



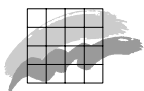
**Danmarks Miljøundersøgelser**  
Miljøministeriet

# Modeldambrug

Specifikationer og godkendelseskrav  
Rapport fra faglig arbejdsgruppe

*Arbejdsrapport fra DMU, nr. 183*

*[Tom side]*



**Danmarks Miljøundersøgelser**  
Miljøministeriet

---

# Modeldambrug

Specifikationer og godkendelseskrav  
Rapport fra faglig arbejdsgruppe

*Arbejdsrapport fra DMU, nr. 183*  
**2003**

*Per Boøbjerg Pedersen (red.)*  
Danmarks Fiskeriundersøgelser

*Ole Grønborg (red.)*  
Aalborg Universitet

*Lars M. Svendsen (red.)*  
Danmarks Miljøundersøgelser

# Datablad

Titel:	Modeldambrug
Undertitel:	Specifikationer og godkendelseskrav. Rapport fra faglig arbejdsgruppe
Forfattere:	P. Bovbjerg Pedersen <sup>1</sup> , O. Grønborg <sup>2</sup> , L.M. Svendsen <sup>3</sup> ,
Afdelinger:	<sup>1</sup> Danmarks Fiskeriundersøgelser, <sup>2</sup> Aalborg Universitet, <sup>3</sup> Overvågningssektionen,
Serietitel og nummer:	Arbejdsrapport fra DMU nr. 183
Udgiver:	Danmarks Miljøundersøgelser© Miljøministeriet
URL:	<a href="http://www.dmu.dk">http://www.dmu.dk</a>
Udgivelsestidspunkt:	Juli 2003
Redaktionen afsluttet:	Juli 2003
Redaktion:	Bovbjerg Pedersen, P., Grønborg, O. & Svendsen, L.M.
Faglig kommentering:	Faglig arbejdsgruppe vedrørende modeldambrug
Finansiel støtte:	Ingen ekstern finansiering.
Bedes citeret:	Bovbjerg Pedersen, P., Grønborg, O. & Svendsen, L.M., (reds.) 2003: Modeldambrug. Specifikationer og godkendelseskrav. Rapport fra faglig arbejdsgruppe. Danmarks Miljøundersøgelser. 84 s. – Arbejdsrapport fra DMU nr. 183. Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse.
Sammenfatning:	Rapporten indeholder anbefalingerne fra en faglig arbejdsgruppe under udvalget vedrørende dambrugserhvervets udviklingsmuligheder (Dambrugsudvalget) omkring specifikation og godkendelseskrav til modeldambrug baseret på eksisterende viden. Der skitseres indretning af 3 typer modeldambrug og gennemgås rensegrader for slamkegler og bundfældningsanlæg, mikrosigter, forskellige typer biofiltre, plantelaguner samt samlede rensegrader for modeldambrug. Der beskrives godkendelseskrav, kontrolmetoder, målemetoder, management og mulighed for foderopskrivning samt konsekvenserne for vandmiljøet.
Emneord:	Modeldambrug, rensegrader, rensekomponenter, mikrosigter, biofiltre, plantelaguner, dambrugsspildevand, godkendelseskrav, kontrolmetoder, målemetoder, foder, dambrugsproduktion og miljøeffekter.
ISSN (trykt):	1395-5675
ISSN (elektronisk):	1399-9346
Layout:	Karin Balle Madsen
Tegninger/fotos:	Grafisk Værksted, Silkeborg
Papirkvalitet:	Cyclus Print
Tryk:	Schultz Grafisk Miljøcertificeret (ISO 14001) og kvalitetscertificeret (ISO 9002)
Sideantal:	84
Oplag:	200
Pris:	kr. 60,00 (inkl. 25% moms, ekskl. forsendelse)
Internet-version:	Rapporten kan også findes som PDF-fil på DMU's hjemmeside <a href="http://www.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_arbejdsrapporter/rapporter/[ar183.pdf]">http://www.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_arbejdsrapporter/rapporter/[ar183.pdf]</a>
Købes hos:	Miljøministeriet Frontlinien Strandgade 29 1401 København K Tlf.: 33 66 02 00 <a href="mailto:frontlinien@frontlinien.dk">frontlinien@frontlinien.dk</a> <a href="http://www.frontlinien.dk">www.frontlinien.dk</a>



# Indhold

<b>0</b>	<b>Sammenfatning og arbejdsgruppens anbefalinger</b>	<b>5</b>
0.1	Indledning	5
0.2	Viden og vidensbehov	6
0.3	Konsekvenser for miljøet	6
0.4	Modeldambrug	7
0.5	Produktionsbidrag	9
0.6	Rensegrader	9
0.7	Skalering af modeldambrugene	11
0.8	Foderforbrug	11
0.9	Management	14
0.10	Kontrolmetoder	14
0.11	Fremtidig justeringer af anbefalingerne	16
<b>1</b>	<b>Indledning, kommissorium, arbejdsgruppens sammensætning, antal møder</b>	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>Karakteristik af dambrugsspildevand, produktionsbidrag – fordeling af partikulære og opløste fraktioner, forholdet mellem COD og BI<sub>5</sub></b>	<b>18</b>
2.1	Produktionsbidrag	18
2.2	Produktionsbidrag af kvælstof (N)	18
2.3	Produktionsbidrag af fosfor (P)	19
2.4	Produktionsbidrag af let omsætteligt organisk stof (BI <sub>5</sub> )	20
2.5	Fordeling på partikulær og opløst form	21
2.6	Foderspild	22
<b>3</b>	<b>Introduktion til modeldambrug</b>	<b>24</b>
3.1	Renseteknisk grundlag for modeldambrug	24
3.2	Renseforanstaltninger anvendt i modeldambrugene	25
<b>4</b>	<b>Rensning i enkeltstående komponenter eller renseforanstaltninger, egenomsætning m.m.</b>	<b>27</b>
4.1	Fjernelse af N	27
4.2	Fjernelse af P	28
4.3	Fjernelse af BI <sub>5</sub>	29
<b>5</b>	<b>Rensnings- eller tilbageholdelsesprocenter for modeldambrugenes kombinationsopstillinger</b>	<b>32</b>
<b>6</b>	<b>Skalering af modeldambrug</b>	<b>36</b>

<b>7</b>	<b>Miljøgodkendelse og management af modeldambrug</b>	<b>37</b>
7.1	Godkendelse	37
7.2	Regulering af ferskvandsdambrug	37
7.3	Muligheder for et forøget foderforbrug	38
<b>8</b>	<b>Kontrolmetoder, kontrolkrav og målemetoder</b>	<b>40</b>
8.1	Indledning	40
8.2	Kontrol kun af udledningerne (udløb)	41
8.3	Reduceret statistisk sikkerhed	42
8.4	Fast definerede kontrolprogrammer	43
8.5	Tilstandskontrol kontra transportkontrol	43
8.6	Krav til indretning af udløb og prøvetagning	43
8.7	Automatiske registrering	44
<b>9</b>	<b>Modeldambrug: Miljøkonsekvenser og foderforbrug</b>	<b>45</b>
9.1	Miljøforhold ved modeldambrug	45
9.2	Foderforbrug på modeldambrug	46
<b>10</b>	<b>Referencer</b>	<b>50</b>
Bilag A	Arbejdsgruppens kommissorium	53
Bilag B	Beregning af produktionsbidrag	55
Bilag C	Teknisk oplæg til design af Modeldambrug	58
Bilag D	Hvordan ser kontrolreglerne ud, hvis dambrug kun skal kontrolleres på udledningen	74
Bilag E	Notat vedrørende tilpasning af udlederkrav ved overgang fra tilstandskontrol til transportkontrol	76
Bilag F	Management / Driftsstyringssystemer	81
	<b>Danmarks Miljøundersøgelser</b>	<b>83</b>

# 0 Sammenfatning og arbejdsgruppens anbefalinger

## 0.1 Indledning

I forbindelse med arbejdet i udvalget vedrørende dambrugserhvervets udviklingsmuligheder (dambrugsudvalget) blev det besluttet at nedsætte en faglig arbejdsgruppe, der skulle foretage en nærmere beskrivelse af de "modeldambrug", der skulle udvikles som grundlag for udvalgets forventede anbefalinger om forøgelse af dambrugsproduktionen. Dette skulle ske under hensyntagen til miljøforholdene, herunder bl.a. at målsætningerne i vandløbene skulle kunne opfyldes og udledningerne fra dambrugene ikke måtte øges.

Hovedformålet med arbejdsgruppen er at undersøge og fastlægge såvel specifikationer som godkendelseskrav til modeldambrug. Fastlæggelsen af disse skal ske for at skabe grundlag for en forenklet og lettere godkendelsesprocedure og entydige krav til dambruget.

Hvis en dambruger ønsker at indrette et dambrug som et af modeldambrugene, så er der defineret krav til indretning og drift og fastlagt rensegrader for kvælstof, fosfor og organisk stof. Godkendelsesmyndighedens behandling af ansøgninger om ombygning og øget foderforbrug ud fra et modeldambrug forventes at være en forholdsvis enkel procedure, idet lovgivningens krav om dokumentation, renere teknologi, acceptabel miljøbelastning forudsættes tilgodeset på forhånd. Dette vil forenkle sagsgangen ligesom det på forhånd vil være lettere for dambrugeren at kunne vurdere størrelsen af og muligheden for en foderopskrivning.

Denne sammenfatning opsummerer de anbefalinger arbejdsgruppen giver i rapporten. Rapporten omhandler bl.a.

- en beskrivelse af modeldambrugene (indretning, funktion, teknik og forudsætninger) herunder skalering af dambrugene
- vurdering af rensegrader for de enkelte rensekomponenter
- de samlede systemers rensegrader
- godkendelseskrav, mulige kontrolmetoder
- management
- modeldambrugenes konsekvenser for såvel vandmiljøet som for dambrugsproduktionen
- mulighed for foderopskrivning
- karakterisering af dambrugsspildevand, målemetoder m.v.

Arbejdsgruppen har på forhånd skønnet at hverken suspenderet stof eller ammonium-kvælstof vil være et problem i relation til modeldambrugene og har derfor alene fokuseret på total kvælstof, total fosfor og organisk stof målt som  $BI_5$  (biologisk iltforbrug over 5 dage).

Der står en enig arbejdsgruppe bag denne rapportes anbefalinger og konklusioner.

Det er arbejdsgruppens opfattelse, at de angivne rensegrader, og den deraf følgende foderopskrivning anses for sandsynliggjort/dokumenteret med den fornødne sikkerhed, og dermed tilgodeser de miljømæssige forhold. Det er derfor også arbejdsgruppens opfattelse, at såfremt modeldambrugene er økonomisk bæredygtige, kan en større dambrugsproduktion således tilvejebringes på en miljømæssig bæredygtig måde.

## 0.2 Viden og vidensbehov

Det anføres i rapporten, at dokumentationen i en del tilfælde savnes for danske forhold, kun findes undersøgt for et/få danske dambrug som ikke er identisk med modeldambrug eller helt mangler. Arbejdsgruppen har derfor vurderet hvordan den dokumenterede viden kan overføres til modeldambrugene. Arbejdsgruppen har valgt ikke at opliste en række referencer, men der kan henvises til et par danske rapport, som har samlet viden op indenfor en hovedparten af de emner arbejdsgruppen har arbejdet med. (DFU, 1998; Grønborg & Friier 2000).

Arbejdsgruppen anerkender, at der findes betydelig erfaring fra danske dambrug omkring hvordan nogle renseforanstaltninger virker. Denne erfaring kan dog ikke medtages i anbefalingerne, fordi den ikke er tilstrækkelig dokumenteret.

*Arbejdsgruppen anbefaler derfor:*

- *at der hurtigst muligt målrettet skaffes mere dokumentation for en række renseforanstaltninger og processer i dambrug under danske forhold, da denne dokumentation er grundlaget for en bæredygtig udvidelse af dambrugsproduktionen*
- *at denne dokumentation bl.a. tilvejebringes i forbindelse med igangsættelse af de første dambrug der er udført som de anbefalede modeldambrug.*

Der er angivet yderligere videns- og dokumentationsbehov i de følgende afsnit.

## 0.3 Konsekvenser for miljøet

For modeldambrug gælder, at det forudsatte vandindtag fra vandløb vil være væsentligt reduceret sammenlignet med hovedparten af traditionelt drevne dambrug. Dette medfører, at en overholdelse af kravet fra 2005 i vandforsyningslovens §22, stk. 4 om, at mindst halvdel af medianminimum skal være tilbage i vandløbet kan opfyldes stort set alle de steder, hvor der er lokaliseret dambrug i dag. Et reduceret vandindtag vil give en række fordele for både vandmiljøet og for dambrugsproduktionen og kun nogle få ulemper, som er opsamlet i tabel 1. Nogle af disse ulemper (f.eks. et øget energiforbrug) er under alle omstændigheder en konsekvens, når der indføres mere teknologi på et dambrug for at forbedre rensningen, og såfremt dambrugene alligevel (i mange tilfælde) skal have reduceret vandindtaget fra vandløbene.



Det vurderes ikke at være et miljøproblem, at der anvendes drænvand/overfladenært grundvand til dambrugsproduktion. Dette vand vil ikke være en del af drikkevandsforsyningen og ville alligevel nå frem til vandløbet.

Table 1. Fordele og ulemper miljømæssigt for vandløbene og driftsmæssigt for dambrugene ved et reduceret, stabilt vandindtag kombineret med recirkulation.

Vandløbet	Dambruget
<p><u>Fordele:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• "Død å"-strækning fjernes</li> <li>• Øget vandføring i dambruges omløb</li> <li>• Påvirkning af opstemning opstrøms reduceres, fjernes evt. helt</li> <li>• Naturlige variationer i vandløbets vandføring oprettholdes i omløbene</li> <li>• Indtrængen af naturlig fauna i dambrugene reduceres</li> <li>• Passageproblemer ved dambruges opstemninger og vandindtag, herunder afgitring, indretning af faunapassage (både op- og nedstrøms), opstemning m.v. løses langt nemmere</li> <li>• Udledning af medicin og hjælpestoffer reduceres</li> <li>• Maksimumskoncentrationer af medicin og hjælpestoffer i vandløbene formindskes</li> <li>• Fald i vandløbets iltindhold nedstrøms reduceres/undgås</li> </ul> <p><u>Ulemper:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ingen</li> </ul>	<p><u>Fordele:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Stabile produktionsforhold</li> <li>• Påvirkninger fra variationer i indløbsvandets kvalitet reduceres eller elimineres</li> <li>• Øget effekt af renseforanstaltninger</li> <li>• Ved brug af drænvand/grundvand kan opnås højere vandtemperaturer om vinteren og lavere om sommeren</li> <li>• Bedre muligheder for styring af management og produktionsmiljøet</li> <li>• Reduceret smittepres</li> <li>• Reduceret behov for anvendelse af medicin og hjælpestoffer, herunder kalkning</li> <li>• Bedre arbejdsmiljø</li> </ul> <p><u>Ulemper:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Højere energiforbrug pr. kilo produceret fisk</li> <li>• Øget udledning af CO<sub>2</sub></li> <li>• Risiko for opbygning af skadelige ammoniakkoncentrationer</li> <li>• Øget behov for overvågning og styring af driftsforholdene</li> <li>• Øget behov for backup-systemer: strøm, iltforsyning, pumper m.v.</li> </ul>

## 0.4 Modeldambrug

Dansk Dambrugerforening (DDF) og Ålborg Universitet (AAU) har hen over sommeren 2001 udarbejdet tre modeldambrug. Modellerne er valgt ud fra eksisterende viden, litteraturopsamling og hvad der forventes at være mest egnet under danske forhold. Det er således DDF og AAU's ansvar, at miljøforholdene i produktionsanlægget ikke er til skade for fiskenes trivsel. Dette forhold har således ikke indgået i arbejdsgruppens overvejelser.

Gennem arbejdsgruppens arbejde og overvejelser om rensegrader er modeldambrugene blevet justeret i et vist omfang, og der er blevet lavet en variant for hver af de tre modeller. Varianterne er lavet for dels at tilgodese aktuelle forhold ved danske dambrug herunder pladshensyn (dvs. lille kontra stor plantelagune model 1 og 3), vandindtagets størrelse (model 1) og jorddamme kontra betondamme

(model 2). Justeringer i forhold til de oprindelige forslag har medført en yderligere reduktion i vandindtaget, samt ændringer i placering af f.eks. slamkegler og mikrosigter. Det har også været arbejdsgruppens intention at den samlede rensegrad for stofferne kvælstof, fosfor og organisk stof skulle være af samme størrelsesorden for at et stof generelt ikke blev det begrænsende, men dette har ikke i alle tilfælde været muligt.

De tre typer af modeldambrug skal repræsentere:

Model 1: et ekstensivt dambrug

Model 2: relativt intensiv dambrug

Model 3: intensivt dambrug, der typisk skal nyanlægges.

I tabel 2 er der givet nogle overordnede karakteristika for de tre modeldambrug og de tre varianter heraf: 1A, 2A og 3A. Der er som udgangspunkt anvendt et 100 tons anlæg. Ønskes andre fodermængder end de angivne skal der tages højde for nogle skaleringsovervejelser, idet det kan medføre, at der ikke på alle rensekomponenter kan ændres proportionalt på størrelsen af disse for at opnå samme effekt ved den halve eller den dobbelte fodermængde (se senere).

I kapitel 3 og i bilag C til denne rapport er der mere detaljeret redegjort for modeldambrugene, herunder forudsætningerne for de enkelte delkomponenter. I kapitel 3 findes tegninger over modeldambrugene.

*Tabel 2.* Karakteristika for de tre modeldambrug og de tre varianter. For alle gælder, at der er tale om 100 tons anlæg (100 t foder/år). Det interne vandflow i alle modeller er foreslået til 4-500 l/s. Alle har slamkegler og er udstyret med et slamdepot til mindst 1 års opbevaringskapacitet. Opholdstid i biofiltre i model 2 og 2A er 28 minutter og i model 3 og 3A 1,2 time.

Type	Model 1 jord- damme	Model 1A jord- damme	Model 2 jord- damme	Model 2A beton- damme	Model 3 beton- damme	Model 3A beton- damme
Recirkuleringsgrad (%)	75	88	88	88	97	97
Fisketæthed (kg/m <sup>2</sup> )	10	15	15	15	40	40
Stående bestand (tons)	40	40	40	40	40	40
Vandindtag (l/s)	125	62,5	60	60	15	15
Opholdstid damme (timer)	8,9	11,9	12,3	12,3	18,5	18,5
Opholdstid laguner (timer)	9,3	9,3	ingen	ingen	18,7	37,3
Samlet opholdstid (timer)	18,2	21,2	13	13	40	59
Mikrosigter (μ)	74	74	74	74	74	74
Kontaktfilter	-	-	ja	ja	ja	Ja
Biofilter overflade (m <sup>2</sup> )	0	0	49.200	49.200	49.200	49.200
Lagune størrelse (m <sup>2</sup> )	6.000	3.000	nej	nej	1.440	2.880
Samlet pladsforbrug (m <sup>2</sup> )	21.000	14.000	10.000	7.500	6.500	9.000

## 0.5 Produktionsbidrag

Produktionsbidraget er den mængde kvælstof, fosfor og  $BI_5$ , der kommer direkte fra fiskeproduktionen uden nogen form for rensning.

Arbejdsgruppen har drøftet Dambrugsbekendtgørelsens måde at beregne produktionsbidraget af kvælstof, fosfor og  $BI_5$  på. For kvælstof og fosfor anbefales det fortsat at anvende fremgangsmåden fra Dambrugsbekendtgørelsen, mens der for  $BI_5$  anbefales en revideret metode, der i modsætning til Dambrugsbekendtgørelsen tager højde for det aktuelt anvendte foders sammensætning. Hidtil har der været en relativ stor forskel mellem det teoretisk beregnede produktionsbidrag af  $BI_5$  og hvad der rent faktisk er målt af udledninger. En sammenligning af den nye beregningsmetode for  $BI_5$  med de omfattende målinger ved Døstrup Dambrug giver god overensstemmelse (Fjorback et al, 1991). Den nye metode kræver dog, at der foretages flere undersøgelser af forholdet mellem COD og  $BI_5$  i fækalier.

*Arbejdsgruppen anbefaler derfor:*

- *at den i bilag B beskrevne metode for  $BI_5$  anvendes ved fremtidige beregninger af  $BI_5$  bidraget fra fiskeproduktionen*
- *at der iværksættes undersøgelser af forholdet mellem COD og  $BI_5$  i fækalier samt en generel karakteristik af produktionsbidrag i det hele taget.*

Metode til beregning af produktionsbidrag fremgår af kapitel 2 og bilag C.

## 0.6 Rensegrader

Arbejdsgruppen har valgt at angive rensegrader over modeldambrugene som en procentandel af produktionsbidraget, dvs. af den mængde stof, der kommer fra fiskeproduktionen. Ved en sammenligning med eksisterende dambrug skal der tages højde for hvilken fjernelse, der foregår på disse i dag.

Der er i kapitel 4 vurderet effekten af de enkelte rensekomponenter og af disse i kombination for modeldambrugene. Der er på baggrund af litteraturværdier valgt nogle typiske rensegrader, hvor det er vurderet, at de refererede undersøgelseres resultater med passende forudsætninger kan overføres til danske forhold. Arbejdsgruppen har måtte sætte egenomsætningen for f.eks. kvælstof til 0, idet der ikke foreligger tilstrækkelig dokumentation for denne.

Arbejdsgruppen anerkender, at der på baggrund af erfaringer fra dambrugsdrift i Danmark vil være en vis egenomsætning ved de fleste dambrugstyper, men denne kan der først tages højde for, når der er fremskaffet den nødvendige dokumentation. For  $BI_5$  vil en del af egenomsætningen dog blive inkluderet i effekten af plantelagunerne.

Renseeffekten for kvælstof i kontaktfiler er også sat til 0 grundet manglende dokumentation. Det forventes dog, at en undersøgelse heraf vil påvise, at der sker en vis kvælstoffjernelse.

I tabel 3 findes de anbefalede rensegrader. Det skal understreges, at arbejdsgruppen har anvendt et forsigtighedsprincip i forbindelse med vurdering af, hvad rensekomponenterne under et kan rense på et modeldambrug. Der er således ikke tillagt nogen rensseværdi for gentagne passager af produktionsvandet gennem nogle af rensesforanstaltningerne, for forhøjede ligevægtskoncentrationer eller flokkulering og sekundær partikeldannelse i produktionsanlæg. Generelt opereres der også med højere opholdstider i modeldambrugene end de dambrug, der er anvendt resultater fra, hvilket f.eks. for BI<sub>5</sub> også betyder at der er anvendt konservative renseskøn. Forsøg i forbindelse med Døstrup Dambrug har nemlig vist, at langt over halvdelen af BI<sub>5</sub> i hvert fald ved høje vandtemperaturer vil blive omsat i vandfasen når opholdstiden er over 12-15 timer i dambruget. Der forventes også en noget større omsætning/nedbrydning af f.eks. (Fjorback et al., 2001). de fleste medicin- og hjælpestoffer jo større opholdstiden er, og dermed en reduceret udledning til vandløb.

Der er også anvendt et forsigtighedsprincip fordi forholdet mellem opløst og partikulært kvælstof, fosfor og BI<sub>5</sub> er dårligt fastlagt for danske dambrug, og dette vil have indflydelse på hvordan nogle af rensesforanstaltningerne virker.

*Tabel 3. Anbefalede rensegrader af produktionsbidraget for total kvælstof, total fosfor og organisk stof (BI<sub>5</sub>) for de 3 modeldambrug og de tre varianter heraf, samt foreslået kvælstoffjernelse i tilhørende laguner. Egenomsætningen er sat til 0. Der er tale om et 100 tons anlæg (foder).*

Modeldambrug type	Total kvælstof %i foranstaltninger før lagune	Kvælstof fjernet i lagune (kg/år)	Total fosfor %	BI <sub>5</sub> %
1	7	2.190	55	70
1A	7	1.095	55	70
2	15	-	45	50
2A	15	-	45	50
3	15	526	65	80
3A	15	1.051	65	80

Plantelagunerne er specielt vigtige i relation til fjernelse af kvælstof og BI<sub>5</sub>. Da der ikke er plantelaguner i model 2 og 2A bliver fjernelse af kvælstof lav i denne modeltype. I dette tilfælde bliver det tydeligt, at den manglende dokumentation for egenomsætning i dambrug og for evt. kvælstoffjernelse over biofiltre/kontaktfiltre sætter en begrænsning for mulighederne for øget foderforbrug ved model 2 og 2A.

*Arbejdsgruppen anbefaler derfor:*

- at de samlede rensegrader og -kapaciteter i tabel 3 anvendes som udgangspunkt for modeldambrugenenes samlede evne til at fjerne kvælstof, fosfor og BI<sub>5</sub>
- at kommende modeldambrug etableres så analogt til de beskrevne modeller som muligt
- at der tilvejebringes dokumentation for betydningen af gentagne passager af produktionsvandet gennem nogle af rensesforanstaltningerne, og af forhøjede ligevægtskoncentrationer, flokkulering i produktionsanlæg og sekundær partikeldannelse på effekten af rensesforanstaltningerne

- at biofiltre og kontaktfiltres funktion og effekt dokumenteres nøjere, ikke mindst i forhold til kvælstof
- at forholdet mellem de opløste og partikulært bundne fraktioner for især  $BI_5$ , men også gerne kvælstof og fosfor, fastlægges og betydningen heraf for rensegraderne beskrives
- at omsætningen af  $BI_5$  i vand- og sedimentfasen bl.a. i relation til opholdstid og vandtemperatur undersøges.

## 0.7 Skalering af modeldambrugene

Skalering til et større foderforbrug i moduler:

Betragtes et modeldambrug som et modul i et større anlæg, kan der bygges flere ens "100 tons" modeldambrug ved siden af hinanden. Et fælles slamanlæg og fælles laguner kan i den situation etableres.

Skalering til et større eller mindre foderforbrug:

De generelle designkriterier og dimensioneringsforudsætninger er beskrevet i bilag C vedrørende modeldambrug. De fleste komponenter er åbenlyst skalerbare ud fra dimensioneringsforudsætningerne. Dette gælder damme, raceways, kegler, mikrosigter, kontaktfiltre, laguner og slamanlæg.

Kun de biologiske filtre er ikke umiddelbart skalerbare ud fra dimensioneringsforudsætningerne. Biofiltre kan skales procentuelt i forhold til udfodringen. Der skal bruges 492 m<sup>2</sup> filterareal pr. ton årlig udfodring.

Skalering til et større eller mindre vandforbrug:

Etablering af modeldambrug kræver at vandforbruget pr. 100 tons foderforbrug ikke overstiger det fastsatte for de enkelte modeller. Ingen af filterenhederne kan gøres mindre, selvom vandindtaget pr. 100 tons foderforbrug reduceres.

Skalering af vandmængden der pumpes rundt i modeldambruget: Recirkuleringsflowet er fastsat til 4-500 liter pr. sekund ved et årligt foderforbrug på 100 tons. Vandmængden der recirkuleres er dog til dels også op til den enkelte dambrug. Størrelsen af et evt. kontaktfiltre skal dog jvf. dimensioneringskriterierne tilpasses den vandmængde som recirkuleres.

## 0.8 Foderforbrug

Udgangspunktet for arbejdsgruppens anbefalinger er, at en opskrivning af foderforbruget ikke må øge udledningerne i forhold til Dambrugsbekendtgørelsens niveau. Ved fastsættelse af foderforbrug skal der tages højde for, at der også i traditionelle dambrug sker en vis fjernelse af produktionsbidraget. Dette skal der kompenseres for ved en samlet vurdering af, hvor meget ekstra et dambrug ombygget til et modeldambrug renses. Dette gøres ved at korrigerer med de rensegrader (reduktionsfaktorer) der opereres med i Dambrugsbekendtgørelsen og "Miljøforhold på dambrug" (*Miljøstyrelsen, 1992*), jævnfør nedenstående ligning. Reduktionsfaktorerne (kaldet  $R_n$ ) heri er:

Kvælstof:	7 %
Fosfor:	20 %
BI <sub>5</sub> :	20 %

Udviklingen i foderforbruget kan således for modeldambrugene beskrives ved ligningen:

$$\text{Foderforbruget} = \frac{100 - R_n(\text{BI}_5, P, N)}{100 - R_N(\text{BI}_5, P, N)} * 100$$

Hvor  $R_N$  er de fastsatte rensegrader for modeldambrugene og  $R_n$  rensegraden fastsat jævnfør dambrugsbekendtgørelsen.

Da kvælstoffjernelsen i plantelagunerne er foreslået fastsat til en mængde, afhængig af tilgængeligt areal, bliver den øgede fodertildeling vedrørende kvælstof nødvendigvis en fast mængde relateret til dette areal. Disse mængder er anført i tabel 3 og indregnet i tabel 4.

Med de angivne resulterende rensegrader anbefaler arbejdsgruppen at modeldambrug tildeles et foderforbrug i forhold til et nuværende anlæg på 100 tons som angivet i tabel 4. I højre kolonne er angivet foderforbruget, hvis kvælstof ikke var begrænsende for fodertildelingen. Dette vil kunne ske ved:

- at tillade en øget kvælstofudledning
- at få dokumenteret erfaringerne om, at der sker en egenomsætning af kvælstof i såvel traditionelle dambrug som modeldambrug og at biofiltre også fjerner kvælstof
- at der udvikles renseforanstaltninger, som bedre fjerner kvælstof.

Det er klart, at modeldambrug 2 og 2A ikke vil være særligt attraktive, hvis der kun kan opnås ekstra 10 tons foder (10 % ekstra foder). Der er derfor i tabel 4, højre kolonne angivet en foderkvote, hvis det tillades, at der sker en mindre forøgelse af kvælstofudledningerne. Det angivne foderforbrug findes ud fra, at det i stedet er fosfor, der bliver begrænsende for foderforbruget. Umiddelbart foretrækker arbejdsgruppen model 2, 2A, 3 og 3A, fordi disse er mindre pladskrævende end model 1 og 1A. Der kan i forhold til eksisterende dambrug komme problemer med fredningsforhold, og det skønnes endvidere, at mange dambrug ikke fysisk vil have plads til plantelagunerne ved model 1 og 1A. Model 1 og 1A indtager desuden mere vand end de andre modeller. Det skal dog samtidigt understreges, at tilstedeværelse af plantelaguner giver en miljømæssig sikkerhed, hvis nogle af de øvrige rensekomponenter skulle svigte eller være ude af drift i en kortere periode.

Nogle renseforanstaltninger er tillagt 0 % rensning, selv om det forventes, at der finder en rensning sted. Det skyldes manglende eller mangelfuld dokumentation. Gennem efterfølgende målinger kan der tilvejebringes dokumentation af en rensningseffekt. Dette kan give anledning til en revurdering af fodertildeling.

Table 4. Anbefalet foderforbrug for de 3 modeldambrug og den begrænsende parameter for anbefalingen. Der er taget udgangspunkt i et eksisterende anlæg på 100 tons, der bygger om til modeldambrug. Endvidere er angivet et beregnet foderforbrug såfremt udledningen af kvælstof ikke er begrænsende for en forøget dambrugsproduktion.

Modeldambrug type	Anbefalet foderforbrug	Begrænsende parameter	Foderforbrug med øget kvælstofudledning	Begrænset af
1	158 tons/år	Kvælstof	178 tons/år	Fosfor
1A	129 tons/år	Kvælstof	178 tons/år	Fosfor
2	110 tons/år	Kvælstof	145 tons/år	Fosfor
2A	110 tons/år	Kvælstof	145 tons/år	Fosfor
3	125 tons/år	Kvælstof	230 tons/år	Fosfor
3A	140 tons/år	Kvælstof	230 tons/år	Fosfor

Der vil være flere veje til at opnå et øget foderforbrug:

- a) Inden en dambruger ombygger og etablerer videregående renseforanstaltninger dokumenteres størrelsen af den eksisterende udledning. Efter ombygning og et års drift med et forøget foderforbrug i forhold til den foreliggende dokumentation dokumenteres igen størrelsen af den årlige udledning. Dambruget har da mulighed for at få opskrevet foderforbruget ud fra den faktiske reduktion af udledningen i forhold til niveauet før ombygning
- b) Efter ansøgning har dambruget opnået godkendelse til et forøget foderforbrug i forhold til den dokumentation for renseforanstaltningernes effekt der foreligger. Der udføres et intensivt måleprogram med henblik på at dokumentere en højere effekt af renseforanstaltningerne end forudsat i godkendelsen. Såfremt den nødvendige dokumentation foreligger har dambruget mulighed for at opnå en yderligere forøgelse af foderforbruget
- c) Amtsrådet kan i sin regionplanlægning fastsætte kvoter for udledningen af næringssalte fra de enkelte samfundssektorer, herunder også for dambrugene. Gennem et afløbskontrolprogram dokumenterer dambruget, at den fastsatte kvote for dambruget er overholdt. Forudsat at forholdene i øvrigt taler herfor er der mulighed for at få opskrevet foderforbruget i forhold til forskellen mellem den fastsatte kvote og den dokumenterede udledning
- d) I forbindelse med nedlæggelse af dambrugsproduktion i vandløbssystemet ansøges om overførsel af foderkvoter til andet/andre nedstrøms dambrug. Det forudsættes, at dambruget ved det forøgede foderforbrug ikke vil give anledning til uacceptabel påvirkning af nærrecipienten og den samlede udledning af næringssalte fra dambrugsproduktion i vandløbssystemet ikke øges. Såfremt forudsætningerne herfor er til stede, kan foderforbruget øges ud over, hvad den foreliggende dokumentation ellers ville berettige til.

Arbejdsgruppen vurderer at de to første muligheder er mest realistiske mht. at opnå en øget fodertildeling. Den fremkomne dokumentation skal være etableret på baggrund af et måleprogram, der på forhånd er godkendt af relevante myndigheder. I rapportens kapitel 8 samt bilag D og E er der givet anvisninger for dette.

Arbejdsgruppen anbefaler:

- dambrug der indrettes som de beskrevne modeldambrug (100 tons anlæg) tildeles et foderforbrug som angivet i tabel 4
- der for de første godkendte modeldambrug etableres et statistisk sikkert måleprogram, der som minimum dokumenterer modeldambrugets samlede effekt, men også gerne dokumenterer effekten af de enkelte renseforanstaltninger
- der tilvejebringes foranstaltninger, der kan øge kvælstoffjernelse i dambrug uden nødvendigvis at skulle etablere plantelaguner.

## 0.9 Management

Modeldambrugene kræver bedre styring og kontrol. Der skal være kontrolsystemer i relation til de enkelte renseforanstaltninger f.eks. alarmer der reagerer på kritiske niveauer af vandstand, ilt, og ammoniak-kvælstofkoncentrationer, ved strømsvigt og ved udfald af renseforanstaltning m.v. Det bør være obligatorisk med nødstrømssystemer, og anlæggets dele skal være dimensioneret, så udfald af en enkelt komponent ikke medfører kritiske udledninger til recipienten.

Der vil være behov for logning af nogle driftsparametre og en driftsjournal. Endvidere skal drift- og vedligeholdelse af de enkelte renseforanstaltninger være beskrevet i detaljer og følges. I kapitel 7 og bilag F er forslag til management beskrevet samt drift og vedligeholdelse af slamkegler og plantelaguner.

Arbejdsgruppen anbefaler også, at der kræves et obligatorisk kursus for at kunne få lov til at drive et modeldambrug. Dette skal indeholde både teori, management, lære at bruge driftsstyringssystemer og EDB. Arbejdsgruppen forestiller sig et kursus på ca. en uge, hvor der skal erhverves et bevis for at dokumentere at kurset er gennemført og principperne forstået.

Arbejdsgruppen anbefaler, derfor:

- drift, styring og vedligeholdelse af dambrugets forskellige komponenter skal følge en management plan
- der skal være alarmer for kritiske driftsparametre, nødvendige backup systemer og en dimensionering der sikrer, at der ved uheld ikke sker kritiske udledninger til recipienten
- der skal gennemføres et obligatorisk kursus før man kan stå for driften af et modeldambrug.

## 0.10 Kontrolmetoder

Dambrug kontrolleres typisk ved 2 eller 6 kontrolprøver pr. år. Dette er for lidt til selv under stabile vandførings- og koncentrationsforhold i et vandløb at kunne give et statistisk sikkert billede af udledningerne fra dambrug.

Dambrug kontrolleres ofte ved at se på koncentrationsforøgelsen af en række udledte stoffer herunder kvælstof, fosfor og  $BI_5$ . Dette kaldes tilstandskontrol. Ved nogle dambrug kontrolleres, hvad dam-



brugene udleder af udvalgte stoffer, den såkaldte transportkontrol. Danmarks Miljøundersøgelser (DMU) har anbefalet, at der anvendes tilstandskontrol på de stoffer, hvor det primært er koncentrationen, der påvirker recipienten nedstrøms dambruget, hvilket er tilfældet for ammonium-kvælstof og  $BI_5$  og transportkontrol hvor det er mængderne, der er den vigtigste påvirkningsfaktor, som ved total kvælstof, total fosfor og suspenderet stof.

Dambrugene har hidtil ofte skullet dokumentere deres udledninger som en øget koncentration eller en stoftilførsel af et stof. Det har medført, at der skal måles både i det vand der tages ind fra vandløb (og grundvand) og i dambrugets udløb. Samtidigt har der ved udlederkontrol været stillet krav om en meget høj statistisk sikkerhed på over 99 %, hvilket vil kræve 52 prøver pr. år i såvel indløb som udløb. Er der tilmed flere indløb og udløb bliver dette en meget bekostelig affære.

Arbejdsgruppen har været enige om, at der ved etablering af modeldambrug bør iværksættes dokumentation af modeldambrugene og at dette bør ske efter fastlagte retningslinier, der bruges i alle tilfælde. Dette anvendes også hvis en dambruger gennem dokumentation af sine udledninger eller af de etablerede renseforanstaltninger vil søge at få mulighed for et øget foderforbrug, hvis kontrolmålingerne dokumenterer lavere udledninger/bedre renseeffekt end forudsat.

Modeldambrugene har generelt et lavt vandforbrug. Det vil derfor være hensigtsmæssigt, såfremt bestemte forudsætninger er opfyldt, at der kun tages prøver i udløb fra dambrug. Modeldambrugene har kun et udløb, som skal være veldefineret, f.eks. en kanal med fast glat bund og sider (af jern eller beton) eller evt. med Thompson overfald. I dette kan der uden problemer tages repræsentative prøver, hvis betingelserne beskrevet i kapitel 8 er opfyldte.

I *Larsen & Svendsen (1998)* påvises det, at en reduktion fra 52 til 26 prøver kun ændrer en smule ved den sikkerhed, der opnås. Således vil sikkerheden for miljøet være mindst 99 % og for dambrugeren 96 %. Det betyder at dambrugeren i 4 ud af 100 tilfælde kan risikere at udledninger, der faktisk overholder udlederkravet måles til ikke at gøre det, og omvendt at der kun i 1 ud af 100 tilfælde vil ske accept af en udledning, der faktisk overskrider udlederkravet. Dette er stadig en meget høj statistisk sikkerhed.

Med målinger i kun udløb (ét) og kun 26 prøver pr. kontrolperiode (år) vil det være overkommeligt for en dambruger at måle på sine udledninger for at dokumentere størrelsen af denne. Tilsvarende vil det også være overkommeligt at dokumentere effekten af en renseforanstaltning ved at måle op- og nedstrøms denne med 26 prøvesæt pr. år.

De udlederkrav, der skal fastlægges når der kun ses på udledninger, skal bestemmes som en ekstra koncentration i forhold til en vandføringsvægtet gennemsnitskoncentration i vandløbet og tilsvarende en ekstra udledning i forhold til en vandføringskorrigeret gennemsnits-transport i vandløbet.

Det er arbejdsgruppens opfattelse, at man skal følge DMU's anbefalinger om tilstandskontrol af ammonium-kvælstof og  $BI_5$  og transportkontrol af total kvælstof, total fosfor og suspenderet stof. Det kan overvejes om der er behov for at kontrollere for suspenderet stof.

Ved anvendelse af transportkontrol er det lettere at overholde et udløderkrav, hvis der er en stor spredning i udledninger, modsat ved tilstandskontrol hvor det er en fordel med lille spredning i koncentrationerne. DMU har udarbejdet en metode, der kan tage højde for denne u hensigtsmæssighed ved transportkontrol så den kommer til at fungere analogt med tilstandskontrol.

Det skal i øvrigt bemærkes at den foreslåede kontrol af udledninger bygger på DS2399, 1999.

*Arbejdsgruppen anbefaler derfor, at:*

- *der foretages tilstandskontrol for udledning af ammonium-kvælstof og  $BI_5$  og transportkontrol for udledning af total kvælstof og total fosfor og hvor relevant også for suspenderet stof*
- *DMU's forslag til justering af transportkontrol for at undgå u hensigtsmæssig effekt af stor spredning i udledninger implementeres*
- *modeldambrugene indrettes med ét veldefineret udløb, og at der kun tages prøver i dette udløb (og ikke i indløb) under forudsætning af at den indtagne stofmængde for ingen parameter udgør mere end 10 % af udledninger og samtidigt at vandføringen ud af dambruget aldrig overstiger 20 % af vandløbets medianminimum*
- *at udvidede kontrolprogrammer indrettes efter en statistisk sikkerhed for miljøet på 99 % og mindst 95 % for dambrugeren*
- *at kontrolprogrammer, der skal anvendes til at dokumentere udledninger eller effekt af renseforanstaltninger med henblik på at opnå mulighed for øget fodertildeling, som konsekvens heraf kan gennemføres med 26 prøver pr. kontrolperiode (år)*
- *at efterfølgende kontrolprogrammer som minimum har 12 prøver pr. kontrolperiode (år).*

## **0.11 Fremtidig justeringer af anbefalingerne**

Det er arbejdsgruppens opfattelse, at der med etablering af modeldambrug og de kontrolprogrammer, der er anvist (samt på anden vis), kan frembringes ny dokumentation, som hurtigt bør indarbejdes i det gældende administrationsgrundlag. Det vil være hensigtsmæssigt, at dette gøres løbende og i det allerede etablerede forum.

*Arbejdsgruppens anbefaler derfor:*

- *at der etableres et mindre forum, der mødes (f.eks. 1 gang om året) for at opsamle ny viden og revurdere anbefalede rensegrader og afledt mulighed for øget fodertildeling. Dette forum kunne bestå af de involverede parter Dansk Dambrugerforening, repræsentanter for amterne og Skov- og Naturstyrelsen samt faginstitutioner som DFU, DMU og repræsentanter fra Universiteter.*

# 1 Indledning, kommissorium, arbejdsgruppens sammensætning, antal møder

På et møde i Dambrugsudvalget den 29. maj 2001 blev det besluttet at nedsætte en faglig arbejdsgruppe, der skulle foretage en nærmere beskrivelse af de "modeldambrug", der var udviklet med henblik på at danne grundlag for udvalgets senere anbefalinger om en forøgelse af dambrugsproduktionen under hensyntagen til de miljømæssige hensyn (begrænsning af forureningsbelastningen, forbedrede muligheder for fauna- og fiskepassage ved dambrugene m.m.).

For arbejdsgruppen er der udarbejdet et kommissorium<sup>1</sup>, som fremgår af Bilag A.

Arbejdsgruppen har haft følgende sammensætning:

Jan Steinbring Jensen, Skov- og Naturstyrelsen (formand)  
Per Bovbjerg Pedersen, Danmarks Fiskeriundersøgelser (sekretær)  
Ole Grønborg, Institut for Bioteknologi, Ålborg Universitet  
Lars Moeslund Svendsen, Danmarks Miljøundersøgelser  
Marianne Bjerre, Vejle Amt  
Jakob Larsen, Ringkjøbing Amt  
Lars Sandberg, Viborg Amt  
Peder Nielsen, Dansk Dambrugerforening.

Arbejdsgruppen har i perioden juni 2001 – april 2002 afholdt i alt 14 møder i Silkeborg med skiftevis Danmarks Miljøundersøgelser og Dansk Dambrugerforening som vært.

---

<sup>1</sup> Kommissorium for arbejdsgruppe under Dambrugsudvalget, Fødevareministeriet, den 31. maj 2001.

## 2 Karakteristik af dambrugsspildevand, produktionsbidrag – fordeling af partikulære og opløste fraktioner, forholdet mellem COD og BI<sub>5</sub>

### 2.1 Produktionsbidrag

Produktionsbidraget er defineret som den mængde af henholdsvis let omsætteligt organisk stof (målt som BI<sub>5</sub>), kvælstof (N) og fosfor (P) som direkte kommer fra produktionen af fisk inden nogen fjernelse eller renseforanstaltningseffekt overhovedet. For kvælstof og fosfor er anvendt den gængse metode, hvor produktionsbidraget er indhold i anvendt foder minus indhold i produceret fisk, hvorimod dette ikke umiddelbart lader sig gøre vedrørende BI<sub>5</sub> (se nedenfor og bilag B).

### 2.2 Produktionsbidrag af kvælstof (N)

Den i bilag B beskrevne model tillader input af enhver fodertypes sammensætning og forventet/realiseret foderkvotient for udregning af det reelle produktionsbidrag. Som et anskuelighedseksempel hér i teksten er beregnet bidraget såfremt der anvendes en fodertype som indeholder 45 % protein (angives normalt af vådvægten dvs. prøven som den foreligger). Dette indhold svarer til deklARATIONEN på f.eks. fodertyperne BioMar EcoLife 19, 4½ mm og Aller GEP 576, 3 & 4 mm. Disse typer og pillestørrelser udgør det største forbrug i ferskvandsdambrug.

45 % protein svarer til 72 g N pr. kg foder. Såfremt indholdet i fisk sættes til 3 % (dambrugsbekendtgørelsen) og hvis foderkvotienten sættes til 0,94 (gennemsnittet i 2000) kan regnestykket i tabel 5 opstilles for bidraget pr. kg produceret fisk.

Tabel 5. Produktionsbidrag af kvælstof. Se tekst for forklaring.

N i anvendt foder	72 g * 0,94	67,7 g
N i produceret fisk	3 % * 1 kg	30,0 g
N produktionsbidrag		37,7 g / kg produceret fisk

Den realiserede foderkvotient har stor betydning for bidragets størrelse, dette er illustreret i tabel 6.

Tabel 6. Foderkvotient og produktionsbidrag af kvælstof.

Foderkvotient	Produktionsbidrag (g/kg produceret fisk)
1,10	49,2
1,00	42,0
0,95	38,4
0,90	34,8
0,85	31,2
0,80	27,6

## 2.3 Produktionsbidrag af fosfor (P)

Den i bilag B beskrevne model tillader input af enhver fodertypes sammensætning og forventet/realiseret foderkvotient for udregning af det reelle produktionsbidrag. Som et anskuelighedseksempel hér i teksten er beregnet bidraget såfremt der anvendes en fodertype som indeholder 0,9 % fosfor (angives normalt af vådvægten dvs. prøven som den foreligger). Dette indhold svarer til deklARATIONEN JÆVNFØR DAMBRUGSBEKENDTGØRELSEN.

0,9 % fosfor er 9 g P pr. kg foder. Såfremt indholdet i fisk sættes til 0,5 % (dambrugsbekendtgørelsen) og hvis foderkvotienten sættes til 0,94 (gennemsnittet i 2000) kan regnestykket i tabel 7 opstilles for bidraget pr. kg produceret fisk.

Tabel 7. Produktionsbidrag af fosfor. Se tekst for forklaring

P i anvendt foder	9 g * 0,94	8,46 g
P i produceret fisk	0,5 % * 1 kg	5,00 g
P produktionsbidrag		3,46 g / kg produceret fisk

Den realiserede foderkvotient har stor betydning for bidragets størrelse, dette er illustreret i tabel 8.

Tabel 8. Foderkvotient og produktionsbidrag af fosfor.

Foderkvotient	Produktionsbidrag (g/kg produceret fisk)
1,10	4,90
1,00	4,00
0,95	3,55
0,90	3,10
0,85	2,65
0,80	2,20

## 2.4 Produktionsbidrag af let omsætteligt organisk stof (BI<sub>5</sub>)

Da BI<sub>5</sub> ikke er en absolut størrelse kan simpel subtraktion ikke anvendes til at udregne produktionsbidraget, hvorfor modellen beskrevet i bilag B er udviklet.

Denne model er baseret på følgende forhold:

Det organiske stof i foderet - protein, fedt, kulhydrat (og træstof) - optages kun delvist i fisken idet en mindre del passerer ufordøjet gennem fisken og ender som fæces. Andelen af optaget stof i forhold til total indholdet i foderet kaldes fordøjeligheden ("apparent digestibility") og er generelt velundersøgt for de anvendte råvarer og fodertyper. Det ikke-optagne stof, som via fæces ender i dammene, vil såfremt det nedbrydes forbruge ilt. Energitætheden i stofferne er for protein 24 kJ/g, fedt 39 kJ/g kulhydrat og træstof 17 kJ/g. Ved hjælp af den oxykaloiske koefficient, som udtrykker hvor meget energi, forbrænding af stofferne giver pr. iltforbrug, kan iltforbruget til hel nedbrydning af stofferne beregnes (fedt og kulhydrat nedbrudt til kuldioxid og vand, protein til ammoniak/-um). Den oxykaloiske koefficient er for protein 13,36 kJ/g O<sub>2</sub>, fedt 13,72 kJ/g O<sub>2</sub>, kulhydrat og træstof 14,76 kJ/g O<sub>2</sub>.

Den ufordøjede andel kan nu omsættes til energi og dette, via den oxykaloiske koefficient, omsættes til iltforbrug til nedbrydning målt som COD (chemical oxygen demand).

I miljøbiologi opereres dog ofte med udtrykket BI<sub>5</sub> (el. BOD, biological oxygen demand), som er et udtryk for iltforbruget til biologisk omsætning over fem dage. For at kunne omregne COD-indholdet i fækaliernes til BI<sub>5</sub> er der alene brug for forholdet mellem COD og BI<sub>5</sub> i fiskefækalier, men dette forhold er ikke beskrevet i litteraturen. Traditionelt har dette forhold været sat til 0,7 men for mere moderne fodertyper synes et højere forholdstal at være mere realistisk, men et mere præcist tal må afvente nærmere undersøgelser. I nedenstående tabel er anvendt 0,8.

Også her har den realiserede foderkvotient betydning for bidragets størrelse, som illustreret i tabel 9.

Tabel 9. Foderkvotient og produktionsbidrag af COD og BI<sub>5</sub>. Se tekst for forklaring.

Foderkvotient	Produktionsbidrag COD (g/kg produceret fisk)	Produktionsbidrag BI <sub>5</sub> (g/kg produceret fisk) v. COD/BI <sub>5</sub> =0,8
1,10	168	134
1,00	152	122
0,95	145	116
0,90	137	110
0,85	129	104
0,80	122	97

## 2.5 Fordeling på partikulær og opløst form

### Kvælstof

Langt hovedparten af produktionsbidraget af kvælstof udskilles efter deaminering som  $\text{NH}_4^+$  via gællerne og ca. 10 % heraf som andre kvælstofforbindelser via urinen. En meget mindre andel udskilles via fæces som ufordøjet.

Såfremt proteinfordøjeligheden sættes til 92 % (et rimeligt gennemsnit for fodertyperne) vil 92 % af det tildelte protein til produktion af 1 kg ørred blive optaget over fiskens tarm. Det svarer til  $0,92 \cdot 67,7 \text{ g} = 62,3 \text{ g}$ , mens 5,4 g vil passere tarmen og indgå i fækaliene. Undersøgelser bl.a. af *Alsted (1991)* og *Bovbjerg (1993)* har vist at 60-80 % af kvælstof i fækalier opløses indenfor relativt kort tid (1-2 timer) mens den resterende del (20-40 %) er meget stabil. Såfremt 75 % af kvælstof i fækalier svarende til 4,05 g opløses, vil alene 1,25 g stadig være partikelbundet, svarende til ca. 4½ % af ovennævnte produktionsbidrag på 37,7 g. Ved lavere foderkvotienter vil procenten af partikelbundet kvælstof øges marginalt, men vil selv ved en foderkvotient på 0,85 stadig kun udgøre ca. 5 % af produktionsbidraget.

Udskillelsen via  $\text{NH}_4^+$  og urin vil tilsvarende udgøre  $37,7 - 5,4 = 32,3 \text{ g}$ , alt på opløst form.

### Fosfor

Undersøgelser bl.a. af *Alsted (1991)* og *Poulsen (1991)* fandt at knap 20 % af fosfor i fækalier var opløst efter 24 timer, mens *Bovbjerg (1993)* viste kun 6-10 % af fosfor i fækalier opløst indenfor 24 timer. Alle fandt dog den resterende del (80-90 %) meget stabil. Såfremt 20 % af fosfor i fækalier, svarende til 0,692 g, opløses, vil de 2,77 g således stadig være partikelbundet.

### BI<sub>5</sub>

Under Forsøgsprojektet på Døstrup Dambrug er det let omsættelige organiske stof målt som BI<sub>5</sub> der befinder sig i vandfasen i dambruget søgt karakteriseret. Resultaterne stammer fra *Fjorback et al., (2001 og 2003)*. Dels er fordelingen mellem den opløst og partikulære fraktion af BI<sub>5</sub> blevet bestemt på dambrugsvand forskellige steder i Døstrup Dambrug, dels er omsætningshastigheden af BI<sub>5</sub> blevet målt på prøver af dambrugsvand midt i produktionsanlægget. Vandløbsbidraget har en relativ stor betydning på Døstrup Dambrug da der er indtaget i gennemsnit ca. 100 l vand pr. sekund til produktionen (50 tons foder 1. måleår, 74 tons det andet år), heraf er ca. 25% af det indtagne vand grundvand i såvel i dambruget kommer BI<sub>5</sub> både med det indtagne vandløbsvand og gennem fiskeproduktionens bidrag fra fækalier og fiskerester.

I indløbsvandet var 43% af BI<sub>5</sub> på opløst form stigende gennem produktionsanlægget og frem til udløbet fra plantelagunere til over 65% af BI<sub>5</sub> på opløst. Da der samtidig i dambrugsvandet tilsyneladende sker en meget hurtig omsætning af BI<sub>5</sub> (ca. 30% de første to timer, knap 40% efter 4 timer, godt 50% efter 8 timer og godt 75% efter 16 timer) er det indlysende at hovedparten af det dambrugs relaterede

BI<sub>5</sub> i dambrugsvandet kommer på opløst form fra fiskefækalier og foderspild, samt som små partikler. Langt hovedparten af BI<sub>5</sub> i fækalier og foderspildet er bundet til partikulær (Fjorback et al., 2003)

## 2.6 Foderspild

Ud over det direkte produktionsbidrag som er beskrevet i afsnit 2.1 til 2.5 vil et eventuelt foderspild også influere på mængden af BI<sub>5</sub> som der bidrages med fra produktionen. For så vidt angår kvælstof og fosfor vil et eventuelt foderspild ikke berøre produktionsbidragsmængden, da bidraget herfra indgår i massebalancen som disse udregnes efter.

Med et indhold i foder som ovenfor nævnt vil betydningen af et eventuelt foderspild have et omfang som i tabel 10.

*Tabel 10.* Betydningen af foderspild for produktionsbidraget af BI<sub>5</sub>. Ved 0 % foderspild er angivet BI<sub>5</sub>-værdi for en foderkvotient (FK) på 0,94. Se også tabel 9.

Foderspild - % af tildelt mængde	BI <sub>5</sub> – g/kg produktion	BI <sub>5</sub> – yderligere g/kg produktion Ved samme realiserede FK
0	114,0	
0,25		3,0
<b>0,50</b>		<b>5,9</b>
0,75		8,8
1,00		11,7
5,00		58,0

Der findes ingen sikre undersøgelser af det reelle foderspild på danske dambrug. Direkte (øjeblik-) observationer antyder, at der er et foderspild sted, men at det ikke har noget stort omfang, og at det er lille ved normal drift. To pilotundersøgelser på dambrug antyder ligeledes absolut minimalt foderspild ved normal drift. Med de normalt realiserede foderkvotienter må det tilsvarende formodes, at foderspildet er begrænset. Arbejdsgruppen har formodet, at foderspildet udgør 0,5 % af den tildelte fodermængde som fremhævet i tabellen, mens de 5 % alene er medregnet for at anskueliggøre den potentielle betydning af foderspild på produktionsbidraget af BI<sub>5</sub>.

Der vil ske en vis lækage af især kvælstof fra foderspildet, men generelt er moderne ekstruderede foderpiller temmelig stabile selv ved f.eks. 24 timers ophold i vand. Indenfor dette tidsrum må alle piller formodes at være nået til slamkegle/mikrosigte som herefter vil fjernes disse, således at det reelle bidrag til videre renseforanstaltninger er meget begrænset.

Ved den samme realiserede foderkvotient vil et stigende foderspild føre til større andele af såvel kvælstof, fosfor og BI<sub>5</sub> i produktionsbidraget, der findes på fast form, og der vil derfor følgelig kunne fjernes mere i slamkegle og mikrosigte.



Ved det formodede foderspild på 0,5 % vil dette dog ikke have nævneværdig betydning for den samlede fordeling af kvælstof, fosfor og BI<sub>5</sub> i produktionsbidraget på opløst henholdsvis fast form.

## 3 Introduktion til modeldambrug

### 3.1 Renseteknisk grundlag for modeldambrug

Der refereres generelt til tegningerne vedlagt i bilag C.

#### *Modeldambrугenes design*

Med udgangspunkt i udformningen af eksisterende danske dambrug er der opstillet tre modeldambrug. Til hvert af de tre modeldambrug er tilføjet en variant. Modeldambrug 1 og 1A er ekstensive jorddambrug med en omfattende lavteknologisk rensning. Modeldambrug 2 og 2A er intensive jord- eller betonanlæg med de nyeste rensetekniker implementeret og et pladsbesparende design. Modeldambrug 3 og 3A er primært udformet med henblik på ombygning eller nyanlæg.

Generelt er alle dambrug indrettet med henblik på at reducere vandindtaget fra vandløbet samt at optimere rensprocesserne over dambruget.

Modeldambrug 1A er udformet som modeldambrug 1 bortset fra at vandindtaget og dermed den nødvendige lagunestørrelse er halveret. Varianten er udformet med henblik på at imødekomme mulige problemer med udvidelse på grund af fredningsbestemmelser og fysiske forhold i øvrigt.

Modeldambrug 2 er baseret på traditionelle jorddamme. Modeldambrug 2A er baseret på tanke eller raceways udført i beton. Modeldambrug 2 og 2A er renseteknisk ens. Den eneste forskel er at slamkeglerne i modeldambrug 2 er placeret i bagkanaler og i modeldambrug 2A internt i raceways.

Modeldambrug 3A sigter på bedre kvælstofomsætning end modeldambrug 3 via en større lagune. På grund af mangel på dokumentation kan kun lagunen tilskrives fjernelse af opløst kvælstof. En dobbelt så stor lagune, som i modeldambrug 3, kan dermed bane vejen for produktionsudvidelser.

#### *Dimensioneringen generelt*

For at kunne sammenligne modeldambrugene vælges at dimensionere ud fra et sæt standardforudsætninger. Foderforbruget fastsættes til 100 tons/år. Den stående bestand af fisk fastsættes til 40 tons. Der regnes med en gennemsnitlig individvægt på 120 gram. Vanddybden i jorddamme og raceways sættes til 1 meter.

Vandbehovet for at kunne opretholde et optimalt iltindhold i vandet beregnes til ca. 1790 l/s og iltforbruget til ca. 312 mg/ilt pr. kg fisk i timen. Af økonomiske og praktiske hensyn vælges vandflowet internt på modeldambrugene til 500 l/sek. Den manglende iltmængde må tilføres vandflowet ved beluftning eller med ren ilt.

Der er generelt tale om ét veldefineret indløb og udløb i modeldambrugene.

Partikler opsamlet i modeldambrugenes filtre bringes til slamdepot. Slamdepoterne skal være opdelt i mindst to zoner, således at en zone kan serviceres, mens en anden er i drift. Slammet bør tyknes mest muligt, inden det bringes til slamdepotet. Den vandige og klarede fraktion kan ledes tilbage umiddelbart før mikrosigten i renseanlægget.

### **3.2 Renseforanstaltninger anvendt i modeldambrugene**

Renseforanstaltningernes placering i modeldambrugene fremgår af de tekniske tegninger (bilag C). For uddybende beskrivelse af foranstaltningernes funktion henvises til bilag C om modeldambrug.

#### *Egenomsætning*

Ved egenomsætning forstås den fjernelse af affaldsstoffer, der sker i systemet eksklusiv fjernelse i renseforanstaltninger. Modeldambrugenes design har, hvad egenomsætning angår, en klar strategi. Partikulært materiale skal så hurtigt og så skånsomt som muligt fjernes fra produktionsvandet således at opløsning og findeling undgås. Det opløste materiale skal så vidt muligt omsættes i vandfasen og sedimentet. Slamkegler og et godt hydraulisk design skal danne baggrund for effektiv egenomsætning af partikler. Høje opholdstider for produktionsvandet skal give en effektiv egenomsætning af opløst stof.

Grundet manglende dokumentation sættes egenomsætningen til 0, men det forventes at det efterfølgende kan dokumenteres at det har en betydning.

#### *Partikelfilter*

Partikelfiltret har til formål at fjerne partiklerne i vandet. I aktuelle tilfælde er målet at fjerne partikler, der ikke kan fjernes ved den foranstående bundfældning i slamkegler. Sigter udstyres med en filterdug, hvor åbninger i dugen har en diameter på 74 mikrometer. Slamkeglerne forventes principielt at fjerne partikler der er større end 150 mikrometer, og sigterne partikler der er større end 74 mikrometer.

#### *Kontaktfilter*

Kontaktfiltret har primært til formål at fjerne små partikler i vandet. Sekundært forventes en omfattende hydrolyse og denitrifikation i kontaktfilteret. Biofiltre hæmmes væsentligt af mikropartikler. For at opnå den bedst mulige omsætning af opløst stof i biofilteret vurderes kontaktfiltret at være nødvendigt. Kontaktfiltret vurderes at være i stand til at fange en væsentlig del af partikelmassen ned til ca. 20 mikrometer. Små partikler vides, udover påvirkningen af biofilteret, at være skadelige for fiskene.

### *Biologisk filter*

I biofiltret omsætter heterotrofe bakterier principielt først det letomsættelige organiske stof. Derefter omsætter nitrificerende bakterier total ammonium til nitrat. I praksis foregår begge processer sideløbende, dog med det forbehold at de heterotrofe bakterier udkonkurrerer de nitrificerende, hvis der er kamp om pladserne på mediet. I modeldambrugene 2, 2A, 3 og 3A er biofilteret nødvendigt for at fiskene ikke forgiftes med ammoniak, der ophobes på grund af recirkulering. Sekundært er biofiltret i stand til at fjerne en stor del af det organiske stof, der i udløbet ellers kan måles som iltforbrugende (dvs. som  $BI_5$ ).

### *Lagune*

Etableringen af en plantelagune har primært det formål at øge fjernelsen af opløste stoffer, især organisk stof og nitratbundet kvælstof, samt sekundært bundfældning og adsorption af mindre partikler.

Plantevæksten har i sig selv kun begrænset betydning for stoffjernelsen, idet næringsstofoptagelsen via rodnettet ikke har afgørende stor kvantitativ betydning. Planterne kan dog ikke undværes, idet de mangedobler den aktive overflade af lagunen og fungerer som substrat for de bakterier, der ansvarlige for omsætningen af primært organisk stof. Nitratomsætningen (dvs. denitrifikationsprocesserne, hvorved nitrat omdannes til frit kvælstof, der afgasser til atmosfæren) sker i det øverste lag af sedimentet i overgangsområdet mellem den iltede og den iltfrie zone.

På grund af en effektiv fjernelse af partikulært materiale og anlægsdesign, der sigter på omfattende egenomsætning, må det forventes, at en lagune i mange tilfælde vil være meget effektiv. Organismernes i lagunen vil primært kunne koncentrere indsatsen om at fjerne opløst organisk og uorganisk stof samt at fjerne meget små partikler ved adsorption til overflader. Lagunen formodes at kunne fjerne en stor del af de tilbageværende uønskede stoffer i vandet inden afledning til recipienten. Der kan tilsættes luft/ilt til vandet i plantelagunerne i den øvre del af vandmassen, såfremt iltkoncentrationen kommer under fastlagte værdier for at fremme omsætningen af  $BI_5$ . Omsætningen af  $BI_5$  fremmes også af, at der i plantelagunerne sikres en lang opholdstid.

## 4 Rensning i enkeltstående komponenter eller renseforanstaltninger, egenomsætning m.m.

I dette kapitel er anført, hvilken rensning der kan forventes i enkeltkomponenter/renseforanstaltninger ved et enkelt gennemløb. Der refereres i flere omgang til resultater fra Døstrup Dambrug. Disse findes publiceret i *Fjorback et al. (2001)*.

### 4.1 Fjernelse af N

#### *Bundfældning*

Jævnfør kapitel 2 er det klart, at kvælstoffjernelse som følge af bundfældning af partikulært materiale vil have begrænset effekt, idet kun ca. 4 % vil kunne fjernes. Såfremt bundfældningen faciliteres således at partikler fjernes hurtigere vil procenter kunne øges lidt. På Døstrup Dambrug hvor slamkegler er placeret umiddelbart i damudløbet, fjerner disse en mængde beregnet i forhold til produktionsbidraget på ca. 6 % og den efterfølgende bundfældning ca. 1 %, i alt altså ca. 7 % af produktionsbidraget (*Fjorback et al., 2001*).

#### *Mikrosigte*

Jævnfør modellen i *Patterson et al. (1999)* vil en mikrosigte på 74  $\mu$  kunne fjerne  $\frac{3}{4}$  af partiklerne på dambrug hvorfor kun ca. 3 % af kvælstof-bidraget således kan forventes fjernet i denne. Da mikrosigter normalt er placeret centralt (fælles) vil der normalt ikke være tale om faciliteret rensning.

Bundfældning og mikrosigte i kombination vil ikke øge den samlede rensningsgraden nævneværdigt, og sættes derfor til 3-8 % af produktionsbidraget.

#### *Biofilter og kontaktfiltre*

Såfremt der ikke forinden er fjernet partikler, vil der i disse filtertyper kunne fældes partikulært kvælstof. Opløst kvælstof, der i langt overvejende grad findes som ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) vil via nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) kunne omsættes til nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ). Denne omsætning, kaldet nitrifikation, er afhængig af mange parametre, de vigtigste i denne sammenhæng er tilgængeligt filterareal og temperatur samt koncentration af organisk stof og ammonium. Nitrifikationsraten øges med øgning i de tre parametre, mens en øgning i organisk stofindhold vil reducere raten. Selv om sådanne filtre er ganske effektive til omdannelse af ammonium til nitrat fjernes der ikke dermed kvælstof fra det vandige miljø. Dette sker først via denitrifikationsprocessen hvorved nitrat omdannes til frit kvælstof ( $\text{N}_2$ ) under nær-anaerobe forhold med organisk stof som energikilde. Ordinære biofiltre og kontaktfiltre, som dog ofte beluftes, skønnes under bestemte driftsforhold at kunne forårsage nogen denitrifikation. Størrelsesordenen af denne er dog ikke doku-

menteret, hvorfor der ikke kan tillægges sådanne filtre nævneværdig fjernelseseffekt for kvælstof. En sådan dokumentation med fastlæggelse af dimensionering og driftskriterier kan derfor kun efterlyses fra arbejdsgruppen.

Målinger på dambrugsvand før og efter et gennemløb af biofiltre/kontaktfiltre foretaget af såvel *Jensen (1997)* som *Stellwagen (1995)* har ikke påvist nogen nævneværdig reduktion i total-N, begge undersøgelser omkring 0-2 % fjernelse. Ligeledes har *Christensen (1998)* i sin databehandling ikke påvist betydelig reduktion i biofiltre, ca. 3-5 %.

I deciderede recirkulationsanlæg f.eks. til åleopdræt, benyttes særskilte denitrifikationsfiltre som under sin særlige driftsform har vist sig ganske effektive til kvælstoffjernelse.

Baseret på ovenstående har arbejdsgruppen fastsat den samlede rensning i alle ovennævnte komponenter tilsammen til 5-10 %. Det er sandsynligt, at nyere filtertyper og en anderledes drift vil kunne øge kvælstoffjernelsen, men der er ikke nogen tilgængelig dokumentation på dette forhold.

#### *Plantelagune*

Størrelsen af denitrifikation er afhængig af areal og tid, ligesom nitratkoncentrationen og temperaturen er betydende. Halvmætningskonstanten  $K_{1/2}$  for denitrifikation er 0,5 mg/l, og da vi normalt som minimum vil ligge på ca.  $7/7\frac{1}{2} = 0,93$  vil nitratkoncentrationen normalt ikke spille nogen nævneværdig rolle for omsætningen i plantelaguner. Areal, tid og temperatur bliver derfor de betydende parametre. Ved en opholdstid på 9 timer fjernes i Døstrup Dambrugs plantelaguner gennemsnitligt 1 g N pr. m<sup>2</sup> pr. døgn (*Fjorback et al., 2001*), hvilket stemmer godt overens med *Skovdam (1995)* som fandt in-situ omsætning af nitrat i dambrugs bagkanal på 104 mmol pr. m<sup>2</sup> pr. døgn (sommer) og 19 mmol pr. m<sup>2</sup> pr. døgn (vinter) svarende til hhv. 1,7 og 0,3 g N m<sup>2</sup> pr. døgn. I plantelaguner vil mindre partikler med kvælstof sammen med en optagelse af opløst kvælstof i planterne også medvirke til en tilbageholdelse af kvælstof i plantelaguner. Resultaterne fra Døstrup Dambrug peger dog på, at disse to former for kvælstof tilbageholdelse er af mindre betydning end denitrifikationen i plantelagunerne (*Fjorback et al., 2003*).

Den samlede kvælstoffjernelse i plantelaguner er derfor fastsat til 1 g N m<sup>2</sup>pr. døgn som et årligt gennemsnit. Fjernelsen vil være højere i sommermånederne, hvor også udfodringen og miljøpåvirkningen i givet fald vil være størst.

## **4.2 Fjernelse af P**

#### *Bundfældning*

Af kapitel 2 fremgår, at produktionsbidraget hvad angår fosfor primært er partikulært bundet, således at en stor del er tilgængelig for mekanisk fjernelse. Fosforfjernelsen i bundfældning af partikulært materiale vil kunne fjerne 20-33 %. På Døstrup Dambrug fjernes en mængde, der beregnet i forhold til produktionsbidraget svarer til 27,5

% i slamkegler og bundfældning (faciliteret bundfældning) (Fjorback et al., 2001). Arbejdsgruppen har fastsat fjernelsen i ordinære bundfældningsanlæg til 20 %.

#### *Mikrosigte*

Jævnfør modellen i Patterson et al. (2000) vil en mikrosigte på 74  $\mu$  kunne fjerne  $\frac{3}{4}$  af partiklerne på dambrug, hvorfor ca. 60 % af fosforbidraget således forventes fjernet, såfremt fosforen er homogent fordelt på partiklerne og uafhængigt af partiklernes størrelse. Om partikler i naturen vides, at fosforkoncentrationen er højest i mindre partikler, hvorimod fordelingen i fiskefækalier må antages at være mere homogen. Arbejdsgruppen anbefaler dog, at rensegraden for mekaniske filtre forsigtigt kun sættes til 40 %.

#### *Bundfældning og mikrosigte*

Såfremt disse bruges i kombination anbefaler arbejdsgruppen at rensegraden sættes til 40 % af fosforbidraget.

#### *Biofilter og kontaktfilter*

Såfremt der ikke forinden i andre rensesforanstaltninger er fjernet partikler, vil der i disse filtertyper kunne fældes partikulært fosfor. Den udfældede mængde vil afhænge meget af filtrenes opbygning og drift. Der er fundet værdier på 6 % (Jensen 1997) og 15 % (Stellwagen, 1995). Christensen (1998) modellerede en fjernelse på 5-10 %. Såfremt disse filtre opstilles efter mikrosigter har arbejdsgruppen dog fundet, at der ikke vil blive fjernet nævneværdigt yderligere fosfor end der allerede er fjernet i de foranstående rensesforanstaltninger.

#### *Plantelagune*

Såfremt vandhastigheden er lav nok og opholdstiden tilstrækkelig, vil der heri dels fældes dels bindes fosfor. På Døstrup Dambrug fjernes i plantelagunerne yderligere 36 % efter der er fjernet 27,5 % i slamkegler+bundfældning, altså i alt 63½ % når den fjernede mængde beregnes i forhold til produktionsbidraget (Fjorback et al., 2001). Dette stemmer godt overens med en fjernelse på 56 % i rodzoneanlæg på dambrug (Schulz et al., 2001) uden decideret bundfældning forinden.

### **4.3 Fjernelse af BI<sub>5</sub>**

#### *Bundfældning*

Den partikulære del af det organiske stof (BI<sub>5</sub>) vil afhængig af partikelstørrelsen relativt hurtigt bundfælde. Flere referencer eksisterer på størrelsesordenen af reduktionen i bundfældningsanlæg: Hennessy (1991) og Christensen (1998) finder 20-30 % og Døstrup Dambrug 25 % reduktion, når fjernelsen beregnes i forhold til produktionsbidraget (Fjorback et al., 2001). I dambrugsbekendtgørelsen er reduktionen fastsat til 20 %. Fjernelsen i ordinære bundfældningsanlæg er således minimum 20 %.

### *Mikrosigte*

Ligesom organiske partikler kan fjernes ved bundfældning kan de også fjernes ved mekanisk filtrering. Der er ret mange referencer på området, de fleste indikerer rensningsgrader på 20-30 %, enkelte højere, af indholdet i det tilledte vand. Det kan være svært at relatere nogle af referencerne til rensegrad af det fra fiskeproduktionen kommende stof (produktionsbidraget), hvorfor disse rensegrader må anses som minimumstal, idet en frarensning af stof fra vandløbet vil resultere i højere rensegrader såfremt det udtrykkes som andel af produktionsbidraget. Arbejdsgruppens anbefaling er, at mikrosigter på 74  $\mu$  fjerner 25 % af produktionsbidraget af  $BI_5$ .

### *Bundfældning+mikrosigte*

Såfremt disse bruges i kombination anbefaler arbejdsgruppen at rensgraden sættes til 35 % af  $BI_5$ -bidraget.

### *Biofilter og kontaktfiler*

Disse filtre er i princippet opbygget til fjernelse/omsætning af organisk stof, og en stor reduktion er velkendt i deciderede recirkulerede anlæg. Desværre er der kun mangelfuld dokumentation på dette område, hvorfor størrelsesordenen ikke kan fastsættes på et fagligt velfunderet grundlag. Et par danske undersøgelser har belyst rensgraden via målinger af vandet før/efter biofiltre på dambrug hvor der findes reduktioner på 10-20 %. Disse tal kan ikke direkte relateres til procentvis rensning af produktionsbidraget idet der er tale om anlæg med en større eller mindre grad af recirkulering. En egentlig dokumentation af omsætningen i biofiltre på dambrug må således efterlyses, og indtil en sådan foreligger foreslås en rensegrad på 10 %.

### *Lagune*

Undersøgelser lavet i dette regi (*Fjorback et al., in press*) viser, at  $BI_5$  forløbet på dambrugsudløbsvand initielt har en meget stejl profil, således at 60 % af  $BI_5$  er omsat indenfor 9 timer, 70 % indenfor 12 timer og 89 % indenfor 18 timer. Dette har den implikation, at der kan opnås en betragtelig reduktion i udledningen af  $BI_5$  alene gennem forøget opholdstid, gerne op i nærheden af 14 timer. Omsætningen/reduktionen i laguner er derfor også ganske stor. På Døstrup Dambrug er reduktionen i lagunerne 46 % og efter indkøring 53 % når fjernelsen relateres til produktionsbidraget, opholdstiden er 9 til 11 timer. *Schulz et al. (2003)* fandt en reduktion på 68 % af indholdet i det tilløbne vand i ganske anderledes laguner med lav hydraulisk belastning, indikerende et betydeligt potentiale for  $BI_5$ -fjernelse i plantelaguner. Arbejdsgruppen anbefaling er en reduktion på 50 %, såfremt opholdstiden i lagunen er mindst 10 timer, gerne mindst 12-14 timer.

Plantelaguner vil også give en sikkerhed i forhold til vandløb, der udledes til såfremt de andre rensforanstaltninger svigter i en periode.

Arbejdsgruppen er opmærksom på, at resultaterne fra f.eks. Døstrup Dambrug er baseret på dambrug, hvor vandløbsbidraget spiller en rolle for de fundne rensegrader på især partikulært kvælstof og fosfor og for  $BI_5$  generelt. Modeldambrugene vil have et lille vandløbsbidrag. For partikulært fosfor er vandløbsbidraget mindre organisk



holdigt og partiklerne har en større vægtfylde, så slamkegler og bundfældningsanlæg bedre tilbageholder vandløbsbidrag end produktionsbidrag.  $BI_5$  fra produktionsbidraget vil alt andet lige være lettere omsætteligt end  $BI_5$  fra vandløbsbidrag. Arbejdsgruppen har taget disse forhold med i de samlede anbefalinger omkring rensegrader.

## 5 Rensnings- eller tilbageholdelsesprocenter for modeldambrugenes kombinationsopstillinger

De i kapitel 5 anførte rensegrader er lagt til grund for rensningen i modeldambrugenes kombinationsopstillinger, dog med det oplagte grundlæggende princip, at stof som er fjernet een gang ikke kan fjernes igen i næste renseforanstaltning.

Der er ikke indregnet forbedret rensning for gentagen passage af renseforanstaltninger, forhøjede ligevægtskoncentrationer internt i dambruget, flokkulering og sekundær partikeldannelse på modeldambrugene hvilket må siges at være et meget forsigtigt princip, idet alle disse faktorer anerkendes at ville forøge rensegraden.

For overskuelighedens skyld er de tillagte rensegrader anført i de følgende tabeller for både enkeltkomponenter og modeldambrug:

Table 11. Modeldambrug, kvælstof (N). Rensegrader for enkeltkomponenter og modeldambrug. Forudsætninger: indholdet i fisk er sat til 3 %.

Parameter : N-total	Reduktion(%)	Referencer	Bemærkninger	Anbefaling
Enkelt installation:				
Bundfældning	0,7 - 2 %		Døstrup 1 % (incl. kegler 7 %)	
Mikrosigte	3 – 8 %	model: <i>Patterson et al., 1999</i>	v. 74 µ: 75% af partikler fjernes. 85% er opløst – 15% er fækaliebundet, heraf opløses 60-80% indenfor kort tid (1 8% fjernelse).v. 50 µ: yderligere 0,5-1 % af total-N fjernes	
Bundf. + Mikrosigte	3- 8 %	Se ovenfor	Som ovenfor.	
Biofilter	0 %	<i>Jensen, 1997</i>	Efter mikrosigte.	
Kontaktfilter	3-5 %	<i>Christensen, 1998</i>		
	1 0 %	<i>Stellwagen, 1995</i>		
Alle ovennævnte komponenter i alt				5- 10 %
Almindelige dambrug	7 %	Dambrugsbekendtgørelsen	Rensning tillagt for bundfældning	7 %
Plantelagune	1 g/m <sup>2</sup> /døgn	<i>Fjorback et al., 2001</i> (efter slamkegler)	Døstrup opholdstid ca. 9 timer	1 g/m <sup>2</sup> /døgn
	sommer:104 / vinter:19 mmol/m <sup>2</sup> /d	<i>Skovdam, 1995</i>		
Kombinationsopstilling:				
Modeldambrug 1	7 + 2190 kg	Arbejdsgruppen	Dambruget har slamkegler, mikrosigte, udløbslagune og recirkulering (indtag 125 l/s til 100 t/år)	58 % mere foder for neutralitet
Modeldambrug 2	7 - 10 %	Arbejdsgruppen	Dambruget har slamkegler, mikrosigte, biofilter, kontaktfilter og recirkulering (vandindtag 60 l/s til 100 t/år)	10 %
Modeldambrug 3	7 % + 526 kg	Arbejdsgruppen	Har slamkegler, mikrosigte, biofilter, kontaktfilter, udløbslagune og recirkulering (vandindtag 15 l/s til 100 t/år)	25 % h.h.v.
3a (dobbelte lagune)	7 % + 1051 kg			40 % mere foder for neutralitet
Der er ikke indregnet forbedret rensning for gentagen passage, forhøjede ligevægtskoncentrationer internt og flokkulering på modeldambrug.				

Tabel 12. Modeldambrug (P). Rensegrader for enkeltkomponenter og modeldambrug. Forudsætninger: indholdet i fisk er sat til 0,5 %.

Parameter : P-total	Reduktion (%)	Referencer	Bemærkninger	Anbefaling
Enkelt installation:				
Bundfældning	20-33 %		Døstrup 27½ %, v. 74 µ: 75 % af partikler fjernes. 20 % er opløst – 80 % er partikulært fosfor. Er fosfor i fækalier homogent fordelt på partikelstørrelser ?	20%
Mikrosigte	40-60 %	Talrige. model: <i>Patterson et al., 1999</i>	v. 50 µ: yderligere 3 % af total P fjernes	40 %
Bundf. + Mikrosigte	60 %	Se ovenfor	Som ovenfor	50 %
Biofilter	0 %	<i>Stenbring Jensen, 1997</i>	Efter mikrosigte.	0 % efter mikrosigte
Kontaktfilter	5-10 %	<i>Christensen, 1998</i>		
	15 %	<i>Stellwagen, 1995</i>		
Plantelagune	36 %	<i>Fjorback et al., 2001</i> (efter slamkegler)	Døstrup 36 % efter kegler (efter indkøring %). Opholdstid ca. 9 timer	30 %
Kombinationsopstilling:				
Modeldambrug 1	50-70 %	Arbejdsgruppen	Dambruget har slamkegler, mikrosigte, udløbslagune og recirkulering (indtag 125 l/s til 100 t/år)	55
Modeldambrug 2	45-70 %	Arbejdsgruppen	Dambruget har slamkegler, mikrosigte, biofilter, kontaktfilter og recirkulering (vandindtag 60 l/s til 100 t/år)	50
Modeldambrug 3	60-70 %	Arbejdsgruppen	Dambruget har slamkegler, mikrosigte, biofilter, kontaktfilter, udløbslagune og recirkulering (vandindtag 15 l/s til 100 t/år)	65

Der er ikke indregnet forbedret rensning for gentagen passage, forhøjede ligevægtskoncentrationer internt og flokkulering på modeldambrug.

Andet: Egenomsætning

Opholdstid

Tabel 13. Modeldambrug, organisk stof (BI<sub>5</sub>). Rensegrader for enkeltkomponenter og modeldambrug. Efter en ny foreslået metode, reduceres den store difference, der hidtil har været mellem teoretisk beregnet værdi og faktisk målt udledning af BI<sub>5</sub>. Der er behov for fastlæggelse af COD/BI<sub>5</sub>-forholdet i ør-redfækali, og der er behov for fastlæggelse af foderspildets størrelse.

Parameter : BI <sub>5</sub>	Reduktion (%)	Referencer	Bemærkninger	Anbefaling
Enkelt installation:				
Bundfældning	20-30 %	Flere bl.a. <i>Hennessy, 1991, Christensen, 1998,</i>	Døstrup 25 %	min. 20%
Mikrosigte	20-30 %	Talrige referencer <i>Bergheim et al. 1993 og 1998</i> <i>Mäkinen 1988; Ulgenes 1992</i> model: <i>Patterson et al., 1999</i>	v. 74 µ: 75 % af partikler fjernes. Er fordelingen 50:50 mellem opløst og partikulært BI <sub>5</sub> ?  v. 50 µ: yderligere 5 % af total BI <sub>5</sub> fjernes	25 %
Bundf. + Mikrosigte	35 %	Se ovenfor især <i>Bergheim. div., Le-kang, 2000</i>	Som ovenfor. Svarer cirka til adm. praksis i dag	35 %
Biofilter	19 %	<i>Jensen, 1997</i>	De lave reduktioner findes ved recirkuleret vand	10 %
Kontaktfilter	20-25 % 10 %	<i>Christensen, 1998</i> <i>Stellwagen, 1995</i>		
Plantelagune	46 %	<i>Fjorback et al., 2001</i>	Opholdstid ca. 9 timer (efter indkøring fjernes 53 %)	50 %
Rodzoneanlæg	68 %	<i>Schulz et al. 2003</i>		
Kombinationsopstilling:				
Modeldambrug 1	70-80 % 71 (78)	Arbejdsgruppen <i>Fjorback et al., 2001</i>	Dambruget har slamkegler, mikrosigte, udløbslagune og recirkulering (indtag 125 l/s til 100 t/år)	70 %
Modeldambrug 2	45-55 %	Arbejdsgruppen	Dambruget har slamkegler, mikrosigte, biofilter, kontaktfilter og recirkulering (vandindtag 60 l/s til 100 t/år)	50 %
Modeldambrug 3	80 %	Arbejdsgruppen	Dambruget har slamkegler, mikrosigte, biofilter, kontaktfilter, udløbslagune og recirkulering (vandindtag 15 l/s til 100 t/år)	80 %
Der er ikke indregnet forbedret rensning for gentagen passage, forhøjede ligevægtskoncentrationer internt og flokkulering på modeldambrug.				
Andet: Egenomsætning	8 –69 mgO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /time 40 mg O <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /time	v. 10° <i>VKI, 1982</i> <i>Christensen, 1998</i>		

## 6 Skalering af modeldambrug

### *Skalering til et større foderforbrug i moduler*

Betragtes et modeldambrug som et modul i et større anlæg, kan der bygges flere ens "100 tons" modeldambrug ved siden af hinanden. Et fælles slamanlæg og fælles laguner kan i den situation etableres.

### *Skalering til et større eller mindre foderforbrug*

De generelle designkriterier og dimensioneringsforudsætninger er beskrevet i bilag C vedrørende modeldambrug. De fleste komponenter er åbenlyst skalerbare ud fra dimensioneringsforudsætningerne. Det gælder damme, raceways, kegler, mikrosigter, kontaktfiltre, laguner og slamanlæg. Kun de biologiske filtre er ikke umiddelbart skalerbare ud fra dimensioneringsforudsætningerne. Biofiltre kan skaleres procentuelt i forhold til udfodringen. Der skal bruges 492 m<sup>2</sup> filterareal pr tons årlig udfodring.

### *Skalering til et større eller mindre vandforbrug*

Etablering af modeldambrug kræver at vandforbruget ikke overstiger det fastsatte for de enkelte modeller. Minimeres vandforbruget kan lagunerne ikke gøres mindre. Det skyldes at lagunen skal kunne omsætte den samme mængde kvælstof uanset vandforbrug

### *Skalering af vandmængden der pumpes rundt i modeldambruget*

Recirkuleringsflowet er fastsat til 500 liter pr. sekund ved et årligt foderforbrug på 100 tons. Vandmængden der recirkuleres er op til den enkelte dambruger. Størrelsen af et evt. kontaktfiltre skal jvf. dimensioneringskriterierne tilpasses vandmængden, der recirkuleres.

## 7 Miljøgodkendelse og management af modeldambrug

### 7.1 Godkendelse

Forudsætningerne for at meddele ferskvandsdambrug godkendelse i henhold til miljøbeskyttelsesloven er fastlagt ved dambrugsbekendtgørelsens hovedmålsætninger, hvorefter det skal sikres, *at* kvalitetsmålsætningerne for søer og vandløb, der er påvirket af dambrugsdrift kan opfyldes, og *at* udledningen af næringssalte skal begrænses.

I forbindelse med godkendelse kan dambrugsbekendtgørelsens regler endvidere fraviges i det omfang det fremgår af de enkelte bestemmelser. Ansøgning om godkendelse skal være skriftlig og ledsaget af bl.a. dokumentation for den miljømæssige påvirkning af de ydre omgivelser. Endvidere skal der i ansøgningen redegøres for muligheden for anvendelse af den mindst forurenende teknologi og de bedst mulige miljøbeskyttende foranstaltninger. Desuden skal der foreligge en beskrivelse af dambrugets indretning med renseforanstaltninger med angivelse af de stoffer m.v., der tilføres, og rensegraden for de enkelte stoffer.

Søges om væsentlige forøgelser af det tilladte foderforbrug og i forbindelse hermed væsentlige ændringer i dambrugets drift og indretning er det en forudsætning for godkendelse at disse krav imødekommes.

Forudsat ovennævnte hensyn er tilgodeset i tilstrækkeligt omfang skal følgende forhold derudover være opfyldt:

1. at miljøbeskyttelseslovens krav om anvendelse af renere teknologi og bedst mulige miljøbeskyttende foranstaltninger tilgodeses i et omfang, der kan anses for rimeligt for et dambrug af den pågældende anlægstype og størrelse
2. at dambruget kan drives uden væsentlig forureningspåvirkning af omgivelserne og på en sådan måde, at driften ikke hindrer opfyldelse af målsætningen for nedstrøms liggende vandløb og søer
3. at hensynet til fjernrecipienten er tilgodeset.

### 7.2 Regulering af ferskvandsdambrug

Miljøbelastningen fra ferskvandsdambrug reguleres primært via en begrænsning af foderforbruget, idet der er en direkte sammenhæng mellem udledningen af forurenende stoffer og mængden af anvendt foder. Som supplement til begrænsningen af foderforbruget er der endvidere mulighed for at regulere dambrug ved afløbskontrol, dvs. dambrugets udledninger ikke må overstige en på forhånd fastlagt mængde, f.eks. på årsbasis.

Såfremt det i forbindelse med behandlingen af en ansøgning om godkendelse af et dambrug skønnes, at det på miljømæssigt forsvarlig vis kan reguleres på dets udledninger kan der i godkendelsen fastsættes vilkår herom. Det påhviler herefter dambrugeren at fremskaffe dokumentation for størrelsen af denne udledning.

Det forudsættes desuden:

- at kvalitetsmålsætningerne for de berørte vandløbsstrækninger er sikret,
- at dambrugets udledning af næringssalte og organisk stof må ikke øges i forhold til den hidtidige udledning, medmindre det er miljømæssigt forsvarligt, og
- at det skal på forhånd være påvist, at dambruget med de grænser for forurening, der fastsættes i godkendelsen, ikke vil være til hinder for, at kvalitetsmålsætningerne for de berørte vandløbsstrækninger opfyldes.

### 7.3 Muligheder for et forøget foderforbrug

Som nævnt har alle dambrug fået fastsat et højest tilladeligt årligt foderforbrug efter bestemmelserne i dambrugsbekendtgørelsen. Foderforbruget er bl.a. fastsat under hensyn til forudsat renseseffekt for mindstekravet m.h.t. dambrugets indretning med rensesforanstaltninger. Såfremt et dambrug har etableret videregående rensningsforanstaltninger, kan en højere renseseffekt benyttes, i det omfang dambruget kan dokumentere denne.

Regulering via afløbskontrol er en option eller mulighed for dambrugeren, som kan udnyttes. Det vil især være i tilfælde, hvor den foreliggende dokumentation ikke modsvarer dambrugets forventninger til et forøget foderforbrug.

I forbindelse med ansøgning om en udvidelse af foderforbruget påhviler det som nævnt dambrugeren at fremskaffe dokumentation for dels størrelsen af en udledning og dels effekten af dambrugets rensesforanstaltninger. Regulering via udlederkrav indgår således som supplement til reguleringen på foderforbruget, og i forbindelse med ansøgning om forøgelse af foderforbruget, udover hvad den foreliggende dokumentation berettiger til, foreligger 4 alternativer:

- a) Forud for ombygning og etablering af videregående rensesforanstaltninger dokumenterer dambrugeren størrelsen af den eksisterende udledning. Efter ombygning og et års drift med et forøget foderforbrug i forhold til den foreliggende dokumenterer dambrugeren igen størrelsen af den årlige udledning. Dambruget har da mulighed for at få opskrevet foderforbruget ud fra den faktiske reduktion af udledningen i forhold til niveauet før ombygning.
- b) Efter ansøgning har dambruget opnået godkendelse til et forøget foderforbrug i forhold til den dokumentation for rensesforanstaltningernes effekt, der foreligger. Der udføres et intensivt måleprogram med henblik på at dokumentere en højere effekt af rensesfor-



anstaltningerne end forudsat i godkendelsen. Såfremt den nødvendige dokumentation foreligger har dambruget mulighed for at opnå en yderligere forøgelse af foderforbruget.

- c) Amtsrådet har i sin regionplanlægning fastsat kvoter for udledningen af næringsalte fra de enkelte samfundssektorer, herunder også for dambrugene. Gennem et afløbskontrolprogram dokumenterer dambruget, at den fastsatte kvote for dambruget er overholdt. Forudsat at forholdene i øvrigt taler herfor er der mulighed for at få opskrevet foderforbruget i forhold til forskellen mellem den fastsatte kvote og den dokumenterede udledning.
- d) I forbindelse med nedlæggelse af dambrugsproduktion i vandløbssystemet ansøges om overførsel af foderkvoter til dambruget. Det forudsættes, at dambruget ved det forøgede foderforbrug ikke vil give anledning til uacceptabel påvirkning af nærrecipienten og den samlede udledning af næringsalte fra dambrugsproduktion i vandløbssystemet ikke øges. Såfremt forudsætningerne herfor er til stede, kan foderforbruget øges ud over, hvad den foreliggende dokumentation ellers ville berettige til.

### 7.3.1 Management

For et effektivt management system på modeldambrugene er det vigtigt at de godkendelsesmæssige krav gøres begrundede og operationelle. Samtidig vil behovet for et effektivt management system være stigende ved intensivering af driftsformen.

Generelt kan det overordnede behov for management i forbindelse med godkendelsesproceduren omfattes af følgende punkter:

- Brug af et formaliseret driftsstyringssystem (driftsjournal) herunder anvendelse af EDB og driftsovervågning.
- Fornøden kendskab til fiskehelse og brug af medicin og hjælpestoffer.
- Fornøden kendskab til de processer, der er betydende for anlæggets effektivitet, herunder de mekaniske og biologiske processer der anvendes ved rensning.
- Produktionsplanlægning og gennemførelse.
- Systematisering af vedligeholdelses procedurer.

Ovenstående punkter vil for en gruppe af virksomhederne kræve et øget kendskab til et eller flere af punkterne. Dette øgede vidensbehov kan erhverves ved gennemførelse af korte kurser tilrettelagt for erhvervet.

Der er en nærmere beskrivelse af management/driftsstyringssystemer i F.

## 8 Kontrolmetoder, kontrolkrav og målemetoder

### 8.1 Indledning

I dag kontrolleres dambrugenes udledninger typisk på basis af 2 eller 6 kontrolprøver pr. år. I forbindelse med nogle miljøgodkendelser har der været stillet krav til f.eks. 12 prøver pr. år. De 2 til 6 prøver pr. år er for lidt til selv under stabile vandførings- og koncentrationsforhold i et vandløb at kunne give et statistisk sikkert billede af udledninger fra dambrug, selv om der måles over en årrække.

Dambrug kontrolleres generelt ved at se på koncentrationsforøgelsen af en række udledte stoffer herunder kvælstof, fosfor og  $BI_5$ . Dette kaldes tilstandskontrol. Ved nogle dambrug kontrolleres dog i stedet hvad dambrugene udleder af udvalgte stoffer, den såkaldte transportkontrol. Danmarks Miljøundersøgelser (DMU) har i *Larsen & Svendsen (1998)* anbefalet, at der anvendes tilstandskontrol på de stoffer, hvor det primært er koncentrationen, der påvirker recipienten nedstrøms dambruget, hvilket gælder ammonium-kvælstof og  $BI_5$ , og transportkontrol hvor det er mængderne, der er den vigtigste påvirkningsfaktor, hvilket gælder total kvælstof og total fosfor og suspenderet stof. Kontrolteori for afløbskontrol af dambrug er beskrevet i *Larsen & Svendsen (1998)*.

Dambrugene har hidtil typisk skullet dokumentere deres udledninger som en koncentrationsforøgelse. Det har medført, at de har skullet måle både i det vand de indtager fra vandløb (og evt. grundvand) og i dambrugets udløb. Det betyder, at et dambrug i forhold til en punktkilde både skal måle i indløb og i udløb, hvilket giver flere prøver. Da der kan være flere ind- og udløb kan dette blive et omfattende program. Endvidere kan det rent statistisk give en større spredning på forskelsværdierne, end hvis man kun målte på udløb fra dambrug. En større usikkerhed giver en større risiko for, at man ved et givent kontrolprogram fejlagtigt finder at en dambruger har overtrådt udlederkravene uden rent faktisk at have gjort det eller omvendt at kravene vurderes at være overholdt uden at være det (*Larsen & Svendsen, 1998*).

Et måleprogram, der skal give en høj sikkerhed for både dambrugeren (stor sandsynlighed for at acceptere en udledning, som i virkeligheden er under kravet) og tilsvarende høj sikkerhed for miljøet (stor sandsynlighed for at afvise en udledning som i virkeligheden er over kravet) vil kræve mange prøver. Hvis en dambruger i dag ønsker regulering via kontrol af udledninger er der hidtil opereret med statistisk sikkerheder på 99 % eller derover, hvilket regnes som et meget højt statistisk sikkerhedsniveau.

Arbejdsgruppen har derfor overvejet om det statistiske sikkerhedsniveau kan reduceres til f.eks. 95 %, som stadig regnes for en høj statistisk sikkerhed og om der kan stilles retningslinier op for, hvornår

dambrug alene kontrolleres i deres udløb. I DS2399 for kontrol af udledninger opereres netop også med 95 % sikkerhed ved kontrol. Alt i alt indstiller arbejdsgruppen at sikkerhedsniveauet 95 % anvendes fremover.

I bilag D er de statistiske overvejelser bag disse to forhold beskrevet.

## 8.2 Kontrol kun af udledningerne (udløb)

Modeldambrugene har generelt et lavt vandforbrug, hvilket i mange tilfælde betyder, at den mængde stof, der tages ind fra vandløbet og/eller øvre grundvand/drænvand vil være beskedent i forhold til udledningerne. Det kan anbefales i disse tilfælde, at der kun tages prøver i dambrugets udløb. De kriterier der samlet set skal overholdes er:

- modeldambrugene indrettes med ét veldefineret udløb jvf. specifikationer nedenfor,
- for ingen kontrolparameter udgør den indtagne stofmængde fra vandløb og eller grundvand mere end 10% af de tilsvarende udledninger, og
- vandføringen ud af dambruget må ikke overstige 20% af vandløbets medianminimum.

Dette vil reducere antallet af kontrolprøver væsentligt for dambrugeren. Opmærksomhed henledes på at dambruget med denne fremgangsmåde også tilskrives den mængde stof, der er taget ind i dambruget. Dette bør dog med de stillede kriterier ikke være et problem for dambrugeren. Man skal også være opmærksom på, at ved kun at måle udledninger så vil store svingninger i udledningerne f.eks. grundet driftsproblemer medføre en øget spredning på målingerne. Dermed bliver det ved en tilstandskontrol sværere at opfylde udlederkravet sammenlignet med en situation som i dag, hvor det er en forskel på ind- og udløbskoncentrationer, der anvendes. Dette har været tilfældet for Døstrup Dambrug for de første tre driftsmåneder, hvor plantelagunerne var blevet oprenset og der efterfølgende kom trådalger, der gav meget store variationer i udledningerne (*Fjorback et al., 2001*). Var Døstrup Dambrug alene blevet kontrolleret på målingerne i udløbene fra dambruget ville udlederkravene med de anvendte kontrolmetoder være overholdt for færre parametre end ved den foretagne kontrol på forskelle i koncentrationer på ind- og udløb. I de fleste tilfælde vil situationen dog blive den omvendte, idet en kontrol alene i udløb fra dambrug ikke påføres spredning fra prøver taget i indløb til dambruget. Samlet vil dambrugeren derfor mindst få halveret kontrolprogrammet og i de fleste tilfælde en mindre spredning på kontrolprøverne, så det bliver lettere at overholde kontrolkravene.

Det bør understreges, at ved kontrol af udledte mængder (transportkontrol) så er den nuværende kontrolteori indrettet således, at det bliver lettere for en dambrugeren at overholde et udlederkrav, hvis der er stor spredning i udledningerne (*Larsen & Svendsen, 1998*). Dette er uhensigtsmæssigt både fra et miljømæssigt synspunkt, men også i relation til modeldambrugene som netop vil få ret stabile udlednin-

ger. DMU har derfor udarbejdet et notat til Skov- og Naturstyrelsen, hvori det beskrives hvordan der i fremtiden kan tages højde for dette forhold ved fastlæggelsen af udlederkravene (*Larsen & Svendsen, 2001*).

I forbindelse med kontrol kun på udløb skal de udlederkrav der opstilles som udgangspunkt være vandløbets vandføringsvægtede årsmiddelkoncentration for en længere periode eller den tilsvarende vandføringskorrigerede årsmiddeltransport, hvortil lægges henholdsvis en overkoncentration (tilstandskontrol) eller en ekstra udledt mængde (transportkontrol). Arbejdsgruppen anbefaler, at der skal udarbejdes retningslinier for hvordan dette kan gøres.

I bilag D er der redegjort for hvordan kontrolreglerne vil se ud ved tilstandskontrol og transportkontrol hvis der alene måles på udløb fra dambrug. Disse regler bygger på metoder beskrevet i DS2399.

### 8.3 Reduceret statistisk sikkerhed

Som omtalt ovenfor har der været udarbejdet kontrolprogrammer med et statistisk sikkerhedsniveau på over 99 %, hvilket med kontrolteorien for afløbskontrol medfører ca. 52 prøver pr. år. I mange sammenhænge accepteres en statistisk sikkerhed på 95 % og dette regnes for en høj sikkerhed.

I bilag D er der redegjort for hvordan den statistiske sikkerhed ændres ved at gå fra 52 prøver til 26 prøver. Der vurderes dels på miljøets risiko og på dambrugerens risiko.

Miljøets risiko, hvis dambrugerens sikkerhed mindst skal være 5 %:  
Ved  $n = 26$  bliver  $P_2 = 0,83$  %  
Ved  $n = 52$  bliver  $P_2 = 0,0040$  %.

Dambrugerens sikkerhed hvis miljøets risiko maksimalt må være 1 %:  
Ved  $n = 26$  bliver  $P_1 = 96$  %  
Ved  $n = 52$  bliver  $P_1 = 100$  %, hvor

$n$  = antal prøver i en kontrolperiode (typisk et år).

$P_1$  = sandsynligheden for accept af udledning som i virkeligheden er mindre end kravværdien.

$P_2$  = sandsynligheden for accept af udledning som i virkeligheden er større end kravværdien.

Det fremgår heraf at risikoen for miljøet ved at tage 26 prøver er under 1 % for at acceptere en udledning, der i virkeligheden er større end kravværdien. Samtidig vil der være 96 % sandsynlighed for at dambrugeren får accepteret en udledningen som i virkeligheden også overholder kravværdien, dvs. i kun 4 ud af 100 tilfælde vil dambrugeren få at vide, at han har overskredet et udlederkrav, der i virkeligheden var overholdt.

Arbejdsgruppen anbefaler derfor, at der generelt ved afløbskontrol af dambrug kun kræves 26 prøver pr. kontrolperiode. Dette antal kan

yderligere reduceres, hvis udledningerne er meget stabile eller kontrollen viser, man ligger langt under udlederkravene.

Når der er styr på udledningerne anbefales et kontrolprogram på minimum 12 prøver pr. år (pr. kontrolperiode) fremfor de 2 eller 6, der tages i dag.

## **8.4 Fast definerede kontrolprogrammer**

Arbejdsgruppen er enig om, at fremtidig dokumentation af udledninger fra modeldambrug (eller i det hele taget) bør ske efter fastlagte regler for et kontrolprogram. Et sådant program skal også anvendes, hvis en dambruger gennem dokumentation af sine udledninger eller af de etablerede renseforanstaltninger ønsker at få mulighed for et øget foderforbrug, hvis målinger dokumenterer lavere udledninger/bedre renseseffekt end forudsat.

## **8.5 Tilstandskontrol kontra transportkontrol**

Det er arbejdsgruppens opfattelse, at man skal følge DMU's anbefalinger om tilstandskontrol vedrørende ammonium-kvælstof og  $BI_5$  og transportkontrol vedrørende total kvælstof, total fosfor og suspenderet stof. Det bør overvejes, om der generelt er behov for at kontrollere for suspenderet stof.

## **8.6 Krav til indretning af udløb og prøvetagning**

For at sikre at der kan tages repræsentative prøver i udløb bør det stilles som et krav, at modeldambrugene har ét veldefineret udløb (gerne en rektangulær rende med fast bund i jern/beton eller alternativt et Thompson overfald). En glat bund og middelvandhastigheder i renden over 0,4 m/s vil sikre, at der ikke kommer aflejringer i udløbet. Det skal holdes fri for begroning (planter og alger), og vandhastigheden må ikke blive så høj, at det kan være vanskeligt at suge partikler ind fra sugestudsens til vandprøvetageren. Det betyder at hastigheden ikke bør overstige ca. 1 m/s i renden.

Prøverne må ikke tages for tæt på bund og sider, ved sandbund skal man 10-15 cm over bunden. Er der tale om en ren beton eller jernrende kan man godt tage prøver tæt på bunden. Indtaget skal være neddykket nogle centimeter under vandoverfladen.

Prøverne skal tages som delprøver, gerne hver time, der puljes til en døgnprøve. Prøverne skal både under prøvetagning og frem til analyse stå mørkt og køligt (2-4 °C).

Gennem en større undersøgelse i 7 vandløb i den nedre del af Skjern Å systemet, der omfattede små vandløb som Kirke Bæk, Tarm Bæk, Tarm Bybæk og Ganer Å, mellemstore vandløb som den nedre del af Omme Å og Søndre Parallelkanal samt et stort vandløb som Skjern Å ved Gjaldbæk Bro, blev det påvist, at koncentrationerne af partikulært materiale udtrykt som suspenderet stof og som partikulært fos-

for i tværprofiler ikke var statistisk signifikant forskellige (*Andersen og Svendsen, 1997* og *Svendsen og Andersen, 1997*). Dette blev påvist gennem samtidig prøvetagning af en række punktprøver i forskellig dybde forskellige steder i tværprofiler og ved at tage dybde integrerede prøver. Undersøgelsen viste, at holder man sig 10-15 centimeter over en sandbund og væk fra grøde langs vandløbets bredder og har gennemsnits strømhastigheder over 0,35-0,40 m/s så er det uden betydning hvor man udtager sin prøve herunder om det er dybde integreret eller et sug et bestemt sted. Omvendt viste forfatterne, at det er vigtigt at tage hyppige prøver over tid for at fange variationerne i koncentrationen af suspenderet stof og fosfor. Tages flere prøver er der større sandsynlighed for at fange pulse af partikulært materiale. Det er derfor delprøver hver time over et døgn til en puljet prøve anbefales frem for at anvende længere tidsstep mellem delprøver. Der bør som minimum udtages 125 ml pr. delprøve og gerne 250 ml. Meget store vandhastigheder kan betyde, at det er svært at suge partiklerne ind i indtaget til en prøvetager. Den gennemsnitlige strømhastighed bør derfor ikke være over 1 m/s.

## 8.7 Automatiske registrering

Der er en række parametre, der med fordel kan registreres kontinuert. Det kræver ikke meget pasning, men en datalogger og en computer. Erfaringerne fra blandt andet Døstrup Dambrug viser at:

- vandstand målt med tryktransducer eller almindelig "vandstandskriver"
- pH
- ilt
- vandtemperatur

med fordel kan måles kontinuert med måleinstrumenter.

For visse kemiske parametre findes der udviklet instrumenter, der enten kan måle eller lave analyser i felten. Erfaringen er dog, at anskaffelsesomkostningerne er store, de kræver jævnlige tilsyn og pleje, de skal kalibreres ofte og de er ikke stabile. De er ikke pålidelige nok til at basere et kontrol program på, og de kræver professionel ekspertise at passe. Der er også udviklet instrumenter, som kan måle suspenderet stof kontinuert. Erfaringen med disse har været som beskrevet ovenfor. Arbejdsgruppen kan derfor ikke anbefale kontinuert kemiske målinger på nuværende tidspunkt, men ser det som en mulighed i fremtiden.

Til fastlæggelse af niveauer for f.eks. orthofosfat, total kvælstof og total fosfor og andre parametre findes der billige plastik strips, som dyppes i vand og behandles med et kemikalie, hvorefter man på nogle få minutter kan fastlægge niveauet for disse stoffer. Disse kan anvendes inde på dambruget, hvis man har brug for en hurtig kontrol, men ikke til selve udlederkontrollen. Prisen er ganske få kroner pr. styk.

## 9 Modeldambrug: Miljøkonsekvenser og foderforbrug

### 9.1 Miljøforhold ved modeldambrug

Vandindtaget til modeldambrugene er væsentligt reduceret i forhold til de traditionelt drevne dambrug, vi kender i dag. Hvor de traditionelle dambrug i mange tilfælde indtager hele vandføringen i vandløbet vil vandforbruget på modeldambrugene være mindre end halvdelen af åens laveste vandføring. Modeldambrugene er således tilpasset vandforsyningslovens bestemmelser om, at der ved fornyelse af tilladelser til indvinding af overfladevand til dambrug altid skal opretholdes en vandføring på mindst halvdelen af medianminimumsvandføringen i vandløbet (§ 22, stk. 4).

Modeldambrugskonceptet har som det foreligger beskrevet taget udgangspunkt i eksisterende dambrug med et tilladt årligt foderforbrug på 100 tons. Ved ombygning til et af modeldambrugene kan dambrugsejeren påregne en forøgelse af foderforbruget som beskrevet nedenfor.

En oversigt over vandmængden der gennemsnitligt er til rådighed for forskellige størrelser af dambrug fremgår af tabel 14.

Tabel 14. Medianminimumsvandføring sammenholdt med dambrugsstørrelse.

Dambrugsstørrelse, tilladt foderforbrug (tons/år)	Medianminimumsvandføring ved dambrugets udløb (liter/sek.)			
	Middelværdi*	Median	25 % fraktil	75 % fraktil
< 20 tons	368	28	15	70
30 - 50 tons	139	101	61	160
50 - 85 tons	573	210	139	376
85 - 115 tons	833	355	283	694
115 - 150 tons	817	620	300	840
150 - 200 tons	1111	870	610	1100
> 200 tons	1721	1170	810	1800

\* Den meget store middelværdi for de små dambrug i forhold til medianen skyldes, at enkelte dambrug ligger ved meget store vandløb i forhold til dambrugets størrelse.

Vandløbenes medianminimumsvandføring ved eksisterende dambrug med et tilladt foderforbrug på ca. 100 tons/år er typisk mellem 300 og 700 l/sek. Idet modeldambrugenes vandforbrug udgør mindre end 125 l/sek. og typisk under 62,5 l/sek. vil der således være tale om, at betydelige frivandsmængder afgives til dambrugenes omløbsstrækninger.

Et reduceret vandforbrug har mange miljømæssige fordele, men også for dambruget indebærer det formindskede vandindtag og recirkula-

tionen en række driftsmæssige fordele. En række heraf oplystes i tabel 15.

Det skal bemærkes, at arbejdsgruppen ikke anser anvendelse af drænvand/grundvand i de mængder, som der opereres med i forbindelse med modeldambrugene (f.eks. 15 l/s i model 3 og 3A) som værende problematisk. Der er tale om drænvand eller meget overfladisk grundvand, der ikke normalt anvendes til drikkevand og som alligevel ville tilstrømme vandløb nedstrøms dambruget.

## 9.2 Foderforbrug på modeldambrug

Udgangspunktet for arbejdsgruppens anbefalinger har været, at ved en eventuel opskrivning af foderforbruget må udledningen ikke øges i forhold til dambrugsbekendtgørelsens niveau. Det betyder, at udledningen må ikke øges i forhold til den der blev resultatet af reguleringen efter dambrugsbekendtgørelsens regler som er baseret på et årligt tilladeligt foderforbrug, overholdelse af krav til foderkvaliteten og mindstekrav til renseforanstaltninger.

Endvidere gøres opmærksom på at en udledning kan reduceres enten ved en mindsket forureningsfrembringelse ved kilden (renere teknologi) eller forbedret rensning.

Table 15. Fordele og ulemper miljømæssigt for vandløbene og driftsmæssigt for dambrugene ved et reduceret, stabilt vandindtag kombineret med recirkulation.

Vandløbet	Dambruget
<u>Fordele:</u>	<u>Fordele:</u>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• En eventuel "død å" strækning fjernes</li> <li>• Øget vandføring i dambruges omløb</li> <li>• Påvirkning af opstemning opstrøms reduceres, fjernes evt. helt</li> <li>• Naturlige variationer i vandløbets vandføring oprettholdes i omløbene</li> <li>• Indtrængen af naturlig fauna i dambrugene reduceres</li> <li>• Passageproblemer ved dambruges opstemninger og vandindtag, herunder afgitring, indretning af faunapassage (både op- og nedstrøms), opstemning m.v. langt nemmere at løse</li> <li>• Udledning af medicin og hjælpestoffer reduceres</li> <li>• Maksimumskoncentrationer af medicin og hjælpestoffer i vandløbene formindskes</li> <li>• Fald i vandløbets iltindhold nedstrøms reduceres/undgås</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stabile produktionsforhold</li> <li>• Påvirkninger fra variationer i indløbsvandets kvalitet reduceres eller elimineres</li> <li>• Øget effekt af renseforanstaltninger</li> <li>• Ved brug af drænvand/grundvand kan opnås højere vandtemperaturer om vinteren og lavere om sommeren</li> <li>• Bedre muligheder for styring af management og styring af produktionsmiljøet</li> <li>• Reduceret smittepres</li> <li>• Reduceret behov for anvendelse af medicin og hjælpestoffer, herunder kalkning</li> <li>• Bedre arbejdsmiljø</li> </ul>
<u>Ulemper:</u>	<u>Ulemper:</u>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ingen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Højere energiforbrug pr. kilo produceret fisk</li> <li>• Øget udledning af CO<sub>2</sub></li> <li>• Risiko for opbygning af skadelige ammoniakkoncentrationer</li> <li>• Øget behov for overvågning og styring af driftsforholdene</li> <li>• Øget behov for backup-systemer; strøm, iltforsyning, pumper m.v.</li> </ul>



Som nævnt ovenfor medfører et reduceret vandindtag i kombination med øget recirkulation – dvs. genanvendelse af brugsvandet – flere fordele. Det forbedrer mulighederne for øget egenomsætning, fordi affaldsstofferne opholder sig i produktionsanlægget i længere tid, men sikrer også stabile driftsforhold og et reduceret sygdomspres, der bevirker en forbedret foderkvotient. Det medfører, at forureningsfrembringelsen fra dambrugsproduktionen reduceres. Disse forhold er omfattet af renere teknologibegrebet, og effekten heraf tillægges alene teknologi forbedringer, som udelt kommer miljøet til gode fordi arbejdsgruppen i forbindelse med fastsættelsen af renseeffekter ikke har indregnet disse afledte effekter, men alene har fokuseret på affaldsfjernelsen i renseforanstaltningerne.

Arbejdsgruppen har samtidig været opmærksom på, at egenomsætning (i bred forstand) også sker på traditionelt indrettede dambrug. På det foreliggende grundlag har det imidlertid ikke været muligt at kvantificere betydningen af egenomsætning i det hele taget for de forskellige "modeldambrug". Effekten heraf på traditionelle dambrug og "modeldambrug" for de relevante parametre, som primært er organisk stof og kvælstof (via denitrifikation), er derfor sat til 0 (nul). Egenomsætning i plantelaguner er dog medtaget i den samlede renseseffekt i disse.

I den forbindelse skal der dog gøres opmærksom på, at kvælstoffjernelse ved denitrifikation i jorddamme ikke overføres ved ombygning til betonanlæg, således at renseforanstaltningerne både skal kompensere for den mistede denitrifikation og det forhøjede produktionsbidrag ved øget foderforbrug.

Recirkulation medfører samtidig en bedre udnyttelse af renseforanstaltningerne, fordi affaldsstofferne fra fiskeproduktionen opkoncentreres. Dette giver i sig selv bedre muligheder for en optimal udnyttelse af renseforanstaltningernes kapacitet.

Arbejdsgruppen har i forbindelse med anbefalingerne om fastsættelse af foderforbruget på modeldambrugene derfor anvendt følgende indfaldsvinkler:

- a) at der i forbindelse med fastsættelsen af det tilladelige foderforbrug tages udgangspunkt i de i "Miljøforhold ved dambrug" (bekendtgørelsens bilag 1) fastsatte reduktionsfaktorer  $R_n$ : for  $BI_5$ : 20 %, fosfor: 20 % og kvælstof: 7 %,
- b) at reduktionsfaktorerne for de sammensatte renseforanstaltninger i modeldambrugene er i overensstemmelse med nedenstående skema (tabel 16).
- c) at øget  $R_N$  medfører at foderbruget kan øges uden at udledningen øges jf. nedenstående kurveforløb (figur 1A:  $BI_5$  og fosfor, figur 1B: kvælstof).

Tabell 16. Anbefalede rensegrader  $R_N$  (%) af produktionsbidraget for total kvælstof, total fosfor og organisk stof (mod.  $BI_5$ ) for de 3 modeldambrug og de tre varianter heraf, samt foreslået kvælstoffjernelse i tilhørende laguner. Egenomsætningen er sat til 0.

Modeldambrug type	Total kvælstof % i foranstaltninger før lagune	Kvælstof fjernet i lagune (kg/år)	Total fosfor %	$BI_5$ %
1	7	2.190	55	70
1A	7	1.095	55	70
2	15	-	45	50
2A	15	-	45	50
3	15	526	65	80
3A	15	1.051	65	80

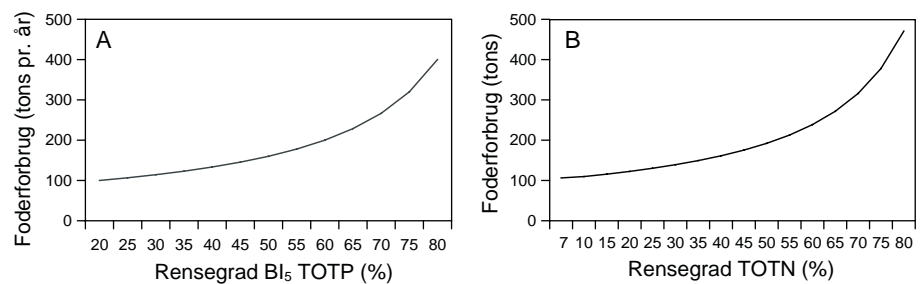


Fig. 1. Udvikling i foderforbrug som funktion af rensegrad for  $BI_5$  og TOTP (figur A til venstre) og som funktion af rensegrad for TOTN (figur B til højre).

For en god ordens skyld bemærkes, at begge kurveforløb er i overensstemmelse med en teoretisk tilgang, hvorefter en rensegrad på 100% medfører, at forbruget kan forøges til uendelig størrelse.

Udviklingen i foderforbruget kan for begge figurers forløb beskrives ved ligningen:

$$\text{Foderforbruget} = \frac{100 - R_n(BI_5, P, N)}{100 - R_N(BI_5, P, N)} * 100$$

Arbejdsgruppen har herefter taget udgangspunkt i rensegraden for det stof, hvor modeldambrugets renseforanstaltninger har den mindste effekt, således at der sikres udledningsneutralitet for alle stofferne. Det bevirker i øvrigt, at der sker en reduktion i udledningen for de stoffer, hvor renseeffekten er større end for det begrænsende stof.

Dette betyder, at der for et eksisterende jorrdambrug med et tilladt årligt foderforbrug på 100 tons og indrettet i overensstemmelse med dambrugsbekendtgørelsens mindstekrav ved ombygning efter specifikationerne for modeldambrugene kan anbefales et tilladt foderforbrug jf. tabel 17.

Table 17. Anbefalet foderforbrug for de 3 modeldambrug og den begrænsende parameter for anbefalingen. Der er taget udgangspunkt i et eksisterende anlæg på 100 tons, der bygger om til modeldambrug. Endvidere er angivet et beregnet foderforbrug såfremt udledningen af kvælstof ikke er begrænsende for en forøget dambrugsproduktion.

Modeldambrug type	Anbefalet foderforbrug	Begrænsende parameter	Foderforbrug med øget kvælstofudledning*	Begrænset af
1	158 tons/år	Kvælstof	178 tons/år	Fosfor
1A	129 tons/år	Kvælstof	178 tons/år	Fosfor
2	110 tons/år	Kvælstof	145 tons/år	Fosfor
2A	110 tons/år	Kvælstof	145 tons/år	Fosfor
3	125 tons/år	Kvælstof	230 tons/år	Fosfor
3A	140 tons/år	Kvælstof	230 tons/år	Fosfor

\* Ved foderforbrug med en øget kvælstofudledning er det udledningen af fosfor, der er begrænsende for størrelsen af foderforbruget.

Som det ses er manglen på renseforanstaltninger, der effektivt kan fjerne kvælstof, afgørende og begrænsende for udviklingen af dambrugsproduktionen. Der er således et udtalt behov for at udvikle mekanismer eller driftsoptimeringer som kan reducere udledningen af kvælstof fra ferskvandsdambrugene. Et sådant udviklingsarbejde bør gives topprioritet i den nærmeste fremtid.

Endvidere er der behov for at få dokumentere nogle af de erfaringer, der er fra praktisk dambrugsdrift, der viser at egenomsætningen fjerner kvælstof, og at der tilsyneladende også fjernes kvælstof i betonanlæg med biofiltre. Der foreligger blot ingen videnskabelig dokumentation for det.

Det er klart, at modeldambrug 2 og 2A ikke vil være særligt attraktive, hvis der kun kan opnås ekstra 10 tons foder (10 % ekstra foder). Der er derfor i tabel 2, højre kolonne angivet en foderkvote, hvis det tillades, at der sker en mindre forøgelse af kvælstofudledningerne. Det angivne foderforbrug findes ud fra, at det i stedet er fosfor, der bliver begrænsende for foderforbrug. Umiddelbart foretrækker udvalget model 2, 2A, 3 og 3A, fordi disse er mindre pladskrævende end model 1 og 1A. Der kan i forhold til eksisterende dambrug komme problemer med fredningsforhold, og det skønnes endvidere, at mange dambrug ikke fysisk kan have plads til i hvert fald større plantelagunerne. Model 1 og 1A indtager desuden mere vand end de andre modeller. Det skal dog samtidigt understreges, at tilstedeværelse af plantelaguner giver en miljømæssig sikkerhed, hvis nogle af de øvrige rensekomponenter skulle svigte eller være ude af drift i en kortere periode.

## 10 Referencer

Alsted, N.S. (1991). Studies on the reduction of discharges from fish farms by modification of the diet. In: *Nutritional Strategies and Aquaculture Waste* (ed. by C.B. Cowey & C.Y. Cho). University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada, pp. 77-89.

Andersen, H.E. og Svendsen, L.M. (1997). Suspended sediment and total phosphorus transport in a major Danish river: methods and estimation of the effects of a coming major restoration. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, Vol. 7, 265-276.

Bergheim, A., Sanni, S. & Indrevik, G. (1993). Sludge removal from salmonid tank effluent using rotating microsieves. *Aquaculture engineering* 1993, 12, 97-109.

Bergheim, A., Cripps, S.J. & Liltved, H. (1998). A system for the treatment of sludge from land-based fish-farms. *Aquat. Liv. Res.* 11, 279-287.

Bovbjerg, P. (1993). Chitosan i fiskefoder. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen, No. 36, 1993.

Braaten, B., Poppe, T., Jacobsen, P. & Maroni, K. (1986). Risks from self-pollution in aquaculture: evaluation and consequences. In: Grimaldi, E., Rosenthal, H. (Eds.), *Efficiency in Aquaculture Production: Disease and Control*. Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Aquafarming "Aquacultura 86", Verona, Italy, Oct. 9-10 1986, pp. 139-165.

Burrows, R.E. (1964). Effects of accumulated excretory products on hatchery-reared Salmonids. U.S. Dept. of Interior, Bureau of Sport, Fisheries and Wildlife. Res. Rep. 66, 12 pp.

Christensen, F.J. (1998). Forhold der har betydning for ferskvandsdambrugs forurening med organisk stof. Ringkjøbing Amt, Vandmiljøafdelingen. Rapport 1-36.

Cripps, S.J. & Bergheim, A. (2000). Solids management and removal for intensive land-based aquacultura production systems. *Aquacultural Engineering* 22, 33-56.

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

DFU, DMU, Dansk Dambrugerforening & Miljøstyrelsen (1998). Redegørelse vedrørende det tekniske grundlag for miljøgodkendelse af dambrug. Rapport nr. 52. Danmarks Fiskeriundersøgelser, 1998.

Fjorback, C., Larsen, S.E., Skriver, J., Svendsen, L.M., Nielsen, P., Riis-Vestergaard, J. (2001). Forsøgsprojekt Døstrup Dambrug. Arbejdsrapport fra DMU, nr. 150, 2001.

*Fjorback, C., Larsen, S.E., Skriver, J., Svendsen, L.M., Nielsen, P. & Riis-Vestergaard, J. (2003): Forsøgsprojekt Døstrup Dambrug. Resultater og konklusopner for projektet. Danmarks Miljøundersøgelser. 270 sider – Faglig Rapport fra DMU nr. 434 (i trykken).*

*Grønberg, O. og Frier, J.O. (2000). Optimering af slutrensning på jord-dambrug. Aalborg Universitet. Laboratoriet for Miljøteknik. Rapport nr. 1. ISBN: 87-90033-2-1.*

*Hargreaves, J.A. (1988). Riview: Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds. Aquaculture 166, 181-212.*

*Hennessy, M. (1991). The efficiency of two aquacultural effluent treatment systems in use in Scotland. Eur. Aquacult. Soc. Spec. Publ. 14, 1991.*

*Jensen, J.S. (1997). Renseforanstaltninger på dambrug. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen, nr. 71 1997, 1-113. Miljø- og Energiministeriet.*

*Jobling, M. (1994). Fish Bioenergetics. Chapman & Hall, London.*

*Klontz, W., Stewart, B.C. & Eib, D.W. (1985). On the etiology and patho-physiology of environmental gill disease in juvenile salmonids. In: Ellis, A.E. (ed.). Fish and Shellfish Pathology, Academic Press, London, pp. 199-210.*

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

*Larsen, S.E. & Svendsen, L.M (2001). Notat vedr. tilpasning af udlederkrav ved overgang fra tilstandskontrol til transportkontrol. Notat fra Danmarks Miljøundersøgelser.*

*Lekang, O. Bergheim, A., & Dalen, H. (2000). An integrated wastewater treatment system for land-based fish-farming. Aquac. Eng. 22, 199-211.*

*Mäkinen, T., Lindgren, S. & Eskelinen, P. (1988). Sieving as an effluent treatment method for aquaculture. Aquacult. Eng. 7, 367-377.*

*Miljøstyrelsen (1992). Hav- og spildevandskontoret. Miljøforhold ved dambrug. Rapport, 1992.*

*Patterson, R.N., Watts, K.C., & Timmons, M.B. (1999). The power law in particle size analysis for aquaculture facilities. Aquacultural Engineering 19, 259-273.*

*Pickering, A.D. (Ed.) (1981). Stress and Fish. Academic Press, London, p. 367.*

*Poulsen, B.U. (1990). Fish protein hydrolysates for aquacultural feed. Dissertation. Technological Laboratory of Fisheries, Lyngby.*

*Rosenthal, H., Hoffmann, R., Jörgensen, L., Krüner, G., Peters, G., Schlotfeldt, H.-J. & Schomann, H. (1982). Water management in circular tanks*

of a commercial intensive culture unit and its effect on water quality and fish conditions. ICES Statutory meeting, C.M. 1982/F:22, 13 pp.

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

*Skovdam, C. (1995).* Aspekter af kvælstofomsætning i sedimenter fra ferskvandsdambrug. Rapport. Biologisk Institut, Odense Universitet.

*Stellwagen, J. (1995).* Udledninger fra ferskvandsdambrug. DIFTA Rapport, december 1995.

*Svendsen, L.M. og Andersen, H.E (1997).* Transport af suspenderet stof og fosfor i den nedre del af Skjern Å-systemet. Danmarks Miljøundersøgelser. 90 s. – Faglige rapport fra DMU nr. 185.

*Ulgenes, Y. (1992).* Undersøkelse af utslippsmengder, renseutstyr og slambehandlingsmetoder ved settefisk-anlegg. Delrapport I: Renseeffekt og driftserfaring med Hydrotech trommelfilter. Sintef, NHL Rapport no. STF60 A92.

*VKI (1982).* Development and testing of a prototype Swirl Separator. Case no. 80.070. 1982.

# Bilag A

## Arbejdsgruppens kommissorium

Der nedsættes under Dambrugsudvalget en arbejdsgruppe med henblik på at undersøge og fastlægge henholdsvis specifikationer og godkendelseskrav til modeldambrug. Fastlæggelsen af disse skal ske for at skabe grundlag for en mere enkel godkendelsesprocedure med klarere krav til dambruget.

På grundlag af de af Aalborg Universitets udarbejdede rammer for 3 modeldambrug:

- et jorrdambrug,
- et betondambrug og
- et avanceret betondambrug

specificeres for disse 3 typer - eventuelt i et par varianter - den konkrete opbygning af modeldambrugene og specifikation af rensningseffektiviteten, der med udgangspunkt i den foreliggende dokumentation og foreslåede indretning, drift og renseforanstaltninger kan beregnes for modeldambrugene.

Rensningseffektiviteten opstilles i en simuleringstabel under hensyn til produktionsmængde (foderton) og alternative forbrugsmængder af vand<sup>1)</sup> (skalering af recirkulation og iltning).

I sammenhæng med fastlæggelsen af modeldambrugets indretning og parametre fastlægges på baggrund af den foreliggende dokumentation:

- de godkendelseskrav, som må anses for opfyldt med tilstrækkelig sandsynlighed ved implementering heraf, herunder udlederkrav
- de godkendelsesforhold, der herudover skal vurderes individuelt.
- udledningskontrolkrav og evt. forslag til eventuelle nye kontrolmetoder (elektronisk datalogger).

Godkendelseskravene skal formuleres, så eksisterende dambrug kan forholde sig til muligheder og konsekvenser ved en overgang til forøget produktion i et modeldambrug. Arbejdsgruppen kan som udgangspunkt for en fastlæggelse heraf sammenholde den udledning, som modeldambruget giver anledning til med det eksisterende dambrugs udledning, som blev resultatet af reguleringen efter dambrugsbekendtgørelsen.

<sup>1)</sup> Modellen skal i princippet kunne anvendes:

- i vandløb, hvor vandmængde og fiskepassageforhold er så gunstige, at der ikke er behov for at begrænse vandindtaget, dvs, hvor det ønskede vandforbrug er lig med eller mindre end halvdelen af medianminimumsvandføringen
- i vandløb, hvor forholdene stiller krav om begrænset vandindtag og dermed høj recirkulation, hvis der ønskes en stor produktion,

dvs, hvor det ønskede vandforbrug er større end halvdelen af medianminimumsvandføringen.

Dambrugsudvalget har i sit arbejde forudsat, at overgang til modeldambrug giver en positiv miljøgevinst. Arbejdsgruppen bedes vurdere følgende model, hvorefter overgang til forøget produktion i et modeldambruget forudsætter en reduktion i den absolutte udledning<sup>2)</sup> og en forbedring af tilbageholdelsesprocenten:

Ved ny produktion i et modeldambrug skal den absolutte udledning reduceres med 1/10 % for hver 1 % forøgelse af fodertildeling, indtil en tilbageholdelsesprocent på 50 er opnået, herefter aftrappes reduktionskravet.<sup>3)</sup>

Arbejdsgruppen kan dog efter en nærmere analyse foreslå alternative modeller.

<sup>2)</sup> Reduktionen kan ske under hensyn til en ændret balance mellem de komponenter, der indgår i udledningen (fx P, N og BI<sub>3</sub>). Fastlæggelsen heraf må ses i sammenhæng med forholdene vedrørende slutrecipient, vandløbsmålsætning mv. Denne vurdering indgår ikke direkte i arbejdsgruppen.

<sup>3)</sup> Fx 100 t foder giver en udledning på 80, svarende til en tilbageholdelse på 20 %. En forøget fodertildeling på 150 t betyder, at udledningen skal reduceres til 76, svarende til en tilbageholdelse på 49 %

Foder ton	Udledning absolutte tal	Tilbageholdelse absolutte tal	Tilbageholdelsesprocent
100	80	20	20 %
150	76	74	49 %



# Bilag B

## Beregning af produktionsbidrag

*Per Bovbjerg Pedersen, Danmarks Fiskeriundersøgelser*

For at lette beregningen af produktionsbidraget er der udarbejdet et simpelt regnearksprogram (kan rekvireres ved henvendelse hos forfatteren eller på [pbp@dfu.min.dk](mailto:pbp@dfu.min.dk)) som beregner bidraget af kvælstof (N), fosfor (P) og organisk materiale (COD og  $BI_5$ ).

De nødvendige input for beregningen er fodersammensætningen (protein, fedt, kulhydrat, træstof, og fosfor) og den forventede/realiserede foderkvotient. Der er som udgangspunkt indlagt deklarerede værdier for fodertyperne BioMar EcoLife 19, 4½ mm og Aller GEP 576, 3 & 4 mm. Disse typer og pillestørrelser udgør pt. det største forbrug i ferskvandsdambrug.

Såfremt der eksisterer data for foderets fordøjelighed kan disse også indsættes, i modsat fald er repræsentative tal for normale danske fodertyper indsat som udgangspunkt (protein 92 %, fedt 94 %, kulhydrat 78 %, træstof 0 %).

Endelig kan der også indsættes en værdi for det procentvise foder-spild som måtte være estimeret, ligesom forholdet mellem COD og  $BI_5$  i fækalierne kan ændres om ønsket.

For kvælstof og fosfor bygger modellen på simpel subtraktion, således at produktionsbidraget beregnes som indhold i anvendt foder minus indhold i producerede fisk. Indholdet i produceret fisk er jævnfør dambrugsbekendtgørelsen sat til 3 % for kvælstof og 0,5 % for fosfor. I beregningsarket angives produktionsbidraget i gram såvel pr. kg produceret fisk som pr. kg forbrugt foder (g/kg = kg/t). Såfremt dambrugets årsforbrug af foder indtastes beregnes også årets bidrag fra dambruget.

For COD og  $BI_5$  bygger modellen på det stof som ikke fordøjes af fisken. Den fordøjede del af fedt og kulhydrat ender enten som fiskevæv eller forbruges/forbrændes til kuldioxid og vand, mens den fordøjede del af proteinet ender som væv eller forbruges/forbrændes til primært ammoniak/ammonium. Da der er tale om modificeret  $BI_5$  indgår iltforbrug fra ammonium-nedbrydning ikke i  $BI_5$ -tallet.

Den ufordøjede del af foderet er således dét som giver anledning til produktionsbidrag af modificeret  $BI_5$ . Det organiske stof, som er fordøjet, udskilles langt overvejende som ammonium/ammoniak. Nedbrydningen af dette kræver naturligvis ilt (mængden kan beregnes) og vil i givet fald indgå i det biologiske iltforbrug. Men både modellen og hele dambrugssagsbehandlingen omhandler modificeret  $BI_5$ , hvor ammoniumomsætning er hæmmet og iltforbrug herfra derfor ikke indgår.

En mindre del af det udskilte N (ca.10-15 % i FW) udskilles som urinstof og creatin, purin. Dette vil typisk være direkte opløst og iltforbruget til omdannelse heraf vil således tilgå vandfasen. Der er dog tale om en mindre mængde af stof som ikke bruger så meget ilt til nedbrydning.

En lille del af den fordøjede energi vil teknisk set blive "udskilt" som slim, der afstødes fra fisken. Den bundfældelige del af det afstødte slim vil indgå i fordøjelighedsberegningen, mens en eventuel opløst del ikke vil.  $BI_5$ -forbruget heraf må dog vurderes som ret ubetydelig i det totale billede.

Som nævnt, er det således den ufordøjede del af foderet der giver anledning til produktionsbidrag af modificeret  $BI_5$ . Ved hjælp af foderefs fordøjelighed kan den ufordøjede mængde af protein, fedt og kulhydrat (+træstof) beregnes. Ved brug af den gennemsnitlige energitæthed i protein (24 kJ/g), fedt (39 kJ/g) og kulhydrat (17 kJ/g) (Jobling, 1994) kan energimængden ved total nedbrydning af disse ufordøjede andele beregnes.

Energimængderne i de ufordøjede mængder stof kan via de oxykaloriske koefficienter (protein 13,36 kJ/g  $O_2$ , fedt 13,72 kJ/g  $O_2$ , kulhydrat 14,76 kJ/g  $O_2$ ) (Jobling, 1994) omsættes til et iltforbrug, dvs. den mængde ilt som vil medgå til forbrænding/nedbrydning af stofferne (=COD).

Hvor stor en del af denne COD-mængde som vil blive biologisk nedbrudt indenfor 5 dage v. 20° (standard  $BI_5$ -opstilling) er endnu ikke fuldstændig fastlagt, men er dog netop blevet undersøgt med 4 moderne fodertyper. For disse typer var forholdet rimelig ensartet, og lå som rundt gennemsnit på et  $BI_5$ /COD forhold 0,3. Det synes derfor rimeligt indtil videre at operere med et  $BI_5$ /COD forhold på 0,3 i fiskefækalier, men forholdet kan varieres i regnearkets inputkolonne såfremt andre tal måtte fremkomme for givne fodertyper.

Herved fremkommer produktionsbidraget af COD og  $BI_5$  som udtrykkes både i kg pr. ton fisk produceret og pr. ton foder forbrugt.

Det forventede/estimerede/målte foderspild kan også selvstændigt indtastes. Da dette foder i sagens natur ikke fordøjes, vil en stor andel foderspild forøge produktionsbidraget af COD/ $BI_5$  betydeligt. Desværre findes der ikke pålidelige tal for størrelsesordenen af foderspild på danske dambrug, og dette vil formentlig også variere noget afhængig af de aktuelle forhold. Det må anbefales, at der iværksættes undersøgelser af foderspildets omfang og variation på forskellige dambrug under praktisk drift.

Størrelsesordenen er blevet diskuteret i arbejdsgruppen, ligesom forskellige parter er blevet hørt om den formodede andel. Svarene ligger generelt mellem ingenting og max. 1-2 %. Med mindre der er grundlag for at antage andet, anbefales det derfor indtil videre at sætte foderspildet til 0,5 % af den udfodrede mængde.

Efter input af foderspildsprocent og årsforbrug af foder udregner modellen herefter produktionsbidraget af  $BI_5$  på dambruget pr. år.

De anvendte beregningsmetoder er følgende:

N: indhold i anvendt foder - indhold i produceret fisk (3 %)

P: indhold i anvendt foder – indhold i produceret fisk (0,5 %)

COD: foderkomponenterne opdeles i protein, fedt, kulhydrat, træstof og aske. Den fordøjelige del udregnes ved at gange med fordøjeligheden (%), hvorved mængden i fækalierne udregnes ved subtraktion.

Mængden i fækalierne ganges med energiindholdet for den pågældende foderkomponent, hvorved energien (kJ) i fækalierne fremkommer. Når denne divideres med den oxykaloriske koefficient (kJ/g  $O_2$ ) fås et mål for den nødvendige iltmængde til nedbrydning af de pågældende komponenter i fækalierne (COD).

Delkomponenternes bidrag summeres, hvorved det forventede COD-forbrug for fækalierne haves.

Foderspildets bidrag udregnes tilsvarende, dog naturligvis direkte uden indsat fordøjelighed.

$BI_5$ : COD-bidraget ganges med  $BI_5$ /COD forholdet, som for fiskefækalier synes at ligge på ca. 0,3. Herved fås  $BI_5$ -bidraget fra fiskene.

Foderspildets bidrag udregnes tilsvarende, dog naturligvis direkte uden indsat fordøjelighed.

# Bilag C

## Teknisk oplæg til design af Modeldambrug

*Ole Grønborg, Aalborg Universitet*

### Renseteknisk grundlag

Med udgangspunkt i udformningen af eksisterende danske dambrug er opstillet tre modeldambrug. Til hvert af de tre modeldambrug er tilføjet en variant. Modeldambrug 1 og 1A er ekstensive jorddambrug med en omfattende lavteknologisk rensning. Modeldambrug 2 og 2A er intensive jord- eller betonanlæg med de nyeste renseteknikker implementeret og et pladsbesparende design. Modeldambrug 3 og 3A er udformet med henblik på nyanlæg og de nyeste renseteknikker.

### Generelle forudsætninger for dimensioneringen af modeldambrugene

Forudsætningerne er gennemgående valgt som en afvejning i mellem gennemsnitsværdier for erhvervet generelt og "worst case" for den enkelte parameter. Ved eksempelvis at vælge 15<sup>o</sup> C som den dimensiongivende temperatur opnås sikkerhed for, at der er ilt nok i dammene i den værst tænkelige situation.

Der dimensioneres anlæg med et foderforbrug på 100 tons. Det forudsættes, at den stående bestand af fisk er 40 tons. Der regnes med en gennemsnitlig individvægt på 120 gram. Vanddybden i jorddamme og raceways sættes til 1 meter.

Den nødvendige vandmængde, der skal cirkuleres rundt for at opretholde et tilfredsstillende iltniveau for fiskene, er beregnet af dambrugerforeningen. Der forudsættes en temperatur på 15° C, et foderniveau på 1,0, en stående bestand på 40 tons og en individvægt på 120 g.

Fremløbsvandet forventes opilet til 90 % mætning svarende til 9 mg/l ved 15° C. Det laveste iltniveau der kan anbefales, hvis vækstbegrænsning skal undgås, kan beregnes til 7,07 mg/l. Ud fra forbrugsspændet kan vandbehovet herefter beregnes til ca. 1790 l/s og iltforbruget til ca. 312 mg/ilt pr. kg fisk i timen. Alt efter dambrugsdesign og fodringsstrategi skal der dimensioneres med nogen overkapacitet. Af økonomiske og praktiske hensyn vælges vandflowet internt på modeldambrugene til 500 l/sek. Den manglende iltmængde må tilføres vandflowet ved beluftning eller med ren ilt.

Partikler opsamlet i modeldambrugenes filtre bringes til slamdepot. Slamdepoterne skal være zoneopdelte således, at en del kan service-res, mens en anden del er i drift. Slammet bør tyknes mest muligt, inden det bringes til slamdepotet. Den vandige klarede fraktion kan le-

des tilbage umiddelbart før mikrosigten i renseanlægget. Slamdepotet skal have kapacitet til mindst 1 års opbevaring.

### **Modeldambrug 1 og 1A**

Modeldambrug 1 og 1A kan beskrives som ekstensive dambrug. Den moderate rensning og målet om optimal egenomsætning betyder, at en forholdsvis lav tæthed må anbefales. Rensningen består af egenomsætning, slamkegler, sigter, lagune og slamanlæg.

Modeldambrug 1A er udformet som modeldambrug 1 bortset fra, at vandindtaget og dermed den nødvendige lagunestørrelse er halveret. Varianten er udformet med henblik på at imødekomme problemer med udvidelse på grund af landskabsrestriktioner og fysiske forhold i øvrigt.

Der er vist en skitse af modeldambrug 1 i figur 2 og af model 1A i figur 3.

I alle modeldambrug, der indtager vand fra vandløb forudsættes 1 indtag. I alle modeldambrug forudsættes et udløb.

#### *Modeldambrug 1:*

Tæthed:	10 kg/m <sup>3</sup>
Vandindtag:	125 liter/sekund
Recirkuleringsgrad:	75 %
Opholdstid i damme:	8,9 timer
Vanddækket produktionsareal:	4000 m <sup>2</sup>
Volumen produktionsareal:	4000 m <sup>3</sup>
Opholdstid i lagune:	9,3 timer
Samlet opholdstid:	18,2 timer

#### *Modeldambrug 1A:*

Tæthed:	10 kg/m <sup>3</sup>
Vandindtag:	62,5 liter/sekund
Recirkuleringsgrad:	88 %
Opholdstid i damme:	12,4 timer
Vanddækket produktionsareal:	4000 m <sup>2</sup>
Volumen produktionsareal:	4000 m <sup>3</sup>
Opholdstid i lagune:	9,6 timer
Samlet opholdstid:	21,2 timer

#### *Egenomsætning/returpumpning*

Formål: Reduceret vandforbrug. Immobilisering samt omsætning af partikulært og opløst stof.

Mål: Så omfattende rensning i damme og kanaler som muligt.

Foreslået løsning: Optimeret opholdstid, redesign af ind- og udløbsanordninger i damme samt slamkegler i bagkanaler.

Egenomsætning defineres som den stoffjernelse, der sker i damme/raceways og kanaler på dambruget uden aktive renseforanstaltninger. Egenomsætning er en effektiv og økologisk god måde at få omsat systemets affaldsstoffer.

Ved at optimere damdesignet og øge opholdstiden for vandet i systemet, er det muligt at opnå en væsentlig forøgelse af egenomsætningen. I bagkanalerne etableres kegleformede slamfælder, hvori en stor del af det bundfældelige materiale kan fjernes. Keglerne skal tømmes mindst hver anden dag.

Under detailprojektering af nye anlæg må der sigtes på at opnå hurtig og skånsom transport/fjernelse. En genereret fækalie eller en foderpille, der ikke bliver spist, skal hurtigst muligt, og så skånsomt som muligt, transporteres ud af dammen og passere den nødvendige strækning bagkanal, inden den fanges/aflejres i en slamkegle. I slamkeglen bør vandvolumenet over lejet, hvor fækalien eller foderpillen falder til ro, være stillestående. Enhver fækalie og foderpille begynder at gå i opløsning umiddelbart når den omgives af vand. Hvis vandvolumenet i slamkeglerne er stillestående opnås en høj koncentrationsgradient til det omgivende vand og mindst muligt stress på partiklen, hvilket begrænser hastigheden, hvormed opløsningen foregår. Fra miljøteknisk hydraulik kan hentes erfaringer for, hvorledes turbulens i kegler undgås.

De få kvantificeringer af egenomsætning der kan findes i litteraturen går alle på omsætning af organisk stof målt som biologisk iltforbrug over fem dage. Der findes ikke mange tal for egenomsætningen af næringssalte. Det er imidlertid sandsynligt, at egenomsætningen for kvælstof og fosfor er i samme interval som for organisk stof. Erfaringsmæssigt indgår det meste af fosforen og meget kvælstof i de samme partikler, som det partikulære organiske stof.

For fosfors vedkommende gælder, at den største del er partikulært bundet, således at fjernelsen primært foregår ved immobilisering. Fosforen omsættes ikke i systemet, således at den del der ikke immobiliseres principielt ender i recipienten. Kvælstoffet derimod er primært opløst, således at en mindre del kan immobiliseres gennem partikelfjernelse. Kvælstoffet kan til gengæld fjernes ved nitrifikation efterfulgt af denitrifikation. Ved denitrifikation dannes frit kvælstof, der kan gase af som  $N_2$  til atmosfæren, der i forvejen indeholder næsten 80 % kvælstof.

Da der findes meget lidt litteratur vedrørende egenomsætning, har udvalget valgt indtil videre at se bort fra egenomsætningen. Egenomsætning i damme samt fjernelse i slamkegler og sigter afstedkommer således en samlet anbefalet rensegrad. Vi finder det sandsynligt, at egenomsætning ofte står for den største del af omsætningen af centrale komponenter i vandet. Indtil forskning/undersøgelser vedrørende egenomsætning er gennemført, og dokumenterede resultater foreligger, tillægges egenomsætning i sig selv som nævnt ikke nogen værdi, når rensegrader for modeldambrugene fastsættes.

#### *Partikelfilter*

**Formål:** Reduktion af partikelmasse. Forbedret rensning i lagune.

**Mål:** Fjernelse af partikler til lavest mulig diameter.

**Foreslået løsning:** Mikrosigte med 74 mikrometer åbninger i dug.

Partikelfiltret har til formål at fjerne partiklerne i vandet. I aktuelle tilfælde er målet at fjerne partikler, der ikke kan fjernes ved den foranstående bundfældning (egenomsætning). Sigten må, ud fra litteraturen, vurderes at være bedre til partikelfjernelse end et bundfældningsanlæg, specielt hvis en sigtevidde under 100 mikrometer vælges (*Grønborg og Frier 2000*). *Cripps et al., 2000* skriver eksempelvis: Sedimentation er en ikke brugbar teknologi til frarensning af partikler i den primære strøm fra akvakulturfaciliteter, men er velegnet til sekundær afvanding eller fortykning. Grunden til at sigten er bedre end bundfældningsanlægget er, at partikler genereret i ørreddamme har en vægtfylde tæt på vægtfylden for vand. Bundfældningshastigheden for partiklerne bliver dermed lav, og en stor del føres med vandstrømmen videre i systemet. Ved dimensionering af bundfældningsanlæg til akvakulturformål er målet at fjerne partikler større end 150 mikrometer. Hvis mindre partikler skal kunne bundfældes, bliver bundfældningstankene uhensigtsmæssigt store. I forhold til sigten er bundfældning imidlertid en mere skånsom proces, således at store og skrøbelige partikler bedst fjernes i et bundfældningsanlæg. En kombination af bundfældning (kegler) med en efterfølgende sigte vurderes at være en fornuftig løsning.

Det forventes, at en sigte monteret med en dug, der har en maskevidde på 74 mikrometer, vil være tilstrækkelig. Nylig forskning (*Patterson et al., 1999*) gør det muligt at modellere partikelfordelingen for forskellige typer anlæg. Modellen er meget godt valideret, også med typisk dambrugsspildevand. For at bruge modellen skal der fastsættes en øvre grænse for partikelstørrelsen. Der er valgt 300 mikrometer som øvre grænse. Analyse af størrelsesspektret på danske anlæg bør foretages snarest muligt, jvf. *Grønborg og Frier, 2000*. En modellering på et gennemstrømningsanlæg viser, hvilken fordeling der kan forventes i dammene. Modelleringen viser, at ca. 75 % af partikelmassen vil være større end 74 mikrometer. En række forhold får indflydelse på, hvor meget der kan fjernes. En del af partikelmassen er immobiliseret/fjernet ved egenomsætning og små partikler kan koagulere/adsorberes og blive til større partikler ved recirkulering. Partikler kan nedbrydes i hydrolyseringsprocesser, og nye partikler kan dannes som resultat af vækst.

Som beskrevet under egenomsætning har udvalget valgt at lade partikelfiltrene indgå sammen med egenomsætning. Egenomsætning i damme samt fjernelse i slamkegler og sigter afstedkommer således en samlet anbefalet rensegrad. Rensegraden bestemmes på baggrund af *Patterson et al., 1999*. Der regnes alene med en fjernelse af partikulært materiale, således at rensegraden for opløst stof ved egenomsætning, bundfældning i kegler og rensning i mikrosigter sættes til 0. Der regnes alene med en fjernelse af partiklerne, når de umiddelbart er genereret svarende til partikelstørrelsesfordelingen som den formodes at se ud i udløbet fra et gennemstrømningsdambrug. Fjernelsen på grund af sekundær partikeldannelse, som formodes at blive en betydende faktor ved intensiv recirkulering, og indbygning af opløst materiale i nye partikler (vækst), sættes til 0.

Ved beregning af rensegrader er der taget udgangspunkt i den fordeling mellem opløst og partikulært N, P og  $BI_5$ , der er beskrevet i kapitel 2 af denne rapport.

#### *Lagune*

Formål: Efterpolering.

Mål: Immobilisering og omsætning af resterende partikkelmasse. Omsætning af opløst stof.

Foreslået løsning: Lagune dimensioneret ud fra Døstrup Dambrug erfaringer.

En plantelagune på et dambrug kan sammenlignes med den første del af vandløbsstrækningen nedstrøms dambruget i stedet ligger på dambruget. Når dambrugsvandet udledes til vandløbet, vil der umiddelbart nedstrøms ske en bundfældning/adsorbtion af partikulært materiale og en omsætning af letomsætteligt organisk stof. Også næringssaltene fosfor og kvælstof indbygges i plantebiomassen. Det er en fordel, at disse processer forløber i en lagune, således at problemer med lave iltspændinger og slamaflejringer umiddelbart nedstrøms dambruget mindskes. Plantessamfundet i en plantelagune kan tilpasses, således at arter der er specielt effektive til rensning favoriseres. Desuden skal det sikres, at der er overvintrende planter. Driften af en lagune er ikke ukompliceret, og vil kræve pasning.

Nylig forskning på Døstrup Dambrug kan vise vejen med hensyn til dimensionering og management (*Fjorback et al., 2001*). Projektet på Døstrup Dambrug har kun kørt i 1½ år. Det må formodes, at resultaterne på Døstrup Dambrug projektet bliver bedre i takt med en optimering. At bruge resultaterne fra det første års drift kan formentlig betragtes som en konservativ dimensionering.

På grund af en effektiv fjernelse af partikulært materiale og et anlægsdesign, der sigter på omfattende egenomsætning, må det forventes, at en lagune vil være meget effektiv til fjernelse af kvælstof og organisk stof. Organismene i lagunen vil primært kunne koncentrere indsatsen om at fjerne opløst organisk og uorganisk stof samt at fjerne meget små partikler ved adsorbtion til overflader. Dimensioneringen af lagunen er, som på Døstrup Dambrug, 48 m<sup>2</sup> pr. sekundliter. Lagunen formodes at kunne fjerne en stor del af de tilbageværende uønskede stoffer i vandet inden afledning til recipienten. Fra forsøgsprojektet på Døstrup Dambrug er resultatet fra det første års drift opgjort (*Fjorback et al., 2001*). Hvis hele tilbageholdelsen/omsætningen regnes i forhold til produktionsbidraget har fosfortilbageholdelsen udgjort 36 % af produktionsbidraget,  $BI_5$ -tilbageholdelsen 46 % af produktionsbidraget (53 % når de første måneders indkøring ikke medregnes) og suspenderet stof tilbageholdelsen til 154 % af produktionsbidraget. Kvælstoftilbageholdelse har til 0,9 g/m<sup>2</sup> døgn for hele perioden og godt 1 g/m<sup>2</sup> efter indkøringsfasen.

### **Modeldambrug 2 og 2A**

#### *Generel beskrivelse*

Modeldambrug 2 og 2A kan beskrives som intensive dambrug. Den intensive rensning og målet om optimal egenomsætning betyder, at



en "middel" tæthed kan anbefales - uklart. Rensningen består af egenomsætning, sigte, biofilter, kontaktfiler og slam anlæg.

Modeldambrug 2 er baseret på traditionelle jorddamme. Modeldambrug 2A er baseret på tanke/raceways udført i beton.

Forudsætningerne for dimensionering af modeldambrug 2 og 2A er i hovedtræk de samme som for model 1. Tætheden er hævet til 15 kg/m<sup>3</sup> og vandindtaget begrænset til 60 l/s.

Der er vist en skitse af modeldambrug 2 i figur 2 og af model 2A i figur 5.

*Modeldambrug 2 og 2A:*

Tæthed:	15 kg/m <sup>3</sup>
Vandindtag:	60 liter/sekund
Recirkuleringsgrad:	88 %
Opholdstid i damme:	8,6 timer
Vanddækket produktionsareal:	2667 m <sup>2</sup>
Volumen produktionsareal:	2667 m <sup>3</sup>
Samlet opholdstid:	12,6 timer

*Egenomsætning/returpumpning*

Formål: Reduceret vandforbrug. Immobilisering samt omsætning af partikulært materiale og opløst stof.

Mål: Så omfattende rensning i damme/raceways og kanaler som muligt.

Foreslået løsning: Optimeret opholdstid, redesign af ind- og udløbsanordninger i jorddamme (modeldambrug 2) samt slamkegler i bagkanaler/raceways.

Se beskrivelse af egenomsætning/returpumpning for modeldambrug 1.

Der findes ikke tilstrækkeligt med undersøgelser, der omhandler egenomsætning, til at der reelt kan skelnes mellem model 2 og 2A, hvad egenomsætning angår. Det må formodes, at de processer der forestår egenomsætning virker i sediment og vandfase i sammenhæng. I et anlæg baseret på jorddamme, synes omsætningspotentialer derfor at være bedre end i et betonanlæg. I betonanlæg er muligheden for hurtig og skånsom transport af partikler til gengæld bedre. Herved sikres en mindre opløsning af den partikulære fraktion. Ikke mindst på dambrug med runde betondamme er observeret en hurtig transport af partikler frem til rensning. Det er heller ikke muligt at kvantificere recirkuleringens (opholdstidens) betydning for egenomsætningen.

*Partikelfilter*

Formål: Reduktion af partikelmasse.

Mål: Fjernelse af partikler til lavest mulig diameter.

Foreslået løsning: Mikrosigte med 74 mikrometer åbninger i dug.

Se beskrivelse af partikelfilter for modeldambrug 1.

Partikelfilteret sættes ikke til nogen rensning, da rensningen opgøres som en del af de partikler, der kan fjernes til og med kontaktfileret.

#### *Partikelfilter 2*

Formål: Reduktion af partikelmasse.

Mål: Fjernelse af små partikler samt hydrolysering inden biofiltrering.

Foreslået løsning: Kontaktfiler.

Kontaktfileret er et fastmediefiler baseret på Leca (8-18 mm diameter, HOB max 20 m/h), eller plastelementer (ca. 11 mm diameter, HOB max 30 m/h). Ved et flow på 500 l/s vil kontaktfileret baseret på Leca mindst få en overflade på 90 m<sup>2</sup> og kontaktfileret baseret på plastelementer mindst 60 m<sup>2</sup>. Filerdybden skal være mindst 70 cm.

Biofileret vil hænges væsentligt af mikropartikler. For at opnå den bedst mulige omsætning af opløst stof i biofileret, vurderes kontaktfileret foran biofiltreret at være nødvendigt. Kontaktfileret er i stand til at fange en væsentlig del af partikelmassen ned til ca. 20 mikrometer. De små partikler dannes ved adskillige processer i dambruget, herunder hydrolyseprocesser, biovækst-processer og ved afrivning af filterhud i biofileret. Små partikler vides, udover påvirkningen af biofileret, at være skadelige for fiskene. Mange studier har indikeret fordelene ved at opretholde et rent opdrætsmiljø med et minimum af affaldsstoffer, herunder partikler, da disse kan lede til en forøget risiko for sygdomme (*Klontz et al., 1985; Braaten et al., 1986*) og/eller et øget stressniveau, som er resultat af sub-optimal vandkvalitet (*Pickering 1981; Rosenthal et al. 1982; Klontz et al. 1985; Braaten et al. 1986*). Specielt miljøbetinget gællesyge, der er en kronisk ikke smittende tilstand, optræder i intensive opdræt og forventes at være forårsaget direkte af et akkumuleret indhold af suspenderet stof i vandet eller/og ikke ioniseret ammonium (*Burrows 1964; Braaten et al. 1986*). For at optimere opdrætsbetingelserne er det derfor vitalt at fjerne partiklerne hurtigt og effektivt. En god løsning vurderes at være et kontaktfiler placeret før biofileret.

Nylig forskning (*Patterson et al., 1999*) gør det muligt at modellere partikelfordelingen for forskellige typer anlæg. En modellering på et gennemstrømningsanlæg viser, hvilken fordeling der kan forventes i dammene. Modelleringen viser at godt 90 % af partikelmassen vil være større end 20 mikrometer. Kontaktfileret forventes at kunne fjerne den resterende partikelmasse større end 20 µ. De 90 % partikler der kan fjernes kommer til at udgøre den samlede rensning for egenomsætning, sigte og kontaktfiler.

En række forhold får indflydelse på, hvor meget der kan fjernes. En del af partikelmassen er immobiliseret/fjernet ved egenomsætning og små partikler kan koagulere/adsorberes og blive til større partikler ved recirkulering.

På grund af manglende dokumentation for kontaktfiltres effekt i akvakultursammenhæng vælger udvalget at sætte rensegraden for kontaktfileret til 0.

### *Biologisk filter*

**Formål:** Omsætning af letomsætteligt organisk stof samt total ammonium.

**Mål:** 80% reduktion af total ammonium koncentrationen i et gennemløb.

**Foreslået løsning:** Flydende/bevægeligt medie filter med plastfyld.

Til dimensionering er brugt *Grønborg & Frier, 2000*. Følgende forudsætninger er anvendt. Ratekonstant: 0,35. Dimensionsgivende temperatur: 10°C. 800 kvadratmeter filteroverflade pr. kubikmeter biomedie.

Nitrifikationsraten findes til: 0,2 g NH<sub>4</sub>-N/m<sup>2</sup>d. Nødvendigt biomedievolumen beregnes til 61,5 m<sup>3</sup>.

Et biologisk filter fungerer bedst i partikelfrit vand og sætter derfor høje krav til forangående partikelfiltrering. I biofilteret omsætter heterotrofe bakterier principielt først det letomsættelige organiske stof. Derefter omsætter nitrificerende bakterier total ammonium til nitrat. I praksis foregår begge processer sideløbende, dog med det forbehold at de heterotrofe bakterier udkonkurrerer de nitrificerende, hvis der er kamp om pladserne på mediet. På grund af konkurrenceforholdene forventes en procentuel fjernelse af opløst organisk stof på højde med total ammonium fjernelsen.

Dimensionering foregår typisk med ammonium som den dimensionsgivende parameter. Det ville være urimeligt at forlange biofilterstørrelser, der modsvarer en reduktion af ammonium til nul, som det er tilfældet ved dimensionering af biofiltre til byspildevand, da den primære del af vandstrømmen efter endnu en opholdstid igen bliver biologisk filtreret. En 80 % reduktion er en fornuftig værdi at dimensionere efter. Et flydende eller bevægeligt medie filter forventes bedst at kunne løse opgaven, se *Grønborg og Frier, 2000*.

Det er vigtigt, at læseren er opmærksom på, at der ikke er tale om et dybdefilter med leca som medie. Et sådant filter kaldes i dambrugs-sammenhæng ofte et biofilter, men kaldes med teknikertermer et dybdefilter eller et fastmedie kontaktfiler.

### **Modeldambrug 3 og 3A**

#### *Generel beskrivelse*

Modeldambrug 3 kan beskrives som modellen ved nyanlæg. Den intensive rensning, det minimale vandforbrug og raceways designet med henblik på optimal transport betyder, at høj tæthed og stordrift bliver muligt. Rensningen består af egenomsætning, sigte, biofilter, kontaktfiler, lagune og slamanlæg.

Modeldambrug 3A sigter på bedre kvælstofomsætning end modeldambrug 3. På grund af mangel på dokumentation kan kun lagunen tilskrives fjernelse af opløst kvælstof. En dobbelt så stor lagune, som i modeldambrug 3, kan dermed bane vejen for produktionsudvidelser på lokaliteter, hvor den med fordel kan etableres.

Tætheden for model 3 og 3A hæves til  $40 \text{ kg/m}^3$  og vandindtaget begrænses til 15 l/s.

Der er vist en skitse af modeldambrug 3 i figur 6 og af model 3A i figur 7.

#### Modeldambrug 3 og 3A:

Tæthed:	$40 \text{ kg/m}^3$
Vandindtag:	15 liter/sekund
Recirkuleringsgrad:	97 %
Opholdstid i raceways:	18,5 timer
Opholdstid i biofilter:	1,1 timer
Vanddækket produktionsareal:	$1000 \text{ m}^2$
Volumen produktionsareal:	$1000 \text{ m}^3$
Opholdstid i lagune modeldambrug 3:	18,7 timer
Opholdstid i lagune modeldambrug 3A:	37,3 timer
Samlet opholdstid	40 h.h.v. 59 timer

#### Egenomsætning/returpumpning

**Formål:** Reduceret vandforbrug. Immobilisering og/eller omsætning af partikulært materiale og opløst stof.

**Mål:** Så omfattende rensning i systemet og i slamkegler som muligt.

**Foreslået løsning:** Omfattende returpumpning og slamkegler.

Se beskrivelse af egenomsætning/returpumpning for modeldambrug 2 og 2a.

I modeldambrug 3 og 3A er slamkegler placeret integreret i raceway systemer i stedet for i bagkanaler. Kegler etableres i to rækker umiddelbart efter hinanden. Keglerne skal dække hele bredden. Et sæt kegler etableres i hver raceway eller for hver 30-40 meter raceway. Kegler skal tømmes mindst hver anden dag.

Selvom der ikke er noget sedimentlag i raceways, som det er tilfældet i jorddamme, vil der ske en vis egenomsætning i systemet. Vandet opholder sig meget længe i anlægget, hvilket medvirker til en større egenomsætning. Omsætningen vil ske på systemets overflader og i vandfasen.

#### Partikelfilter

**Formål:** Reduktion af partikelmasse.

**Mål:** Fjernelse af partikelmasse til lavest mulig diameter.

**Foreslået løsning:** Mikrosigte med 74 mikrometer åbninger i dug.

Se beskrivelse af partikelfilter for modeldambrug 1 og 1a. Sigten forventes at fjerne mere partikulært materiale end sigten i modeldambrug 1 og 2. Det skyldes den hurtige transport frem til sigten og den omfattende recirkulering. Dette er dog ikke indregnet.

#### Partikelfilter 2

**Formål:** Reduktion af partikelmasse.

**Mål:** Fjernelse af små partikler samt hydrolysering inden biofiltrering.

**Foreslået løsning:** Kontaktfiler.

Se beskrivelse af partikelfilter 2 for modeldambrug 2

Filtreringen til og med kontaktfileret tillægges ved dimensionering, som for modeldambrug 2, en partikelfjernelse på 90 %.

På grund af manglende dokumentation for kontaktfiltres effekt i akvakultursammenhæng vælger udvalget at sætte rensegraden for kontaktfileret til 0.

#### *Biologisk filter*

Formål: Omsætning af let omsætteligt organisk stof samt total ammonium.

Mål: 80 % reduktion af total ammonium koncentrationen i et gennemløb.

Foreslået løsning: Flydende/bevægeligt medie filter med plastfyld.

Se beskrivelse af biologisk filter for modeldambrug 2.

Nødvendigt biomedievolumen beregnes til 61,5 m<sup>3</sup>.

#### *Udløbs-lagune*

Formål: Efterpolering.

Mål: Immobilisering og omsætning af resterende partikelmasse. Omsætning af opløst stof.

Foreslået løsning: Lagune på den vandmængde der tilledes recipienten. Dimensionering følger erfaringer fra Døstrup Dambrug.

Se beskrivelse af lagune for modeldambrug 1.

Da der er tale om en meget begrænset vandmængde, der skal tilledes recipienten, er etablering af en lagune en forholdsvis billig løsning. En efterpolering på det forholdsvis tykke udløbsvand vurderes at have en god effekt. Grundet den større koncentration af partikler og næringssalte fordobles arealkravet. Der fås en lagunestørrelse på 1440 m<sup>2</sup>. Lagunen formodes at kunne fjerne en stor del af de tilbageværende uønskede stoffer i vandet inden afledning til recipienten. Rensegrader fastsættes ud fra Døstrup Dambrug resultater som for modeldambrug 1.

For modeldambrug 3A vælges en firedobling af arealkravet anvendt på Døstrup Dambrug. Der fås en lagunestørrelse på 2880 m<sup>2</sup>. Firedobling af lagunen sker for at nedbringe den forventede kvælstofudledning, men vil også yderligere reducere udledningen af BI<sub>5</sub> grundet den meget høje opholdstid.

De større arealkrav, anvendt til dimensionering af lagunerne i modeldambrug 3 og 3A, giver ikke anledning til at rensegraderne, nævnt for lagunen i modeldambrug 1, ændres.

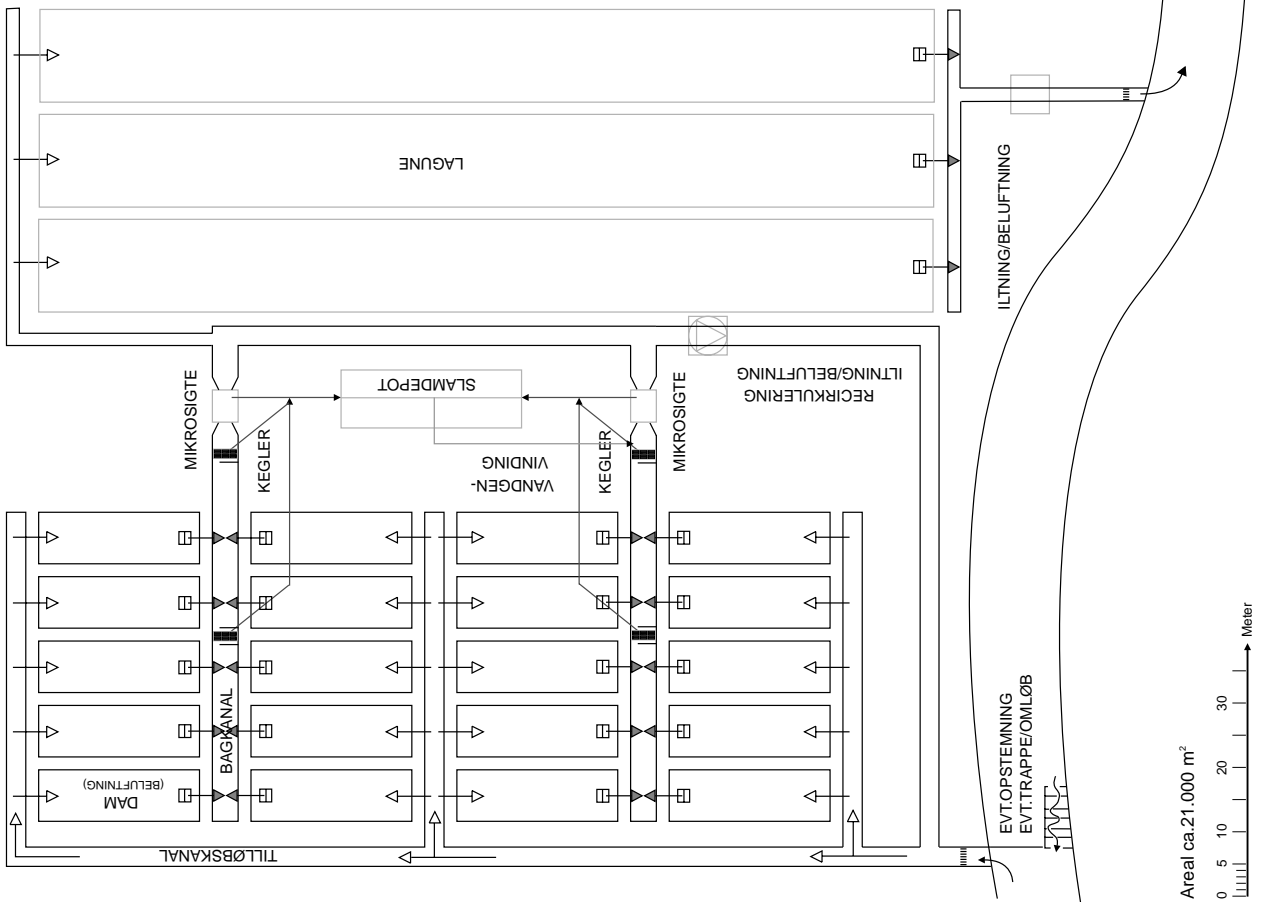


Fig. 2 Skitse af modeldambrug 1.

## Modeldambrug 1.


Ekstensivmodel

### Opbygning:

- Dimensioneret til 100 tons årligt foderforbrug.
- Dimensionsgivende tæthed (10kg/m<sup>3</sup>)
- Vandindtag: 125 l/s.
- Dimensionsgivende stående bestand: 40 tons.
- Daglig udfodning maks. 2% af dim. ståendebestand.
- Valgt vandflowinternt: 500l/s.
- Recirkuleringsgrad: 75%.
- Opholdstid i damme: 8 timer.
- Opholdstid i lagune: 9,3 timer.

### Rensning:

- Egen omsætning i damme og kanaler.
- Returpumpning+iltning/beluftning.
- Kegler i bagkanaler.
- Et sæt pr.30 meter bagkanal. Altid et sæt tør sigte.
- To rækker kegler i hele bredden.
- Kegler skal løbnes mindst hveranden dag.
- Mindste vandhastighed i fiskebesat bagkanal: 3 cm/sek
- 7,4 my sigte.
- Lagune.
- Nødvendigt areal: 6000m<sup>2</sup>. Vanddybde70cm.
- Laguneareal lordeles jævnt på mindst tre laguner.
- Løsevine planterester skimmes fra udløbsvandet.
- Mindst 5 mg/lit i midt vandsøjle over alt i lagune.
- Slamdepot.
- Kapacitet til års opbevaring eller kombineret med tørdepot.
- Udløb.
- Udløbsbygværk for flowmåling og kemisk prøvetagning.

<p>UDARBEJDET FOR:</p> <p>Udvælgte vedt.dambrugsaner væk. udviklingsmuligheder i forhold til miljøet og vandløbsbrugsmæssigt.</p> <p>Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri</p> <p>Departementet 3. 1.</p>		<p><b>MODEL DAMBRUG 1</b></p> <p>"ekstensiv"</p>	
<p>UDARBEJDET AF:</p> <p>Teknisk rådgivningsfirma: Udløbsværdi vedt.dambrugsaner væk. udviklingsmuligheder i forhold til miljøet og vandløbsbrugsmæssigt.</p>		<p>REV.A: 040301</p> <p>REV.B: 020401</p> <p>REV.C: 240501</p> <p>REV.D: 240801</p> <p>REV.E: 011001</p>	<p>REV.K: 031201</p> <p>REV.L: 091201</p> <p>REV.M: 131201</p> <p>REV.N: 181101</p> <p>REV.O: 211101</p>
<p>DATE: 06/12/01</p> <p>MÅL: 1:500 (Original: A2)</p> <p>UDARB.: Ole Grenborg</p>			

## Modeldambrug 1A.

Ekstensiv model

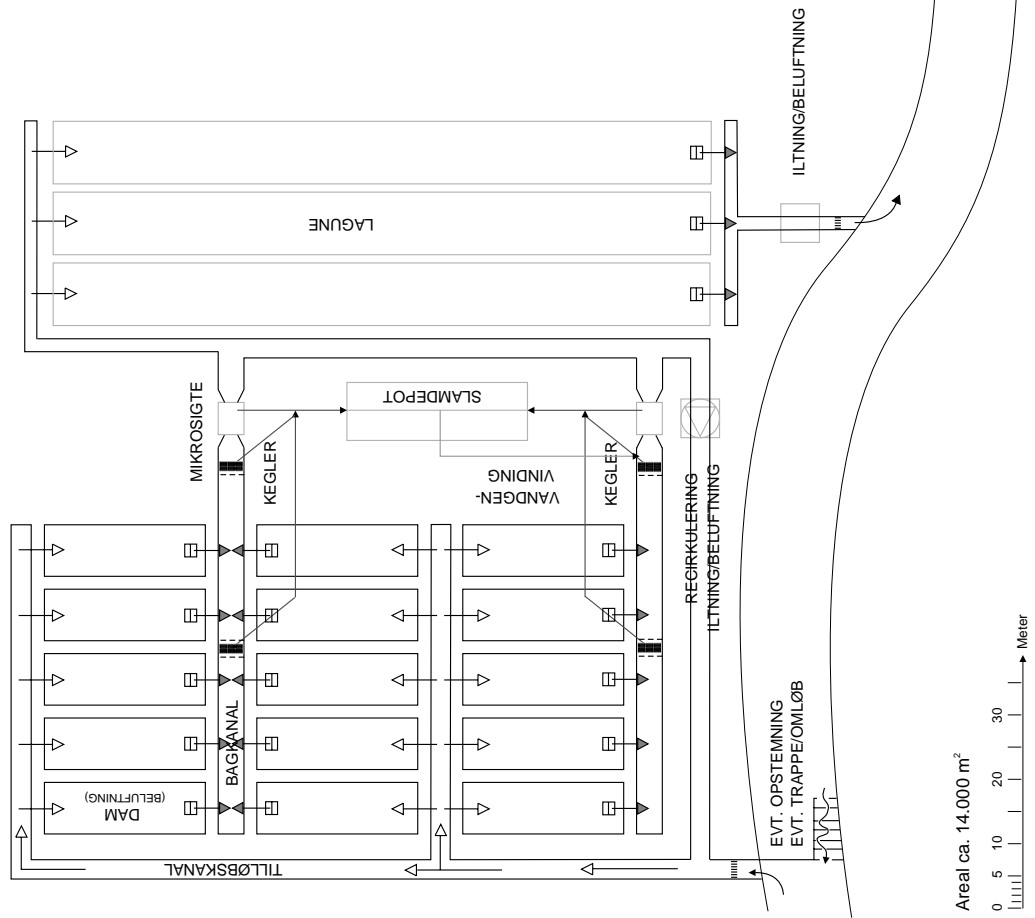
Variant der sparer plads på bekostning af vandindtag.

### Opbygning:

- Dimensioneret til 100 tons årligt foderforbrug.
- Dimensionsgivende tæthed (15 kg/m<sup>3</sup>)
- Vandindtag: 62,5 l/s.
- Dimensionsgivende stående bestand: 40 tons.
- Daglig udfodring maks. 2% af dim. stående bestand.
- Valgt vandflow internt: 500 l/s.
- Recirkuleringsgrad: 88 %.
- Opholdstid i damme: 11,9 timer.
- Opholdstid i lagune: 9,3 timer.

### Rensning:

- Egenomsætning i damme og kanaler.
- Returpumpning + iltning/beluftning.
- Kegler i bagkanaler.
- Et sæt pr. 30 meter bagkanal. Allid et sæt før sigte.
- To rækker Kegler i hele bredden.
- Kegler skal tømmes mindst hver anden dag.
- Mindste vandhastighed i fiskebesat bagkanal: 3 cm/sek.
- 74 my sigte.
- Lagune.
- Nødvendigt areal: 3000 m<sup>2</sup>. Vanddybde 70 cm.
- Laguneareal fordeles jævnt, på mindst tre laguner.
- Løstevne planterester skimmes fra udløbsvandet.
- Mindst 5 mg/l ilt, i midt vandsejle, overalt i lagune.
- Slamdepot.
- Kapacitet til 1 års opbevaring eller kombineret med tørdapot.
- Udløb.
- Udløbsbygværk for flommåling og kemisk prøvetagning.



<p>UDARBEJDET FOR:</p> <p>Udviklet ved: dambrugenevns udviklingsenheder          i forbindelse med projekter og vandløbsreguleringsselskaber          Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeeri          Copenhagen, 2011</p> <p>MODIFICERET AF:</p> <p>Telesk anbragte tegne med et af Udviklet ved:          dambrugenevns udviklingsenheder i forbindelse med          projekter og vandløbsreguleringsselskaber.</p>	<p><b>MODELDA MBRUG 1A</b>  <b>“ekstensiv”</b></p>	<p>REV. A: 281001    REV. F: 061201          REV. B: 051101    REV. G: 131201          REV. C: 181101    REV. H:          REV. D: 031201    REV. I:          REV. E: 031201    REV. J:</p>
	<p> </p>	<p> </p>
<p>           DATO: 13/2011            MÅL: 1:500 (Original: A2)            UDARBEJDET: Ole Grønberg         </p>		

Fig. 3 Skitse af modeldambrug 1A.

## Modeldambrug 2.

Intensivmodel

**Opbygning:**  
 Baseret på jorddamme.  
 Dimensioneret til 100 tons årligt foderforbrug.  
 Dimensionsgivende tæthed ( 15 kg/m<sup>2</sup> )  
 Vandindtag: 60 l/s.  
 Dimensionsgivende stående bestand : 40 tons.  
 Daglig udfodring maks. 2 % af dim. stående bestand.  
 Valgt vandflow internt: 500 l/s.  
 Recirkuleringsgrad: 88%.  
 Opholdstid i damme: 12,3 timer.  
 Opholdstid i biofilter: ~30 minutter.

**Rensning:**  
 Egenomsætning i damme og kanaler.  
 Returnpumpning + iltning/beluftning.  
 Kegler i bagkanaler.  
 -Et sæt pr. 30 meter bagkanal. Altid et sæt før sigle.  
 -To rækker kegler i hele bredden.  
 -Mindste vandhastighed i fiskebesat bagkanal: 3 cm/sek.  
 -Keglerskæltømmesmindsthverendag.  
 74my sigle.  
 Kontaktfiltre.  
 -Baseret på Leca (8 -18 mm, HOB max.20 mt<sup>2</sup>),  
 eller plast (ca. 11mm, HOB max.30 mh<sup>2</sup>)  
 Biofilter.  
 -Flydende/bævsigelt mefle filter drevet af luft.  
 -Nødvendig overflade i biofilter: 49200m<sup>2</sup>.  
 Slamdepot.  
 -Kapacitet til 1 års opbevaring eller kombineret med tørdapot.  
 Udløb.  
 -Udløbsbygværk for flowmåling og kemisk prøvetagning.

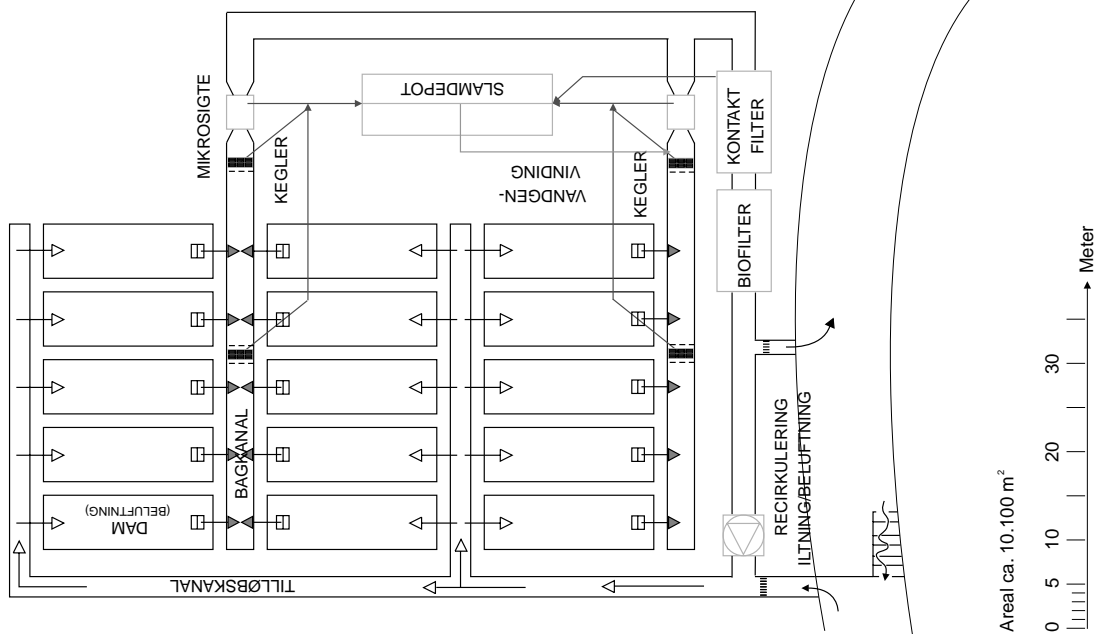


Fig. 4 Skitse af modeldambrug 2.

<p>UDARBEJDET FOR:          Udviklingscenteret for Fiskeavl, Landbrug og Fiskeri          Departementet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri          Danmarks Miljøundersøgelser</p> <p>MODIFICERET AF:          Ole Gremberg</p> <p>DATO: 06/201          MÅL: 1:500(Original: A2)          UDARB.: Ole Gremberg</p>	<p><b>MODELAMBRUG 2</b>  <b>"intensiv-jorddamme"</b></p> <p>REV.A.: 04/03/01    REV.F.: 10/10/01    REV.K.: 03/2/01          REV.B.: 02/04/01    REV.G.: 28/10/01    REV.L.: 06/12/01          REV.C.: 28/05/01    REV.H.: 05/11/01    REV.M.:          REV.D.: 24/03/01    REV.I.: 18/11/01    REV.N.:          REV.E.: 01/10/01    REV.J.: 2/11/01    REV.O.:</p>
--	---



## Modeldambrug 2A.

Intensivmodel

### Opbygning:

- Baseret på raceways.
- Dimensioneret til 100 tons årligt foderforbrug.
- Dimensionsgivende tæthed ( 15 kg/m<sup>3</sup> )
- Vandindtag: 60 l/s.
- Dimensionsgivende stående bestand: 40 tons.
- Daglig udfoeding maks. 2 % af dim. stående bestand.
- Valgt vandflow internt: 500 l/s.
- Recirkuleringsgrad: 88%.
- Opholdstid i raceways: 12,3 timer.
- Opholdstid i biofilter: ~30 minutter.

### Rensning:

Egenomsætning i raceways og kanaler.  
Returpumpning + iltning/beluftning.

### Kegler i raceways.

- To rækker kegler i hele bredden.
- Kegler skal løbmes mindst hveranden dag.
- Et sæt kegler for hver 30-40 meter raceway.

### 74 mysigte.

### Kontakfilter.

- Baseret på Leca (8-18 mm, HOB max 20 m<sup>3</sup>), eller plast (ca.11 mm, HOB max 30 m<sup>3</sup>)

### Biofilter.

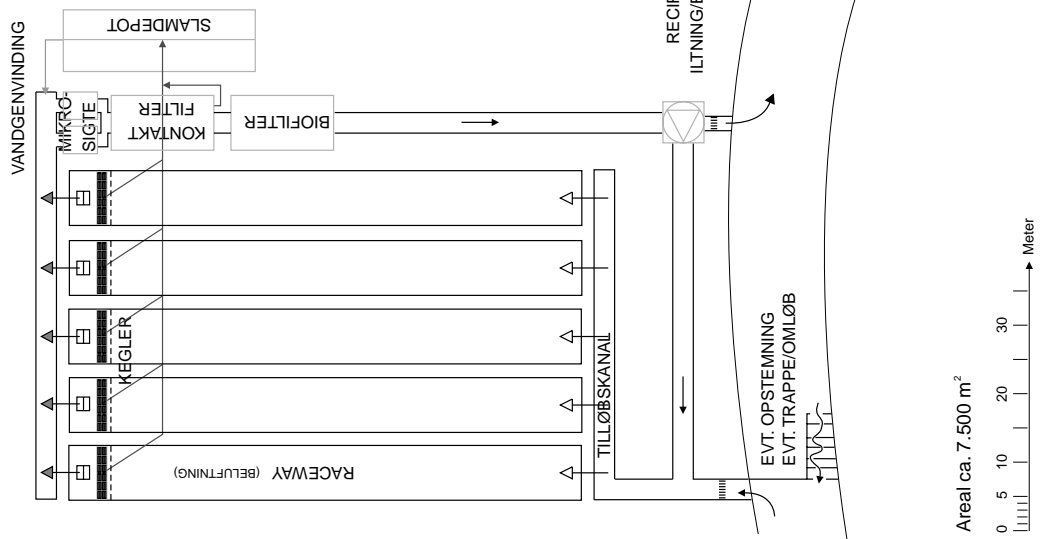
- Flydende/bævsageligt mediefilter drevet af luft.
- Nødvendig overflade i biofilter: 492.00 m<sup>2</sup>.

### Slamdepot.

- Kapacitet til 1 års opbevaring eller kombineret med tørdepot.

### Udløb.

- Udløbsbygværk for flormåling og kemisk prøvetagning.



<p>UDARBEJDET FOR:</p> <p>Utvælgte Vest-dambrugsmiljøets udviklingsmuligheder i forhold til miljøet og vandløb- og fugtemæssigt.</p> <p>Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri Departementet 3.1.</p> <p>MODIFICERET AF:</p> <p>Teknisk udvalgte og udvalgt af Udvalgte Vest-dambrugsmiljøets udviklingsmuligheder i forhold til miljøet og vandløb- og fugtemæssigt.</p>	<p><b>MODELDAMBRUG 2A</b></p> <p>“Intensiv-raceway”</p>
	<p>REV. A: 031201</p> <p>REV. B: 061201</p> <p>REV. C: 131201</p> <p>REV. E:</p>
<p>UDARBEJDET FOR:</p> <p>Utvælgte Vest-dambrugsmiljøets udviklingsmuligheder i forhold til miljøet og vandløb- og fugtemæssigt.</p> <p>Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri Departementet 3.1.</p> <p>MODIFICERET AF:</p> <p>Teknisk udvalgte og udvalgt af Udvalgte Vest-dambrugsmiljøets udviklingsmuligheder i forhold til miljøet og vandløb- og fugtemæssigt.</p>	<p>UDARB: Ole Grønberg</p> <p>MAL: 1:500 (Original: A2)</p> <p>DATE: 061201</p>

Fig. 5 Skitse af modeldambrug 2A.

### Modeldambrug 3.

Nyanlæg, stordrift, beton.

#### Opbygning:

- Dimensioneret til 100 tons årligt foderforbrug.
- Dimensionsgivende tæthed (40 kg/m<sup>2</sup>)
- Vandindtag: 15 l/s.
- Dimensionsgivende stående bestand: 40 tons.
- Dæglig udfodring maks. 2% af dim. stående bestand.
- Valgt vandflow internt: 500 l/s.
- Recirkuleringsgrad: 97 %.
- Opholdstid i raceways: 18,5 timer.
- Opholdstid i biofilter: ~1,5 timer.
- Opholdstid i lagune: 18,7 timer.

#### Rensning:

Egenomsætning i raceways og kanaler.  
Returpumpning + iltning/beluftning.

#### Kegler i raceways.

- To rækker kegler i hele bredden.
- Kegler skal tømmes mindst hveranden dag.
- Et sæt kegler for hver 30-40 meter raceway.

74 my sigle.

#### Kontaktfilter.

- Baseret på Leca (Ø-18 mm, HOB max 20 mm<sup>3</sup>), eller plast (ca.11 mm, HOB max 30 mm<sup>3</sup>)

#### Biofilter.

- Flydende/bevægeligt mediefilter drevet af luft.
- Nødvendig overflade i biofilter: 49200 m<sup>2</sup>.

#### Lagune.

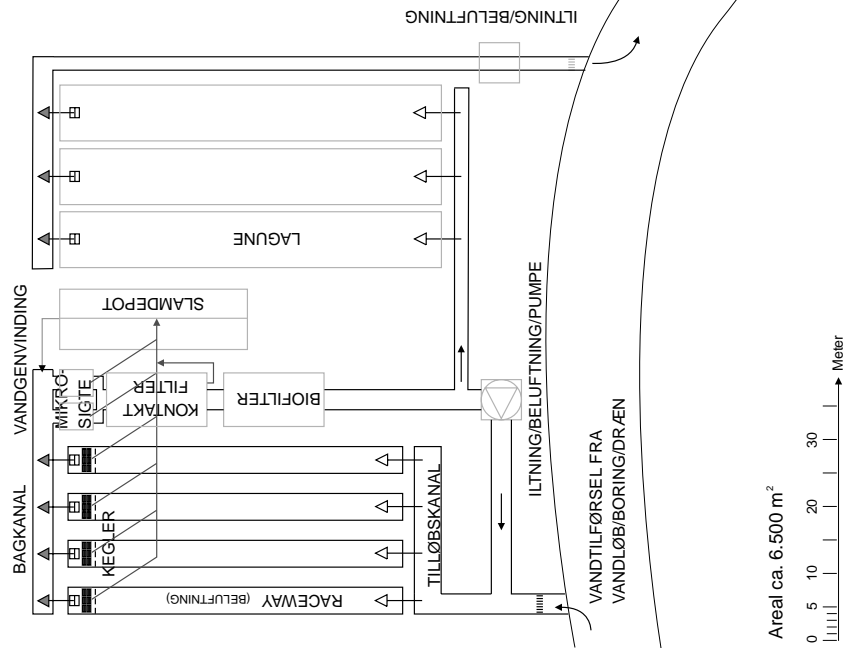
- Nødvendigt areal: 1440 m<sup>2</sup>. Vanddybde 70cm.
- Laguneareal fordeles jævnt på mindst tre laguner.
- Løsevrne planterester skimmes fra udløbsvandet.
- Mindst 5 mg/l ilt, i midtvandsøjle, over alt i lagune.

#### Slamdepot.

- Kapacitet til 1 års opbevaring eller kombineret med tørdepot.

#### Udløb.

- Udløbsbygværk for flowmåling og kemisk prøvetagning.





	<b>MODEL DAMBRUG 3</b> "nyanlæg"	REV./A: 04/05/01 REV./B: 02/04/01 REV./C: 28/05/01 REV./D: 24/09/01 REV./E: 01/10/01	REV./K: 03/12/01 REV./L: 03/12/01 REV./M: 13/12/01 REV./N: REV./O:
UDARBEJDET FOR: Udvælgte vejr-dambrugsværk, udklægningsenheder i forhold til miljøkrav og vandløbs- brugsinformationer. Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeeri Departementet 3.1.			
MODIFICERET AF: Teknisk arbejdsgruppe med henblik på Udvælgte vejr- dambrugsværk, udklægningsenheder i forhold til miljøkrav og vandløbs- brugsinformationer.		DATO: 13/12/01 MÅL: 1:500 (Original: A2) UDARB.: Ole Grønberg	

Fig. 6 Skitse af modeldambrug 3.

## Modeldambrug 3A.

Nyanlæg, stordrift

Variante der sigter på lav kvælstofudledning.

### Opbygning:

- Dimensioneret til 100 tons årligt foderforbrug.
- Dimensionsgivende tæthed (40 kg/m)
- Vandindtag: 15 l/s.
- Dimensionsgivende stående bestand: 40 tons.
- Daglig udfodring maks. 2 % af dim. stående bestand.
- Valgt vandflow internt: 500 l/s.
- Recirkuleringsgrad: 97 %.
- Opholdstid i raceways: 18,5 timer.
- Opholdstid i biofilter: ~1,5 timer.
- Opholdstid i lagune: 37,3 timer.

### Rensning:

Egenomsætning i raceways og kanaler.

Returpumpning + iltning/beluftning.

Kegler i raceways.

- To rækker kegler i hele bredden.
- Kegler skal løbnes mindst hveranden dag.
- Et sæt kegler for hver 30-40 meter raceway.

74 my sigte.

Kontaktfilter.

- Baseret på Leca (8-18 mm, HOB max 20 min<sup>3</sup>), eller plast (ca. 11mm, HOB max 30 min<sup>3</sup>)

Biofilter.

- Flydende/bøvegeligt mediefilter drevet af luft.
- Nødvendig overflade i biofilter: 49200 m<sup>2</sup>.

Lagune.

- Nødvendigt areal: 2880 m<sup>2</sup>. Vanddybde 70 cm.
- Laguneareal fordeles jævnt på mindst tre laguner.

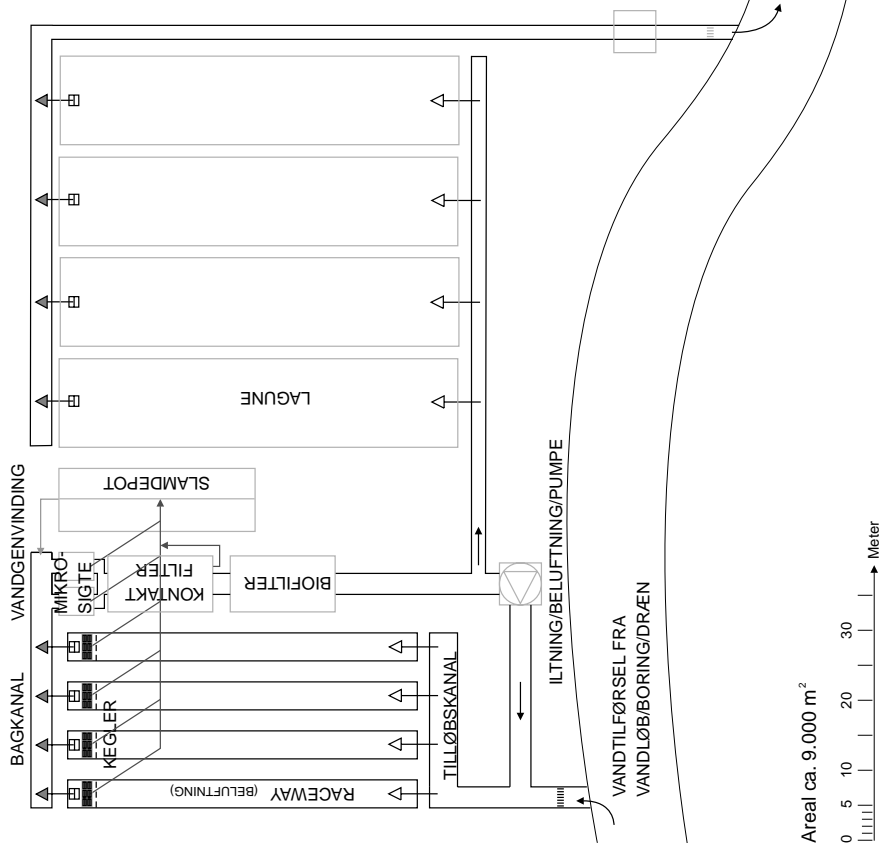
- Løse rene planterester skimmes fra udløbsvandet.
- Mindst 5 mg/l ilt, i midt vandsøjle, overalt i lagune.

Slamdepot.

- Kapacitet til 1 års opbevaring eller kombineret med tørdpot.

Udløb.

- Udløbsbygværk for flowmåling og kemisk prøvetagning.



	<b>MODELDAMBRUG 3A</b> "nyanlæg"
UDARBEJDET FOR: Udvalgte vejr, dambrugernes udviklingsmuligheder i forhold til mælkeav og vandløbsbrugerenheder. Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri Departementet 3.1.	REV.A: 281001    REV.F: 061201 REV.B: 051101    REV.G: 131201 REV.C: 011001    REV.H: 011001 REV.D: 211101    REV.I: 011001 REV.E: 031201    REV.J:
MODIFICERET AF: Teknisk arbejdsgruppe medtalt af Udvalgte vejr, dambrugernes udviklingsmuligheder i forhold til mælkeav og vandløbsbrugerenheder.	
DATO: 06/201 MÅL: 1:500 (Original: A2) UDARB.: Ole Grønborg	

Fig. 7 Skitse af modeldambrug 3A.

# Bilag D

## Hvordan ser kontrolreglerne ud, hvis dambrug kun skal kontrolleres på udledningen

*Søren Erik Larsen og Lars M. Svendsen, Danmarks Miljøundersøgelser*

Lad  $x_i$  betegne den målte koncentration af et bestemt kontrolstof målt i udløbsvandet fra dambruget og  $q_i$  døgnmiddelvandføringen i døgn  $i$ . Antag at der er målt  $n$  gange i kontrolperioden, dvs.  $i = 1, 2, \dots, n$ .

### Tilstandskontrol

Ifølge DS2399 (Afløbskontrol. Statistisk kontrolberegning af afløbsdata) udføres tilstandskontrol på følgende måde. Beregn

$$\log(x_i), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (\log: \text{naturlig logaritme})$$

samt

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log(x_i),$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log(x_i) - \mu)^2}{n-1}}.$$

Beregn en justeringsfaktor  $k$  på baggrund af antallet af målte koncentrationer  $n$  og et valg af dambrugerens risiko. Den generelle formel for  $k$  er givet i Larsen og Svendsen (1998) s. 34. Kontrolreglen bliver

$$\exp(\mu + k \cdot s) \leq U,$$

hvor  $U$  er kravværdien angivet som en koncentration.

### Transportkontrol

Ligeledes ifølge DS2399 udføres transportkontrollen efter nedenstående principper. Først beregnes

$$L_i = \log(x_i \cdot q_i), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (\log: \text{naturlig logaritme})$$

samt

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i,$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_i - \mu)^2}{n-1}}$$

Derefter beregnes justeringsfaktoren  $k$  ud fra den generelle formel i Larsen og Svendsen (1998) ud fra  $n$  og dambrugerens risiko.

Kontrolreglen er

$$\exp(\mu + k \cdot s) \leq U,$$

hvor  $U$  er kravværdien udtrykt i en stofmængde.

#### *Afsluttende kommentarer*

Principielt skal DS2399 følges, men denne standard har på forhånd fastsat dambrugerens risiko, og derfor bør man bruge den generelle formel for  $k$  således at dambrugerens risiko kan afvejes i hvert enkelt tilfælde.

#### **En beskrivelse af forskellen i sikkerheder med 26 mod 52 målinger pr. kontrolperiode**

Sikkerheder beskrives i afløbskontrollen som henholdsvis dambrugere-rens og miljøets risiko. Forskellen i sikkerheder kan beregnes som

- a. Ved fastholdt risiko for dambrugerens på = 95% (=  $P_1$ ) ved en kritisk fraktion på 20% er miljøets risiko  $P_2$  ved en kritisk fraktion på 50% lig

$$\text{Ved } n = 26 : P_2 = 0,83\%$$

$$\text{Ved } n = 52 : P_2 = 0,0040\%$$

Formel for  $P_2$ , se s. 35 i *Larsen og Svendsen (1998)*.

- b. Ved fastholdt risiko for miljøet på 1% (=  $P_2$ ) ved en kritisk fraktion på 50% er dambrugerens risiko ( $P_1$ ) ved en kritisk fraktion på 20% lig

$$\text{Ved } n = 26 : P_1 = 96\%$$

$$\text{Ved } n = 52 : P_1 \approx 100\%$$

Formler på s. 32 i *Larsen og Svendsen (1998)* er anvendt.

$P_1$ : sandsynlighed for accept af udledning som i virkeligheden er mindre end kravværdien

$P_2$ : sandsynlighed for accept af udledning som i virkeligheden er større end kravværdien.

# Bilag E

## Notat vedrørende tilpasning af udlederkrav ved overgang fra tilstandskontrol til transportkontrol

Søren E. Larsen og Lars M. Svendsen, Danmarks Miljøundersøgelser (DMU).

### Baggrund

Den faglige rapport nr. 260 fra DMU (1998) med titel: "Afløbskontrol af dambrug. Statistiske aspekter og opstilling af kontrolprogrammer" (Larsen og Svendsen, 1998) anbefalede, at man for stofferne total kvælstof, total fosfor og suspenderet stof anvendte en transportkontrol ved afløbskontrollen af ferskvandsdambrug. I Dambrugsbekendtgørelsen fra 1994 kontrolleres som hovedregel alle stoffer efter en tilstandskontrol. Den faglige rapport anbefaler endvidere, at man ved kontrol af  $\text{BI}_5$  og ammoniak ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) fortsætter med at anvende en tilstandskontrol.

En transportkontrol er umiddelbart mere lempelig end en tilstandskontrol, idet den kritiske fraktion ved en transportkontrol typisk sættes til 50 % mod 20 % ved tilstandskontrol. En tilpasning af de gamle krav er derfor nødvendig for at undgå, at der bliver accepteret større udledninger af de tre omtalte stoffer ved samme vandmængde.

### Tilstandskontrol

For at illustrere, hvordan det er muligt at tilpasse udlederkravet til en anden type af kontrol, vil vi tage udgangspunkt i en opdigtet miljøgodkendelse med følgende kravværdier udtrykt i overkoncentrationer ( $\text{mg l}^{-1}$ ):

Total fosfor	0,05 $\text{mg l}^{-1}$
Total kvælstof	0,6 $\text{mg l}^{-1}$
Suspenderet stof	3,0 $\text{mg l}^{-1}$

Vi vil kun koncentrere os om disse tre stoffer, idet kontrol af  $\text{BI}_5$  og ammoniak ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) som nævnt bør forblive en tilstandskontrol. De ovennævnte udledergrænseværdier er taget direkte fra Dambrugsbekendtgørelsen fra 1994. Ved 12 prøver per kontrolperiode (typisk et år) bliver kontrolreglen efter tilstandskontrol:

$$\bar{d}_k + 0,35 \cdot s_k \leq U_k, \quad (1)$$

hvor  $\bar{d}_k$  er den gennemsnitlige overkoncentration målt i perioden,  $s_k$  er standardafvigelsen og  $U_k$  er kravværdien (se ligeledes appendiks). Værdien 0,35 er justeringsfaktoren for 12 prøver. Justeringsfaktoren afhænger af prøveantallet og vi henviser til nævnte faglige rapport for formler til beregning af justeringsfaktoren for givne prøveantal. Den højest tilladelige gennemsnitlige overkoncentration sådan at kravværdien stadigvæk er overholdt er derfor:

$$U_k = 0,35 \cdot s_k \quad (2)$$

Ved at antage et konstant vandindtag på  $70 \text{ l s}^{-1}$  i dambruget kan man på baggrund i ovennævnte kravværdier udtrykt i koncentrationer beregne en kravværdi udtrykt i transportforøgelse per døgn på:

Total fosfor	0,30 kg per døgn
Total kvælstof	3,63 kg per døgn
Suspenderet stof	18,14 kg per døgn.

Disse værdier fås ved at gange koncentrationskravene med  $70 \cdot 0,0864$ . Ved efterfølgende også at gange med 365 får man, at det svarer til følgende mængder per år:

Total fosfor	110 kg
Total kvælstof	1324 kg
Suspenderet stof	6623 kg.

De beregnede mængdetal gælder altså for tilstandskontrollen.

Tilstandskontrol er velegnet for stoffer, hvor høje koncentrationer kan virke toksiske på vandmiljøet, og i de tilfælde kan der kun tillades en overskridelse af kravværdien nogle få gange, f.eks. i højst 20% af tiden.

### Transportkontrol

Transportkontrol er derimod velegnet, hvor miljøet er mest sårbar over for de samlede udledte stofmængder, uanset om udledningerne er konstante eller kommer i pulse hen over kontrolperioden. Transportkontrol omfatter dermed kontrol med udledte stofmængder per tidsenhed, typisk et døgn.

Der anvendes samme statistiske model som ved tilstandskontrol, så en transportkontrolregel med 12 prøver per kontrolperiode vil se ud som:

$$\bar{d}_T + (-0,52) \cdot s_T \leq U_T, \quad (3)$$

hvor  $\bar{d}_T$  er den gennemsnitlige forskel i døgntransport målt i perioden,  $s_T$  er standardafvigelsen og  $U_T$  er kravværdien ved transportkontrol og udtrykt i kg per døgn. Justeringsfaktoren går hen og bliver negativ fordi man nu accepterer, at udledninger må være over kravværdien i så meget som 50% af tiden. Den højest tilladte gennemsnitlige udledte mængde i kg per døgn for at kravværdien er overholdt kan beregnes som:

$$U_T + 0,52 \cdot s_T. \quad (4)$$

### Beregning af ny kravværdi ved transportkontrol

Ud fra kravværdien udtrykt i koncentrationen kan man beregne en kravværdi for udledte mængder ( $U_{T_k}$ ), som illustreret ovenfor (se også appendiks). En justering af denne kravværdi udtrykt i døgntransport kan beregnes ved

$$\begin{aligned}
 U_T &= U_{T_k} - (\bar{d}_T + k_k \cdot s_T - (\bar{d}_T + k_T \cdot s_T)) \\
 &= U_{T_k} + (k_T - k_k) \cdot s_T,
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

hvor  $k_T < k_k$  og disse to konstanter angiver justeringsfaktoren for henholdsvis transportkontrol ( $T$ ) og tilstandskontrol ( $k$ ), og  $U_{T_k}$  er grænseværdien overført direkte fra tilstandskontrol (se appendiks). Justeringen vil således afhænge af prøveantal, valgte kritiske fraktioner samt variationen i forskellen i døgntransporter. Kravværdien  $U_T$  angiver så den kravværdi, som skal anvendes ved transportkontrollen.

### Eksempel

Lad os illustrere de ovennævnte betragtninger med nogle taleksempler. I et givet år har det opdagede dambrug haft en gennemsnitlig overkoncentration af total kvælstof på  $0,55 \text{ mg l}^{-1}$  med en standardafvigelse på  $0,25 \text{ mg l}^{-1}$  ved en prøvetagningsstrategi på 12 prøver. Ifølge en tilstandskontrol (formel (1)) vil dambruget det år ikke overholde kravet, idet kontrolreglens venstre side kan beregnes til  $0,6375 \text{ mg l}^{-1}$ . Anvendes formel (2) er den højest tilladelige gennemsnitlige overkoncentration  $0,5125 \text{ mg l}^{-1}$  ved en standardafvigelse på  $0,25 \text{ mg l}^{-1}$ .

Med et konstant vandforbrug på  $70 \text{ l s}^{-1}$  kan den gennemsnitlige overkoncentration på  $0,55 \text{ mg l}^{-1}$  omregnes til  $3,33 \text{ kg}$  per døgn og til  $1214 \text{ kg}$  kvælstof på årsbasis.

Under antagelse om konstant vandforbrug kan standardafvigelsen på  $0,25 \text{ mg l}^{-1}$  omregnes til  $1,5120 \text{ kg}$  per døgn ( $=0,25 \cdot 70 \cdot 0,0864$ ). Ved anvendelse af formel (5) kan kravværdien for en transportkontrol beregnes til (udtrykt i  $\text{kg pr. døgn}$ ):

$$\begin{aligned}
 U_T &= U_{T_k} + (k_T - k_k) \cdot s_T \\
 &= 3,63 + (-0,52 - 0,35) \cdot 1,5120 \\
 &= 2,3146.
 \end{aligned}$$

Hvilket svarer til  $845 \text{ kg}$  kvælstof på årsbasis. De  $3,63 \text{ kg}$  kommer fra  $0,6 \cdot 70 \cdot 0,0864$ .

En transportkontrol på døgntransporter (formel (3)) giver med antagelse af konstant vandforbrug  $2,5438 \text{ kg}$  per døgn ( $=3,33 - 0,52 \cdot 1,5120$ ), hvilket resulterer i en afvisning af den udledte stofmængde ligesom ved tilstandskontrollen.

Ved anvendelse af formel (4) kan den højest tilladte gennemsnitlige udledte mængde kvælstof i  $\text{kg}$  per døgn beregnes til  $3,1008$  ( $=2,3146 + 0,52 \cdot 1,5120$ ), som svarer til  $1132 \text{ kg N}$  på årsbasis.

Som kontrol kan den højeste tilladelige udledte mængde når tilstandskontrollen anvendes beregnes til:

$$0,5125 \cdot 70 \cdot 0,0864 \cdot 365 = 1131 \text{ kg kvælstof.}$$



Kun afrundinger gør at disse to tal ikke er ens. Dermed bliver de to typer af kontroller ens under forudsætning af at vandforbruget holdes rimeligt konstant. Der vil være forskel, hvis vandforbruget varierer igennem kontrolperioden.

### Afslutning

Det er altså muligt og på en simpel måde at tilpasse udlederkravene til en transportkontrol, dog kræves der et godt kendskab til udledningens variabilitet udtrykt ved standardafvigelsen af overtransporten, idet korrektionen afhænger af denne variabilitet. Der skal foreligge mindst 3 års data med mindst 6 kontrolmålinger per år. Dog kan mange målinger i en kontrolperiode (f.eks. 26 eller 52) også danne baggrund for beregning af variabiliteten, men flere års data er at foretrække.

Varierer vandindtaget hen over kontrolperioden, må man ved beregningen af  $U_{T_k}$  anvende det gennemsnitlige vandindtag og ved beregningen af  $s_T$  anvende de faktiske udledninger per døgn.

Man skal bemærke, at kravværdien vil være noget mindre end den faktiske udledning og dette kan uden tvivl forvirrer. Grunden til den mindre kravværdi er at man i transportkontrollen trække et bidrag fra den gennemsnitlige udledning, hvorimod man i tilstandskontrollen addere et bidrag.

Som det er vist i figur 9 i Faglig Rapport nr. 260 fra DMU (*Larsen og Svendsen, 1998*) så er forskellen mellem tilstands- og transportkontrol en parallelforskydning af kravværdien. Kravværdien forskydes mod en større værdi ved overgang til transportkontrol (med andre ord større udledninger tillades) og den ovenfor beskrevne metode forskyder så at sige kravværdien tilbage.

### Supplerende formler

Beregningsformler for tilstandskontrol:

$$\bar{d}_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_{k_i},$$

hvor  $n$  er antallet af prøvetagninger i kontrolperioden og  $d_{k_i}$  er forskellen i koncentration mellem udløb og indløb for prøvetagning  $i$ .

$$s_k = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (d_{k_i} - \bar{d}_k)^2}.$$

Beregningsformler for transportkontrol:

$$\bar{d}_T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_{T_i},$$

hvor  $d_{T_i}$  er forskellen mellem flux i udløb og flux i indløb.

$$s_T = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (d_{T_i} - \bar{d}_T)^2}.$$

Kravværdier:

$U_k$ : kravværdi udtrykt  $\text{mg l}^{-1}$ .

$U_{T_k}$ : kravværdi udtrykt  $\text{kg pr døgn}$  og beregnet fra  $U_k$ . Dvs.

$$U_{T_k} = U_k \cdot 70 \cdot 0,0864.$$

$U_T$ : kravværdi udtrykt  $\text{kg pr døgn}$ . Justeret kravværdi.

Justeringsfaktorer:

Disse konstanter beregnes ud fra formler angivet i Faglig Rapport nr. 260 fra DMU.

# Bilag F

## Management / Driftsstyringssystemer

*Peder Nielsen, Dansk Dambrugforening*

Styringssystemer i dambrug er dels blevet implementeret gennem dambrugernes egen udviklede systemer, dels gennem kommercielt tilgængeligt software.

De forskellige koncepter der er udviklet til styring af driften på de enkelte dambrug, er typisk udviklet i regneark eller på skemaform, men ofte er designet sket med baggrund i det konkrete dambrugs behov.

De mest generelle faciliteter, for de egen udviklede og kommercielt udviklede systemer er:

- Monitering af bestand.
- Fodertabeller.
- Udskrivning af foderforslag og foderstrategier.
- Temperatur, ilt og foderkoefficient tabeller (anvendes ved fremskrivning).
- Registrering af foderforbrug.
- Registrering af vækst.
- Registrering af døde fisk.
- Registrering af flytning af fisk, salg og indkøb.
- Registrering af forbrug af hjælpestoffer.
- Registrering af vandforbrug.
- Sporbarhed af de enkelte produktioner.
- Fremskrivning af besætning ud fra opstillede forudsætninger.
- Lagerstyring af foderbeholdning.
- Rapportgenerering.

Behovet i forbindelse med styring af driften på modeldambrugstyperne, kan for model dambrug 1 generelt dækkes af eksisterende systemer. Model dambrug 2 og 3 har en mere intensiv driftsform og højere grad af recirkulering. På begge dambrugstyper etableres endvidere med biologiske filtre. Der vil derfor være behov for en løbene monitering af specielt de biologiske filters effektivitet. Produktionen kræver ligeledes en stringent styring af besætningsstørrelsen i de enkelte produktionsenheder.

For at udnytte produktionsanlæggene optimalt og sikre, at udledningerne bliver mindst mulige, nødvendiggør dette en udbygning af faciliteterne til registrering med følgende parametre i produktionsanlægget:

- ilt
- temperatur
- pH
- vandstand

- ammoniak-kvælstof
- gerne også CO<sub>2</sub>.

En forudsætning for en optimal drift af produktionsanlæg, er god management samt forståelse for de processer der sker i de tilhørende renseforanstaltninger.

For at opnå den maksimale effekt af de renseforanstaltninger, der er etableret på et givet modeldambrug, bør driften formaliseres hvordan. Formaliseringen af driften skal dog af hensyn til variationen mellem produktionsformerne tilpasses det enkelte anlæg, og kan som sådan ikke fastlægges efter et firkantet regelsæt, men må tage udgangspunkt i bl.a. følgende forhold:

- Produktionsform: yngel, sættefisk eller konsumfiskeproduktion
- Produktionscyklus
- Aktuel vandkemi
- Levering af færdigfisk
- Mandskabsressourcer

Systematisering kan f.eks. omfatte frekvens af tømning af slamkegler, rensning af dyser og dug på mikrosigter, returskylning af kontaktfiltre samt frekvens for oprensning af plantelaguner.

Det skal resultere i begrundede rutiner og indføres i kapitel 5 godkendelsen af det enkelte dambrug.

Endvidere vil en øget anvendelsen af et formaliseret driftsstyringssystem på et større antal dambrug, være medvirkende til at dokumentation og sporbarheden for de enkelte leverancer forbedres. Dette vil i forbindelse med mulige fremtidig mærkningsordninger gøre det nemmere for dambrugeren at leve om til en evt. mærkningsordning samt sikre slutkonsumenten.

*Det kan derfor anbefales:*

1. Der udvikles et formaliseret driftsstyringssystem, der opfylder kravene der stilles til driften af modeldambrugene med hovedvægten lagt på model dambrug 2 og 3.
2. Med baggrund i det formaliserede driftsstyringssystem, udbydes der efteruddannelse inden for management og drift af relevante rensningsforanstaltninger, samt øvrige tekniske udstyr.

For nærmere beskrivelse af de enkelte faciliteter i driftsstyringsprogrammerne henvises der til *DFU – rapport nr. 52-98 (1998) annex 3*.

# Danmarks Miljøundersøgelser

Danmarks Miljøundersøgelser - DMU - er en forskningsinstitution i Miljøministeriet. DMU's opgaver omfatter forskning, overvågning og faglig rådgivning inden for natur og miljø.

Henvendelser kan rettes til:

URL: <http://www.dmu.dk>

Danmarks Miljøundersøgelser  
Frederiksborgvej 399  
Postboks 358  
4000 Roskilde  
Tlf.: 46 30 12 00  
Fax: 46 30 11 14

*Direktion  
Personale- og Økonomisekretariat  
Forsknings- og Udviklingssektion  
Afd. for Systemanalyse  
Afd. for Atmosfærisk Miljø  
Afd. for Marin Økologi  
Afd. for Miljøkemi og Mikrobiologi  
Afd. for Arktisk Miljø  
Projektchef for kvalitets- og analyseområdet*

Danmarks Miljøundersøgelser  
Vejsøvej 25  
Postboks 314  
8600 Silkeborg  
Tlf.: 89 20 14 00  
Fax: 89 20 14 14

*Overvågningssektionen  
Afd. for Terrestrisk Økologi  
Afd. for Ferskvandsøkologi  
Afd. for Marin Økologi  
Projektchef for det akvatiske område*

Danmarks Miljøundersøgelser  
Grenåvej 12-14, Kalø  
8410 Rønde  
Tlf.: 89 20 17 00  
Fax: 89 20 15 15

*Afdeling for Vildtbiologi og Biodiversitet*

## Publikationer:

DMU udgiver faglige rapporter, tekniske anvisninger, temarapporter, samt årsberetninger. Et katalog over DMU's aktuelle forsknings- og udviklingsprojekter er tilgængeligt via World Wide Web.

I årsberetningen findes en oversigt over det pågældende års publikationer.

