

Notat

Analyse af historiske udledninger fra klassiske dambrug

DCE, AU's bidrag arbejdsplanke 1 (WP1) under projekt "Optimering af driften på klassiske dambrug".

Lars M. Svendsen, DCE Aarhus Universitet, Anne Johanne Tang Dalsgaard og Per Bovbjerg Pedersen, DTU AQUA samt Kaare Michelsen, Dansk Akvakultur

Lars Moeslund Svendsen

Projektchef

Dato: 21. december 2012

Side 1/20

Projektet er medfinansieret under "Tilskud til Fælles initiativer indenfor fiskeri- og akvakultursektoren" – J.nr. 3744-10-k-0181



1. Indledning

Som en del af arbejdsplanen 1 "Næringsstoffjernelse (NPO) og BAT på klassiske dambrug" har Nationalt Center for Miljø og Energi (DCE), Aarhus Universitet modtaget vandkemiske analysedata fra 30 klassiske dambrug omfattende årene 2005 og frem til foråret 2012. Af disse er valgt dambrug med et tilstrækkeligt antal årlige målinger som kan anvendes som grundlag til at estimere nettoudledninger og -rensegrader for kvælstof, fosfor, organisk stof og ammonium. Disse resultater skal sammen med de øvrige aktiviteter under arbejdsplanen 1 give input til udarbejdelsen af forslag til BAT-krav for de nævnte stoffer. Endvidere kan analysen være med til at give et første overordnet estimat på betydning af vandløbsbidraget for rensegraderne.

For de 6 dambrug som det er vurderet at have tilstrækkeligt datagrundlag til at foretage de nævnte beregninger, er der estimeret blandt andet stof indtag og -udledning samt nettoudledning af ammonium og total kvælstof, total fosfor og organisk stof (BI₅), netto rensegrader, betydning af vandløbsbidrag, vandforbrug pr. kg produceret fisk m.v. og lavet statistik mellem de 6 dambrug og på år til variationer på de dambrug hvor der er flere måleårs data. Der indgår således i alt 27 måleår fra de udvalgte 6 klassiske dambrug.

Det skal understreges at DCE's aktivitet alene skal ses som en pilot aktivitet, der med en beskedent ressourceindsats skal give et første overordnet indtryk af nogle klassiske dambrugs netto udledninger og -rensegrader og variation heri og indikere betydningen af vandløbsbidrag for opnåede rensegrader.

Det er udenfor delaktivitetens formål at vurdere om resultaterne er repræsentative for de klassiske dambrug eller rettere om variationsbredden i disse afspejler den variation, der må forventes at være for klassiske dambrug.

2. Datagrundlag og karakteristik af dambrug

Dansk Akvakultur har stillet kemiske analyseresultater og vandmængder i indtag og afløb til rådighed for 30 klassiske dambrug, som umiddelbart har taget flere prøver end de 2 eller 6 årlige kontrol vandprøver, som alment udtages. Kriteriet for at udvælge et dambrug til videre analyse har været tilstedeværelse af minimum et måleår med mindst 12 vandkemiske målinger i ind- og udløb og at der er målt vand i ind- og afløb i forbindelse med prøvetagningen. For de dambrug der opfyldte dette kriterium blev det efterfølgende afklaret om der kunne skaffes oplysninger om foderforbrug, anvendte fodertyper inklusive pille størrelse samt fiskeproduktion (herunder hvor mange moderfisk og ægproduktion) for de år der var tilstrækkeligt antal prøver.

Kravet til 12 prøver i ind- og udløb i et måleår (12 måneder) er stillet med udgangspunkt i at det er den minimums prøvetagningsfrekvens, der er aftalt for at sikre en rimelig sikkerhed på fastlæggelse af udledninger fra dambrug (*Svendson og Peder-*



sen, 2004). Ved 12 prøver vil der være 12 % risiko for miljøet og 5 % for dambrugeren. Ved 12 % risiko menes at der ved kontrol af om et dambrugs udledninger overholder udlederkravene i 12 % af tilfældene accepteres at udledninger overholdt kravene selv om udledningerne har været overskredet og dermed et udtryk for usikkerheden på fastlæggelsen af udledningerne ved 12 prøver på i en kontrolperiode. Tilsvarende vil dambrugeren i 5 ud af 100 tilfælde få fastlagt at udledninger overskrider kravene selv om de faktisk overholder dem.

Det er endt med at 6 klassiske dambrug med i alt 27 måleår, der både har mindst et måleår med minimum 12 målinger i både ind- og udløb og de nødvendige foder- og produktionsoplysninger til at de ønskede beregninger har kunnet foretages. To af dambrugene indgår med et måleår hver, mens de resterende indgår med henholdsvis 5, 6 og to med 7 måleår.

For et enkelt dambrug har der været taget færre prøver end 12 i indløbet, men for de prøver der er taget er variationen i koncentrationen så beskeden fra gang til gang at der er interpoleret mellem de målte koncentrationsværdier. Dette giver naturligvis en større usikkerhed på den efterfølgende beregning af stofmængder.

Der er ikke rettet eller frasorteret i de vandkemiske resultater DCE/AU har modtaget fra Dansk Akvakultur. I nogle få prøver af indtagsvandet er der målt koncentrationer som er 5-100 gange højere end det generelle niveau, der er i hovedparten af prøverne især for BI_5 , total fosfor (og suspenderet stof). Da disse højere koncentration oftest forekommer samtidigt for de tre nævnte stoffer i prøver af indtagsvandet kan det sandsynligvis forklares med prøvetagning under en høj afstrømning i vandløbet. I den forbindelse vil der typisk føres mange partikler med vandløbsvandet. Der kan dog også være prøver, hvor man ikke har samlet hensigtsmæssigt, men det har ikke været muligt at pege på deciderede prøvetagningsfejl. Prøver med meget højere koncentrationer end gennemsnittet udgør oftest 1 af 12 prøver pr. år (nogle år forekommer, det ikke) men medvirker til at give en stor variation i de koncentrationer, der er målt i indtagsvandet og dermed også i de beregnede indtagne stofmængder. En enkelt prøve ud af 12 med høje koncentration kan godt medføre at det beregnes at 50-70 % af den samlede indtagne stofmængde et år indtages i den periode (typisk en måned) prøven repræsenterer. Da store afstrømninger med høj stoftransport i vandløbene forekommer naturligt i mange vandløb vil der med 12 prøve pr. år oftest komme en underrepræsentation af perioder med høj stoftransport og dermed en underestimering af hvor meget stof der indtages, men for høje estimater heraf vil også forekomme.

For en række af dambrugene er der ofte kun angivet vandmængder enten i vandindtaget til eller i afløb fra dambruget. Efter konsultation med Dansk Akvakultur og da ingen af de valgte dambrug har plantelaguner og har ret lav vandopholdstid på dambruget, er det antaget at der ikke er et nettovandtab eller en nettovandindsivning over dambruget, hvorfor vand ind er sat lig vand ud. I enkelte tilfælde har både vand ind i og vand ud af dambruget manglet, her er der interpoleret mellem vandmængderne

ved prøvetagningen umiddelbart før og efter den manglende prøvetagning. De angivne vandmængder hen over et måleår variere beskedent eller er konstant for det enkelte dambrug i et givent måleår. Det skønnes samlet set på nogle af dambrugene at være nogen usikkerhed på bestemmelsen af vandmængderne og dermed også på de fastlagte vandmængder ind og ud af dambruget, men antageligt af samme størrelsesorden ind og ud på det enkelte dambrug.

Data præsenteres anonymt for de 6 klassiske dambrug som der anvendes data fra, men der drejer sig om følgende dambrug:

- Egebæk Dambrug (vand fra Egebæk (tilløb til Skjern Å)
- Graunbjerg Dambrug (vand fra Funder Å og Kalkærsbæk)
- Hvilsted Dambrug (vand fra Vesternebel Å, tilløb til Kolding Å)
- Katrinedal Dambrug (vand fra Salten Å)
- Skærskov Dambrug (vand fra Funder Å)
- Vellingskov Dambrug (vand fra Salten Å)

Alle dambrug indtager åvand, heraf to dambrug fra Funder Å og to fra Salten Å. Dette begrænser naturligvis også repræsentativiteten ift. en generel vurdering af vandløbsbidragets betydning.

I tabel 1 er der givet en kort karakteristik af de 6 klassiske dambrug, der er præsenteret resultater fra. Ingen af dambrugene har plantelaguner, mens nogle af dem har mikrosigte som en del af slutrensningen og typisk installeret efter bundfældningsanlægget, men i et tilfælde før bundfældning og efter produktionsdammene.

Tabel 1: Indretning af de 6 klassiske dambrug. Alle har bundfældning, ingen har biofilter eller plantelagune. Mikrosigter er anvendt som en del af slutrensning i de fleste tilfælde efter bundfældningsanlæg. Et af dambrugene er opdelt i to anlæg og derfor er der angivet to forskellige indretning. Alle dambrug anvender åvand som vandindtag.

Dam-type	Mikro-sigte	Slam-kegler	Recir-kuler.	Æg	Yn-gel	Moder-fisk	Sætte-fisk	Kon-sum	Hav-fisk	Art
jord	Ja	nej	nej	nej	nej	nej	ja	ja	ja	Regnbue
beton	Ja	ja	ja	nej	nej	nej	ja	ja	nej	Brøding
beton	Ja	ja	nej	nej	nej	ja	nej	nej	ja	Regnbue
Jord & beton	Ja	nej	nej	ja	ja	ja	ja	nej	nej	Brøding
jord	nej	nej	nej	ja	ja	ja	ja	ja	ja	Brøding og regnbue
jord	nej	nej	nej	ja	ja	ja	ja	ja	ja	Regnbue

I tabel 2 er angivet, hvilke måleår der indgår i resultater, som gengives i notatet for de 6 dambrug, hvor alle måleår på nær et følger kalenderåret.

Tabel 2: Måleår for de 6 dambrug der gengives resultater fra i notat. For et dambrug afviger måleår og kalenderår (1.5.2011 – 30.04.2012).

2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
x							
x	x	X	x	x	x	x	
x	x	X		x		x	
x	x	X	x	x	x	x	
						01.05	30.04
	x	X	x	x	x	x	

3. Resultater og diskussion

Resultaterne i de følgende tabeller er fremkommet ved simple statistiske analyser som gennemsnit, medianværdi, standardafvigelse, maksimums- og minimumsværdier, variationskoefficienten (CV) samt standard error (SE), hvor

$$\text{Variationskoefficienten (CV)} = \frac{\text{standardafvigelsen}}{\text{middelværdien}} * 100 \% \quad (1)$$

udtrykker noget om spredningen i datasættet og da det er i procent kan der sammenlignes mellem dambrugene og parametre, fordi det er en normaliseret størrelse.

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

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

Resultaterne er beregnes både hvor de 27 måleår tæller lige meget når der beregnes statistik, eller hvor der først laves et gennemsnit pr. dambrug og herefter laves statistik på gennemsnittet for de 6 dambrug.

I tabel 3 angives nogle karakteristiske værdier vedrørende vandforbrug, foderforbrug og -foderkvotienter og af målte koncentrationer i vandindtag til og vandafløb (tabel 4) fra dambrugene. For gennemsnitsværdierne er der både beregnet et gennemsnit hvor hvert måleår tæller lige meget (simpelt gennemsnit af de 27 måleår kaldet "gennemsnit alle") og et gennemsnit for de 6 dambrug, dvs. hvor der først laves et simpelt gennemsnit pr. dambrug og derefter findes et gennemsnit for alle 6 dambrug (kaldet "gennemsnit dambrug"). I gennemsnit anvendes godt 81 tons foder pr. måleår pr. dambrug med et maksimum foderforbrug på ca. 155 tons og mindste forbrug på ca. 23 tons. Vandindtag (-afledning) varierer mellem 15 og 660 l/s med en middel på 260 l/s pr. dambrug. Vandforbruget pr. kg produceret fisk varierer mellem 18.000 og 145.000 l pr. kg med et gennemsnit pr. dambrug på godt 86.000 l/s eller i gennem-

snit 314 l/s pr 100 tons foder. Til sammenligning anvendte model 1 og model 3 dambrug i gennemsnit henholdsvis 18.800 l/s og 2.200 l/s pr kg foder, hvilket svarer til 60 l/s pr. 100 tons foder for model 1 og 8 l/s pr. 100 tons foder for model 3 (Svendsen et al. 2011). Det er et relativt højt vandforbrug pr kg produceret fisk men en del af dambrugene har også en del moderfisk, som ikke har megen tilvækst med stadigt forbrug friskvand. Der er stor spredning i vandforbrug dels fordi der er recirkulering af vand på et par af dambrugene, dels grundet der produceres forskellige størrelser af fisk og nogle af dambrugene har alle størrelser af fisk.

Tablet 3: Karakteristiske værdier for de 6 dambrug vedrørende vandforbrug og foder. Ved "gennemsnit alle" er der lavet et gennemsnit over de 27 måleår, hvor hvert måleår tæller lige meget i gennemsnittet. Ved "gennemsnit dambrug" er der først lavet gennemsnit for hvert af de 6 dambrug og derefter et gennemsnit, dvs. her tæller hvert dambrug lige meget i gennemsnittet uanset om der er et eller mange måleår fra dambruget. STD = standardafvigelse, CV = variationskoefficienten (se formel 1) og SE = standarderror (se formel 2).

	Vand- forbrug	Foder- forbrug	Foder- kvotient	Vandforbrug pr. 100 tons foder	Vandforbrug pr. kg fisk
	l s ⁻¹	kg		l/s 100 tons	l kg ⁻¹
Gennemsnit alle	200	71.300	1,0	284	70.000
Gennemsnit dambrug	260	81.500	1,0	314	86.400
Median alle	120	62.100	1,0	213	67.100
Minimum alle	15	23.200	1,0	54	18.000
Maksimum alle	660	155.400	1,4	516	145.000
STD dambrug	220	55.500	0,0	141	42.900
CV dambrug (%)	84	68	2,7	54	50
2*SE dambrug	160	42.000	0,0	106	32.400

Gennemsnitskoncentrationen af ammonium kvælstof (NH₄-N), total kvælstof (TN), total fosfor (TP) og let omsætteligt organisk stof (BI₅) i vandindtag til og afløb fra dambrugene er beregnet for hver måleperiode og på disse er der lavet noget statistik (tabel 4). Som gennemsnit sker der en koncentrationsforøgelse over dambrugene af ammonium og BI₅ på henholdsvis 0,22 mg NH₄-N/l og 0,47 mg BI₅/l, mens der er et koncentrationsfald for total kvælstof på 0,30 mg TN/l og stort set ingen koncentrationsforøgelse for total fosfor. Der er stor spredning i gennemsnitskoncentrationerne mellem de 6 dambrug for især total kvælstof i indtagsvandet, idet der for et dambrug som kun indgår med et måleår (se tabel 5 dambrug D5) i et vandløb er høje koncentrationer i indtaget på i gennemsnit over 8 mg TN/l, hvor gennemsnittet for alle 27 måleår er 0,889 mg TN/l og medianværdien så lav som 0,576 mg TN/l. På nær for total fosfor er variationen i koncentrationer i udløbet fra dambrugene lavere end i indtagsvandet, når der ses på gennemsnit for dambrugene. Det afspejler bl.a. at der er tale om vandløbsvand som indtages, hvor der i flere af vandløbene kan være relativt store variationer i koncentrationer hen over et måleår, specielt relateret til de parti-

kelbundne næringsstoffer, hvor en del af disse partikler tilbageholdes over dambrugget, så toppen af variationen i koncentrationerne fjernes i afløbet.

Side 7 / 20

Tabel 4: Karakteristik af måleperiodernes middelkoncentrationer i indløb til og udløb fra de 6 dambrug. Se i øvrigt forklaring til tabel 3.

	NH ₄ -N ind mg l ⁻¹	NH ₄ -N ud mg l ⁻¹	TN ind mg l ⁻¹	TN ind mg l ⁻¹	TP ind mg l ⁻¹	TP ud mg l ⁻¹	BI ₅ ind mg l ⁻¹	BI ₅ ud mg l ⁻¹
Gennemsnit alle	0,123	0,366	0,889	1,259	0,087	0,071	1,289	1,710
Gennemsnit dambrug	0,117	0,334	1,987	1,691	0,095	0,098	1,559	2,025
Median alle	0,113	0,322	0,576	1,187	0,090	0,088	1,209	1,520
Minimum alle	0,001	0,134	0,223	0,644	0,054	0,046	0,250	0,955
Maksimum alle	0,083	0,836	8,190	3,930	0,211	0,130	3,108	2,962
STD dambrug	0,074	0,183	3,061	1,147	0,016	0,016	0,679	0,634
CV dambrug (%)	63	55	154	68	17	27	44	31
2*SE dambrug	0,056	0,139	2,314	0,867	0,012	0,020	0,513	0,480

I tabel 5 er vist gennemsnitkoncentrationen for hver af de 6 dambrug sammen med standardafvigelsen og variationskoefficienten. For alle dambrug sker der en forøgelse af koncentrationen hen over dambrugget for ammonium kvælstof og tilsvarende for total kvælstof, for BI₅ på 5 af 6 dambrug og for total fosfor på 4 af 6 dambrug. For det enkelte dambrug er der mindre entydig tendens til at variationen i koncentrationen i indløbene er større end i udløbet. Lidt overraskende er det for total fosforkoncentrationen i indtagsvandet, at der er mindst forskel mellem de seks dambrug mens den største relativ forskel findes for total kvælstof. Det skal bemærkes at for nogle dambrug har en enkelt af de 12 prøver i indtaget medført en væsentlig forøgelse af måleårets gennemsnitkoncentrationen, fordi koncentrationen har været 8-12 gange højere end gennemsnittet af de øvrige 11 prøver.

Tabel 5 Gennemsnitskoncentration i ind og udløb for hvert af de 6 dambrug over det antal måleår der har været for de enkelte dambrug samt standardafvigelser (STD) og variations koefficienter (CV) på de målte koncentrationer.

	NH ₄ -N ind mg l ⁻¹	NH ₄ -N ud mg l ⁻¹	TN ind mg l ⁻¹	TN ind mg l ⁻¹	TP ind mg l ⁻¹	TP ud mg l ⁻¹	BI ₅ ind mg l ⁻¹	BI ₅ ud mg l ⁻¹
Gennemsnit D1	0,198	0,352	1,330	1,536	0,105	0,118	2,577	2,962
STD D1	0,090	0,170	0,302	0,485	0,040	0,021	0,482	0,839
CV D1	46	48	23	32	38	18	19	28
Gennemsnit D2	0,118	0,270	0,435	0,997	0,122	0,056	1,509	1,338
STD D2	0,102	0,148	0,214	0,968	0,160	0,017	1,197	0,645
CV D2	87	55	49	97	131	31	79	48
Gennemsnit D3	0,097	0,231	1,000	1,295	0,090	0,098	1,572	1,818
STD D3	0,026	0,072	0,399	0,435	0,024	0,028	0,673	0,551

CV D3	27	31	40	34	27	29	43	30
Gennemsnit D4	0,210	0,323	0,615	0,739	0,092	0,082	1,230	1,680
STD D4	0,071	0,101	0,126	0,166	0,073	0,030	0,597	0,362
CV D4	34	31	21	23	79	36	49	25
Gennemsnit D5	0,030	0,150	0,355	1,651	0,077	0,130	1,920	2,580
STD D5	0,029	0,050	0,131	0,338	0,039	0,038	0,63	0,618
CV D5	97	33	37	21	51	29	31	24
Gennemsnit D6	0,052	0,679	8,190	3,930	0,087	0,106	0,545	1,982
STD D6	0,051	0,256	1,750	1,098	0,012	0,029	0,303	0,407
CV D6	98	38	21	28	14	28	56	21

Produktionsbidraget er beregnet efter principperne i Pedersen et al (2003) og med forudsætninger som beskrevet i kapitel 3 i Svendsen et al. (2011). I tabel 6-9 er der for henholdsvis ammonium kvælstof, total kvælstof, total fosfor og BI₅ vist statistik for det gennemsnitlige produktionsbidrag og hvor stor en del af stof input til og stoftabet fra dambruget det udgør og produktionsbidraget er også beregnet pr. kg produceret fisk. Som gennemsnit for de 6 dambrug (gennemsnit dambrug) er produktionsbidraget:

NH ₄ -N:	28 kg pr. tons fisk
Total N:	45 kg pr. tons fisk
Total P:	4,8 kg pr. tons fisk
BI ₅ :	85 kg pr. tons fisk

med det opgivne anvendte foder. Disse værdier ligger i gennemsnit 15-25 % under standardværdier i den ny dambrugsbekendtgørelse på nær for fosform som svarer til standardværdien (*Bekendtgørelse om miljøgodkendelse og samtidig sagsbehandling af ferskvandsdambrug, 2012*)

Vandløbsbidragets (stofindtag med indtagsvandet) andel af den samlede stoftilførsel varierer en del for dambrugene og udgør i gennemsnit over halvdelen af stofinputtet for total kvælstof, total fosfor og BI₅, men kun 1/4 for ammonium kvælstof (i parentes min. og max. procentandel af vandløbsbidrag af total stofinput):

NH ₄ -N:	25 % (1-59%)
Total N:	59 % (8-97 %)
Total P:	61 % (14-83 %)
BI ₅ :	57 % (8-79 %)

Det er igen lidt overraskende at vandløbsbidraget for total kvælstof er så højt, hvilket både kan skyldes højt nitratinhold og et relativt højt indhold af partikulært bundet kvælstof, det sidste observeres dog ikke så ofte. Det er mere som forventet at vandløbsbidraget kan være højt for total fosfor og BI₅, hvor større andele af disse kan være partikulært bundet og dermed indtages på dambruget ikke mindst ved høje vandføringer i vandløb, der tages vand fra.

Tabel 6: Statistik for ammonium kvælstof vedrørende produktionsbidrag, den andel stofindtag med indtagsvand (vandløbsbidraget) udgør af samlede stof input til dambruget og stoftabet fra dambruget, produktionsbidraget sammenlignet med stoftab fra dambruget samt produktionsbidrag pr. kg fisk og nettostoftab for 6 klassiske dambrug. Se i øvrigt forklaring til tabel 3.

NH ₄ -N	Prod. bidrag kg	Stof vand ind i % stof ind i alt	Prod. bidrag i % netto stof ud	Stof ind i alt i % af netto stof ud	Prod. bidrag i g pr. kg fisk	Netto stof ud i g pr. kg fisk
Gennemsnit alle	2.050	23	602	38	29	14
Gennemsnit dambrug	2.300	25	452	39	28	15
Median alle	1.700	23	186	39	29	15
Minimum alle	675	1	119	2	24	6
Maksimum alle	4.300	59	10.480	96	47	24
STD dambrug	1.500	14	61	18	3	3
CV dambrug (%)	65	55	35	46	10	20
2*SE dambrug	1.125	10	46	13	2	2

Sammenlignes det gennemsnitlige vandløbsbidrag for dambrugene med den tilsvarende netto stofudledning (målt udledning minus stof i vandindtaget), hvor der i parentes angives min. og max. procentandel findes:

NH ₄ -N:	39 % (2-96 %)
Total N:	63 % (14-203 %)
Total P:	130 % (59-962 %)
BI ₅ :	78 % (14-225 %)

Tabel 7: Statistik for total kvælstof vedrørende produktionsbidrag, den andel stofindtag med indtagsvand (vandløbsbidraget) udgør af samlede stof input til dambruget og stoftabet fra dambruget, produktionsbidraget sammenlignet med stoftab fra dambruget samt produktionsbidrag pr. kg fisk og nettostoftab for 6 klassiske dambrug. Se i øvrigt forklaring til tabel 3.

Total N	Prod. bidrag kg	Stof vand ind i % stof ind i alt	Prod. bidrag i % netto stof ud	Stof ind i alt i % af netto stof ud	Prod. bidrag i g pr. kg fisk	Netto stof ud i g pr. kg fisk
Gennemsnit alle	3.200	47	318	63	46	14
Gennemsnit dambrug	3.600	59	173	86	45	-28
Median alle	2.700	45	200	73	46	22
Minimum alle	1.175	8	-7	14	39	-603
Maksimum alle	6.800	97	441	203	73	61
STD dambrug	2.375	30	109	63	4	257
CV dambrug (%)	65	50	63	50	9	-932
2*SE dambrug	1.800	22	31	47	3	194

Der er således meget stor spredning mellem dambrugene både fordi vandløbsbidraget varierer en del mellem dambrugen ift. samlede stofindtag og fordi stoffjernelse over dambrugene også varierer en del. Det er især udtalt for total fosfor og BI_5 , hvor det må antages at den største andel af stoffet indtages på partikulær form og dermed lettere kan fjernes af renseforanstaltningerne over klassiske dambrugene.

Ses på tilsvarende værdier for produktionsbidraget findes meget store variationer mellem dambrugene, hvor negative værdier angiver at nettoudledningen af et givent stof har været negativt eller større end produktionsbidraget.

Den gennemsnitlige nettoudledning for dambrugene angivet som g pr. kg fisk har været (med angivelse af min. og max. værdien i parentes):

NH_4-N :	15 (6-24) - median 15
Total N:	-28 (-603-22) – median 22
Total P:	0,7 (-17-7,7) – median 0,3
BI_5 :	35 (-71-102) – median 36

Der er meget stor variation mellem dambrugene i nettoudledningerne på nær for ammonium kvælstof og i tabel 10 er vist statistik for nettoudledningerne opgjort for hvert af de 6 dambrug. Et dambrug, der i øvrigt kun indgår med et måleår, har så negativ nettoudledning udledning af total kvælstof at gennemsnittet for de 6 dambrug bliver negativ, mens et gennemsnit hvor alle 27 måleår tæller lige meget giver 14 g TN pr. kg fisk som nettoudledning. Negative udledninger for flere dambrug for total fosfor og et dambrug for total kvælstof og BI_5 angiver at der fjernes mere stof over dambruget, end der er tilført med produktionsbidraget. Hvis det er reelt er det kun er muligt såfremt, der tilbageholdes væsentlige dele af vandløbsbidragets stoftilførsler. Som det beskrives andetsteds i rapporten, vil det på klassiske dambrug, hvor der kun er slamfælder, bundfældningsanlæg og mikrosigter stort set kun være partikler, der kan fjernes i renseforanstaltningerne. I den gamle dambrugsbekendtgørelse var det (teoretisk) forudsat at der på et (klassisk) dambrug fjernes 7 % af produktionsbidraget af total kvælstof og tilsvarende 20 % af henholdsvis total fosfor og BI_5 , hvilket for total kvælstof vil svare til at over halvdelen hovedparten af den partikulære del af produktionsbidraget skal fjernes over dambruget. De fundne nettoudledninger må derfor være et udtryk for, at der tilbageholdes en større andel af vandløbsbidraget fremfor de viser at dambrugene er effektive til at rense af produktionsbidraget, da der ikke er renseforanstaltninger til stede, der kan fjerne ret meget mere end den teoretiske fjernelse nævnt ovenfor.

Den store variation i nettoudledningen er et udtryk for at der både er en reel stor variation i nettoudledningen mellem klassiske dambrug afhængig af hvor meget stof, der indtages med indtagsvandet både absolut og relativt ift. produktionsbidraget, kvaliteten af vandet, de givne renseforanstaltninger, driften af dambruget, men samtidig også at 12 prøver pr. år samt stor usikkerhed samt vand ind og/eller ud fra dambruget kun bestemt 12 gange på et år og ofte enten kun i ind og udløbet og ofte skøn-

net og ikke målt) giver stor usikkerhed på bestemmelse af vandløbsbidraget og på indtag af stof til og udledningerne fra dambrugene.

Side 11/20

Tabel 8: Statistik for total fosfor vedrørende produktionsbidrag, den andel stofindtag med indtagsvand (vandløbsbidraget) udgør af samlede stof input til dambruget og stoftabet fra dambruget, produktionsbidraget sammenlignet med stoftab fra dambruget samt produktionsbidrag pr. kg fisk og nettostofnetto stofnetto for 6 klassiske dambrug. Se i øvrigt forklaring til tabel 3.

Total P	Prod. bidrag kg	Stof vand ind i % stof ind i alt	Prod. bidrag i % netto stof ud	Stof ind i alt i % af netto stof ud	Prod. bidrag i g pr. kg fisk	Netto stof ud i g pr. kg fisk
Gennemsnit alle	350	55	509	159	5,0	-0,5
Gennemsnit dambrug	390	61	440	130	4,8	0,7
Median alle	290	62	391	94	5,1	0,3
Minimum alle	100	14	-3043	59	2,4	-17
Maksimum alle	760	83	5785	962	11	7,7
STD dambrug	280	19	570	64	1,4	3,7
CV dambrug (%)	72	32	129	50	29	532
2*SE dambrug	210	14	431	49	1,0	2,8

Tabel 9: Statistik for BI₅ vedrørende produktionsbidrag, den andel stofindtag med indtagsvand (vandløbsbidraget) udgør af samlede stof input til dambruget og stoftabet fra dambruget, produktionsbidraget sammenlignet med stoftab fra dambruget samt produktionsbidrag pr. kg fisk og netto stofnetto for 6 klassiske dambrug. Se i øvrigt forklaring til tabel 3.

BI₅	Prod. bidrag kg	Stof vand ind i % stof ind i alt	Prod. bidrag i % netto stof ud	Stof ind i alt i % af netto stof ud	Prod. bidrag i g pr. kg fisk	Netto stof ud i g pr. kg fisk
Gennemsnit alle	6.000	49	345	79	84	26
Gennemsnit dambrug	6.900	57	278	78	85	35
Median alle	5.200	51	195	78	84	36
Minimum alle	1.900	8	-748	14	78	-71
Maksimum alle	13.400	79	3.302	225	117	102
STD dambrug	4.800	23	394	29	38	36
CV dambrug (%)	69	41	142	37	3,1	105
2*SE dambrug	3.600	18	298	22	2,0	28

Tabel 10 Nettoudledninger pr. kg af ammonium og total kvælstof, total fosfor og BI₅ for hver de 6 modeldambrug kaldet D1 til D6 samt standardafvigelser (STD), variations koeficienter (CV) og 2 gange standard error (2 * SE) på de målte koncentrationer (for D1 og D5 kun gennemsnit, da de kun har et måleår med i analysen).

	NH₄-N kg/fisk	TN kg/fisk	TP kg/fisk	BI₅ kg/fisk
Gennemsnit D1	15	20	1,3	35
Gennemsnit D2	8,7	28	-3,6	-11
STD D2	5,4	14	2,2	36
CV D2	62	49	-60	-321
2*SE D2	4,1	10	1,6	27
Gennemsnit D3	16	35	0,6	32
STD D3	6,4	18	0,7	32
CV D3	40	51	109	102
2*SE D3	5,7	16	0,6	29
Gennemsnit D4	16	15	-1,0	45
STD D4	2,1	4,6	6,8	2,7
CV D4	13	30	-673	6,0
2*SE D4	1,6	3,5	5,1	3,1
Gennemsnit D5	14	-603	7,7	102
Gennemsnit D6	16	35	0,7	38
STD D6	2,8	6,6	0,3	9,0
CV D6	17	19	45	24
2*SE D6	2,3	5,4	0,2	7,4

Den store variation i de gennemsnitlige nettoudledninger fra dambrugene medfører at der ligeledes er stor variation i de gennemsnitlige nettorensgrader over dambrugene, hvor nettorensgraden R_N beregnes som:

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

U_N = nettoudledningen af et givent stof

P = produktionsbidraget af et givent stof.

I tabel 11 findes statistisk på nettorensgraderne for ammonium og total kvælstof, total fosfor og BI₅ som gennemsnit for de 6 dambrug og i tabel 12 værdier for hver af de 6 dambrug.

Nettorensgraden er tænkt som et mål hvor stor en andel af produktionsbidraget, der fjernes over dambruget, men som omtalt vil en andel af stof tilbageholdelsen være af den partikulære del af vandløbsbidraget. Det fremgår af tabel 12 at der er store variationer mellem dambrugene vedrørende nettorensgraderne. Især for total kvælstof er

der stor forskel på gennemsnittet af de 6 dambrug, hvor hvert dambrug tæller lige meget og gennemsnittet for alle 27 måleår, når disse tæller lige meget, hvilket igen skyldes at et dambrug med et måleår påvirker gennemsnittet væsentligt (dambrug D5 tabel 12). Der er ift. den gennemsnitlige nettorensgrad meget store variationer (min. og max- værdi angivet i parentes):

NH ₄ -N:	48 % (16-99 %) - median 48 %
Total N:	301 % (-58-1597 %) – median 51 %
Total P:	85 % (-226-403 %) – median 93 %
BI ₅ :	59 % (-23-187 %) – median 59 %

Tabel 11: Statistik vedrørende gennemsnits nettorensgrader af ammonium og total kvælstof, total fosfor og BI₅ for de 6 modeldambrug. Se i øvrigt forklaring til tabel 3.

	NH ₄ -N %	TN %	TP %	BI ₅ %
Gennemsnit alle	50	98	109	69
Gennemsnit dambrug	48	301	85	59
Median alle	46	51	93	59
Minimum alle	16	-58	-226	-23
Maksimum alle	99	1597	403	187
STD dambrug	10	635	142	44
CV dambrug (%)	22	211	166	74
2*SE dambrug	8	480	106	33

De negative nettorensgrader og de ekstrem høje nettorensgrader må blandt andet tilskrives, at der er ret stor usikkerhed på de målte stofmængder ind og ud af dambruget dels grundet antal prøver pr. år (typisk 12) og usikkerhed på (de manglende) vandmængder, hvilket kun understreger behovet for et tilstrækkeligt antal prøver og kontinuert registrering af vand ind og ud.

I konklusionen sammenlignes median nettoudledninger og nettorensgrader med tilsvarende for model 1 og model 3.

Tabel 12 Nettorensgrader af ammonium og total kvælstof, total fosfor og BI₅ for hver de 6 modeldambrug kaldet D1 til D6 samt standardafvigelse (STD), variations koefficienter (CV) og 2 gange standard error (2 * SE) på de målte koncentrationer (for D1 og D5 kun gennemsnit, da de kun har et måleår med i analysen). I sidste kolonne findes hvor meget stof med vandindtaget (vandløbsbidraget) udgør af den samlede tilførte stofmængde til dambruget, hvor første tal i sidste kolonne refererer til ammonium kvælstof, det andet til total kvælstof f.m.v.

	NH ₄ -N %	TN %	TP %	BI ₅ %	Stof vand ind i % stof ind i alt
Gennemsnit D1	45	55	75	59	42-75-69-75
Gennemsnit D2	70	38	177	113	18-34-57-51
STD D2	17	28	46	44	11-5-10-7
CV D2	25	73	26	39	59-15-18-14
2*SE D2	13	21	35	33	8-4-8-5
Gennemsnit D3	41	19	88	62	29-73-69-68
STD D3	20	47	13	39	6-5-5-8
CV D3	48	244	15	62	22-7-7-12
2*SE D3	18	42	12	35	6-5-4-8
Gennemsnit D4	48	69	119	44	36-54-63-60
STD D4	7	11	120	4	14-9-13-60
CV D4	14	16	101	10	41-17-20-0,6
2*SE D4	5	8	90	5	11-7-10-0,4
Gennemsnit D5	43	1.600	-226	-23	18-97-82-77
Gennemsnit D6	49	30	90	56	4-16-26-27
STD D6	10	19	5	12	5-7-7-12
CV D6	22	63	6	22	109-42-26-45
2*SE D6	9	16	4	10	4-5-6-10

4. Konklusion

På basis af data fra 30klassiske dambrug er der 6 dambrug der hver har mindst et måleår, hvor der er taget mindst 12 vandkemiske prøver i indtagsvandet og i afløbet fra dambruget. Det giver i alt 27 måleår at analysere på, hvor 2 af de 6 dambrug kun har haft et måleår hver.

De fleste af dambrugene har kun målt vandmængder i enten indtag eller udløb på prøvetagningsdatoen og for de fleste er der typisk kun målt enten i indtag eller afløbet fra dambruget, og der mangler i en del tilfælde vandmængder begge steder. Endvidere er der en del måleår, hvor en enkelt prøvetagning har så høje koncentrationer ift. til de øvrige udtagne prøver, at den ene af 12 prøvetagning kan stå for 60-70 år af den samlede stoftilførsel i et måleår. Det må konkluderes, at der er stor usikkerhed på de indtagne stofmængder og også en relativ stor usikkerhed på hvor meget stof, der ud-

ledes fra dambrugene, men her er variationen i koncentrationerne generelt knap så stor. Det er særdeles uhensigtsmæssigt at der ikke konsekvent måles vand i både indtaget til og afløb fra dambrugene ved hver prøvetagning, og det er påfaldende at vandmængderne typisk er fuldstændig identiske i indtag og udløb samt variere meget lidt hen over et til flere måleår ved dambrugene. Umiddelbart tyder dette på at man blot estimerer og ikke måler vandmængderne. Ud fra et fagligt synspunkt vil det være særdeles hensigtsmæssigt, at man fremadrettet sikrer konsekvent måling af vandmængder i indløb til og i afløb fra dambrug og det bør ske kontinuert. Det vil give en langt mere sikker bestemmelse af nettostofudledning og rensegrader fra dambrugene, således som den nye bekendtgørelse også foreskriver. De ringe bestemte eller helt manglende vandmængder medfører, at der kommer stor usikkerhed på de beregnede nettoudledninger og rensegrader for de 6 dambrug og medfører ekstra stor spredning mellem de 6 dambrug.

Vandindtag (-afledning) for de 6 dambrug varierer mellem 15 og 660 l/s med en middel på 260 l/s pr. dambrug. Vandforbruget pr. kg produceret fisk varierer mellem 18.000 og 145.000 l pr. kg med et gennemsnit pr. dambrug på godt 86.000 l/s eller i gennemsnit 314 l/s pr 100 tons foder. Til sammenligning anvendte model 1 og model 3 dambrug i gennemsnit henholdsvis 18.800 l/s og 2.200 l/s pr kg foder, hvilket svarer til 60 l/s pr. 100 tons foder for model 1 og 8 l/s pr. 100 tons foder ved model 3 (Svendsen et al. 2011). En af årsagerne til det høje vandforbrug pr. kg produceret fisk er at de fleste dambrug har moderfisk og de fleste af dambrugene er traditionelle gennemstrømningsanlæg uden recirkulering af vandet.

Der kan fremhæves nogle få nøgletal, hvor der angives gennemsnit for de 6 dambrug som er udregnet ved først at beregne et gennemsnit for hver af de dambrug der indgår med mere end 1 måleår og lave et gennemsnit for de 6 dambrug (så hvert dambrug tæller lige meget i gennemsnittet). Herudover angives ± 2 gange standarderror (svarende til 95 % af fordelingen). Endvidere er der i parentes angivet det standardproduktionsbidrag som fremgår af den nye dambrugsbekendtgørelse. Produktionsbidraget for de 6 klassiske dambrug baseret på angivne foderforbrug og fodertype og her er der kun lille variation mellem dambrugene:

- NH_4 -kvælstof: 28 ± 2 (39) gram $\text{NH}_4\text{-N}$ pr. kg produceret fisk
- Total kvælstof: 45 ± 3 (56) gram total N pr. kg produceret fisk
- Total fosfor: $4,8 \pm 1,0$ (4,9) gram total P pr. kg produceret fisk
- BI_5 : 85 ± 2 (97) gram BI_5 pr. kg produceret fisk.

Produktionsbidraget har for fosfor svaret til standardværdien i den nye dambrugsbekendtgørelse fra 2012, men det er 15-25 % lavere for ammonium og total kvælstof og for BI_5 .

Modsat produktionsbidraget er der meget stor forskel i nettoudledningerne fra de 6 klassiske dambrug, hvilket både tilskrives at der er reelle forskelle og de store usikkerheder der er på bestemmelse af stofmængde i ikke mindst indløb til men også i ud-

ledningerne fra dambrugene (i parentes er angivet gennemsnitsudledning fra model 1 dambrug jf. Svendsen et al., 2011):

- NH_4 -kvælstof: 15 ± 2 (7,2) gram NH_4 -N pr. kg produceret fisk
- Total kvælstof: -28 ± 194 (9,7) gram total N pr. kg produceret fisk (gennemsnit 27 måleår 14 gram total N pr. kg produceret fisk.)
- Total fosfor: $0,7 \pm 2,8$ (0,45) gram total P pr. kg produceret fisk
- BI_5 : 35 ± 28 (16,4) gram BI_5 pr. kg produceret fisk.

Det er tydeligt at der er meget stor variation mellem dambrugene for især total kvælstof (CV -932 %!), total fosfor (532 %) og BI_5 (105 %), mens den kun er 20 % for ammonium kvælstof. Mens forskellene mellem nettoudledningerne for total fosfor og BI_5 ud over usikkerhederne omkring stofindtag og stofudledningen også kan relateres til vandløbsbidragets betydning, må den store variation for total kvælstof primært tilskrives usikkerhederne på fastlæggelse af stofmængderne. Så eksempel er der et dambrug der kun indgår med et måleår som har meget negativ total kvælstof udledning og anvendes i stedet gennemsnit af de 27 måleårs nettoudledning fås 14 gram total N pr. kg produceret fisk.

Sammenlignes de fundne nettostofudledninger med BAT-kravene i den nye Dambrugsbekendtgørelse, som er vist i tabel 13 skal det bemærkes at de 6 dambrug i gennemsnit har haft et årligt foderforbrug (F_{till}) på godt 81 tons (minimum 23 tons, maksimum 155 tons). Med de nævnte store usikkerheder på de beregnede nettoudledninger har 4 af 6 dambrug i gennemsnit kunnet opfylde total BAT kravene for total kvælstof og 5 af 6 for total fosfor for $F_{\text{till}} 55 - \leq 230$ tons, mens kun et dambrug har kunnet opfylde BI_5 kravene for dette F_{till} interval. 3 af dambrugene har kunnet opfylde BI_5 kravet for $F_{\text{till}} 25 - \leq 55$ tons, mens alle har kunnet opfylde kravene for $F_{\text{till}} \leq 25$ tons på nær 1 dambrug for fosfor.

Tabel 13 BAT kravene for nettostofudledninger fra dambrug i den nye dambrugsbekendtgørelse (Bekendtgørelse, 2012). F_{till} er fodertilladelsen i henhold til den gamle dambrugsbekendtgørelse.

Produktionsstørrelse F_{till}	Kvælstof kg/tons fisk	Fosfor kg/tons fisk	BI_5 kg/tons fisk
0- ≤ 25 tons	42	3,2	65
25- ≤ 55 tons	35	2,5	35
55- ≤ 230 tons	28	2,1	20
≥ 230 tons	27	1,4	14

Rensegraderne viser som nettoudledningerne store variationer mellem de 6 dambrug (i parentes er angivet gennemsnits rensegrader fra model 1 dambrug jf. Svendsen et al., 2011):

- NH_4 -kvælstof: 48 % \pm 8 (74)
- Total kvælstof: 301 \pm 480 (78) (48 % hvis et måleår udelukkes fra et dambrug)
- Total fosfor: 85 % \pm 106 (90)
- BI_5 : 59 % \pm 33 (70)

Side 17/20

Ses i stedet på gennemsnittet for de 27 måleår har nettorensgraden for total kvælstof været 98 % og ses bort fra dambruget der indgår med et måleår med meget afvigende værdier for total kvælstof bliver gennemsnittet for de resterende måleår 41 % rensgrad for total kvælstof.

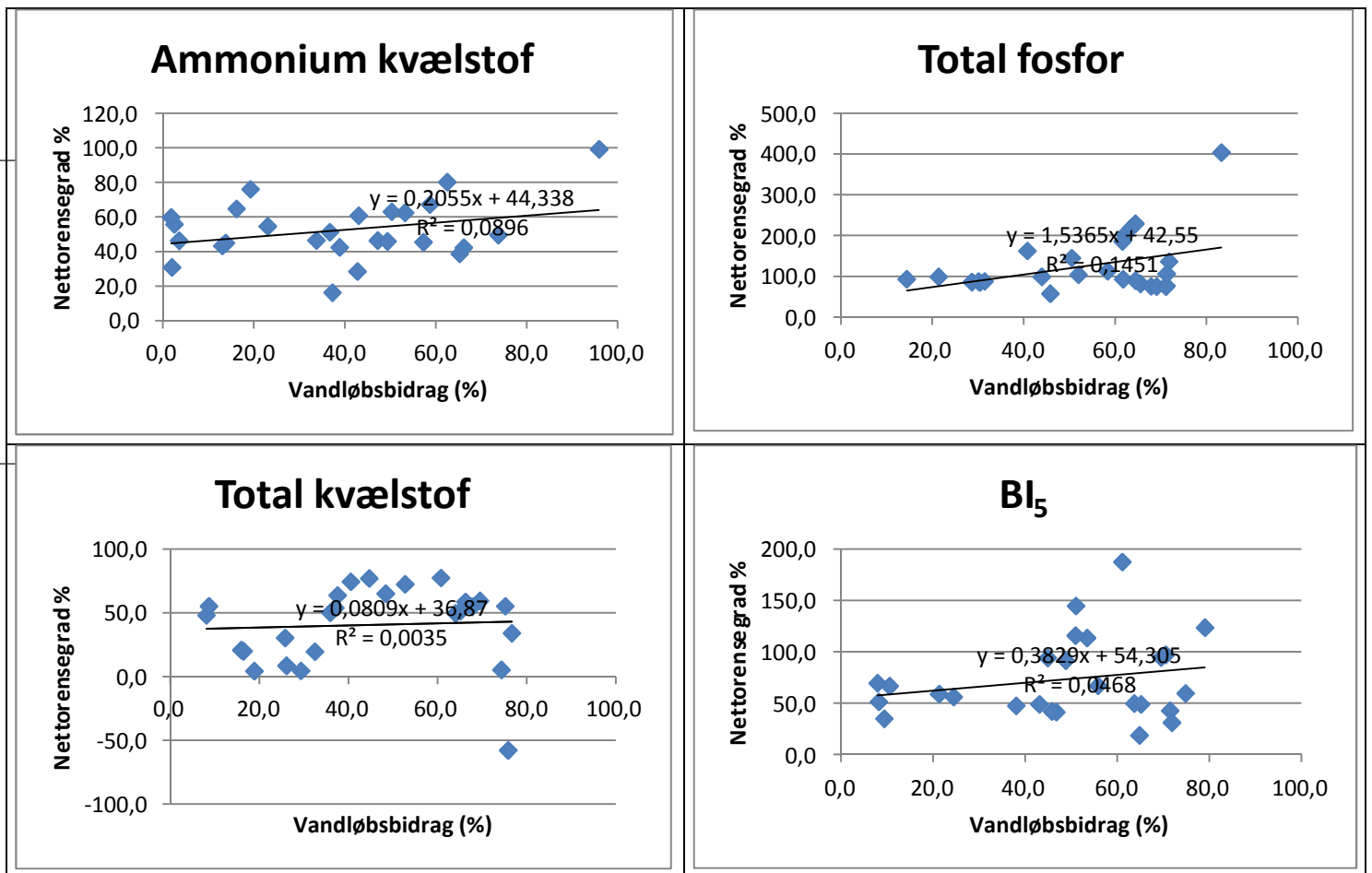
De fundne nettoudledninger indikere tydeligt, at der tilbageholdes en større andel af vandløbsbidraget fremfor de viser at dambrugene er effektive til at rense af produktionsbidraget, da der ikke er renseforanstaltninger til stede, der kan fjerne ret meget mere end den teoretiske fjernelse som er angivet i den gamle Dambrugsbekendtgørelse på 7 % for total kvælstof og 20 % for total fosfor og BI_5 .

De model 1 dambrug der er sammenlignet med (Svendsen et al, 2011) havde alle plantelaguner og nogle af dem biofiltre og anvendte i gennemsnit knap 19.000 l vand pr produceret kg. fisk hvor de 6 klassiske dambrug i denne undersøgelse i gennemsnit har anvendt 86.400 l. Man kan derfor ikke direkte sammenligne resultaterne, idet model 1 dambrugene må forventes at have større fjernelse af opløst kvælstof, fosfor og BI_5 . Omvendt er der et større vandløbsbidrag på de klassiske dambrug hvorfra en række partikler kan tilbageholdes.

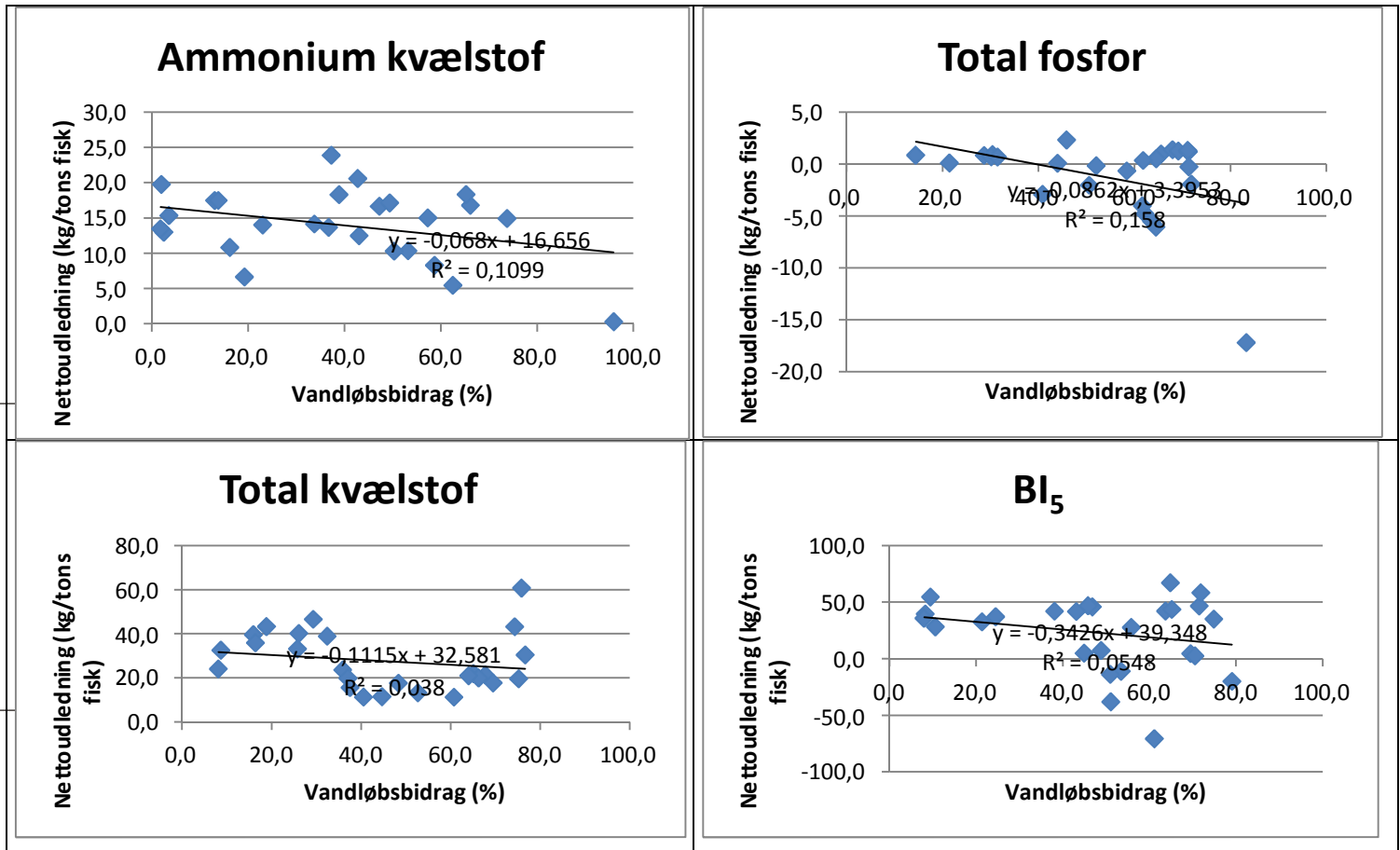
Afslutningsvis er det søgt vurderet om der er en sammenhæng mellem vandløbsbidraget størrelse og de beregnede rensgrader nettoudledninger. Dette er illustreret ved at sammenholde vandløbsbidraget i % af den samlede stoftilførsel til dambruget (stof i indtagsvandet + produktionsbidraget) mod henholdsvis nettorensgraden (figur 1) og nettoudledningen (kg) pr tons produceret fisk for 26 måleår for 5 klassiske dambrug. Et dambrug med et måleår er udelukket da det har meget afvigende resultater fra de øvrige 5 dambrug for nogle af de kemiske parametre (nr. D5). Rent visuelt er der tendens til at jo større andel af stofinputtet, der er tilført med vandløbsbidraget desto større er nettorensgraden og desto mindre bliver nettostofudledningen. En Pearson test af regressionerne viser, at der er en statistisk signifikant sammenhæng (95 % confidens) mellem vandløbsbidraget i procent af total stofinput og henholdsvis nettoudledning og netto rensgrader af total fosfor, mens de øvrige regressioner ikke er signifikante.

Det vil kræve et bedre og mere omfattende data grundlag fra flere klassiske dambrug for at kunne underbygge om der er den forventede sammenhæng mellem vandløbsbidragets andel af stofinput og nettoudledningerne/nettorensgrader, men selv med et bedre sæt måledata, må der forventes en vis spredning, da den del af vandløbsbidraget som kan tilbageholdes over et klassisk dambrug stort set kun vil være den partikulære del og der kan godt være et stort vandløbsbidrag af total kvælstof, hvis ni-

tratkoncentrationen i indtagstvandet er meget højt. Men samlet set synes resultaterne fra denne analyse at understøtte antagelse om, at hvor vandløbsbidraget udgør en stor del af stoftilførsel til et dambrug får en større rensegrad/lavere nettostofudledning. Det betyder med andre ord, at hvis dambrugene reducerer deres vandindtag fra vandløb (med meget stof på partikulær form) så vil det kræve øget fjernelse af produktionsbidraget for at kunne fastholde samme nettoensegrader.



Figur 1: Stofindtag med indtagne vandløbsvand (vandløbsbidraget) i procent af det samlede stofinput (vandløbsbidrag + stof tilført med produktionsbidraget) mod nettoensegraden af henholdsvis ammonium og total kvælstof, total fosfor og BI₅ for 26 måleår for 5 klassiske dambrug. Der er indlagt en lineær regression og must regressionskoefficienten (R^2). For total fosfor er sammenhænge er statistisk signifikant.



Figur 2: Stofindtag med indtagne vandløbsvand (vandløbsbidraget) i procent af det samlede stofinput (vandløbsbidrag + stof tilført med produktionsbidraget) mod nettoudledningen af henholdsvis ammonium og total kvælstof, total fosfor og BI₅ for 26 måleår for 5 klassiske dambrug. Der er indlagt en lineær regression og must regressionskoefficienten (R²). For total fosfor er sammenhænge er statistisk signifikant.

Det skal afslutningsvist understreges at det er udenfor delaktivitetens (været afsat 1 mandmåned til delaktiviteten) formål at vurdere om resultaterne er repræsentative for de klassiske dambrug eller rettere om variationsbredden i disse afspejler den variation, der må forventes at være for klassiske dambrug.

5. Referencer [gøres færdig]

Side 20/20

Bekendtgørelse om miljøgodkendelse og samtidig sagsbehandling af ferskvandsdambrug (2012). Bekendtgørelse 130 8/2/2012, Miljøministeriet, 19 pp.

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

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

Svendsen, L.M., Larsen, S.E., Dalsgaard, A.J.T., Plesner, L.J. & Michelsen, K. (2012) et al. (2011). Renseeffektivitet på model 1 dambrug. Rapportering af WP4 under dambrugsteknologiprojektet. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. 106 s – Faglig rapport fra DMU nr. 842.