget en meget stor del af variationen i nettorensesgrader og nettoudledninger. Høj opholdstid og lavt vandforbrug pr. kg produceret fisk giver generelt lave nettostofudledninger pr. kg fisk og høje nettorensesgrader.