



# NY KONTROLMETODE FOR UDLEDNINGER FRA FERSKVANDSDAMBRUG

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 212

2016



AARHUS  
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

[Tom side]

# NY KONTROLMETODE FOR UDLEDNINGER FRA FERSKVANDSDAMBRUG

---

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 212

2016

Lars M. Svendsen<sup>1</sup>

Søren Erik Larsen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi

<sup>2</sup>Aarhus Universitet, Institut for Bioscience



AARHUS  
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

# Datablad

- Serietitel og nummer: Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 212
- Titel: Ny kontrolmetode for udledninger fra ferskvandsdambrug
- Forfattere: Lars M. Svendsen<sup>1</sup> & Søren Erik Larsen<sup>2</sup>  
Institution: Aarhus Universitet, <sup>1</sup>DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, <sup>2</sup>Institut for Bioscience
- Udgiver: Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi ©  
URL: <http://dce.au.dk>
- Udgivelsesår: December 2016  
Redaktion afsluttet: December 2016
- Faglig kommentering: Hans E. Andersen og Jacob Carstensen, Institut for Bioscience  
Kvalitetssikring, DCE: Poul Nordemann Jensen
- Finansiel støtte: Miljøstyrelsen, Miljø- og Fødevarerministeriet
- Bedes citeret: Svendsen, L.M. & Larsen, S.E. 2016. Ny kontrolmetode for udledninger fra ferskvandsdambrug. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 88 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 212  
<http://dce2.au.dk/pub/SR212.pdf>
- Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
- Sammenfatning: Rapporten vurderer og sammenligner 4 metoder til kontrol af udledninger fra ferskvandsdambrug, herunder en ny metode til transportkontrol, som DCE har udviklet og som anvendes i høringsudkastet til "Bekendtgørelse om miljøgodkendelse og samtidig sagsbehandling af ferskvandsdambrug, 2016" ved kontrol af udledning af total kvælstof og total fosfor for emissionsregulerede dambrug. Den nye metode er en ændring af Dansk Standard DS2399 (2006) om afløbskontrol (anvendes for en række punktkilder). Rapporten gennemgår også tilstandskontrol som anvendes ved kontrol af ammonium-kvælstof og organisk stof udledninger (BNIs) for alle dambrug. Der er endvidere udviklet særskilt metode for henholdsvis tilstands- og transportkontrol - som også fremgår af høringsudkastet til bekendtgørelse - for dambrug der producerer fisk til udsætning i havbrug, hvor en stor del af den samlede fisketilvækst sker over en kort periode af ret. Rapporten indeholder en systematisk gennemgang af hvordan de forskellige tilstands- og transportkontroller udføres ud fra konkrete eksempler. Det beskrives også hvordan prøvetagningen optimeres, og der gives en række faglige anbefalinger på, hvad man skal gøre ift. til at beregne nettoudledninger fra et dambrug, hvis der f.eks. mangler en eller flere målinger eller er netto ind- eller udsivning over et dambrug. Rapporten indeholder også en faglig opfølgning på dele af de høringsvar, der kom til høringsudkastet af bekendtgørelsen, som Miljøstyrelsen har bedt DCE om faglige input til.
- Emneord: Transportkontrol, tilstandskontrol, kontrolteori, udlederkontrol, DS2399, udledninger, ferskvandsdambrug, dambrugsbekendtgørelse, metode sammenligning, prøvetagning, beregningseksempler, kvælstof, fosfor, ammonium, organisk stof, BIs.
- Layout: Grafisk Værksted, AU Silkeborg  
Foto forside: Martin Søndergaard, Institut for Bioscience
- ISBN: 978-87-7156-242-2  
ISSN (elektronisk): 2244-9981
- Sideantal: 88
- Internetversion: Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) som  
<http://dce2.au.dk/pub/SR212.pdf>

# Indhold

<b>1</b>	<b>Indledning</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Historik vedrørende kontrol af udledninger fra ferskvandsdambrug</b>	<b>7</b>
2.1	Fra tilstandskontrol på alle parametre til transportkontrol på nogle af disse	7
2.2	Teknisk historisk oversigt over tilstands- og udlederkontrol	9
<b>3</b>	<b>Generelt om afløbskontrol</b>	<b>13</b>
3.1	Indledning	13
3.2	Tilstandskontrol	14
3.3	Optimering af prøvetagning ved tilstandskontrol	16
3.4	Transportkontrol	17
3.5	Optimering af prøvetagning ved transportkontrol	21
<b>4</b>	<b>Sammenligning af kontrolmetoderne baseret på egenkontrol fra en række dambrug</b>	<b>23</b>
4.1	Datagrundlag	23
4.2	Beregninger	23
4.3	Sammenligning af resultater med de forskellige kontrolmetoder	31
<b>5</b>	<b>Beregning af udledningsværdier i forbindelse med produktion af fisk, der skal anvendes i havbrugsproduktion (skævværdi)</b>	<b>44</b>
5.1	Baggrund	44
5.2	Tilstandskontrol	46
5.3	Transportkontrol	47
5.4	Kontrol af metoden på data fra 3 dambrug	48
<b>6</b>	<b>Problemstillinger i relation til måling og opgørelse af udledning fra ferskvands-dambrug</b>	<b>50</b>
6.1	Beregning af koncentration i ind og udløb og netto-udledning, hvis der er flere ind og eller udløb	50
6.2	Hvordan der kan tages højde for evt. netto vandindsivning/udsivning over dambruget	50
6.3	Beregning af nettoudledningen fra et dambrug, hvis der mangler samhørende værdier af koncentrationer og vandmængder	51
6.4	Håndtering af starten og slutningen af en kontrolperiode (et måleår) ved beregning af stoftransport	52
6.5	Opdaterede spredninger på udledninger fra dambrug ift. de angivne i Dambrugsbekendtgørelsen fra 2012	52
6.6	Stoftransportberegningemetoder	53
<b>7</b>	<b>Konklusion og sammenfatning</b>	<b>57</b>
<b>8</b>	<b>Referencer</b>	<b>62</b>

<b>Bilag 1 Beregningseksempler på tilstands- og udlederkontrol, daglig og årlig udledning, kontrol af udledninger m.v. (jf. bilag 2 og 3 i høringsudkast til ”Bekendtgørelse om miljøgodkendelse og samtidig sagsbehandling af ferskvandsdambrug, 2016”)</b>	<b>65</b>
B.1 Indledning	65
B.2 Fastlæggelse af den årlig maksimale årlige nettoudledning	66
B.3 Fastlæggelse af maksimal daglig udledning	69
B.4 Fastlæggelse af maksimal ammonium kvælstof og organisk stof koncentration	70
B.5 Udledergrenseværdier for dambrug på foderkvote	71
B.6 Kontrol af maksimale årlige udledninger jf. punkt 2, bilag 2 i høringsudkastet til bekendtgørelse (emissionsbaseret regulering)	72
B.7 Kontrol af maksimale årlige udledninger i forbindelse med produktion af fisk, der skal anvendes i havbrugs produktion (skæv produktion), jf. punkt 5, bilag 2 i høringsudkastet til bekendtgørelse	77
B.8 Kontrol af overholdelse af udledergrenseværdier for dambrug reguleret efter foderkvote jf. bilag 3 i høringsudkastet til bekendtgørelse	81
<b>Bilag 2 Kommentering på nogle faglige kommentarer i høringsvarene</b>	<b>82</b>
<b>Bilag 3 Måling af vandføring og prøvetagning i ind- og udløb</b>	<b>87</b>
B.3.1 Vandmængder	87
B.3.2 Vandprøver	87

# 1 Indledning

Miljøstyrelsen (Miljø- og Fødevarerministeriet) har ønsket at DCE udfører et projekt hvor formålet er "at færdiggøre metode 4, som er foreslået i DCE's notat "Kontrol af udledninger med statistiske kontrolmetoder med fokus på revurdering af transportkontrol og optimering af prøvetagning (Svendsen et al., 2015)". Opgaven indebærer ifølge projektbeskrivelsen 3 leverancer hvoraf de to er indeholdt i nærværende rapport:

- "Et faglig notat, der samlet beskriver den nye kontrolmetode [metode 4, DCE tilføjelse] og kan anvendes til den færdige metode i forhold til miljøbeskyttelse, statistisk sikkerhed mm."
- "Et konkret regneeksempel til brug for vejledning/FAQ til kommunerne".

Af projektbeskrivelsen fremgår at "Metode 4 bygger på DS2399's transportkontrol (Dansk Standard DS2399, 2006) og skal videreudvikles til brug for ferskvandsdambrug, da der i DS2399 er fejl ved tilbagetransformation af værdier [hvis der skal tages logaritme af negative værdier, DCE tilføjelse]. Herudover benytter DS2399 ikke nettoudledninger [forskelle mellem stofudledninger og stofindtag som anvendes ved kontrol af udledninger fra dambrug, DCE tilføjelse], hvilket gør den uhensigtsmæssigt til brug på ferskvandsdambrug. Metode 4 er indarbejdet som kontrolmetode af udledninger fra ferskvandsdambrug ved emissionsbaseret regulering i bilag 2 i høringsudkastet til ny bekendtgørelse (Bekendtgørelse om miljøgodkendelse og samtidig dagsbehandling af ferskvandsdambrug, 2016) - herefter kaldet høringsudkastet af bekendtgørelsen" - som var i høring i efteråret 2016.

Nærværende rapport gennemgår og vurderer følgende kontrolmetoder for udledninger fra ferskvandsdambrug:

- Transportkontrol for dambrugsudledninger som oprindeligt beskrevet og konkretiseret i Larsen og Svendsen (1998) betegnet metode 1
- Transportkontrol jf. Dambrugsbekendtgørelse (2012) betegnet metode 2
- Transportkontrol iht. Dansk Standard (DS2399, 2006) om afløbskontrol betegnet metode 3
- Transportkontrol iht. DS2399 (2006) men i en modificeret form, hvor der bl.a. tilpasses ift. store udledninger og undgås at anvende logaritme på nettoudledningerne. Dette betegnes metode 4, og som er den metode DCE, AU i Svendsen et al., (2015) har anbefalet, der kan færdigudvikles til en ny kontrolmetode for total kvælstof og total fosfor udledninger fra ferskvandsdambrug (de stoffer der kontrolleres med transportkontrol for ferskvandsdambrug), når der administrativt bl.a. er meldt ud omkring hvilken risiko/sikkerhed, der skal være for vandmiljøet og udlederen i forhold overholdelse af udlederkravene (kan også benævnes som udledergrænseværdierne eller kontrolværdierne).

Egenkontrol for ferskvandsdambrug består jf. Dambrugsbekendtgørelsen (2012) af tilstandskontrol for stofferne  $\text{NH}_4\text{-N}$  (ammonium kvælstof) og  $\text{BI}_5$  (let omsætteligt organisk stof målt ved biologisk iltforbrug over 5 dage) og transportkontrol for total kvælstof (TN) og total fosfor (TP). Egenkontrollen udføres på baggrund af et antal udtagne stikprøver i indløb til og afløb fra dambrug, hvor indholdet (koncentrationen) af de nævnte stoffer efterfølgende er analyseret på et analyselaboratorium. Endvidere måles indtagne og afledte vandmængder. Da høringsudkastet af bekendtgørelsen opererer med både tilstands- og transportkontrol bliver begge gennemgået i nærværende

rapport. Endvidere har vi inkluderet metoden fra DS2399 (2006), som er den danske standard, der gælder i forbindelse med kontrol af udledninger fra en række punktkilder som renseanlæg og industri, for at have en beskrivelse og vurdering af metoder til kontrol af udledninger fra dambrug samlet et sted.

Anledningen til at DCE i Svendsen et al. (2015) i forbindelse med projekt "Udvikling af IT værktøjer til dambrug" har vurderet forskellige metoder til kontrol af udledninger fra Ferskvandsdambrug er:

- de erfaringer erhvervet har haft med transportkontrol jf. Dambrugsbekendtgørelse (2012), som har vist, at udledte stofmængder som i gennemsnit er mindre end udlederkravet og trods lille variation i udledningerne hen over året, kan have svært ved at overholde udlederkravet under den nuværende metode for transportkontrol
- nogle konkrete betragtninger og spørgsmål som Dansk Akvakultur har stillet til DCE i relation til transportkontrol af total kvælstof og total fosfor som findes i Svendsen et al. (2015)
- ønske fra Dansk Akvakultur om at vurdere muligheder for at indføre en egentlig alkontrol som opfølgning på en anbefaling fra Regeringens akvakulturudvalg (2010) om at anvende nyeste teknologi indenfor måleteknik og styringsteknologi til bl.a. kontinuerlig overvågning af udledninger og udvikle en metode, der kan optimere prøvetagning og reducere målte variationer i udledninger for bedre at kunne udnytte udledningstilladelsen.

I Svendsen et al. (2015) konkluderes at alkontrol<sup>1</sup> ikke er hensigtsmæssig af såvel måletekniske som økonomiske grunde, og at der er behov for klare politiske/administrative udmeldinger om, hvordan man ønsker alkontrollen skal se ud, før det er muligt at udvikle en statistisk metode. Der har ikke efterfølgende været ønske fra hverken Dansk Akvakultur eller Miljøstyrelsen om at gå videre med at udvikle alkontrol for dambrug, og metoden behandles derfor ikke yderligere i denne rapport.

En leverance under projektet for Miljøstyrelsen omhandler udarbejdelse af konkrete regneeksempler, som i detaljer gennemgår hvordan udlederkontrollen med metode 4 foregår til anvendelse i en vejledning/FAQ for kommunerne. Dette findes i bilag 1.

I forbindelse med hørings svar på høringsudkastet af bekendtgørelsen har Miljøstyrelsen bedt DCE om at svar på nogle faglige problemstillinger, der er rejst i relation til kontrol af udledninger. Disse svar er samlet i bilag 2.

Rapporten indeholder i kapitel 6 en opsummering af hvordan prøvetagningen kan optimeres for bedst muligt at kvantificere den reelle udledning fra et dambrug og hvordan vandføring i indløb til og afløb fra ferskvandsdambrug fastlægges, når der er flere af disse. Endvidere gennemgås beregning af stoftransport herunder hvis der mangler en/flere prøver. Endvidere er der i bilag 3 en kort opsummering omkring udtagelse af vandprøver og måling af vandmængder indtag/-afløb, som er en opdatering/udbygning af tilsvarende afsnit i Larsen og Svendsen (1998), som der har været refereret til i Dambrugsbekendtgørelsen (2012).

---

<sup>1</sup> Alkontrol anvendes for en kontroltype, hvor der foreligger måling af alt udledt spildevand fra en punktkilde, dvs. hvor der i princippet prøvetages samlede vand- og stofmængder fremfor stikprøver et antal gange pr. år. Den alkontrol, der blev foreslået fra Dansk Akvakultur, bestod principielt af en meget hyppige udtagelse af stikprøver som blev puljet til et antal prøver og ikke målinger af alt udledt spildevand.



## 2 Historik vedrørende kontrol af udledninger fra ferskvandsdambrug

### 2.1 Fra tilstandskontrol på alle parametre til transportkontrol på nogle af disse

For at forstå baggrund for at udvikle en ny kontrolmetode for udledninger fra ferskvandsdambrug er der i afsnit 2.1 og 2.2 en kort beskrivelse af den udvikling der har været siden 1990'erne.

Udledninger fra ferskvandsdambrug kontrolleres i modsætning til andre punktkilder ved, at der tages stikprøver i både udløb og indløb. Der er således ændringen i koncentration eller stofmængde af ammonium kvælstof ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ), total kvælstof (TN), total fosfor (TP) og let omsætteligt organisk stof målt som  $\text{BI}_5$ , der anvendes som grundlag for en vurdering af, hvor meget dambruget gennem sin produktion tilfører vandmiljøet af disse stoffer. For andre punktkilder vurderes udledninger alene ud fra målinger i udløbet. Ferskvandsdambrug har traditionelt indtaget vand fra vandløb og dermed i en del tilfælde store stofmængder fra vandløbene, og disse indtagne stofmængder skal fratrækkes dambrugets målte udledninger for at få en reel vurdering af, hvad dambruget tilfører vandløbet af kvælstof, fosfor og organisk stof grundet produktionen af fisk.

Udlederkontrollen blev i mange år udført som en tilstandskontrol på alle stoffer:  $\text{NH}_4\text{-N}$ , TN, TP,  $\text{BI}_5$  samt suspenderet stof (Bekendtgørelse om Ferskvandsdambrug, 1994). Grundet spørgsmål fra Folketingets Miljø- og Planlægningsudvalg blev Danmarks Miljøundersøgelser (DMU) i 1996 bedt om at vurdere, hvordan et kontrolprogram kunne sammensættes for statistisk sikkerhed at kunne afgøre om en udledergrænseværdi var overholdt (Danmarks Miljøundersøgelser, 1996). Der skulle tages udgangspunkt i egenkontrollodata fra 10 repræsentative dambrug som DMU fik stillet til rådighed. Efterfølgende arbejdede DMU med kontrol af udledninger fra ferskvandsdambrug med udgangspunkt i den statistiske kontrolteori (Larsen og Svendsen, 1998), som også var blevet praksis i Dansk Standard for kontrol af udledninger fra punktkilder (renseanlæg). Der blev i projektet samfinansieret med Dansk Akvakultur, opstillet en række kontrolprogrammer, der afhængigt af miljøets sårbarhed opererede med et lempet, et normalt og et skærpet kontrolprogram. Et skærpet kontrolprogram indebar, der skulle tages flere prøver i indløb til og udløb fra ferskvandsdambrug for at sikre større statistisk sikkerhed for miljøet og for dambrugeren ved vurdering af om de målte udledninger overholdte udlederkravene. DMU anbefalede i rapporten fra 1998, at tilstandskontrol bør anvendes for de kemiske parametre, hvor det er koncentrationen af stoffet, som har den mest skadelige effekt for vandmiljøet, dvs. for ammonium-kvælstof og let-omsætteligt organisk stof. Transportkontrol bør omvendt anvendes, hvor det er den samlede mængde af stof, som påvirker vandmiljøet dvs. for total kvælstof, total fosfor og suspenderet stof. Dette var også i overensstemmelse med daværende dansk standard for spildevandsudledninger (tidligere version end DS2399, 2006), der opererede med både tilstands- og transportkontrol.

DMU påpegede i Larsen og Svendsen (1998), at den foreslåede transportkontrol var lempeligere end den tilsvarende tilstandskontrol jf. Bekendtgørelse

om Ferskvandsdambrug (1994), eftersom den kritiske fraktion ved transportkontrol er 50 % mod 20 % ved tilstandskontrol. Den kritiske fraktion angiver, hvor stor en andel af nettoudledningerne (målt stof ud af minus målt stof ind i dambruget) eller af nettokoncentrationerne (målt koncentration ud af minus målt koncentration ind i dambruget), som må ligge over udlederkravet. Samtidigt er justeringsfaktoren (se afsnit 3.4) negativ ved transportkontrollen, hvilket betyder, at større spredning i de målte nettoudledninger gør det lettere ved samme gennemsnitsnettoudledning at overholde udlederkravet.

DMU blev af Miljøstyrelsen bedt om at tilpasse transportkontrollen, så den administrativt set ikke blev lempeligere end den oprindelige tilstandskontrol på TN og TP, hvis man efterfølgende skulle overgå fra tilstandskontrol til transportkontrol for disse stoffer. Dette blev foretaget ved at tilpasse udlederkravene ved overgang fra tilstandskontrol til transportkontrol (Larsen og Svendsen, 2002 og bilag E i Pedersen et al, 2003).

I Bekendtgørelse nr. 923 (2002) og Bekendtgørelse nr. 1327 (2006) – som begge omhandler modeldambrug – fastholdes tilstandskontrol for  $\text{NH}_4\text{-N}$  og  $\text{BI}_5$ , men der introduceres transportkontrol for TN og TP. Både tilstands- og transportkontrollerne udføres jf. beskrivelsen i Larsen og Svendsen (1998), men med de justerede udlederkrav for transportkontrol som er beskrevet i Larsen og Svendsen (2002). Med Dambrugsbekendtgørelsen (2012) skal alle dambrug, der reguleres på udledninger (dvs. ikke alene reguleres på foderforbrug) kontrolleres efter tilstands- og transportkontrol jf. Larsen og Svendsen (1998 og 2002).

I foråret 2015 rejste Dansk Akvakultur problemstillingen omkring transportkontrollen jf. Dambrugsbekendtgørelsen (2012). Dansk Akvakultur anførte, at den aktuelle transportkontrol reelt er en tilstandskontrol på mængder og dermed er strengere (sværere at overholde for udlederen) end den transportkontrol som beskrives i DS2399 (2006), der anvendes for andre punktkildeudledninger som renseanlæg; Dansk Akvakultur mente derfor at transportkontrol for dambrug derfor bør udføres efter DS2399 (se mere herom i bilag 1 til Svendsen et al., 2015).

Som en arbejdsopgave under projektet "Udvikling af IT værktøjer til dambrug" (et projekt medfinansieret under ordningen "Fælles initiativer indenfor fiskeri- og Akvakultursektoren under den Europæiske Fiskerifond) udarbejdede DCE i 2015 et foreløbigt forslag til en revideret transportkontrolmetode. Det tog udgangspunkt i DS2399 afløbskontrol men under hensyntagen til at ferskvandsdambrug kontrolleres på nettoudledninger, og at der ikke kan tages logaritme af negative tal (Svendsen et al., 2015). Metoden blev i første omgang testet på egenkontrolldata fra fire dambrug, hvor der kun blev set på udledningen af total kvælstof, hvor der aktuelt har været de største udfordringer for nogle ferskvandsdambrug ift. udlederkravene. Metoden er efterfølgende yderligere afprøvet og justeret med egenkontroll data af både total kvælstof og total fosfor for en række ferskvandsdambrug. Der er endvidere udviklet en justeret transportkontrol for ferskvandsdambrug, der producerer fisk til ud sætning til havbrug. Disse ferskvandsdambrug har en meget skævt fordelt produktion og dermed foderforbrug hen over året, som betyder at der kommer en vis variation i udledningerne hen over produktionsåret sammenlignet med et tilsvarende dambrug med en mere jævn fordelt produktion.

## 2.2 Teknisk historisk oversigt over tilstands- og udlederkontrol

Den historiske baggrund for udvikling af kontrol af udledninger fra ferskvandsdambrug, som der er redegjort nærmere for i afsnit 2.1, er udbygget med en mere teknisk sammenfatning nedenfor, men der er nogle gentagelser for at afsnittet kan læses selvstændigt.

Dambrugsbekendtgørelsen fra 1994 havde *tilstandskontrol* af samtlige stoffer under egenkontrollen (dvs.  $\text{NH}_4\text{-N}$ , TN, TP,  $\text{BI}_5$  og suspenderet stof)

I et DMU projekt (samfinansieret med Dansk Dambrugerforening) omkring afløbskontrol af dambrug (Larsen og Svendsen, 1998) blev de statistiske aspekter af kontrolprogrammer baseret på den *statistiske kontrolteori* gennemgået. Det er samme teori som ligger bag DS2399. Men i modsætning til DS2399 anvendes ikke logaritme transformation med forslagene til transportkontrol fra 1998 afsnit 2.4). Der opstilles i Larsen og Svendsen (1998) en række kontrolprogrammer ud fra forskellige forudsætninger og risici for dambrugeren og miljøet. I rapporten anbefaler DMU "... , at tilstandskontrol bør anvendes for de kemiske parametre, hvor det er koncentrationen af stoffet, som har den mest skadelige effekt for vandmiljøet som ammonium kvælstof og organisk stof. Transportkontrol bør omvendt anvendes, hvor det er den samlede mængde af stof, som påvirker vandmiljøet, som total kvælstof, total fosfor og suspenderet stof...".

*Tilstandskontrollen* skulle udføres som:

$$d_k + k_k(n) \cdot s_k \leq U_k \quad (1)$$

hvor  $d_k$  = gennemsnit af de daglig målte nettokoncentrationer i udledningen (forskellen i koncentration i udløb og indløb for prøvetagningen)

$k_k(n)$  = justeringsfaktoren ved tilstandskontrol for n prøver (altid positiv, se tabel 1)

$s_k$  = spredningen på de n nettokoncentrationer i udledningerne

$U_k$  = udledergrænseværdi (mg/l).

*Transportkontrollen* skulle udføres som:

$$d_T + k_T(n) \cdot s_T \leq U_T \quad (2)$$

hvor  $d_T$  = gennemsnit af nettoudledningen på prøvetagningsdage (forskell i transport i udløb og transport i indløb baseret på målte koncentrationer i vandindtag og vandafledning og tilsvarende målte vandmængder i prøvetagningsdøgnet)

$k_T(n)$  = justeringsfaktoren ved transportkontrol for n prøver (den er altid negativ, se tabel 3).

$s_T$  = spredningen på de n nettodøgnudledninger

$U_T$  = daglige udledergrænseværdi (kg/døgn).

DMU påpegede i Larsen & Svendsen (1998), at transportkontrollen i DS2399 og som angivet i formlen ovenfor umiddelbart er mere lempelig end tilstandskontrollen. Det betyder, at såfremt nettoudledninger varierer meget, bliver spredningen  $s_T$  større, og ved større variation i udledningerne vil det være lettere at overholde udlederkravene end en udleder, der har samme gennemsnitlig nettoudledning med mere stabile udledninger (mindre spredning på nettoudledningerne). Med stor variation i udledningerne er det endvidere muligt at udlede mere TN eller TP i gennemsnit end udledningstilladelsen. Det skyldes at  $k_T(n)$  i ligning (2) ved transportkontrol er negativ. Derfor blev DMU efterfølgende bedt om at beskrive, hvordan udlederkravet kunne justeres, hvis man vil bibeholde en transportkontrol for TN og TP, der ikke kontrolteoretisk var mere lempelig end tilstandskontrollen. Det er dette, som er beskrevet i bilag E i Pedersen et al. (2003) og opsummeret nedenfor.

Med Dambrugsbekendtgørelsen (2012) indføres transportkontrol generelt for TN og TP for ferskandsdambrug, der reguleres på udledninger, men den var allerede introduceret for modeldambrug (Bekendtgørelse nr. 923 (2002) og Bekendtgørelse nr. 1327 (2006)). Der opereres med en korrigeret udledergrænseværdi, der skal sikre, at transportkontrollen ikke bliver lempeligere end tilstandskontrollen. I bekendtgørelsen laves transportkontrollen ved:

$$d_T + k_T(n) \cdot s_T \leq U_K \quad (3)$$

hvor

$$U_K = \text{korrigerede udledergrænseværdi (kg/døgn)} = U_{TK} + (k_T(n) - k_k(n)) \cdot s_T \quad (4)$$

$U_{TK}$  = udledergrænseværdi (kg/døgn) overført direkte ved at dividere årlig maksimalt tilladte udledning med 365

$k_T(n)$  = justeringsfaktoren ved transportkontrol for  $n$  prøver.  $k_T(26) = -0,3352$ ;  
 $k_T(12) = -0,5205$

$k_k(n)$  = justeringsfaktoren ved tilstandskontrol for  $n$  prøver.  $k_k(26) = 0,5035$ ,  
 $k_k(12) = 0,3586$

$s_T$  = spredningen på de  $n$  nettodøgnudledninger

$d_T$  = gennemsnit af nettoudledningen på prøvetagningsdage (forskelle i transport i udløb og transport i indløb baseret på målte koncentrationer i vandindtag og vandafledning og tilsvarende målte vandmængder i prøvetagningsdøgnnet).

I Dambrugsbekendtgørelsen (2012) er der ved transportkontrollen forudsat 95 % sandsynlighed for accept af en udledning, der i virkeligheden overholder udlederkravet (5 % risiko for et dambrug at få forkastet en udledning, der i virkeligheden overholder kravet) og en kritisk fraktion på 50 % (halvdelen af kontrolprøverne må i gennemsnit ligge over daglige udlederkrav). Miljøets risiko afhænger af, hvor mange prøver der tages, men ved 26 prøver er den ca. 5 %. Ved tilstandskontrol er den kritiske fraktion kun 20 % (kun 20 % af målte nettokoncentrationer må være over udlederkravet), og det er en af årsagerne til, at transportkontrollen er lempeligere end tilstandskontrollen.

Det er korrekt, som påpeget af Dansk Akvakultur, at man kan forsimple formelen for korrigeret transportkontrol (formel 4), idet den indførte korrektion af udlederkravet betyder, at man for TN og TP rent faktisk ender med at lave en tilstandskontrol på stofmængder, altså indsætter nettoudledninger fremfor nettokoncentrationer i formel (1). Dette beskrev DMU også allerede i bilag E i Pedersen et al. (2003). Transportkontrollen for TN og TP kan formelmæssigt reduceres til:

$$d_T + k_k(n) \cdot s_T \leq U_{Tk} \quad (5)$$

hvor  $d_T$  = gennemsnit af nettoudledningen på prøvetagningsdage (forskell i transport i udløb og transport i indløb baseret på målte koncentrationer i vandindtag og vandafledning og tilsvarende målte vandmængder i prøvetagningsdøgnet)

$k_k(n)$  = justeringsfaktoren ved tilstandskontrol for  $n$  prøver:  $k_k(26) = 0,5035$ ,

$k_k(12) = 0,3586$  (for andre  $n$  værdier se tabel 1)

$s_T$  = spredningen på de  $n$  nettodøgnudledninger

$U_{Tk}$  = udledergrænseværdi (kg/døgn).

Dette giver umiddelbart de samme statistiske kontrolteoretiske krav til overholdelse af udledninger som med den tidligere (oprindelige) tilstandskontrol af TN og TP. Samtidig undgås problemstillingen omkring uhensigtsmæssig indvirkning af store variationer i nettoudledningerne for overholdelse af udlederkravene som der er ved formel (2). Men det skal i den sammenhæng nævnes, at der ved udvikling af transportkontrollen ikke har kunnet tages hensyn til, hvordan myndighederne har beregnet udlederkravene for TN og TP, da man gik fra koncentrationsbaserede udlederkrav under tilstandskontrol til mængdebaserede udlederkrav. Dermed kan der ved at lave tilstandskontrol på stofmængder være introduceret en for streng korrektion, når det korrigerede udlederkrav er fastlagt (se også diskussion i kapitel 3). I DS2399 (2006) anvendes kontrolteorien for transportkontrol for de stoffer, der skal kontrolleres uden der korrigeres på udlederkravene.

Med Dambrugsbekendtgørelsen (2012) overgår man til at udmelde "maksimale årlige udledninger" af TN og TP for dambrug på udlederkontrol og at der skal gennemføres transportkontrol. Udmeldingen af en maksimal årlig udledning for TN og TP, må umiddelbart kunne fortolkes således, at denne udledning ikke må overskrides med de sikkerheder/risici, som udlederkontrollen har indbygget. Regner man de tildelte maksimale årlige udledninger per år baseret på  $F_{fill}$  (årligt foderforbrug, der er meddelt den enkelte virksomhed i en fodertilladelse i henhold til bekendtgørelse om ferskvandsdambrug) om til en maksimal døgnudledning får man (døgn-)grænseværdien for henholdsvis TN og TP. DCE kan ikke vurdere hvorvidt - som der er anført af Dansk Akvakultur i bilag 1 i Svendsen et al. (2015) - det at dambrug nu tildelles maksimale årlige udledninger af TN og TP i kg pr. år baseret på  $F_{fill}$  i en række tilfælde betyder lavere udledningstilladelser end de tilsvarende udlederkrav ved miljøgodkendelsen, der var givet disse dambrug fastlagt ud fra grænseværdier og medianminimum/tilladt vandindtag.

Ved den beskrevne kontrol af TN og TP i Dambrugsbekendtgørelsen (2012) jf. formel (3) og (4) ovenfor anvendes en kritisk fraktion på 50 %, hvorimod den kritiske fraktion i DS2399 (2012) er mindre end 50 % og afhænger af variationen i stikprøverne (se kapitel 3). Det betyder at justeringsfaktoren  $k_T$  (26 prøver) = -0,3352 i kontrollen skal ændres til en værdi som er større end -0,3352 og som ved stor variation bliver positiv, hvilket skærper kravet til at kunne overholde udlederkravet. Til gengæld vil man ved at gennemføre en reel transportkontrol på de udledte mængder jf. formel (2) kunne komme tættere på de maksimale udledninger, fordi variation i udledninger ikke som ved den aktuelle "transportkontrol" jf. Dambrugsbekendtgørelsen (2012) vil modvirke opfyldelse af udlederkravene (se flere detaljer i kapitel 3 og 4).

## 3 Generelt om afløbskontrol

### 3.1 Indledning

Når man betragter en kontrolperiodes prøvetagninger fra et ferskvandsdambrug med målinger i udløb og indløb, hvor forskellen er udtryk for dambrugets nettoudledninger, vil koncentrationer og nettoudledninger variere hen over året. Den faglige problemstilling er så, hvordan man sammenligner måleresultaterne af de f.eks. 6, 12 eller 26 prøvetagninger (døgnpuljede prøver) med udlederkravene i dambrugets miljøgodkendelse eller udledningstilladelse.

Udlederkravene til dambrug er fastsat på baggrund af følgende miljøforhold:

- TN og TP kravene er primært fastsat for at begrænse den årlige udledning fra dambrugene til fjernrecipienten
- Ammoniak og  $BI_5$  kravene er primært fastsat for at beskytte nærrecipienten umiddelbart nedstrøms dambruget mod for høje koncentrationer, som selv i kortere perioder kan påvirke eller direkte skade dyre- og planteliv.

Det vil umiddelbart være logisk at sammenligne udlederkravet (grænseværdien) for TN og TP med gennemsnittet af kontrolperiodens stikprøver (typisk antal er 6, 12 eller 26), da det jo netop er kontrolperiodens samlede udledte mængde, der er vigtig for recipienten. For  $NH_4-N$  og  $BI_5$ , hvor det er påvirkningerne på nærrecipient påvirkninger, der umiddelbart ses, vil det primært være meget høje værdier af de typisk 6, 12 eller 26 stikprøver, der udtages til egenkontrol, som vil være interessante.

For TN og TP er det derfor den nettostofmængde, der forlader dambruget, som er interessant, mens det for  $NH_4-N$  og  $BI_5$  er netto koncentrationen, der udledes den givne dag, som er relevant i forhold til tilstanden i nærrecipienten. I den statistiske kontrol, som er beskrevet nedenfor, svarer begrebet *transportkontrol* i teorien til sammenligning af niveauet af (netto)stoftransport ud af dambruget med udlederkravet, og begrebet *tilstandskontrol* svarer til at sammenligne et udtryk for (netto) maksimal(koncentrations)værdierne i udledningerne med udlederkravet.

Når der f.eks. udtages prøver 26 døgn ud af kontrolårets 365, vil der selvfølgelig være en sandsynlighed for at få mange prøver på dage, hvor dambrugets produktion og renseforanstaltninger kører godt. Tilsvarende er der en sandsynlighed for, at der kan tages mange prøver på dage, hvor produktionen/driften fungerer mindre godt. Vurderet på de 26 prøver vil udledningen i det første tilfælde kunne godkendes, selv om det i virkeligheden skulle have været afvist, hvis der var taget prøver kontinuerligt. Modsat i det andet tilfælde, hvor udledningen kan risikere at blive afvist, selv om den, hvis der var taget prøver kontinuerligt, kunne accepteres.

Statistisk afløbskontrol er en statistisk metode, som beskriver og fordeler denne usikkerhed mellem vandmiljøet og dambruget. I Dambrugsbekendtgørelsen (2012) er dambrugets risiko konsekvent sat til 5 % uanset prøveantallet. Dambrugets risiko er den, der opstår, hvis kontrolperiodens prøver tilfældigvis primært er udtaget på dage, hvor driften på dambruget har været mindre optimal. At udleders (dambrugets) risiko er 5 % betyder, at sandsynligheden for at kassere en årlig udledning, som egentligt er i orden, er højst 5

%. Dette kan også formuleres som: Hvis der konstateres 100 overskridelser af et års udledninger af TN eller TP på en række dambrug, vil højst 5 af dem ikke være reelle overskridelser, men blot være udtryk for, at prøverne er udtaget på nogle "uheldige"/ikke repræsentative dage.

Risikoen for recipienten (vandmiljøet = vandløbet / havområdet / kystområdet), som er risikoen for at der på grund af tilfældigheder i prøvetagningsstrategien godkendes årsudledninger, som reelt ikke burde have været godkendt, kan reduceres ved at hæve antallet af prøver i kontrolperioden (se tabel 1 og 3).

I den statistiske metode til afløbskontrol er retsprincippet om, at tvivlen skal komme den anklagede til gode indbygget. Et dambrug kan først straffes for overskridelser af udlederkravet, når der er 95 % eller større sandsynlighed for, at der er tale om en reel overskridelse og ikke bare en overskridelse, der skyldes tilfældigheder. Det må hermed kunne konkluderes, at tvivlen kommer dambruget til gode i ret omfattende omfang, da 95 % sædvanligvis regnes for en stor statistisk sikkerhed.

### 3.2 Tilstandskontrol

Begrebet tilstandskontrol dækker over kontrol af koncentrationer af visse kemiske stoffer i udløb. For dambrug anvendes tilstandskontrol for stofferne  $\text{NH}_4\text{-N}$  og  $\text{BI}_5$  og det, der kontrolleres, er tilvæksten i koncentration over dambruget, dvs. forskellen i udløbs- og indløbskoncentrationen, hvor der tillige skal foretages en vandføringsvægtning, hvis der sker indsivning/vandtab over dambruget.

Den matematiske definition af tilstandskontrol er:

$$\bar{d} + k \cdot s \leq U$$

$$(p_1, P_1, p_2, P_2) = (20 \%, 95 \%, 50 \%, P_2(n))$$

$\bar{d}$  er middelkoncentrationen af stikprøverne (forskelskoncentrationen af  $\text{NH}_4\text{-N}$  og  $\text{BI}_5$ ),  $k$  er en justeringsfaktor og som beregnes som en funktion af  $p_1, P_1, p_2, P_2$  (se mere nedenfor),  $s$  er spredningen på de målte forskelskoncentrationer, og  $U$  er udledergrænseværdien. Sandsynligheden  $P_2(n)$  betegner vandmiljøets risiko og afhænger af  $n$ , som står for antallet af stikprøver i kontrolperioden (se tabel 1 med  $P_2$  og  $k$ ). Sandsynligheden  $p_1$  angiver den kritiske fraktion som står for hvor mange af stikprøverne, der i gennemsnit må være over udledergrænseværdien  $U$ . Og  $1 - P_1$  angiver dambrugets risiko som beskrevet tidligere. Endelig er  $p_2$  den kritiske fraktion, hvor man ønsker at beregne vandmiljøets risiko.

Det fremgår af tabel 1, at antallet af prøver i en tilstandskontrol bestemmer vandmiljøets risiko, dvs. vil man have, at vandmiljøet skal have en høj sikkerhed for, at udledninger over udlederkravet bliver påvist, kræver det mange prøvetagninger i kontrolperioden. Kan der accepteres en mindre sikkerhed for miljøet, kan man nøjes med færre prøvetagninger.



**Tabel 1.** Justeringsfaktoren  $k$  ved *tilstandskontrol* for forskellige antal stikprøver ( $n$ ) ved kritisk fraktion  $p_1$  på 20 %, 95 % sikkerhed for dambrugeren ( $P_1$ ), 50 % fraktion ( $p_2$ ) for vandmiljøets risiko og den resulterende risiko for vandmiljøet ( $P_2$ ), der afhænger af antal stikprøver. Med grønt angives tre typiske antal prøver, der tages på ferskvandsdambrug.

$p_1$	$P_1$	$n$	$k$	$p_2$	$P_2$
20	95	6	0,1728	50	34,2750
20	95	7	0,2204	50	28,8324
20	95	8	0,2583	50	24,2223
20	95	9	0,2896	50	20,3178
20	95	10	0,3160	50	17,0152
20	95	11	0,3387	50	14,2264
20	95	12	0,3586	50	11,8761
20	95	13	0,3761	50	9,8991
20	95	14	0,3917	50	8,2392
20	95	15	0,4058	50	6,8482
20	95	16	0,4186	50	5,6845
20	95	17	0,4303	50	4,7127
20	95	18	0,4409	50	3,9023
20	95	19	0,4508	50	3,2275
20	95	20	0,4599	50	2,6665
20	95	21	0,4684	50	2,2008
20	95	22	0,4764	50	1,8145
20	95	23	0,4838	50	1,4946
20	95	24	0,4907	50	1,2300
20	95	25	0,4973	50	1,0114
20	95	26	0,5035	50	0,8309
20	95	27	0,5093	50	0,6820
20	95	28	0,5149	50	0,5594
20	95	29	0,5201	50	0,4585
20	95	30	0,5251	50	0,3755
20	95	31	0,5299	50	0,3073
20	95	32	0,5345	50	0,2514
20	95	33	0,5388	50	0,2054
20	95	34	0,5430	50	0,1678
20	95	35	0,5470	50	0,1370
20	95	36	0,5508	50	0,1118
20	95	37	0,5545	50	0,0911
20	95	38	0,5580	50	0,0743
20	95	39	0,5614	50	0,0605
20	95	40	0,5647	50	0,0492
20	95	41	0,5679	50	0,0401
20	95	42	0,5709	50	0,0326
20	95	43	0,5739	50	0,0265
20	95	44	0,5767	50	0,0215
20	95	45	0,5795	50	0,0175
20	95	46	0,5822	50	0,0142
20	95	47	0,5848	50	0,0115
20	95	48	0,5873	50	0,0093
20	95	49	0,5897	50	0,0076
20	95	50	0,5921	50	0,0061
20	95	51	0,5944	50	0,0050
20	95	52	0,5966	50	0,0040

Det fremgår af tabel 1 at justeringsfaktoren  $k$  i tilstandskontrol bliver større, jo flere prøver man tager i kontrolperioden, og det medfører bl.a. at risikoen for vandmiljøet formindskes. Eksempler: ved 6 prøver er  $k = 0,17$  og miljøets risiko er 34,3 % (meget stor risiko); ved 12 prøver er  $k = 0,36$  og miljøets risiko 11,9 % (stor risiko), men ved 26 observationer er  $k = 0,50$  og miljøets risiko 0,83 % (meget lille risiko). En risiko på ca. 5 % for miljøet opnås ved 17 prøver per kontrolperiode og her er  $k = 0,43$ . De 4 sandsynligheder ( $p_1, P_1, p_2, P_2$ ) og  $n$  (antallet af prøver i kontrolperioden) kan i princippet fastlægges/defineres som man vil, men størrelserne hænger sammen via komplicerede matematiske formler, som kan findes i Larsen & Svendsen (1998).

Dansk Standard for afløbskontrol DS2399 (2006) anvender de samme definitioner af de 4 sandsynligheder ( $p_1, P_1, p_2, P_2$ ), men  $k$  beregnes dog på en lidt anden måde end i Larsen & Svendsen (1998), selv om det giver næsten ens værdier. DS2399 afviger dog på nogle andre væsentlige områder:

- anvender kontrollen på logaritmetransformerede data, og dette gør man ikke ved tilstandskontrol af dambrug jf. Dambrugsbekendtgørelsen (2012). DS2399 nedvægter således betydningen af høje koncentrationer
- der er en fejl i DS2399 (2006), når de logaritmetransformerede data tilbage-transformeres, der medfører at den tilbage-transformerede kontrolværdi er for lille
- metoden anvender kun målte data i udledningerne i modsætning til Dambrugsbekendtgørelsen (2012), hvor der ses på nettokoncentrationen (forskelskoncentration mellem udløb og indløb). For at overføre DS2399 til kontrol af nettoudledninger vil man skulle tillægge en konstant til alle koncentrationsforskelle for at undgå negative værdier før logaritmetransformationen og efterfølgende ved tilbage-transformation fratække denne konstant.

Anvender man metoden i DS2399 (2006), opnår udleder en lempelse sammenlignet med en kontrol uden anvendelse af logaritmetransformerede data, da store koncentrationer kommer til at betyde væsentligt mindre efter en transformation med logaritmefunktionen. *DCE-AU finder ikke at der er nogen faglig begrundelse for, at der skal ændres på tilstandskontrollen som foreskrevet i Dambrugsbekendtgørelsen (2012) og beskrevet i Larsen og Svenden (1998).*

Det bør bemærkes, at man ved tilstandskontrol af dambrug tillader overskridelser af udledergrænseværdien for i gennemsnit 20 % af prøverne. Det betyder, at såfremt udlederkravet (angivet som en udledergrænse i mg/l) anses for at være den koncentration som er kritisk, så tillader man, at nærrecipienten i princippet i op til 20 % af tiden kan udsættes for denne koncentration eller en, der er endnu højere. I Dambrugsbekendtgørelsen (2012) er der derfor også angivet nogle absolutte maksimale værdier for  $\text{NH}_4\text{-N}$  og  $\text{BI}_5$ , der ikke må overskrides, og rent fagligt kan det for sårbare recipienter vurderes, hvor stor en kritisk fraktion, der bør tillades ved tilstandskontrol.

### 3.3 Optimering af prøvetagning ved tilstandskontrol

For at undersøge hvilken prøvetagningsstrategi og hvilket antal stikprøver der er bedst ved tilstandskontrollen af dambrug (for  $\text{NH}_4\text{-N}$  og  $\text{BI}_5$ ), har vi analyseret på data, som DMU indsamlede på Døstrup Dambrug (Fjorback et al., 2003). Her blev der i en to årig periode (april 2000 til april 2002) i alle ind- og udløb med automatiske vandprøvetagere udtaget en vandmængde hver time i 8 timer i en flaske (dvs. 3 flasker pr. prøvetagningssted pr. dag) til en

del prøve. Delprøverne var opbevaret i en prøvetager mørkt og koldt (<4 °C). Delprøverne for det sidste døgn før prøverne blev hentet hjem blev puljet til en døgnprøve for NH<sub>4</sub>-N og BI<sub>5</sub> (bestående af altså i alt 3 delprøver (vand udtaget 24 gange) fra senest prøvetagningsdøgn). For TN og TP blev alle delprøver i en uge puljet til en ugepuljet prøve (dvs. i alt 3\*7 = 21 delprøver med udtaget vand for 168 timer (24 · 7)). Dette giver dermed det bedste datagrundlag, der findes, for at estimere den "sande" transport især for TN og TP, hvor der er udtaget en vandmængde hver time som er puljet til 52 ugepuljede prøver dækkende alle årets timer, mens der for NH<sub>4</sub>-N og BI<sub>5</sub> er 52 dage dækket med delprøver hver time. Disse data egner sig særligt godt til simuleringer og til at analysere udvalgte data fra kalenderåret 2001. Vi har anvendt to forskellige strategier: systematisk og jævnt fordelte prøvetagninger over hele året og en strategi med flere prøver i perioden april til og med oktober, hvor den største del af produktionen er foregået. Vi har simuleret strategier med 6, 12 og 26 prøvetagninger. Der er lavet mindst 100 simuleringer for hver prøvetagningsfrekvens.

Simuleringerne viser (tabel 2), at den gennemsnitlige koncentration af både NH<sub>4</sub>-N og BI<sub>5</sub> rammes bedst og mest præcist ved anvendelse af 26 prøver i kontrolperioden på Døstrup Dambrug. For BI<sub>5</sub> er det bedst med en systematisk og ækvivalent (fast tidsmæssig afstand mellem prøver) prøvetagning. For NH<sub>4</sub>-N er der derimod ikke den store forskel på de to prøvetagningsstrategier, det vil sige, man kan anvende både en systematisk og skæv (flest i produktionsperioden) strategi. Dog skal en systematisk prøvetagningsstrategi ikke anvendes i tilfælde, hvor store/mindre udledninger optræder i mønstre sådan, at man kun udtager enten store eller mindre udledninger konsekvent. Det vil være hensigtsmæssigt at have et talmateriale med intensiv prøvetagning fra mere end et dambrug.

**Tabel 2.** Simuleringsresultater (mindst 100 simuleringer for hver) for stofferne BI<sub>5</sub> og NH<sub>4</sub> (mg/l). I parentes er angivet minimum og maksimum. Den sande værdi for gennemsnits forskelskoncentration er baseret på intensiv prøvetagning (52 døgnpuljede prøver, hver bestående af 24 delprøver) fra Døstrup Dambrug i kalenderåret 2001 (Fjorback et al., 2003).

Kontrolstof	Strategi	"Sand" gennemsnits- værdi (n=52)	Gennemsnit for 6 simulerede stikprøver	Gennemsnit for 12 simulerede stikprøver	Gennemsnit for 26 simulerede stikprøver
BI <sub>5</sub>	Systematisk	5,53	5,25 (4,35-6,53)	5,69 (5,38-6,28)	5,62 (5,23-6,04)
	Flest i produktions- periode		5,61 (4,67-7,18)	5,77 (5,22-6,66)	5,91 (5,66-6,17)
NH <sub>4</sub>	Systematisk	0,410	0,397 (0,308-0,488)	0,400 (0,366-0,442)	0,413 (0,383-0,434)
	Flest i produktions- periode		0,408 (0,293-0,491)	0,411 (0,345-0,457)	0,408 (0,387-0,433)

### 3.4 Transportkontrol

Transportkontrol omfatter kontrol af TN og TP udledningerne fra ferskvandsdambrug. Det er grundlæggende de samme matematiske/statistiske metoder, som anvendes sammenlignet med tilstandskontrollen. Det vil sige kontrollen udføres ved:

$$\bar{d} + k \cdot s \leq U,$$

$\bar{d}$  er middel af de målte nettoudledninger af TN og TP,  $k$  er en justeringsfaktor ved transportkontrol (se nedenfor),  $s$  er spredningen på de målte nettoudledninger og  $U$  er udledergrænseværdien. Men her er de 4 sandsynligheder defineret ved:

$$(p_1, P_1, p_2, P_2) = (50 \%, 95 \%, 75 \%, P_2(n)).$$

Der anvendes altså en kritisk fraktion  $p_1$  på 50 %, da det er de samlede nettoudledninger af TN og TP, man er interesseret i og derfor tillades det i gennemsnit, at halvdelen af alle stikprøver overskrider udledergrænseværdien fastsat som en mængde per døgn eller per sekund. Igen afhænger miljøets risiko af antal stikprøver  $n$ . Af tabel 3 fremgår: ved 6 prøver er  $k = -0,8447$ , og miljøets risiko er 61,3 % (usædvanlig stor risiko); ved 12 prøver er  $k = -0,5205$ , og miljøets risiko 30,1 % (meget stor risiko); ved 26 observationer er  $k = -0,3352$ , og miljøets risiko 4,53 % (lille risiko). Denne metode betegnes i det følgende **metode 1**.

I kapitel 2 omtales at der blev indført en metode til sikring af at transportkontrollen for TN og TP ikke blev lempeligere for udleder end den oprindelige tilstandskontrol for disse stoffer (Bekendtgørelsen om ferskvandsdambrug, 1994). Transportkontrol for TN og TP blev først anvendt for modeldambrug under forsøgsordningen og senere for alle dambrug på udlederkontrol (Larsen og Svendsen, 2002; Bekendtgørelse nr. 923, 2002; Dambrugsbekendtgørelsen, 2012). På baggrund af stikprøvernes standard afvigelse tilpasser man udledergrænseværdien via et sæt matematiske formler (Larsen og Svendsen, 2002), se mere herom kapitel 2.2. Denne metode kan også omregnes til en "tilstandskontrol" men på nettoudledninger, og det vil med andre ord sige at  $(p_1, P_1, p_2, P_2) = (20 \%, 95 \%, 50 \%, P_2(n))$  jf. kapitel 3.1, hvor der på de udledte mængder anvendes en kritisk fraktion på 20 %. Denne metode betegnes **metode 2**.

I DS2399 (2006) (den danske standard for afløbsdata som anvendes for de fleste punktkilder) beskrives der ligeledes en transportkontrol. Den er defineret en anelse anderledes end ved kontrol af udledninger for ferskvandsdambrug (Dambrugsbekendtgørelsen, 2012). I DS2399 er transportkontrol defineret som:

$$\alpha + k \cdot \beta \leq U$$

$$(p_1, P_1, p_2, P_2) = (p_1(\beta), 95 \%, 75 \%, P_2(n)),$$

Her er  $\alpha$  og  $\beta$  henholdsvis gennemsnit og spredning for logaritmetransformerede udledninger. I DS2399 afhænger den kritiske fraktion af spredningen på stikprøverne, og den kan være lige fra 50 % (ingen spredning) ned til 0 % (uendelig stor spredning). Som under metoderne 1 og 2 afhænger miljøets risiko af stikprøveantallet  $n$  og justeringsfaktoren  $k$  afhænger af både  $n$  og  $\beta$ . Metoden i DS2399 kaldes **metode 3**. Det er værd at bemærke at under DS2399 anvendes alene de målte udledninger i afløbet fra punktkilden (renseanlægget), mens det for ferskvandsdambrug er nettoudledning, der skal beregnes på. Herved risikerer man at få en negativ størrelse, da der over et døgn kan være større stofindtag end stofudledninger. Det betyder, der skal tillægges en konstant værdi (heltal) til alle nettoudledninger, så det sikres at ingen af disse bliver negative, før der logaritmetransformeres. Som ved tilstandskontrollen er der en fejl i DS2399 (2006), når de logaritmetransformerede data tilbagetransformeres, der medfører at den tilbagetransformerede kontrolværdi er for lille.

**Table 3.** Justeringsfaktoren  $k$  ved *transportkontrol* for forskellige antal stikprøver ( $n$ ) ved kritisk fraktion  $p_1$  på 50 %, 95 % sikkerhed for dambrugeren ( $P_1$ ), 75 % fraktion ( $p_2$ ) for vandmiljøets risiko og den resulterende risiko for vandmiljøet ( $P_2$ ), der afhænger af antal stikprøver. Med grønt angivet de tre typiske antal prøver, der tages på ferskvandsdambrug.

$p_1$	$P_1$	$n$	$k$	$p_2$	$P_2$
50	95	6	-0,8447	75	61,3001
50	95	7	-0,7468	75	54,6603
50	95	8	-0,6776	75	48,6786
50	95	9	-0,6251	75	43,2780
50	95	10	-0,5834	75	38,4045
50	95	11	-0,5492	75	34,0143
50	95	12	-0,5205	75	30,0685
50	95	13	-0,4960	75	26,5310
50	95	14	-0,4746	75	23,3675
50	95	15	-0,4559	75	20,5456
50	95	16	-0,4392	75	18,0344
50	95	17	-0,4242	75	15,8050
50	95	18	-0,4107	75	13,8301
50	95	19	-0,3984	75	12,0844
50	95	20	-0,3871	75	10,5442
50	95	21	-0,3768	75	9,1881
50	95	22	-0,3672	75	7,9961
50	95	23	-0,3584	75	6,9502
50	95	24	-0,3501	75	6,0339
50	95	25	-0,3424	75	5,2326
50	95	26	-0,3352	75	4,5326
50	95	27	-0,3285	75	3,9222
50	95	28	-0,3221	75	3,3906
50	95	29	-0,3161	75	2,9282
50	95	30	-0,3104	75	2,5264
50	95	31	-0,3050	75	2,1778
50	95	32	-0,2999	75	1,8757
50	95	33	-0,2950	75	1,6141
50	95	34	-0,2904	75	1,3878
50	95	35	-0,2859	75	1,1923
50	95	36	-0,2817	75	1,0236
50	95	37	-0,2776	75	0,8781
50	95	38	-0,2738	75	0,7527
50	95	39	-0,2700	75	0,6448
50	95	40	-0,2665	75	0,5519
50	95	41	-0,2630	75	0,4722
50	95	42	-0,2597	75	0,4036
50	95	43	-0,2566	75	0,3449
50	95	44	-0,2535	75	0,2945
50	95	45	-0,2505	75	0,2513
50	95	46	-0,2477	75	0,2143
50	95	47	-0,2449	75	0,1827
50	95	48	-0,2422	75	0,1556
50	95	49	-0,2396	75	0,1325
50	95	50	-0,2371	75	0,1127
50	95	51	-0,2347	75	0,0959
50	95	52	-0,2324	75	0,0815

Vi vil nu definere en yderligere metode kaldet metode 4, hvor der ikke logaritmetransformeres som i DS2399, men hvor justeringsfaktoren  $k$  fortsat beregnes ved anvendelse af formlerne i DS2399. Ved beregnes af justeringsfaktoren indgår bl.a.  $\beta$ , som fastlægges ud fra  $\bar{d}$  og  $s$  (beregnet i den oprindelige skala) ved anvendelse af følgende formel (fra Johnson et al., 1994) og for metode 4 kaldes  $\beta_4$ , så er

$$\beta_4 = \sqrt{\ln\left(1 + \frac{s^2}{\bar{d}^2}\right)},$$

Her står  $\ln$  for den naturlige logaritme,  $s$  er spredningen på nettoudledningerne og  $\bar{d}$  er gennemsnittet af nettoudledningerne. I denne metode udføres en DS2399 transportkontrol men på de ikke-logaritmetransformerede data.

I tabel 4 er sammenstillet fordele og ulemper ved de 4 transportkontrolmetoder, og som det beskrives, er der nogle udfordringer ved at overføre DS2399 (2006) til kontrol af TN og TP nettoudledninger på ferskvandsdambrug.

**Tabel 4.** Fordele og ulemper ved de 4 forskellige transportkontrolmetoder

Metode	Fordele	Ulemper
1: Transportkontrol jf. statistisk kontrolteori som oprindeligt defineret i Larsen og Svendsen (1998)	Beregningerne er nemme. Alle justeringsfaktorer for 6 til 52 stikprøver er angivet i tabel 3	Metode medfører at en stor spredning i nettoudledningerne baseret på de enkelte stikprøver giver en fordel for dambrugets mulighed for at overholde udlederkravene, da justeringsfaktorerne er negative. Dermed kan man i teorien også få accepteret en nettoudledning, der i gennemsnit er større end udlederkravet.
2: Transportkontrol i henhold til Dambrugsbekendtgørelsen (2012) og Larsen og Svenden (2002)	Beregningerne er nemme når tilpasningen omregnes til en tilstandskontrol (se formel 4 i kapitel 2) og alle justeringsfaktorer for mellem 6 og 52 stikprøver er angivet i tabel 1. Det er metoden for transportkontrol af TN og TP i Dambrugsbekendtgørelsen (2012)	Da justeringsfaktorerne er positive vil en større spredning i de enkelte nettoudledninger gøre det vanskeligere for udleder at overholde udlederkravene. Det har i praksis vist sig, at det har været vanskeligt for nogle dambrug at overholde udledegrænseværdierne med denne metode selv med relativt små spredninger på nettoudledninger medmindre gennemsnitsudledningerne har været noget under udlederkravet.
3: Transportkontrol i henhold til DS2399 (2006)	Hvis denne metode blev anvendt var kontrolmetoden for dambrug og andre punktkilder umiddelbart ens. Dog skal dambrug kontrolleres på nettoudledninger (stof i udløb minus stof i indløb) fremfor alene på udledninger som DS2399 (2006) foreskriver	Lidt sværere beregninger at gennemføre og justeringsfaktoren afhænger af spredningen i data. Store nettoudledninger fra stikprøver får mindre betydning og indflydelse grundet logaritmetransformationen. Hvis der er negative nettoudledninger skal der korrigeres for dette i kontrollen, hvilket ikke beskrives i DC2399 (2006), da den kun er lavet for udledninger. Tilbagetransformering af kontrolstørrelsen beregnes ikke korrekt i DS2399 (2006). Afhængigt af den relative størrelse på spredningen i udledningerne er justeringsfaktorerne negative eller positive (ved relativ stor spredning bliver den positiv).

4: DCE-AU's forslag til modificeret version af DS2399 (2006)	Grundlæggende er det samme metode som DS2399 (2006) men på nettoudledninger fremfor kun på udledninger. Der tages bedre højde for store udledninger, og der skal ikke laves logaritmetransformation på nettoudledningerne. Kontrollen bliver dermed teoretisk bedre, da man undgår at tilbagetransformere og der tages i højere grad højde for store nettoudledninger	Beregningerne er lidt mere komplicerede end metode 1 og 2, men er lettere end metode 3, da der ikke tages logaritme af nettoudledningerne og dermed ikke skal tages højde for evt. negative nettoudledninger og der skal heller ikke tilbagetransformeres. Men justeringsfaktor kommer nu til at afhænge af både gennemsnit og spredning af data. Afhængigt af den relative størrelse på spredningen i udledningerne er justeringsfaktorerne negative eller positive (ved moderat og stor spredning bliver den positiv).
--	---	--

### 3.5 Optimering af prøvetagning ved transportkontrol

For at undersøge, hvilken prøvetagningsstrategi samt hvilket prøveantal, der er bedst i transportkontrollen af dambrug, har vi anvendt data fra Døstrup Dambrug (se nærmere beskrivelse heraf i kapitel 2.2). Som ved tilstandskontrollen er der anvendt to forskellige strategier: systematisk og jævnt fordelte prøvetagninger over hele året og en strategi med flere prøver i perioden april til og med oktober, hvor den største del af produktionen er foregået. I lighed med tilstandskontrollen er der simuleret strategier med 6, 12 og 26 prøvetagninger med mindst 100 simuleringer for hver.

Simuleringerne viser, at den bedste strategi vil være at udtage 26 stikprøver jævnt fordelt henover kontrolperioden (tabel 5), som ligeledes kommer tættest på den rigtige gennemsnitsværdi og med mindst variation. Strategien med flest prøver i produktionsperioden giver for lave gennemsnitsværdier sammenlignet med den "sande" værdi, baseret på resultaterne fra egenkontrollerne fra Døstrup Dambrug.

**Tabel 5.** Simuleringsresultater (mindst 100 simuleringer for hver) for stofferne TN og TP (kg/uge) af nettoudledninger pr. uge. I parentes er angivet minimum og maksimum. Den sande værdi er baseret på målinger fra Døstrup Dambrug i kalenderåret 2001 (Fjorback et al., 2003).

Kontrolstof	Strategi	"Sand" gennemsnitsværdi (n=52)	Gennemsnit for 6 simulerede stikprøver	Gennemsnit for 12 simulerede stikprøver	Gennemsnit for 26 simulerede stikprøver
TN	Systematisk	22,7	24,3 (-21,6-87,3)	17,7 (-16,3-52,2)	19,4 (10,0-42,4)
	Flest i produktionsperiode		13,1 (-22,1-67,6)	9,29 (-20,7-45,8)	12,9 (-0,434-28,3)
TP	Systematisk	4,00	4,16 (2,95-5,24)	3,97 (3,32-4,85)	4,02 (3,49-4,45)
	Flest i produktionsperiode		3,80 (2,67-4,73)	3,88 (3,20-4,80)	3,86 (3,63-4,17)

Der er også simuleret på betydningen for den samlede stoftransport af prøvetagningsstrategien (tabel 6). Her vurderes på både bias (b) og præcision (p). Bias er den gennemsnitlige forskel mellem de simulerede stoftransporter og den sande stoftransport, mens præcisionen er et udtryk for afvigelse mellem gentagne simuleringer af stoftransporten (dvs. spredning i simuleringerne). Den samlede usikkerhed u findes som:

$$u = \sqrt{b^2 + p^2}$$

Man får simuleret den årlige transport klart bedst (med mindst bias og størst præcision) ved anvendelse af 26 årlige stikprøver. Der ser ikke umiddelbart ud til at være forskel på de to strategier (systematisk prøvetagning sammenlignet med flest prøver i sommerhalvåret) med hensyn til beregning af den samlede stoftransport, men det skal hertil bemærkes, at forskellen på produktionen i sommerhalvåret og vinterhalvåret ikke var særlig stor i 2001 for Døstrup Dambrug.

**Tabel 6.** Stoftransportberegninger for stofferne TN og TP. Tallene for "sand" transport er angivet i kg og er transporten for hele kontrolperioden (kalenderåret 2001). Bias og præcision (angivet i kg) er angivet for simuleringer med 6, 12 eller 26 stikprøver. Den sande værdi er baseret på målinger fra Døstrup Dambrug i kalenderåret 2001 (Fjorback et al., 2003).

Kontrolstof	Strategi	"Sand" stoftransport (n=52)	Bias og præcision	Bias og præcision	Bias og præcision
			for 6 simulerede stikprøver	for 12 simulerede stikprøver	for 26 simulerede stikprøver
TN	Systematisk	676,9	-24,6	-41,2	-22,8
	Flest i produktionsperiode		135	87,8	44,2
TP	Systematisk	125,2	-55,5	-40,6	-20,3
			105,3	83,1	50,3
	Flest i produktionsperiode		3,90	-0,378	0,888
			17,6	11,3	7,56
		-1,01	1,19	-0,200	
		13,19	11,83	9,34	



## 4 Sammenligning af kontrolmetoderne baseret på egenkontrol fra en række dambrug

### 4.1 Datagrundlag

DCE-AU har fra Dansk Akvakultur modtaget en række egenkontrolmålinger fra ferskvandsdambrug samt udlederkrav for disse i forbindelse med tidligere projekter samt nogle supplerende data til dette projekt. Dambrugene er anonymiserede og har fået et løbenummer. Der er tale om de samme egenkontrolldata som indberettes til kommunerne og anvendes ved kontrol af udledningerne fra Dambrug. DCE har haft en række kriterier, der skulle opfyldes til egenkontrolldata for at sikre, at data sætte er repræsentativt for de dambrug, der reguleres på udledninger og der er et tilstrækkeligt antal egenkontroller på et måleår til at lave de statistiske analyser. Det var samtidigt et krav at der kun er egenkontroller fra de seneste 4-5 år. Af de fremsendte data har DCE udvalgt 58 måleår fra i alt 34 dambrug, hvor et dambrug maksimalt indgår med 4 måleår. Dambrugene omfatter primært en række modeldambrug (type 3 og 1), men der indgår også data fra nogle klassiske dambrug. Der er kun valgt dambrug med mindst 12 og op til 26 egenkontrol prøver pr. måleår i ind- og udløb, og hvor DCE har vurderet at de vandkemiske analyseresultater har en tilstrækkelig kvalitet til at indgå i analysen. Desuden har der skullet være data for vandindtag og vandafledning for de pågældende måleår, så der kan beregnes en nettoudledning på alle dage, hvor der er analyseret vandkemiske parametre i indløb til- og udløb fra dambrugene. DCE har beregnet TN og TP (kg pr dag) i ind- og udløb og nettoudledningen af TN og TP på alle prøvetagningsdatoer i de 58 måleår. Datagrundlaget for vurderingen af de 4 udlederkontrolmetoder er opsummeret i tabel 4 i kapitel 3. Da formålet er at kontrollere forskellige kontrolmetoder ift. hinanden er udlederkravene ikke angivet, hvilket også skal sikre anonymiteten.

### 4.2 Beregninger

For 9 af dambrugene er der udvalgt 1 måleår og beregnet udlederkontrol med de 4 transportkontrolmetoder, så de kan sammenlignes og resultaterne vurderes ift. udlederkravene for TN og TP. Der er desuden beregnet med transportkontrolmetode 2 (den gældende metode jf. Dambrugsbekendtgørelsen, 2012) og den nye metode 4 for alle resterende 49 måleår. Der er udvalgt tre dambrug, hvor vi detaljeret viser de beregninger, der er gennemført, så det fremgår, hvordan de forskellige transportkontrolmetoder fungerer i detaljer, herunder hvordan justeringsfaktoren i DS2399 (2006) skal beregnes. De tre eksempler med egenkontrolmålinger er vist i henholdsvis tabel 7a og b, 8 a og b og 9a og b for henholdsvis TN (a) og TP (b). Beregning af justeringsfaktoren  $k$  til metode 3 og 4 er vist i tabel 10 a og b for de tre eksempler. For metode 1 og 2 findes  $k$  ved at slå op i henholdsvis tabel 3 og 1 med det angivne antal  $n$  prøver. For alle tre dambrug gælder at der på alle måledage har været positive nettoudledninger ( $d$ ), så der ikke har været behov for i metode 3 at skulle lægge noget til forskellen før der blev taget logaritme af  $d$ .

**Tabel 7a.** De fire transportkontrol metoder i tabel 4 anvendt på dambrug nr. 1 med 26 egenkontroller på et år for total kvælstof.  $d$  er den målte nettoudledning (kg/dag),  $\ln(d)$  er den naturlige logaritme af  $d$ .  $\bar{d}$  og  $s$  er henholdsvis gennemsnittet (kg/dag) og standardafvigelsen (kg/dag) af  $n$  nettoudledninger, hvor  $n$  er antal dage, der er målt nettoudledninger, mens  $\beta$  er standardafvigelsen på nettoudledninger, hvorpå der er taget naturlig logaritme.  $k_{transport}$  og  $k_{tilstand}$  er justeringsfaktoren og  $K_s$  er kontrolstørrelsen som ved kontrol af udledningerne holdes op mod udlederkravet for TN for dambruget. For metode 1 beregnes  $K_s = \bar{d} + k_{transport} \cdot s$ , hvor  $k_{transport}$  justeringsfaktoren findes i tabel 3 for  $n = 26$ . For metode 2 beregnes  $K_s = \bar{d} + k_{tilstand} \cdot s$ , hvor  $k_{tilstand}$  findes i tabel 1 for  $n = 26$ . Beregning af  $K_s$  for metode 3 fremgår af tabel 10a ud fra formlen  $\ln(K_s) = \alpha + k_{transport} \cdot \beta$ , hvor  $k_{transport}$  beregnes i tabel 8 og  $\alpha$  er logaritme transformeret  $\bar{d}$  og  $\beta$  logaritme transformeret  $s$ . For metode 4 beregnes  $K_s$  også jf. tabel 10a, men uden der tages naturlig logaritme af  $d$  og hvor  $\beta$  er erstattet af  $\beta_4 = \sqrt{\ln\left(1 + \frac{s^2}{\bar{d}^2}\right)}$ , så  $K_s = \bar{d} + k_{transport} \cdot s$  og  $k_{transport}$  beregnes ud fra  $k$  i tabellen 10a med  $\beta$  erstattet af  $\beta_4$ .

	Metode 1	Metode 2	Metode3	Metode 4			
	d (kg/dag)	d (kg/dag)	ln(d)	d (kg/dag)			
	17,6	17,6	2,9	17,6			
	45,3	45,3	3,8	45,3			
	17,3	17,3	2,8	17,3			
	30,4	30,4	3,4	30,4			
	12,5	12,5	2,5	12,5			
	31,6	31,6	3,5	31,6			
	11,8	11,8	2,5	11,8			
	61,9	61,9	4,1	61,9			
	13,7	13,7	2,6	13,7			
	52,4	52,4	4,0	52,4			
	32,4	32,4	3,5	32,4			
	55,8	55,8	4,0	55,8			
	37,0	37,0	3,6	37,0			
	65,7	65,7	4,2	65,7			
	30,2	30,2	3,4	30,2			
	48,2	48,2	3,9	48,2			
	35,4	35,4	3,6	35,4			
	61,3	61,3	4,1	61,3			
	55,8	55,8	4,0	55,8			
	56,8	56,8	4,0	56,8			
	47,0	47,0	3,9	47,0			
	45,4	45,4	3,8	45,4			
	48,2	48,2	3,9	48,2			
	43,6	43,6	3,8	43,6			
	60,0	60,0	4,1	60,0			
	52,4	52,4	4,0	52,4			
$\bar{d}$	41,1	$\bar{d}$	41,1	$\alpha$	3,6	$\bar{d}$	41,1
$s$	16,6	$s$	16,6	$\beta$	0,5	$s$	16,6
$n$	26	$n$	26	$n$	26	$n$	26
$k_{transport}$	-0,3352	$k_{tilstand}$	0,5035	$k_{transport}$	-0,061	$k_{transport}$	-0,13
				$\ln(K_s)$	3,6	$\beta_4$	0,389
$K_s$	35,6	$K_s$	49,5	$K_s$	35,7	$K_s$	39,0

**Tabel 7b.** Som tabel 7a men for total fosfor. Se i øvrigt tabel forklaring til tabel 7a.

	<b>Metode 1</b>		<b>Metode 2</b>		<b>Metode3</b>		<b>Metode 4</b>
	<b>d (kg/dag)</b>		<b>d (kg/dag)</b>		<b>ln(d)</b>		<b>d (kg/dag)</b>
	1,978		1,978		0,682		1,978
	2,805		2,805		1,031		2,805
	3,502		3,502		1,253		3,502
	5,257		5,257		1,660		5,257
	2,214		2,214		0,795		2,214
	2,071		2,071		0,728		2,071
	3,357		3,357		1,211		3,357
	3,629		3,629		1,289		3,629
	2,246		2,246		0,809		2,246
	1,949		1,949		0,667		1,949
	3,796		3,796		1,334		3,796
	2,994		2,994		1,097		2,994
	2,072		2,072		0,728		2,072
	2,372		2,372		0,864		2,372
	1,913		1,913		0,649		1,913
	2,488		2,488		0,912		2,488
	1,506		1,506		0,409		1,506
	3,520		3,520		1,258		3,520
	1,523		1,523		0,421		1,523
	3,158		3,158		1,150		3,158
	2,285		2,285		0,826		2,285
	3,046		3,046		1,114		3,046
	3,790		3,790		1,332		3,790
	3,883		3,883		1,357		3,883
	3,538		3,538		1,264		3,538
	3,344		3,344		1,207		3,344
$\bar{d}$	2,9	$\bar{d}$	2,9	$\alpha$	1,0	$\bar{d}$	2,9
s	0,9	s	0,9	$\beta$	0,3	s	0,9
n	26	n	26	n	26	n	26
$k_{transport}$	-0,335	$K_{tilstand}$	0,5035	$k_{transport}$	-0,17	$k_{transport}$	-0,17
				$ln(Ks)$	0,9	$\beta_4$	0,3054
$Ks$	2,6	$Ks$	3,3	$Ks$	2,6	$Ks$	2,7

**Tabel 8a.** De fire metoder i tabel 7.a til transportkontrol anvendt på dambrug 2 med 26 egenkontroller på et år for total kvælstof. Se i øvrigt tabel forklaring til tabel 7a.

	<b>Metode 1</b>		<b>Metode 2</b>		<b>Metode 3</b>		<b>Metode 4</b>
	<b>d (kg/dag)</b>		<b>d (kg/dag)</b>		<b>ln(d)</b>		<b>d (kg/dag)</b>
	53,2		53,2		4,0		53,2
	30,4		30,4		3,4		30,4
	41,8		41,8		3,7		41,8
	41,8		41,8		3,7		41,8
	45,6		45,6		3,8		45,6
	26,6		26,6		3,3		26,6
	34,2		34,2		3,5		34,2
	30,4		30,4		3,4		30,4
	45,6		45,6		3,8		45,6
	68,4		68,4		4,2		68,4
	60,8		60,8		4,1		60,8
	68,4		68,4		4,2		68,4
	53,2		53,2		4,0		53,2
	11,4		11,4		2,4		11,4
	64,6		64,6		4,2		64,6
	64,6		64,6		4,2		64,6
	64,6		64,6		4,2		64,6
	95,0		95,0		4,6		95,0
	72,2		72,2		4,3		72,2
	76,0		76,0		4,3		76,0
	79,8		79,8		4,4		79,8
	22,8		22,8		3,1		22,8
	64,6		64,6		4,2		64,6
	53,2		53,2		4,0		53,2
	17,8		17,8		2,9		17,8
	52,1		52,1		4,0		52,1
$\bar{d}$	51,5	$\bar{d}$	51,5	$\alpha$	3,8	$\bar{d}$	51,5
s	20,7	s	20,7	$\beta$	0,5	s	20,7
n	26	n	26	n	26	n	26
$k_{transport}$	-0,3352	$k_{tilstand}$	0,5035	$k_{transport}$	-0,0677	$k_{transport}$	-0,13
				$ln(Ks)$	3,8	$\beta_4$	0,394
$Ks$	44,6	$Ks$	62,0	$Ks$	44,9	$Ks$	48,8

**Tabel 8b.** De fire metoder i tabel 7.a til transportkontrol anvendt på dambrug 2 med 26 egenkontroller på et år for total fosfor.  
Se i øvrigt tabel forklaring til tabel 7a.

	<b>Metode 1</b>		<b>Metode 2</b>		<b>Metode 3</b>		<b>Metode 4</b>
	<b>d (kg/dag)</b>		<b>d (kg/dag)</b>		<b>ln(d)</b>		<b>d (kg/dag)</b>
	1,2		1,2		0,2		1,2
	1,8		1,8		0,6		1,8
	2,0		2,0		0,7		2,0
	2,9		2,9		1,1		2,9
	2,4		2,4		0,9		2,4
	3,2		3,2		1,2		3,2
	4,8		4,8		1,6		4,8
	3,0		3,0		1,1		3,0
	3,8		3,8		1,3		3,8
	3,6		3,6		1,3		3,6
	5,6		5,6		1,7		5,6
	3,5		3,5		1,3		3,5
	0,4		0,4		-0,8		0,4
	9,6		9,6		2,3		9,6
	1,3		1,3		0,3		1,3
	1,3		1,3		0,3		1,3
	0,9		0,9		-0,1		0,9
	0,4		0,4		-0,9		0,4
	0,5		0,5		-0,7		0,5
	0,9		0,9		-0,1		0,9
	0,6		0,6		-0,5		0,6
	1,0		1,0		0,0		1,0
	0,9		0,9		-0,1		0,9
	0,6		0,6		-0,5		0,6
	0,4		0,4		-0,9		0,4
	1,4		1,4		0,3		1,4
$\bar{d}$	2,2	$\bar{d}$	2,2	$\alpha$	0,4	$\bar{d}$	2,2
s	2,1	s	2,1	$\beta$	0,9	s	2,1
n	26	n	26	n	26	n	26
$k_{transport}$	-0,335	$k_{tilstand}$	0,5035	$k_{transport}$	0,12	$k_{transport}$	0,07
				ln( $K_s$ )	0,5	$\beta_4$	0,7909
$K_s$	1,5	$K_s$	3,3	$K_s$	1,7	$K_s$	2,4

**Tabel 9a.** De fire metoder i tabel 4 til transportkontrol anvendt på dambrug 3 med 24 egenkontroller på et år for total kvælstof. Se i øvrigt tabel forklaring til tabel 7a.

	<b>Metode 1</b>	<b>Metode 2</b>	<b>Metode 3</b>	<b>Metode 4</b>			
	<b>d (kg/dag)</b>	<b>d (kg/dag)</b>	<b>ln(d)</b>	<b>d (kg/dag)</b>			
	75,1	75,1	4,3	75,1			
	52,5	52,5	4,0	52,5			
	56,3	56,3	4,0	56,3			
	82,8	82,8	4,4	82,8			
	67,7	67,7	4,2	67,7			
	75,4	75,4	4,3	75,4			
	79,0	79,0	4,4	79,0			
	109,2	109,2	4,7	109,2			
	101,5	101,5	4,6	101,5			
	102,1	102,1	4,6	102,1			
	67,3	67,3	4,2	67,3			
	82,4	82,4	4,4	82,4			
	55,8	55,8	4,0	55,8			
	48,3	48,3	3,9	48,3			
	78,1	78,1	4,4	78,1			
	81,8	81,8	4,4	81,8			
	74,5	74,5	4,3	74,5			
	70,7	70,7	4,3	70,7			
	85,9	85,9	4,5	85,9			
	63,5	63,5	4,2	63,5			
	93,7	93,7	4,5	93,7			
	58,3	58,3	4,1	58,3			
	42,0	42,0	3,7	42,0			
	47,3	47,3	3,9	47,3			
$\bar{d}$	73,0	$\bar{d}$	73,0	$\alpha$	4,3	$\bar{d}$	73,0
s	18,1	s	18,1	$\beta$	0,3	s	18,1
n	24	n	24	n	24	n	24
$k_{\text{transport}}$	-0,3501	$k_{\text{tilstand}}$	0,4907	$k_{\text{transport}}$	-0,21	$k_{\text{transport}}$	-0,22
				ln( $K_s$ )	4,2	$\beta_4$	0,394
$K_s$	66,6	$K_s$	81,8	$K_s$	67,0	$K_s$	69,0

**Tabel 9b.** De fire metoder i tabel 4 til transportkontrol anvendt på dambrug 3 med 24 egenkontroller på et år for total fosfor. Se i øvrigt tabel forklaring til tabel 7a.

	<b>Metode 1</b>	<b>Metode 2</b>	<b>Metode 3</b>	<b>Metode 4</b>			
	<b>d (kg/dag)</b>	<b>d (kg/dag)</b>	<b>ln(d)</b>	<b>d (kg/dag)</b>			
	1,2	1,2	1,8	1,2			
	2,3	2,3	2,0	2,3			
	0,4	0,4	1,7	0,4			
	-0,3	-0,3	1,6	-0,3			
	2,7	2,7	2,0	2,7			
	6,5	6,5	2,4	6,5			
	0,8	0,8	1,8	0,8			
	-0,9	-0,9	1,4	-0,9			
	-1,7	-1,7	1,2	-1,7			
	-1,6	-1,6	1,2	-1,6			
	0,9	0,9	1,8	0,9			
	1,9	1,9	1,9	1,9			
	5,0	5,0	2,3	5,0			
	3,6	3,6	2,1	3,6			
	2,8	2,8	2,1	2,8			
	1,3	1,3	1,8	1,3			
	5,8	5,8	2,4	5,8			
	2,1	2,1	2,0	2,1			
	-2,6	-2,6	0,9	-2,6			
	-0,2	-0,2	1,6	-0,2			
	-4,7	-4,7	-1,3	-4,7			
	0,1	0,1	1,6	0,1			
	0,3	0,3	1,7	0,3			
	-2,4	-2,4	1,0	-2,4			
$\bar{d}$	1,0	$\bar{d}$	1,0	$\alpha$	1,6	$\bar{d}$	1,0
s	2,7	s	2,7	$\beta$	0,7	s	2,7
n	24	n	24	n	24	n	24
$k_{\text{transport}}$	-0,35	$k_{\text{tilstand}}$	0,4907	$k_{\text{transport}}$	0,03	$k_{\text{transport}}$	0,39
				ln( $K_s$ )	1,6	$\beta_4$	1,466
$K_s$	0,04	$K_s$	2,29	$K_s$	0,20	$K_s$	2,02

**Tabel 10a.** Beregning af justeringsfaktor ved transportkontrol af total kvælstof jf. DS2399 (2006) (metode 3) og for metode 4 baseret på egenkontrollerne for de tre dambrug i tabel 7a (dambrug 1), 8a (dambrug 2) og 9a (dambrug 3) (ved metode 1 og 2 anvendes henholdsvis tabel 3 og 1 ud fra antal egenkontroller  $n = 26$  (dambrug 1 og 2) og  $n = 24$  (dambrug 3)). Bemærk der ved metode 4 anvendes  $\beta_4$  fremfor  $\beta$  i formlen for  $\delta$  og der tages ikke naturlig logaritme af egenkontrollværdierne.

Beregning af justeringsfaktor		Dambrug		Dambrug		Dambrug	
		Nr. 1		Nr. 2		Nr. 3	
		Met. 3	Met.4	Met. 3	Met.4	Met. 3	Met.4
$k = \frac{t_o}{\sqrt{n}}$	$k =$	-0,06	-0,13	-0,07	-0,13	-0,21	-0,22
$v = n - 1$	$v =$	25	25	25	25	23	23
$\delta = \sqrt{n} \cdot (-\beta)/2$	$\delta =$	-1,34	-0,99	-1,30	-1,01	-0,63	-0,60
$A = \frac{1,6449^2}{2 \cdot v} - (1 - \frac{1}{4 \cdot v})^2$	$A =$	-0,93	-0,93	-0,93	-0,93	-0,92	-0,92
$B = -2 \cdot \delta \cdot (1 - \frac{1}{4 \cdot v})$	$B =$	2,65	1,96	2,58	1,99	1,24	1,18
$D = 1,6449^2 - \delta^2$	$D =$	0,92	1,72	1,00	1,70	2,31	2,35
$E = B^2 - 4 \cdot A \cdot D$	$E =$	10,4	10,2	10,4	10,2	10,0	10,0
$t_o = \frac{\sqrt{E} - B}{2 \cdot A}$	$t_o =$	-0,313	-0,67	-0,3454	-0,653	-1,05	-1,08
$\beta_4 = \sqrt{\ln(1 + \frac{s^2}{\bar{d}^2})}$	$\beta_4 =$		0,389		0,394		0,244
$\ln(Ks) = \alpha + k \cdot \beta$	$\ln(Ks) =$	3,6		3,8		4,2	



**Tabel 10b.** Beregning af justeringsfaktor ved transportkontrol af total fosfor kvælstof jf. DS2399 (2006) (metode 3) og for metode 4 baseret på egenkontrollerne for de tre dambrug i tabel 7b (dambrug 1), 8b (dambrug 2) og 9b (dambrug 3) (ved metode 1 og 2 anvendes henholdsvis tabel 3 og 1 ud fra antal egenkontroller  $n = 26$  (dambrug 1 og 2) og  $n=24$  (dambrug 3). Bemærk der ved metode 4 anvendes  $\beta_4$  fremfor  $\beta$  i formlen for  $\delta$  og der tages ikke naturlig logaritme af egenkontrollværdierne.

Beregning af justeringsfaktor		Dambrug		Dambrug		Dambrug	
		Nr. 1		Nr. 2		Nr. 3	
		Met. 3	Met.4	Met. 3	Met.4	Met. 3	Met.4
$k = \frac{t_o}{\sqrt{n}}$	$k =$	-0,17	-0,17	0,12	0,07	0,03	0,39
$v = n - 1$	$v =$	25	25	25	25	23	23
$\delta = \sqrt{n} \cdot (-\beta)/2$	$\delta =$	-0,81	-0,78	-2,26	-2,02	-1,81	-3,59
$A = \frac{1,6449^2}{2 \cdot v} - (1 - \frac{1}{4 \cdot v})^2$	$A =$	-0,93	-0,93	-0,93	-0,93	-0,92	-0,92
$B = -2 \cdot \delta \cdot (1 - \frac{1}{4 \cdot v})$	$B =$	1,60	1,54	4,47	3,99	3,58	7,10
$D = 1,6449^2 - \delta^2$	$D =$	2,05	2,10	-2,40	-1,36	-0,57	-10,19
$E = B^2 - 4 \cdot A \cdot D$	$E =$	10,2	10,2	11,1	10,9	10,7	13,0
$t_o = \frac{\sqrt{E} - B}{2 \cdot A}$	$t_o =$	-0,859	-0,888	0,614	0,373	0,166	1,904
$\beta_4 = \sqrt{\ln(1 + \frac{s^2}{\bar{d}^2})}$	$\beta_4 =$		0,305		0,791		1,466
$\ln(Ks) = \alpha + k \cdot \beta$	$\ln(Ks) =$	0,9		0,5		1,6	

### 4.3 Sammenligning af resultater med de forskellige kontrolmetoder

For bedre at kunne sammenligne de tre dambrug i tabellerne 7-9 trods forskelle i middelværdier af nettoudledningerne ( $\bar{d}$ ) og standardafvigelse ( $s$  eller  $\beta$  (metode 3)) beregnes den relative standardafvigelse udtrykt ved variationskoefficienten  $CV$  er defineret som:

$$CV = \frac{s}{\bar{d}} \cdot 100\%$$

Her er  $CV$  for dambrug 1: 40 % for TN og 31 % for TP, for dambrug 2: 40% for TN og 95 % for TP og for dambrug 3: 25 % for TN og 270 % for TP. Dambrug 2 og 3 har en relativ stor variation i nettoudledningen af TP, mens der er en relativ lille variation i TN udledningerne fra de tre dambrug og for TP for dambrug 1.

Tabel 7a, 8a og 9a viser at med kontrolmetoden i Dambrugsbekendtgørelsen (2012) - metode 2 - overskrider kontrolstørrelsen  $K_s$  for alle tre dambrug udlederkravet selv om gennemsnittet af nettoudledningerne for de tre dambrug ligger under udledergrænseværdien, mens udlederkravet i hvert tilfælde overholdes, når der kontrolleres med den nyudviklede metode og ved metode 1 og 3.

I tabel 11a og 11b sammenlignes den beregnede kontrolstørrelse  $K_s$  fra de 4 transportkontrolmetoder for ni dambrug (dog kun 7 for total fosfor grundet manglende fosfordata fra 2 af dambrugene). I tabellerne er også medtaget antal prøvetagninger i måleåret, middelværdien for nettoudledninger samt spredningen. Det fremgår heraf at  $K_s$  beregnet med de 4 metoder giver en rækkefølgende angivet fra den lempeligste for udlederen til den strengeste i alle tilfælde: metode 1  $\leq$  metode 3 < metode 4 < metode 2. I praksis er metode 1 og 3 stort set lige lempelige, mens metode 4 er lidt mindre lempelig end metode 2 (nuværende metode i Dambrugsbekendtgørelsen (2012) som reelt er en tilstandskontrol men på udledninger). Dette er illustreret i tabellen ved det i parentes er angivet, hvor mange %  $K_s$  beregnet med metode 1, 3 og 4 udgør af  $K_s$  beregnet med metode 2 (idet  $K_s$  beregnet med metode 2 er sat til 100 %). Det fremgår tydeligt at metode 2 men også metode 4 giver væsentligt højere kontrolstørrelse  $K_s$  sammenlignet med metode 1 og 3 når den relative spredning ( $s/\bar{d}$ ) er stor som f.eks. dambrug 9 for TN og TP og også dambrug 3 og 6 for TP. I beregningseksemplerne kan man se, at de gennemsnitlige udledninger kan ligge meget tæt på udledergrænseværdien men samtidig overholde udlederkravet med metode 1, 3 og 4 selv om op mod 50 % af de målte nettoudledninger ligger over udledergrænseværdien. Dette er ikke muligt ved metode 2.

**Tabel 11.a.** Sammenligning af kontrolværdien  $K_s$  (kg/dag) ved de fire transportkontrolmetoder 1 til 4 for 9 dambrug i et måleår. Der er desuden angivet antal  $n$  prøvetagninger (antal), middelværdien ( $\bar{d}$  i kg/dag) af og spredning ( $s$  i kg/dag) på de  $n$  målte nettoudledninger. I parentes er angivet hvor mange %  $K_s$  beregnet med metode 1, 3 og 4 udgør af  $K_s$  beregnet med metode 2 ( $K_s$  beregnet med metode 2 er sat til 100 %).

Nr.	Antal	Middel ( $\mu$ )	Spredning (s)	Metode 1	Metode 2	Metode 3	Metode 4
1	26	41,1	16,6	35,6 (72 %)	49,5 (100 %)	35,7 (72 %)	39,0 (79 %)
2	26	51,1	21,1	44,6 (72 %)	62,0 (100 %)	44,9 (72 %)	48,8 (79 %)
3	24	73,0	18,1	66,6 (81 %)	81,8 (100 %)	67,0 (82 %)	69,0 (84 %)
4	21	54,1	11,0	49,9 (84 %)	59,3 (100 %)	49,9 (84 %)	51,1 (86 %)
5	26	20,6	7,7	18,0 (74 %)	24,4 (100 %)	18,3 (75 %)	19,5 (80 %)
6	23	49,1	9,2	45,8 (86 %)	53,5 (100 %)	46,1 (86 %)	46,7 (87 %)
7	26	27,8	9,7	24,5 (75 %)	32,6 (100 %)	25,3 (78 %)	26,2 (80 %)
8	26	6,9	3,4	5,7 (66 %)	8,6 (100 %)	5,9 (69 %)	6,6 (77 %)
9	23	7,9	10,6	4,1 (32 %)	13,0 (100 %)	5,2 (40 %)	9,6 (74 %)

**Tabel 11.b.** Som tabel 11.a med for total fosfor. DCE har ikke modtaget total fosfor data for dambrug nr. 5 og 7.

Nr.	Antal	Middel ( $\mu$ )	Spredning (s)	Metode 1	Metode 2	Metode 3	Metode 4
1	26	2,9	0,9	2,6 (79 %)	3,3 (100 %)	2,6 (79 %)	2,7 (82 %)
2	26	2,2	2,1	1,5 (45 %)	3,3 (100 %)	1,7 (52 %)	2,4 (73 %)
3	24	1,0	2,7	0,04 (2 %)	2,3 (100 %)	0,20 (9 %)	2,0 (87 %)
4	21	2,2	1,0	1,8 (69 %)	2,6 (100 %)	1,9 (73 %)	2,0 (77 %)
5							
6	23	1,0	1,9	0,3 (16 %)	1,9 (100 %)	0,4 (21 %)	1,5 (79 %)
7							
8	26	0,4	0,3	0,3 (60 %)	0,5 (100 %)	0,3 (60 %)	0,4 (80 %)
9	23	0,8	1,1	0,4 (31 %)	1,3 (100 %)	0,5 (38 %)	1,0 (77 %)

Den store forskel på metode 2 sammenlignet med metode 1 består i, at spredning i udledningerne gør det sværere at overholde udlederkravene (da justeringsfaktoren er positiv), hvor metode 1 altid har en negativ justeringsfaktor. Det virker umiddelbart uhensigtsmæssigt, hvis det ved overgangen fra tilstandskontrol til transportkontrol på TN og TP skulle blive lettere at overholde udlederkravene ved øget spredning i udledningerne, hvor det ved tilstandskontrollen modsat bliver vanskeligere at overholde disse. Det var også årsagen til, at der blev udviklet en metode, der tilpassede udlederkravene ved overgangen fra tilstands- til transportkontrol (metode 2). I de tre viste eksempler (tabel 7-10) er justeringsfaktoren  $k_{transport}$  også negativ for metode 3 og 4, således at spredning i nettoudledningerne umiddelbart gør det lettere at overholde udlederkravene.

Men hvis spredningen bliver stor ift. gennemsnittet af nettoudledningerne, bliver  $k_{transport}$  positiv ved begge metoder. Dette er vist i tabel 12, hvor nettoudledningerne fra dambrug 2 for TN som en test er blevet ændret, således at:

- nettoudledningen i gennemsnit er uændret 51,5 kg/døgn (som i tabel 8a)
- der er samme antal prøver over udlederkravet
- spredningen er ændret fra 20,7 kg/døgn (tabel 8.a) til 52,0 kg/døgn (som dækker over en variation i nettoudledningerne på en faktor 100 hen over året).

Konsekvensen bliver, at udlederkravet nu kun er overholdt ( $K_s < U$ ) ved metode 1 og 3, mens det ikke længere er tilfældet ved metode 4. For metode 1 falder  $K_s$  fra 44,6 (tabel 6) til 34,1 og understreger metodens svaghed omkring, at større spredning gør det lettere at overholde udlederkravet. For de tre øvrige metoder stiger  $K_s$ : metode 2 fra 62,0 til 77,7; metode 3 fra 44,9 til 51,6 og for metode 4 fra 48,8 til 56,4.

Med så stor en spredning som i eksemplet i tabel 12 på nettoudledningerne og en gennemsnitlig nettoudledning, der kun ligger 9,5 % under udledergrænseværdien (51,5 kg/døgn mod 54 kg/døgn), virker det fagligt hensigtsmæssigt, at transportkontrolmetoden burde vurdere udlederkravet til at være overskredet, som metode 4 netop også gør.

I tabel 13a og 13b sammenfattes for 30 dambrug med i alt 49 måleårs resultatet af at beregne kontrolstørrelsen  $K_s$  ved transportkontrol for TN (tabel 13a) og TP (tabel 13b) med henholdsvis metode 2 (Dambrugsbekendtgørelsen, 2012) og metode 4.

**Tabel 12.** Se forklaring til tabel 7a. For dambrug 2 er nettoudledningerne af total kvælstof ændret således at gennemsnit af nettoudledningerne ( $\bar{d}$ ) og antal prøver over udlederkravet (U) er som i tabel 6, men spredning (s ( $\beta$  ved metode 3)) er gjort væsentligt større. Tabellen viser betydningen af øget spredning for den beregnede kontrolstørrelse Ks (sammenlign med tabel 8a). CV er variationskoefficienten som ved metode 1, 2 og 4 er øget fra 40 til 103 % ift. tabel 6 og for metode 3 fra 13 til 60 %.

	<b>Metode 1</b>		<b>Metode 2</b>		<b>Metode 3</b>		<b>Metode 4</b>
	<b>d (kg/dag)</b>		<b>d (kg/dag)</b>		<b>ln(d)</b>		<b>d (kg/dag)</b>
	55,0		55,0		4,0		55,0
	28,0		28,0		3,3		28,0
	62,0		62,0		4,1		62,0
	21,0		21,0		3,0		21,0
	56,0		56,0		4,0		56,0
	16,0		16,0		2,8		16,0
	35,0		35,0		3,6		35,0
	31,0		31,0		3,4		31,0
	46,0		46,0		3,8		46,0
	118,0		118,0		4,8		118,0
	10,0		10,0		2,3		10,0
	110,0		110,0		4,7		110,0
	1,5		1,5		0,4		1,5
	15,0		15,0		2,7		15,0
	73,0		73,0		4,3		73,0
	125,0		125,0		4,8		125,0
	5,0		5,0		1,6		5,0
	166,0		166,0		5,1		166,0
	1,1		1,1		0,1		1,1
	162,0		162,0		5,1		162,0
	1,0		1,0		0,0		1,0
	1,2		1,2		0,2		1,2
	1,0		1,0		0,0		1,0
	1,1		1,1		0,1		1,1
	98,0		98,0		4,6		98,0
	100,0		100,0		4,0		100,0
$\bar{d}$	51,5	$\bar{d}$	51,5	$\alpha$	3,0	$\bar{d}$	51,5
s	52,0	s	52,0	$\beta$	1,8	s	52,0
n	26	n	26	n	26	n	26
$k_{\text{transport}}$	-0,335	$k_{\text{tilstand}}$	0,5035	$k_{\text{transport}}$	0,55253	$k_{\text{transport}}$	0,10
				ln(Ks)	3,9	$\beta_4$	0,838
Ks	34,1	Ks	77,7	Ks	51,6	Ks	56,4
U	54,0	U	54,0	U	54,0	U	54,0
CV	101 %	CV	101 %	CV	61 %	CV	101 %

**Tabel 13.a.** Sammenligning af kontrolstørrelsen Ks (kg/dag) ved transportkontrol med henholdsvis metode 2 (Dambrugsbekendtgørelsen, 2012) og metode 4 udviklet i denne rapport for 30 dambrug med 49 måleår ("Nr.") for total kvælstof. "Antal" er antal prøver i måleåret for måleår nr. xx, "middel" og "spredning" er den gennemsnitlige nettoudledning (kg/dag) og spredning heri (kg/dag) for dambruget. (Måleår 1-9 omtales i tabel 11a).

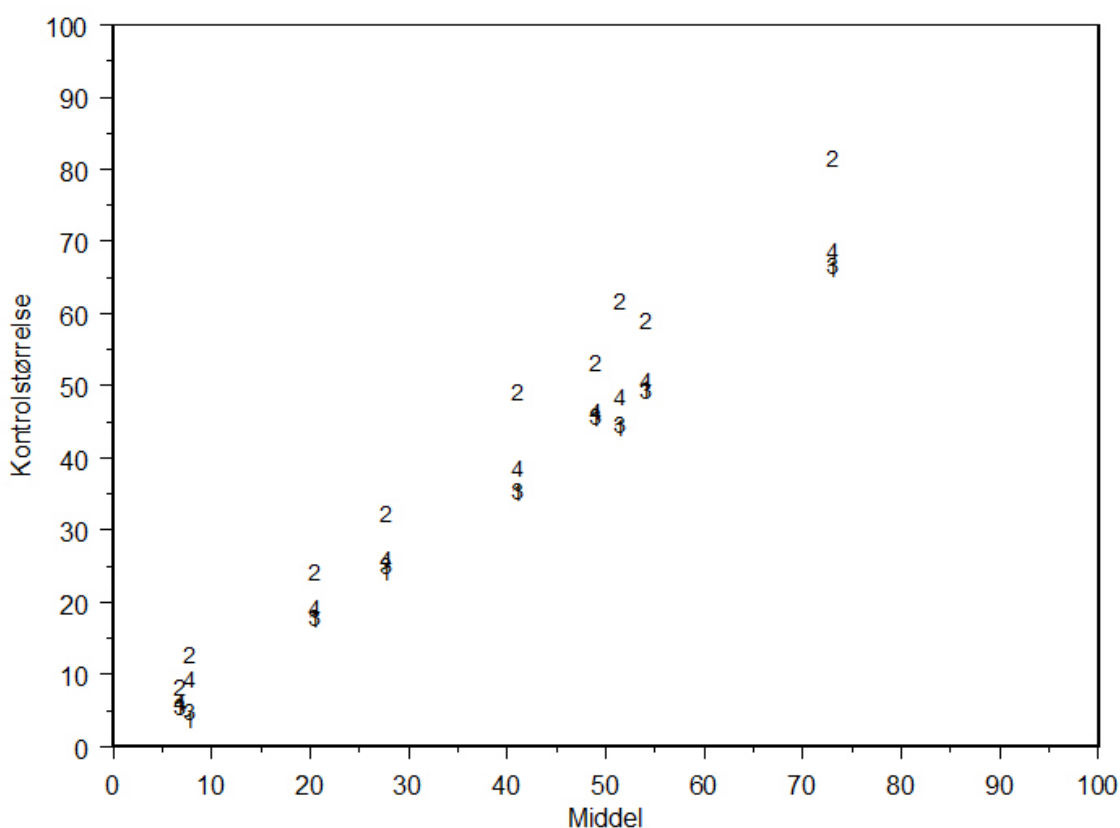
Nr.	Antal	Middel	Spredning	Metode 2	Metode 4
10	26	36,8	13,6	43,6	34,8
11	21	54,1	11,0	59,3	51,1
12	12	33,9	8,0	36,8	30,8
13	26	20,6	7,7	24,4	19,5
14	24	73,0	18,1	81,8	69,0
15	24	22,4	7,7	26,2	21,1
16	23	49,1	9,2	53,5	46,7
17	22	2,6	2,5	3,8	2,8
18	24	46,2	10,1	51,2	43,8
19	23	80,5	21,3	90,8	75,8
20	25	86,4	27,0	99,8	81,5
21	26	27,6	9,8	32,5	26,1
22	12	33,9	7,9	36,7	30,8
23	12	28,7	6,1	30,9	26,2
24	23	47,3	10,2	52,3	44,8
25	26	44,3	16,9	52,8	42,0
26	25	2,4	2,8	3,8	2,8
27	8	10,7	2,0	11,2	9,6
28	20	9,3	2,9	10,6	8,6
29	26	8,4	10,4	13,7	10,1
30	24	19,8	5,8	22,6	18,6
31	23	7,9	10,6	13,0	9,6
32	24	10,1	6,0	13,0	9,7
33	24	6,2	3,8	8,0	6,0
34	24	2,1	1,4	2,8	2,1
35	20	8,1	4,3	10,1	7,6
36	26	6,7	3,4	8,5	6,4
37	26	18,1	5,2	20,8	17,2
38	13	16,2	8,3	19,4	14,4
39	9	25,7	5,0	27,2	23,2
40	25	13,3	6,9	16,7	12,7
41	26	9,3	5,0	11,8	8,9
42	26	96,4	24,2	108,5	91,4
43	26	70,4	23,8	82,3	66,5
44	12	1,2	1,2	1,7	1,2
45	12	1,8	1,2	2,2	1,6
46	12	8,3	12,4	12,8	9,2
47	12	11,6	6,5	13,9	10,1
48	12	9,5	7,4	12,1	8,5
49	11	-0,1	6,2	2,0	5,6
50	12	-1,8	14,6	3,5	6,0
51	13	1,1	0,7	1,4	1,0
52	10	19,8	6,1	21,7	17,3
53	11	22,5	9,0	25,5	19,5
54	12	18,3	37,9	31,9	24,8
55	25	21,5	4,6	23,8	20,5
56	12	15,4	7,9	18,3	13,5
57	12	13,1	4,5	14,8	11,7
58	12	17,6	6,9	20,1	15,5

**Tabel 13.b.** Sammenligning af kontrolstørrelsen Ks (kg/dag) ved transportkontrol med henholdsvis metode 2 (Dambrugsbekendtgørelsen, 2012) og metode 4 udviklet i denne rapport for 30 dambrug med 49 måleår for total fosfor. "Antal" er antal prøver i måleåret for måleår nr. xx, "middel" og "spredning" er den gennemsnitlige nettoudledning (kg/dag) og spredninger heri (kg/dag) for dambruget. (Måleår 1-9 omtales i tabel 11b).

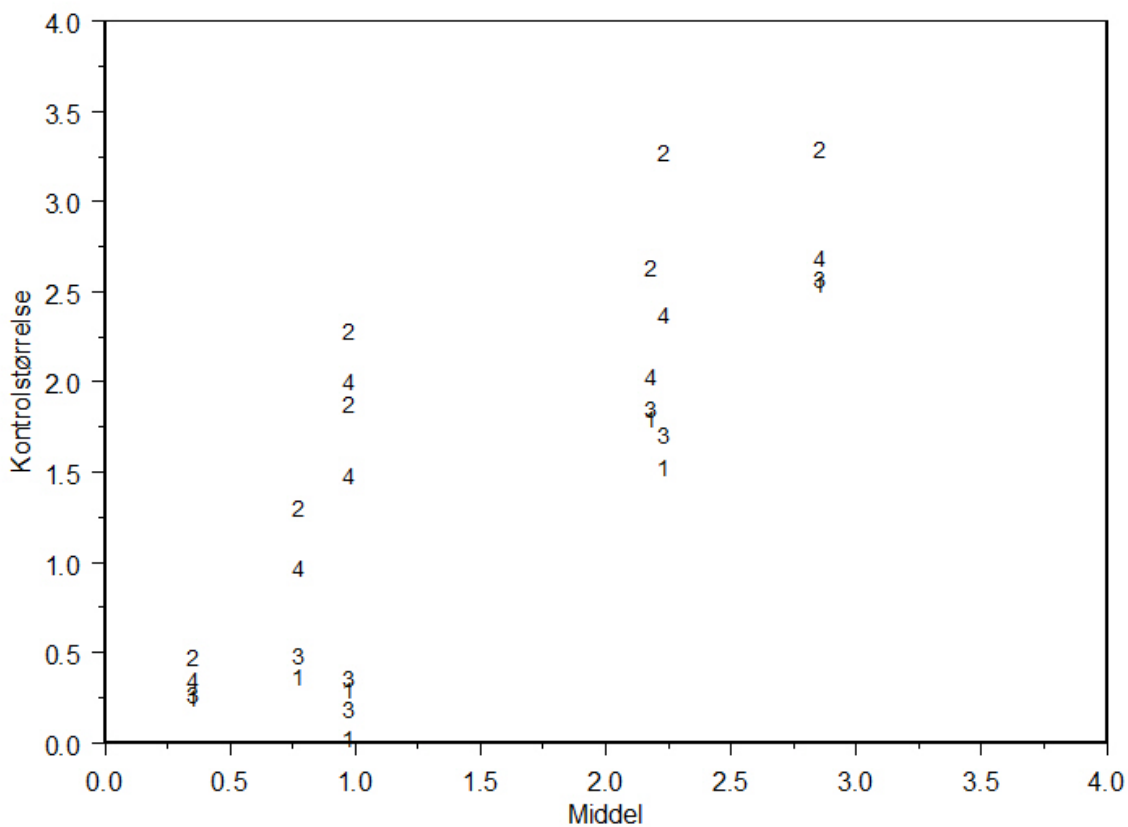
<b>Nr.</b>	<b>Antal</b>	<b>Middel</b>	<b>Spredning</b>	<b>Metode 2</b>	<b>Metode 4</b>
10	26	0,287	0,431	0,504	0,381
11	21	2,182	0,993	2,646	2,037
12	12	0,694	0,223	0,774	0,618
13	26	2,233	2,082	3,281	2,385
14	24	0,975	2,685	2,294	2,019
15	24	1,875	0,904	2,319	1,776
16	23	0,977	1,875	1,885	1,492
17	22	0,608	0,264	0,734	0,569
18	24	0,639	1,639	1,444	1,243
19	23	10,083	31,392	25,276	23,149
20	25	3,694	1,974	4,676	3,537
21	26	2,855	0,905	3,311	2,699
22	12	0,695	0,222	0,775	0,619
23	12	0,234	0,168	0,295	0,208
24	23	5,328	1,336	5,975	5,025
25	26	6,666	2,306	7,827	6,301
26	25	0,104	0,437	0,321	0,327
27	8	0,596	0,277	0,667	0,485
28	20	1,189	0,490	1,414	1,103
29	26	0,770	1,031	1,289	0,959
30	24	1,564	0,763	1,939	1,482
31	23	0,773	1,113	1,312	0,980
32	24	0,330	0,237	0,446	0,326
33	24	0,186	0,152	0,261	0,189
34	24	0,098	0,098	0,146	0,106
35	20	0,122	0,284	0,253	0,210
36	26	0,353	0,232	0,470	0,348
37	26	0,194	0,480	0,435	0,371
38	13	0,792	0,671	1,045	0,731
39	9	1,935	0,704	2,139	1,646
40	25	0,740	0,463	0,971	0,721
41	26	0,576	0,339	0,746	0,559
42	26	0,309	0,850	0,738	0,650
43	26	1,824	1,890	2,776	2,022
44	12	-1,156	4,234	0,364	0,263
45	12	0,133	0,119	0,176	0,122
46	12	0,431	0,877	0,746	0,576
47	12	0,239	0,997	0,596	0,607
48	12	0,802	0,471	0,971	0,701
49	11	-0,126	0,925	0,188	0,324
50	12	0,285	0,777	0,564	0,481
51	13	0,130	0,026	0,140	0,120
52	10	2,199	1,078	2,539	1,864
53	11	0,799	0,524	0,976	0,690
54	12	1,560	0,813	1,852	1,363
55	25	1,227	0,333	1,392	1,160
56	12	1,603	0,616	1,824	1,413
57	12	1,297	0,369	1,429	1,164
58	12	0,842	0,244	0,930	0,755

I næsten alle tilfælde er metode 4 lempeligere end metode 2, men for både TN og TP er der 2-3 tilfælde hvor metode 4 ender med at være en smule mindre lempelig for udleder. Det sker for TN for måleår nr. 49 og 50, hvor den gennemsnitlige nettoudledning er negativ og den relative spredning (spredningen divideret med middelværdien) er meget stor. En negativ gennemsnitsudledning af TN virker ikke realistisk, så det tyder på problemer med egenkontrollen de pågældende måleår. En tilsvarende problemstilling ses for TP for måleår 49. For måleår 26 og 47 er årsagen til at metode 4 er en smule mindre lempelig end metode 2, at der er en meget høj relativ spredning på udledningerne, som dog for måleår 26 er baseret på 25 egenkontrol prøver. Men det er umiddelbart fagligt hensigtsmæssigt, at hvis spredningen i nettoudledningerne er meget stor bliver metode 4 er lige så restriktiv som den nuværende transportkontrol i Dambrugsbekendtgørelsen (metode 2).

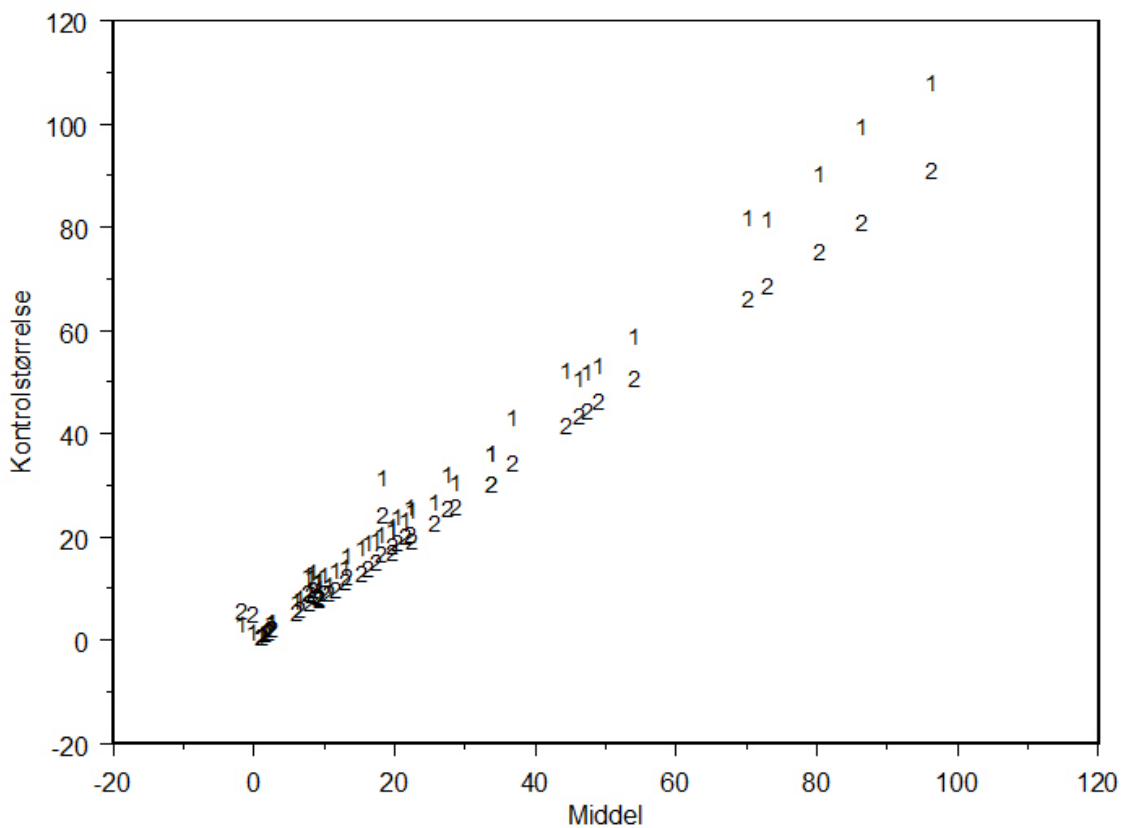
I figurerne 1a-d er vist hvordan kontrolstørrelsen (Ks) med kontrolmetode 1-4 varierer med middel af nettoudledningerne i et år per dambrug for ni dambrug, der indgår med et måleår hver (figur 1.a og b) og for 49 måleår (30 dambrug) for metode 2 og 4 (figur 1.c og d). Det svarer til resultaterne i henholdsvis tabel 7-10 og tabel 13a og b. Det fremgår tydeligt at metode 2 er den mest restriktive for udlederen og 1 og 3 de lempeligste og næsten ens (figur 1.a og b). Ks beregnet efter metode 4 ligner mest Ks beregnet efter metode 2. Der er tydeligt en større relativ spredning på Ks for TP (figur 1.b og d) end for TN (figur 1.a og c), hvor Ks især for metode 4 næsten ligger på en ret linje.



**Figur 1.a.** Middel nettoudledningen et år (kg/dag) af total kvælstof og kontrolstørrelsen Ks (kg/døgn) beregnet for metode 1, 2, 3 og 4 (se tabel 4) for ni dambrug med 1 måleår hver.

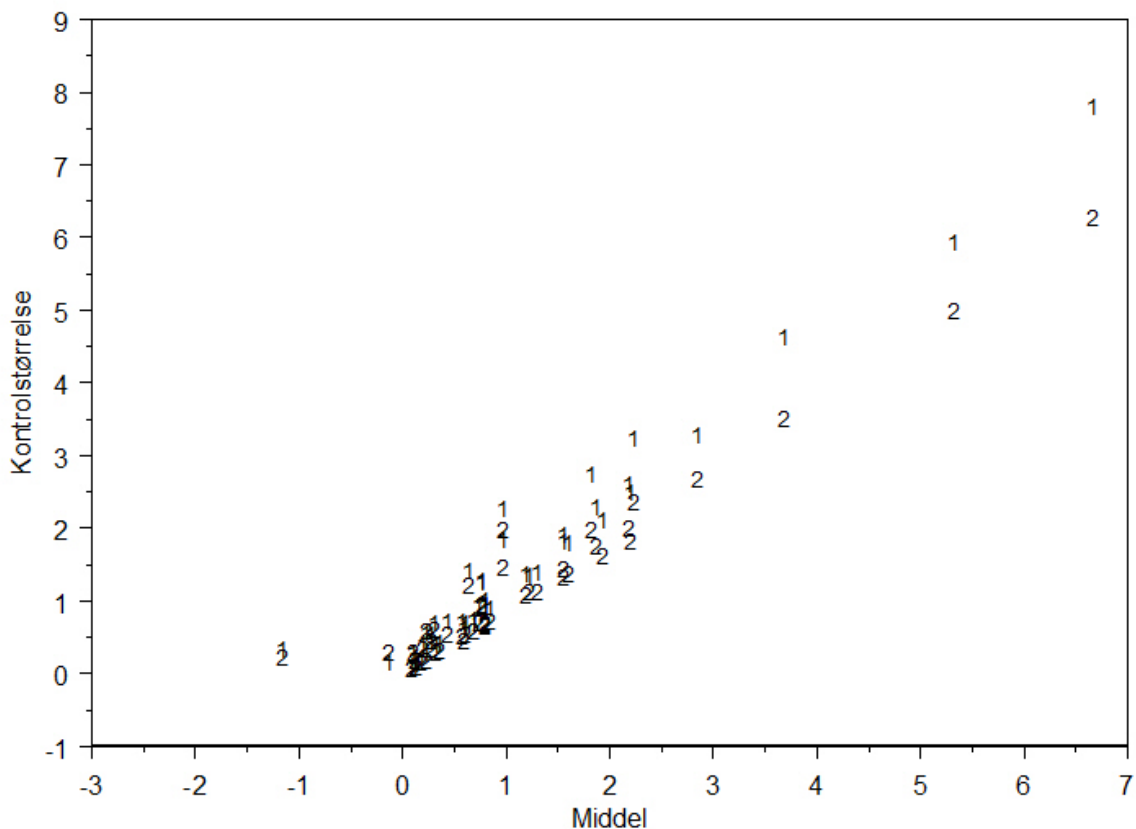


**Figur 1.b.** Middel nettoudledningen et år (kg/dag) af total fosfor og kontrolstørrelsen Ks (kg/døgn) beregnet for metode 1, 2, 3 og 4 (se tabel 4) for ni dambrug med 1 måleår hver.



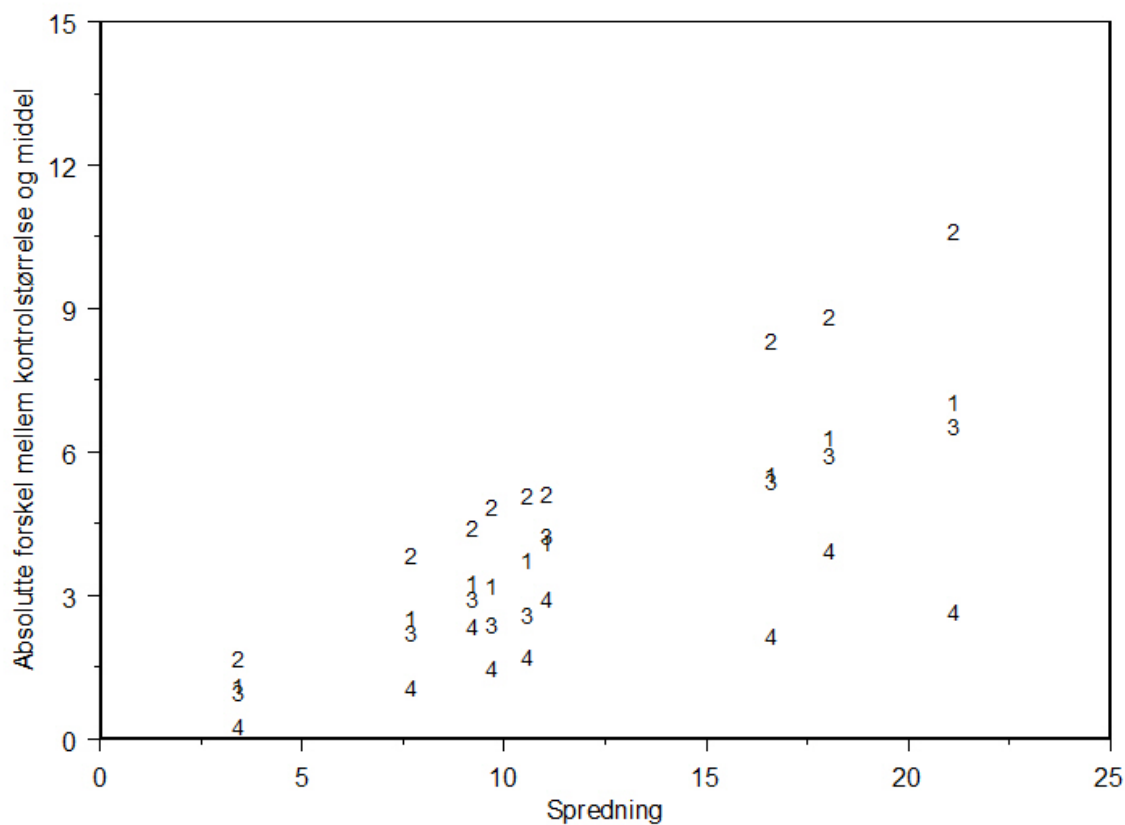
**Figur 1.c.** Middel nettoudledningen et år (kg/dag) af total kvælstof og kontrolstørrelsen Ks (kg/døgn) beregnet for metode 2 (vist med ettaller) og metode 4 (vist med totaler) for 49 måleår (30 dambrug).



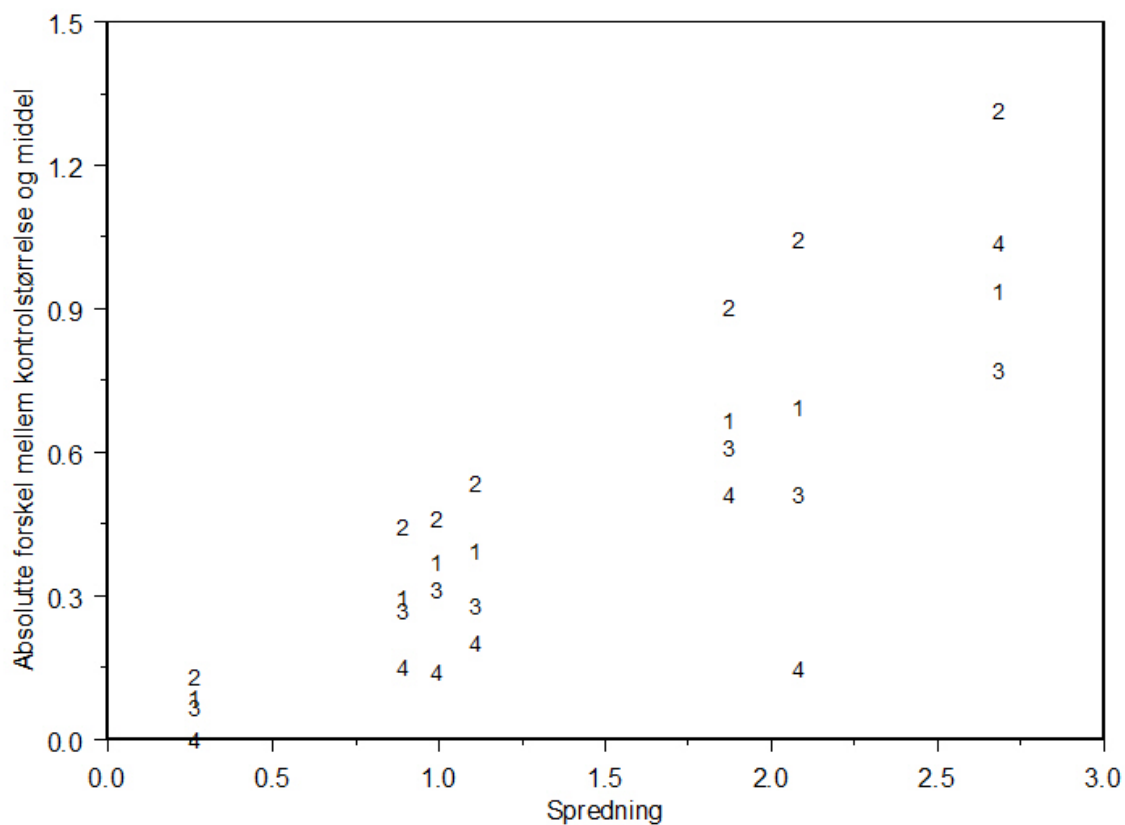


**Figur 1.d.** Middel nettoudledningen et år (kg/dag) af total fosfor og kontrolstørrelsen  $K_s$  (kg/døgn) beregnet for metode 2 (vist med ettaller) og metode 4 (vist med toletter) for 48 måleår (29 dambrug) – et måleår og et dambrug med høj middel og kontrolstørrelse er fjernet ift. figur 1.c for at undgå at de resterende 48 måleår ligger oven i hinanden på figuren.

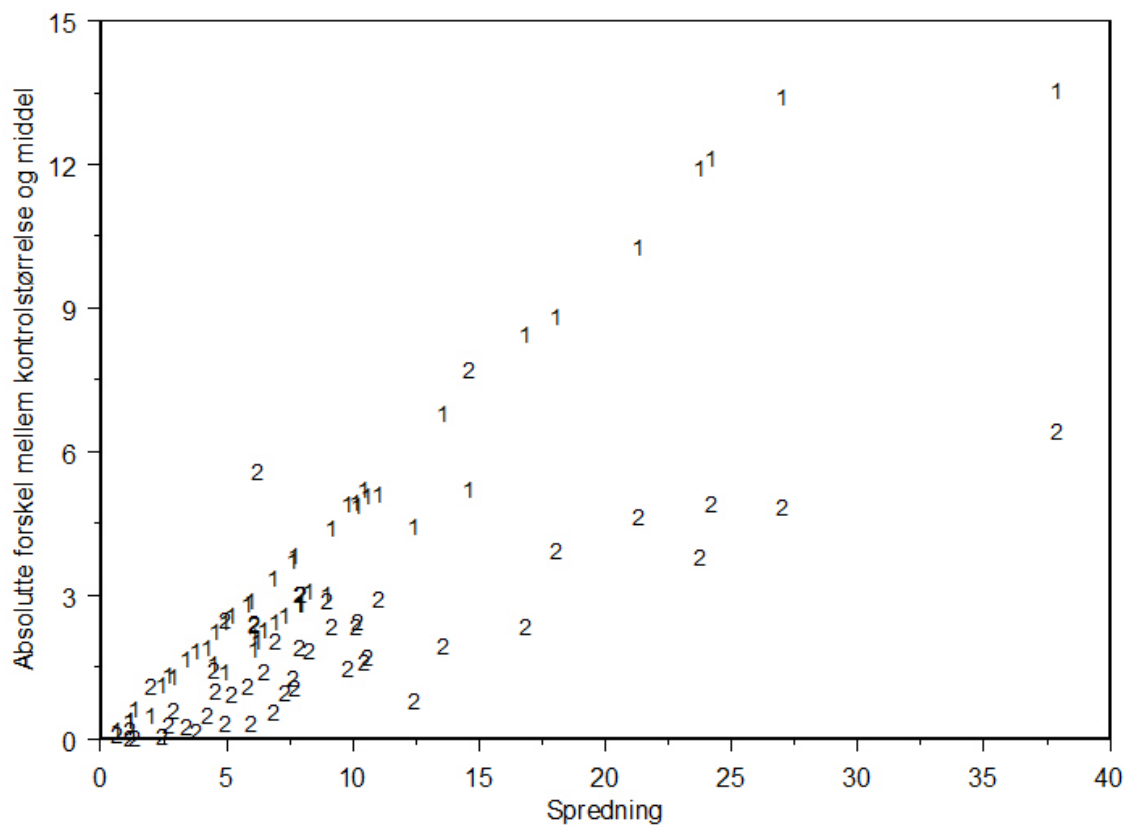
I figur 2a-d er vist hvordan  $(K_s - \bar{d})$  (et mål for hvor meget kontrolstørrelsen  $K_s$  afviger fra middelværdien af nettoudledningerne  $\bar{d}$  pr. dambrug) varierer mod spredningen  $s$  i nettoudledningerne. I figur 2a og 2b vises dette per dambrug beregnet med metode 1-4 for de ni dambrug, der indgår med et måleår hver (jf. figur 1.a og b), men det i figur 2c og 2d beregnet med metode 2 og 4 vises for de 30 dambrug, der indgår med i alt 49 måleår (jf. figur 1.c og d). Resultaterne viser at spredning i udledninger får mindre betydning ved anvendelse af metode 4 sammenlignet med metode 2, som det også var udgangspunktet for at lave en ny udlederkontrolmetode.



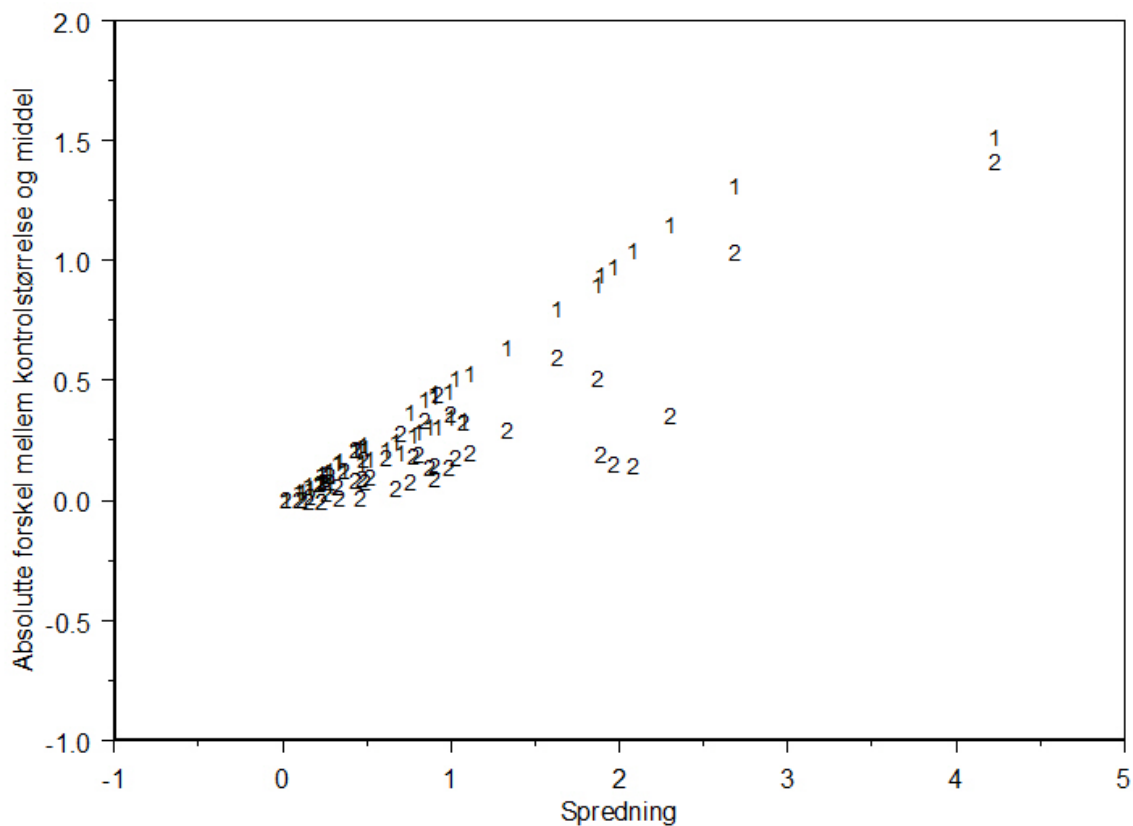
**Figur 2.a.** Spredningen på nettoudledningerne et år (kg/dag) af total kvælstof og den absolutte forskel mellem kontrolstørrelsen  $K_s$  (kg/døgn) og middelværdien af nettoudledningerne for total kvælstof beregnet for metode 1, 2, 3 og 4 (se tabel 4) for ni dambrug der indgår med 1 måleår hver.



**Figur 2.b.** Spredningen på nettoudledningerne et år (kg/dag) af total fosfor og den absolutte forskel mellem kontrolstørrelsen  $K_s$  (kg/døgn) og middelværdien af nettoudledningerne for total fosfor beregnet for metode 1, 2, 3 og 4 (se tabel 4) for ni dambrug der indgår med 1 måleår hver.

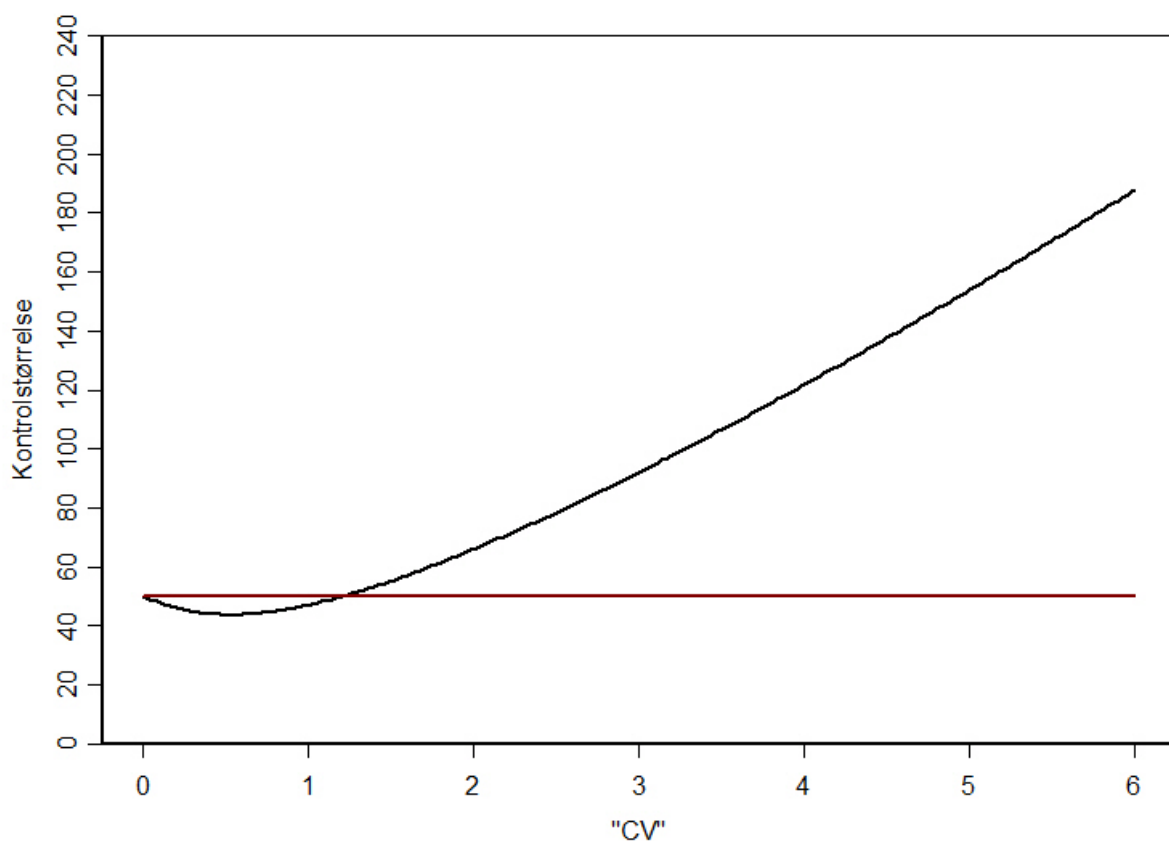


**Figur 2.c.** Spredningen på nettoudledningerne et år (kg/dag) af total kvælstof og den absolutte forskel mellem kontrolstørrelsen Ks (kg/døgn) og middelværdien af nettoudledningerne for total kvælstof beregnet for metode 2 (vist med ettaller) og metode 4 (vist med totaler) for 49 måleår (30 dambrug).

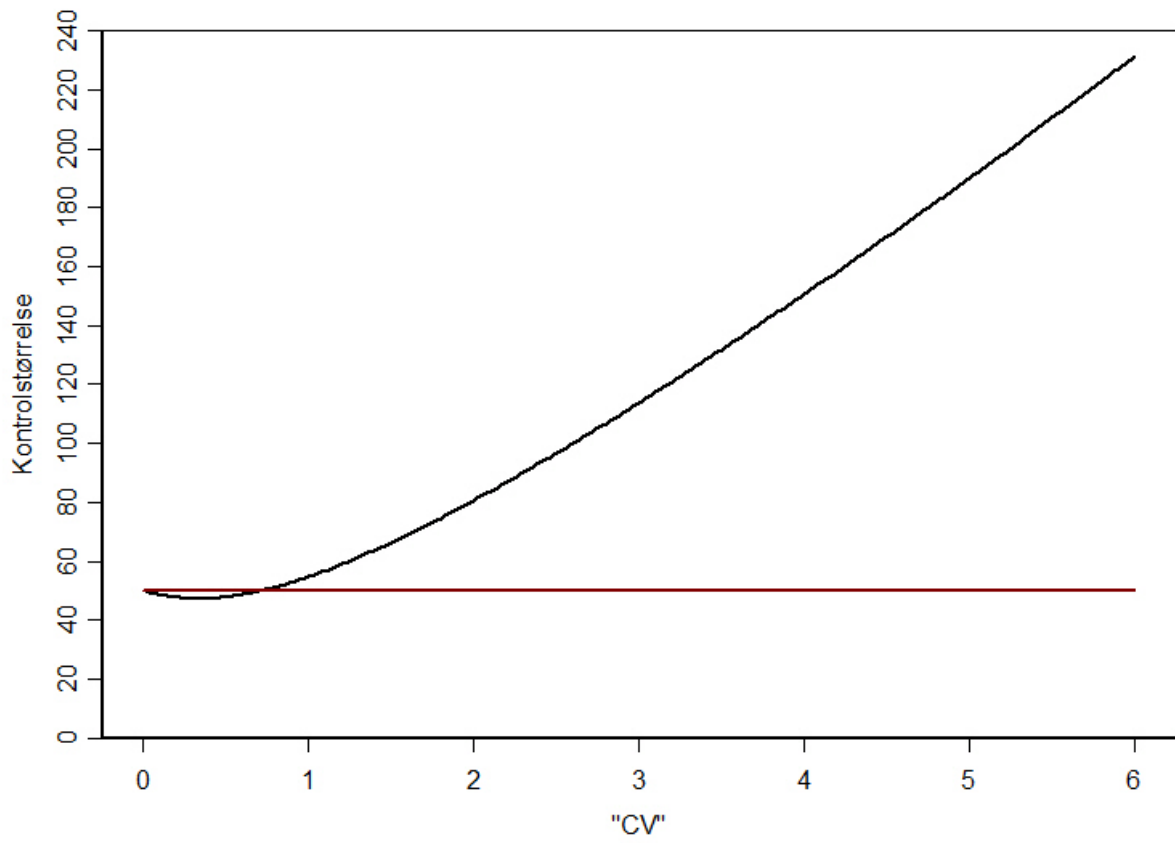


**Figur 2.d.** Spredningen på nettoudledningerne et år (kg/dag) af total fosfor og den absolutte forskel mellem kontrolstørrelsen Ks (kg/døgn) og middelværdien af nettoudledningerne for total fosfor beregnet for metode 2 (vist med ettaller) og metode 4 (vist med totaler) for 48 måleår (30 dambrug) – et måleår og et dambrug med høj spredning og forskel i kontrolstørrelse og middel er fjernet ift. figur 2.c for at undgå at de resterende 4 måleår ligger oven i hinanden på figuren.

Der er lavet en beregning på, hvor tæt middel af nettoudledningerne fra et dambrug kan være på udledergrænseværdien ved forskellig størrelse på spredningen i nettoudledningerne og samtidigt overholde den. Dette er illustreret i figur 3a og 3b ved at vise kontrolstørrelsen  $K_s$  som en funktion af variationskoefficienten  $CV$ , som er forholdet mellem standardafvigelsen og middelværdien og som begge indgår i beregningen af kontrolstørrelsen. Det antages i både figur 3a og 3b at middelværdien er lig udledergrænseværdien, dvs. at nettoudledningen i gennemsnit præcist har været lig med det dambrug må udlede i gennemsnit pr. døgn over et måleår. Figur 3a er for 12 årlige egenkontrolprøver og figur 3c for 26 årlige prøver. Det fremgår at såfremt variationskoefficienten er lille, som udtryk for en lille spredning i udledningerne, så kan middel af nettoudledningerne over et år godt ligge lidt over udlederkravet samtidigt med at udledergrænseværdien overholdes. Det ses især når der kun udtages 12 årlig egenkontroller (figur 13.a). Det ligger i matematikken i metoden bag kontrolteorien, hvor der opereres med kritisk fraktion og risiko for henholdsvis udleder og vandmiljøet og de valgte værdier for den kritiske fraktion og risici for udleder og vandmiljøet – se kapitel 3.4 – at der ved lav spredning på udledningerne kan tillades en årlig gennemsnitsnetto-udledning, der ligger lidt over udledergrænseværdien.



**Figur 3a.** Kontrolstørrelsen  $K_s$  for nettoudledninger på et teoretisk dambrug (udledergrænseværdien sat til 50 kg/døgn) mod variationskoefficienten  $CV$  (forholdet mellem standardafvigelsen og middelværdien på nettoudledningerne i et måleår), hvor det antages at middelværdien er lig udledergrænseværdien. Figuren er for 12 årlige prøver (nettodøgnudledninger). Den vandrette linje i begge grafer angiver udledergrænseværdien.



**Figur 3b.** Som figur 3.a men for 26 årlige prøver (nettodøgnudledninger).

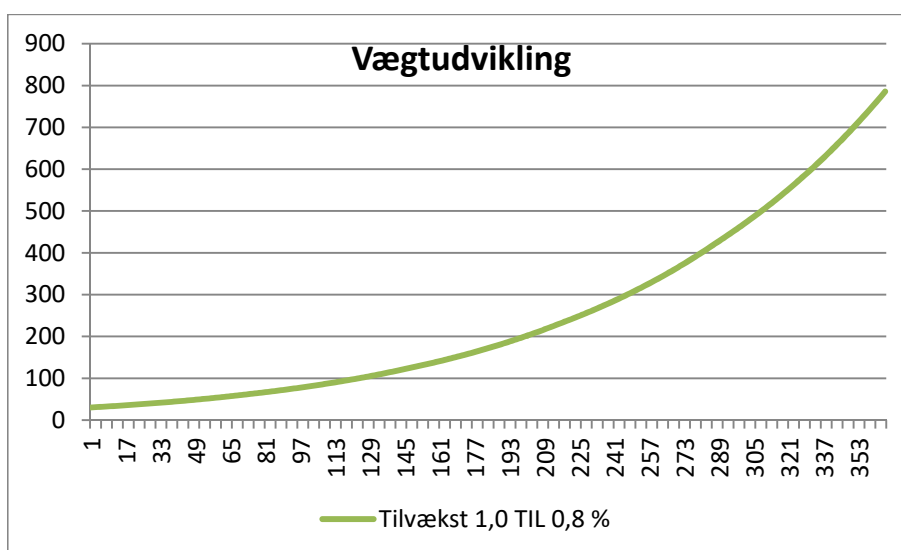
## 5 Beregning af udledningstværdier i forbindelse med produktion af fisk, der skal anvendes i havbrugsproduktion (skæv produktion)

### 5.1 Baggrund

I forbindelse med produktion af fisk i ferskvandsdambrug, der senere skal anvendes i havbrugsproduktion har dambrugene en ujævn fordeling af deres produktion hen over et måleår. Det giver en øget spredning i nettoudledningerne fra disse ferskvandsdambrug sammenlignet med en produktion, der er mere jævnt fordelt over året. Det giver problemer med at overholde udlederkravene for nogle dambrug. DCE-AU har tidligere på bestilling af Miljøstyrelsen udarbejdet en modificeret statistisk kontrolmetode, som skal tage hensyn til en skæv produktion over året (Larsen & Svendsen, 2014). I dette kapitel modificeres metoden fra 2014, så den for transportkontrol (af nettoudledninger af total kvælstof og total fosfor) ligner den nye metode 4 med hensyntagen til skæv produktion og tilsvarende ændres tilstandskontrollen (for  $\text{NH}_4\text{-N}$  og  $\text{BI}_5$ ) også. Dette kapitel er en revideret version af Larsen og Svendsen (2014) med revideret metode til både tilstands- og transportkontrol ved skæv produktion.

Problemstillingen omkring produktion af fisk til udsætning i havbrug relaterer sig til en meget skæv fordeling af fiskebestanden hen over året og dermed også at udledningerne tilsvarende er ujævnt fordelt over perioden. Der vil være større spredning i udledningerne sammenlignet med et ferskvandsdambrug, hvor der anvendes samme fodermængde men med en mere konstant fiskebestand, og dermed mere konstant udfodring hen over året. I figur 4 er som eksempel vist, hvordan en fisk på 30 gram ved årets begyndelse vokser i løbet af et år med en tilvækst, der i starten er 1 % daglig men som gradvist aftager til 0,8 % (typiske vækstrater jf. Per Bovbjerg Pedersen, DTU AQUA og Jochumsen og Svendsen, 2010). Dette resulterer efter et år i en fisk på ca. 800 gram. I tabel 14 er tilvæksten i samme eksempel opgjort på månedsbasis, hvor man starter med en 30 grams fisk. Det fremgår, at over halvdelen af tilvæksten sker de sidste tre måneder, mens kun knap 6 % af tilvæksten sker i de første tre måneder.

**Figur 4.** Vægt udvikling (i gram) i løbet af 1 år for 30 grams fisk med tilvækst første 120 dage på 1 % pr dag, 0,9 % fra dag 121 til 240 og 0,8 % resterende periode.



**Tabel 14.** Tilvæksten pr. måned i fiskebestand ved en daglig tilvækst på 1 % i begyndelsen som gradvist aftager til 0,8 % ved en fiskestartvægt på 30 g. Se også figur 3.

Måned	Andel af årets tilvækst (%)	Akkumuleret tilvækst (%)
1	1,4	1,4
2	1,9	3,4
3	2,5	5,9
4	3,3	9,2
5	4,3	13,5
6	5,5	19,0
7	7,1	26,1
8	8,9	35,0
9	13,3	46,2
10	14,2	60,4
11	17,4	77,9
12	22,1	100
År	100	100

DCE vurderer, at der er 3 tilgange til at tilpasse udlederkontrollen/den statistiske metode til en skæv fordeling af produktionen.

1. Tilpasse prøvetagningen til produktionen, f.eks. ved at indskrænke prøvetagningsperioden, så den kun dækker den periode, hvor der er en væsentlig produktion og væsentlig fiskebestand i dambruget. Man skal koncentrere prøvetagningen til den periode og dernæst anvende den traditionelle udlederkontrol. Ved produktion af havbrugsfisk er der dog normalt fisk i anlægget i hele perioden, så metoden er kun relevant, hvor der decideret er helt fisketomt i et dambrug i en periode. I eksemplet i tabel 14 kunne man argumentere for at man tilpassede prøvetagningen så man f.eks. kun tog et prøvesæt de første 3 måneder, 2 de næste 3 måneder, en pr. måned i måneder 7-9 og så 6 prøver de sidste tre måneder fordelt med flest prøver i de sidste 2 måneder.
2. Fitte en statistisk model til den faktiske udledning og beregne residual variansen og anvende denne i udlederkontrollen. Det vil også indebære, at der i hvert enkelt tilfælde skal fittes en model hvert år til de faktiske udledninger. Efter DCE's opfattelse er det dog ikke en metode, der kan anbefales, da det dels vil give en for lille varians og dermed medføre, at for store udledninger vil kunne accepteres ved udlederkontrollen. Det vil heller ikke være hensigtsmæssigt, at der hvert år skal laves individuelle statistiske fits til en faktisk udledningsfordeling, og man først efter at alle udledninger indenfor et år foreligger, har mulighed for at vurdere, om udlederkontrollens krav overholdes.
3. En tredje fremgangsmåde vil være at logaritme transformere udledningerne før udlederkontrollen udføres. Det mindsker betydningen af store udledninger, og metoden ligner DS2399, der er standard ved kontrol af udledninger fra renseanlæg og industrier. Metoden forudsætter, at alle forskelle i koncentrationer/transporter mellem udløb og indløb er positive, men er der negative værdier anvendes den numeriske værdi eller en værdi tæt på nul i stedet (se nedenfor). Metoden skal kun anvendes, når produktionen er tilstrækkelig "skæv" hen over en produktionsperiode. *DCE foreslår, at kriteriet for skæv produktion bør være, at indenfor et år ligger mere end 45 % af et års produktion indenfor 3 måneder og mindre end 10 % af produktionen indenfor andre 3 måneder.*

DCE foreslår fremgangsmåde 3 som umiddelbart er den mest operationelle og kan sikre sammenlignelighed med den foreslåede metode (metode 4) for andre ferskvanddambrug. Nedenfor er der redegjort for tilstands- og transport-kontrolmetoderne og der er vist en sammenligning med nuværende kontrolmetoder jf. Dambrugsbekendtgørelsen (2012) og den oprindeligt foreslåede metode ved skæv produktion i Larsen og Svenden (2014).

## 5.2 Tilstandskontrol

Lad  $x_i$  betegne differensen mellem den målte koncentration af et bestemt kontrolstof målt i udløbsvandet fra dambruget og i indløbsvandet til dambruget for prøvetagningen  $i$ . Antag at der er målt  $n$  gange i kontrolperioden, dvs.  $i = 1, 2, \dots, n$ .

Hvis en eller flere af  $x_i$  værdierne er negative (og man dermed ikke kan tage logaritmen heraf) adderes til alle  $x_i$  det mindste hele tal så alle  $x_i$  værdierne bliver positive. Følges fremgangsmåden nedenfor vil dette ikke påvirke resultatet. Disse nye  $x_i$  værdier anvendes i det følgende.

Ifølge DS2399 (2006) udføres tilstandskontrol på følgende måde.

Beregn:

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

samt

$$\mu_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(x_i),$$

$$s_k = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln(x_i) - \mu_k)^2}{n-1}}$$

$\mu_k$  er middelværdien og  $s_k$  er spredningen.

Kontrolreglen bliver (modificeret ift. DS 2399, idet den metode ikke laver en korrekt tilbagetransformation):

$$\exp(\mu_k + k_k(n) \cdot s_k) \cdot \exp(0,5 \cdot s_k^2) \leq U_k,$$

hvor  $U_k$  er udledergrænseværdien angivet som en koncentration.

$k_k(n)$  = justeringsfaktoren ved tilstandskontrol for  $n$  prøver. Den afhænger af  $n$ , og af  $s_k$  (se nedenfor for beregning).  $k_k(n)$  beregnes efter følgende metode, som består af nogle beregningstrin:

$$v = n - 1$$

$$\delta = -\sqrt{n} \cdot \frac{s_k}{2}$$

$$A = \frac{1,6449^2}{2 \cdot v} - \left(1 - \frac{1}{4 \cdot v}\right)^2$$



$$B = -2 \cdot \delta \cdot \left(1 - \frac{1}{4 \cdot v}\right)$$

$$D = 1,6449^2 - \delta^2$$

$$E = B^2 - 4 \cdot A \cdot D$$

$$t_0 = \frac{-B + \sqrt{E}}{2 \cdot A}$$

$$k_k(n) = \frac{t_0}{\sqrt{n}}$$

Det positive tal, der er adderet til alle  $x_i$ -værdierne, fratrækkes efterfølgende på venstre side af uligheden efter at udtrykket med eksponentialfunktionen er beregnet.

### 5.3 Transportkontrol

Ligeledes ifølge DS2399 udføres transportkontrollen efter nedenstående principper, idet der er rettet for de problemstillinger med metoden som er omtalt i kapitel 2.2 og 3.2. Først beregnes differensen mellem døgntransporten i udløbet og døgntransporten i indløbet (nettoudledningen). Lad os kalde disse differenser for  $L_i$  for døgnet  $i$ :

$$L_{xi} = q_{ui} \times c_{xui} - q_{ii} \times c_{xii}$$

hvor  $c_{xui}$  og  $c_{xii}$  er døgnkoncentrationen dag  $i$  for stof  $x$  i det samlede udløb og indløb og  $q_{ui}$  og  $q_{ii}$  tilsvarende vandføring i samlede indløb og afløb.

Dernæst beregnes størrelserne:

$$L_i = \ln(l_i), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (\ln: \text{naturlig logaritme})$$

samt

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

$$s_T = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_i - \mu_T)^2}{n-1}}.$$

$\mu_T$  er middelværdien og  $s_T$  er spredningen.

Hvis en eller flere af  $L_i$  værdierne er negative adderes til alle  $l_i$  det mindste hele positive tal så alle  $l_i$  værdierne bliver positive. Og disse nye  $l_i$  værdier anvendes i de ovenstående beregninger.

Kontrolreglen er:

$$\exp(\mu_T + k_T(n) \cdot s_T) \cdot \exp(0,5 \cdot s_T^2) \leq U_T,$$

hvor  $U_T$  er udledergrænseværdien (kg pr. døgn).

$k_T(n)$  = justeringsfaktoren ved transportkontrol for  $n$  prøver. Den afhænger af  $n$ , og af  $s_T$  (se nedenfor for beregning).  $k_T(n)$  beregnes efter følgende metode, som består af nogle beregningstrin:

$$v = n - 1$$

$$\delta = -\sqrt{n} \cdot \frac{s_T}{2}$$

$$A = \frac{1,6449^2}{2 \cdot v} - \left(1 - \frac{1}{4 \cdot v}\right)^2$$

$$B = -2 \cdot \delta \cdot \left(1 - \frac{1}{4 \cdot v}\right)$$

$$D = 1,6449^2 - \delta^2$$

$$E = B^2 - 4 \cdot A \cdot D$$

$$t_0 = \frac{-B + \sqrt{E}}{2 \cdot A}$$

$$k_T(n) = \frac{t_0}{\sqrt{n}}$$

Det positive tal, der er adderet til alle  $t_i$  værdierne, fratrækkes efterfølgende på venstre side af uligheden efter at udtrykket med eksponentialfunktionen er beregnet.

## 5.4 Kontrol af metoden på data fra 3 dambrug

Blandt de 49 måleår var der tre relateret til dambrug, der producerer fisk til udsætning i havbrug. I tabel 15 a-d er vist resultatet ved at udføre tilstandskontrol på  $\text{NH}_4\text{-N}$  (tabel 15.a) og  $\text{BI}_5$  (tabel 15.b) og transportkontrol på TN (tabel 15.c) og TP (tabel 15.d) med de nuværende metoder i Dambrugsbekendtgørelsen (2012), metode 4 udviklet i nærværende rapport (transportkontrol), tilstandskontrol ved skæv produktion (Larsen og Svendsen, 2014) og metoderne beskrevet i dette kapitel. Det fremgår at kontrolværdien generelt bliver lavest – og dermed mest lempelig – ved tilstandskontrol efter metoden anbefalet i dette kapitel. Ved transportkontrol er metoden angivet i kapitel 5.2 og metode 4 lige lempelige og noget lempeligere end transportkontrol metode 2 (fra Dambrugsbekendtgørelsen). Det ville være hensigtsmæssigt at få flere data fra dambrug med skæv produktion til yderligere at teste metoderne på.

**Tabel 15.a.** Sammenligning af kontrolstørrelsen  $K_s$  (mg/l) ved tre tilstandskontrolmetoder A til C for 3 dambrugsmåleår for  $\text{NH}_4\text{-N}$ . Der er desuden angivet antal prøvetagninger (antal), middelværdien ( $\mu$  i mg/l) af og spredning  $s$  (mg/l) på de "antal" målte nettoudledninger. Metode A er tilstandskontrol fra Dambrugsbekendtgørelsen (2012) (metode 2 i kapitel 3 og 4), metode B er metoden for skæv produktion fra Larsen og Svendsen (2014), mens metode C er metoden angivet i kapitel 5.1.

Nr.	Antal	$\mu$	$s$	Metode A	Metode B	Metode C
I	25	0,4	0,5	0,6	0,6	0,3
II	12	0,4	0,5	0,6	0,7	0,3
III	22	1,3	1,2	1,9	2,5	1,5

**Tabel 15.b.** Sammenligning af kontrolstørrelsen Ks (mg/l) ved tre tilstandskontrolmetoder A til C for 3 dambrugsmåleår for Bl<sub>5</sub>. Se tabeltekst til tabel 15.a for yderligere forklaring.

Nr.	Antal	$\mu$	s	Metode A	Metode B	Metode C
I	25	1,6	0,7	1,9	1,9	1,5
II	12	1,1	0,9	1,4	2,1	1,2
III	22	0,3	0,4	1,0	1,9	0,7

**Tabel 15.c.** Sammenligning af kontrolstørrelsen Ks (kg/dag) ved tre transportkontrolmetoder A til C for 3 dambrugsmåleår for TN. Der er desuden angivet antal prøvetagninger (antal), middelværdien ( $\mu$  i kg/dag) af og spredning s (kg/dag) på de "antal" målte nettoudledninger. Metode A er transportkontrol fra Dambrugsbekendtgørelsen (2012), metode B er metode 4 (kapitel 3), mens metode C er metoden angivet i kapitel 5.2.

Nr.	Antal	$\mu$	s	Metode A	Metode B	Metode C
I	25	21,5	4,6	23,8	20,5	20,5
II	12	15,4	7,9	18,3	13,5	13,8
III	25	86,4	27,0	99,8	81,5	82,6

**Tabel 15.d.** Sammenligning af kontrolstørrelsen Ks (kg/dag) ved tre transportkontrolmetoder A til C for 3 dambrugsmåleår for TP. Se tabeltekst til tabel 15.c for yderligere forklaring.

Nr.	Antal	$\mu$	s	Metode A	Metode B	Metode C
I	25	1,2	0,3	1,4	1,2	1,2
II	12	1,6	0,6	1,8	1,4	1,4
III	25	3,7	2,0	4,7	3,5	3,7

## 6 Problemstillinger i relation til måling og opgørelse af udledning fra ferskvandsdambrug

I dette kapitel redegøres kort for nogle tekniske problemstillinger i relation til fastlæggelse af indtagne og afledte vandmængder og beregning af stoftransport fra dambrug.

### 6.1 Beregning af koncentration i ind og udløb og netto-udledning, hvis der er flere ind og eller udløb

Såfremt der er flere ind- og eller udløb fra et dambrug, skal der tages højde for dette. Man kan enten vælge at vandføringsvægte, før man beregner netto-udledningen, eller først finde en vandføringsvægtet nettokoncentrationsforøgelse over dambruget og derefter gange vandmængden på.

Er der flere ind- og eller udløb skal det først afklares, om det gælder for alle prøvetagningsdatoer og evt. manglende værdier etableres ved lineær interpolation.

Ved tre indløb ( $i_1$ ,  $i_2$  og  $i_3$ ) og to udløb ( $u_1$  og  $u_2$ ) kan nettokoncentrationen i udledningen  $C_{netto}$  i mg/l ( $n$  er prøvetagningsdagen  $t=n$ ) beregnes som:

$$C_{netto,n} = \left( (q_{u1,n} \cdot c_{u1,n} + q_{u2,n} \cdot c_{u2,n}) - (q_{i1,n} \cdot c_{i1,n} + q_{i2,n} \cdot c_{i2,n} + q_{i3,n} \cdot c_{i3,n}) \right) / q_n$$

Her er  $q_{x,n}$  er vandmængden (l/s) i de enkelte tilløb og udløb og  $c_{x,n}$  de tilsvarende koncentrationer dag  $n$  i mg/l.  $q_n$  er den samlede vandmængde i udløbet dag  $n$  og forudsat lig det samlede vandindtag, ellers skal der justeres for dette ved enten at tillægge et led til udledningerne (ved nettoudsivning) eller til indtaget (ved indsivning) i ligningen ovenfor. For koncentrationer i ind/udsivning henvises til delkapitel 6.2.

Ved tre indløb ( $i_1$ ,  $i_2$  og  $i_3$ ) og to udløb ( $u_1$  og  $u_2$ ) kan nettoudledningen  $T_{netto}$  i kg/dag ( $n$  er prøvetagningsdagen  $t=n$ ) beregnes som:

$$T_{netto,n} = \left( (q_{u1,n} \cdot c_{u1,n} + q_{u2,n} \cdot c_{u2,n}) - (q_{i1,n} \cdot c_{i1,n} + q_{i2,n} \cdot c_{i2,n} + q_{i3,n} \cdot c_{i3,n}) \right) \cdot 0,0864$$

Her er  $q_{x,n}$  er vandmængden (l/s) i de enkelte tilløb og udløb og  $c_{x,n}$  de tilsvarende koncentrationer dag  $n$  i mg/l.

### 6.2 Hvordan der kan tages højde for evt. netto vandindsivning/udsivning over dambruget

Ifølge Dambrugsbekendtgørelsen (2012) gælder at: "Er der et nettovandtab over anlægget, antages vandtabet at have samme koncentration som koncentrationen af opløste næringsstoffer og opløst organisk stof i udløbsvandet til vandløbet.

Er det en netto vandindsivning over anlægget, og der ikke er målinger eller dokumentation for andet, antages det indsvivende vand at have koncentrationer af næringsstoffer og organisk stof svarende til koncentrationerne i indtagsvandet, såfremt der indtages grund- og eller drænvand. Indtages alene vandløbsvand fastlægges koncentration på basis af en årlig analyse af grund/drænvand ved ferskvandsdambruget.”

Såfremt man ikke har målinger af de opløste fraktioner af ammonium og total kvælstof, total fosfor og organisk stof (målt BI<sub>5</sub>), og der har været nettoudsvivning af vand over dambruget, anbefaler DCE anvendelse af følgende erfaringsbaserede værdier fra jyske vandløb (se Svendsen et al., i trykken) for koncentrationen i det udsivende vand:

- 100 % af målt NH<sub>4</sub>-N i udløb
- 90 % af målt TN i udløb
- 50 % af målt TP i udløb
- 80 % af målte BI<sub>5</sub> i udløb.

Har der været nettoindsivning over dambruget anvendes resultater fra grundvandsmålinger, da næsten alt stof i grundvand vil være på opløst form og dermed kan sive ind på dambruget. Indtager dambruget kun vandløbsvand, bør man udtage et par prøver af det øvre grundvand ved dambruget og få analyseret disse. Alternativt kan man midlertidigt anvende følgende erfaringsværdier:

- 0,1 mg/l NH<sub>4</sub>-N · 100 % opløst = 0,1 mg/l NH<sub>4</sub>-N
- 1,5 mg/l TN · 90 % opløst = 1,3 mg/l TN
- 0,05 mg/l TP · 80 % opløst = 0,04 mg/l TP
- 1,1 mg/l BI<sub>5</sub> · 90 % opløst = 1,0 mg/l BI<sub>5</sub>.

Disse data er baseret på DCE's opgørelser fra naturoplande under NOVANA programmet (Vandmiljøplanens Overvågningsprogram, f.eks. Wiberg-Larsen et al., 2015)

Justering for vandtab/vandindsivning bør foretages per prøvetagningsrunde, og så der kan beregnes en vandføringsvægtet nettokoncentration over dambruget per prøvetagningsrunde.

### **6.3 Beregning af nettoudledningen fra et dambrug, hvis der mangler samhørende værdier af koncentrationer og vandmængder**

Som udgangspunkt kan manglende koncentrationer findes ved lineær interpolation, men der bør som udgangspunkt ikke interpoleres over mere end 6-7 uger (ved 12 årlige prøvetagning) og 3-4 uger (ved årlig 26 prøver). Mangler der data for udledninger for længere perioder, bliver beregning af nettoudledninger behæftet med en relativ stor usikkerhed. Såfremt der kun mangler en parameter (f.eks. NH<sub>4</sub>-N eller BI<sub>5</sub>), kan man forsøge at etablere en relation til andre målte kemiske parameter og heraf estimere en værdi eller lave anden faglig vurdering for estimering af den manglende værdi. For manglende parametre i vandindtag kan man også afklare, om der er målinger i vandløbet op- eller nedstrøms ved en stoftransportstation under f.eks. NOVANA programmet. Indtages grundvand/drænvand vil variationen over tid i koncentrationerne være mere beskeden, og her kan interpolation foretages over en noget længere periode end angivet ovenfor.

Mangler der måling af vandindtag eller vandafledning, vil man for dambrug med intet eller begrænset vandtab over dambruget kunne anvende vandindtaget som erstatning for vandafledningen og vice versa. Mangler begge, kan man interpolere ud fra andre prøvetagningsdatoer, men man bør ikke interpolere over for lange perioder, med mindre man via historiske målinger eller på anden vis kan godtgøre, hvad den afledte og indtagne vandmængde har været. For dambrug med ret stabilt vandforbrug kan man interpolere over lange perioder, såfremt der ikke er indikationer for, at der er sket væsentlige ændringer i vandindtaget. Når vandindtag og -afledning måles kontinuert vil der i de fleste tilfælde være et tilstrækkeligt datagrundlag til fagligt at kunne interpolere over perioder, hvor der har været målerudfald/målefejl.

#### **6.4 Håndtering af starten og slutningen af en kontrolperiode (et måleår) ved beregning af stoftransport**

Prøvetagningen bør være tilrettelagt således, at der er taget en prøve i slutningen af forrige kontrolperiode (dvs. i december året før), og der bliver taget en prøve i begyndelsen af næste kontrolperiode (januar næste år). Ved beregning af stoftransporten interpoleres der fra sidste prøve fra forrige kontrolperiode til og med første prøve for den efterfølgende kontrolperiode. Herved sikres at der findes daglig koncentration og vandmængder alle årets dage og uden, der sker markante spring i tidsserien i starten og slutningen af en kontrolperiode.

Såfremt dambruget er startet samme år eller bliver nedlagt eller, der ikke har været taget prøver i en meget lang periode, må man typisk antage, at første målte værdier skal gælde fra 1.1 til den første prøvetagning, og tilsvarende at den sidst målte værdi skal gælde fra prøvetagningsdatoen og året ud. Har man målt vandmængder kan de faktiske målinger naturligvis anvendes ligesom evt. faktisk viden ift. anvendt foder og fiskebestand kan indgå ved vurdering af, hvilke værdier der skal anvendes ved start/slut af et år ved manglende målinger.

#### **6.5 Opdaterede spredninger på udledninger fra dambrug ift. de angivne i Dambrugsbekendtgørelsen fra 2012**

I Dambrugsbekendtgørelsen (2012) er der angivet standardspredninger, der kan anvendes ved beregning af korrigerede udledergrænseværdier, indtil der findes konkrete måleresultater fra dambrugets egenkontrol. Disse er defineret som 2,51 mg/l for TN og 0,16 mg/l for TP.

Baseret på ca. 170 analyserede dambrug (med over 600 måleår) i forbindelse med projekt "Udvikling og validering af renseteknologier til klassiske dambrug" (Svendsen et al., i trykken) er bl.a. spredninger af koncentrationer i udledninger blevet beregnet som grundlag for at revurdere Dambrugsbekendtgørelsens (2012) tal. Der er kun anvendt data for dambrug med mindst 12 årlige prøvetagninger i udløbet, og hvor der er målt over et helt år. Det reducerer datamaterialet til beregning af spredning i udlederkoncentrationer til 70 dambrug og 280 måleår. Nogle dambrug indgår kun med et år, mens enkelte dambrug har helt op til 8 år med i analysen. Data stammer fra perioden 2005-2013. De væsentligste resultater er opsamlet i tabel 16. Der er beregnet statistik for alle måleår, hvor hvert år vægter lige meget, og for alle dambrug er der først beregnet gennemsnit af spredningerne pr. dambrug og herefter lavet statistik, så hvert dambrug vægter lige meget uanset hvor mange måleår, der er medtaget i analysen per dambrug. Der har ikke kunne ses nogen signifikant ændring i spredninger over tid for de dambrug, der har flere måleår med i analysen.

Spredningen i udlederconcentrationen for de analyserede dambrug ligger for TN fra 0,15 op til 3,6 mg N/l, men med 90 % af dambrugene ligger med spredninger 0,202 og 2,61 mg N/l (tabel 16). For TP ligger spredningen mellem 0,015 og 0,681 mg P/l med 90 % af værdierne mellem 0,018 og 0,463 mg P/l.

**Tabel 16.** Spredning (i mg/l) på koncentrationen af total kvælstof (TN) og total fosfor (TP) i udledningerne for 70 dambrug og i alt 280 måleår med mindst 12 egenkontroller i udløbet pr. år. "Gennemsnit alle" år angiver gennemsnit af spredninger for de 280 måleår. "Gennemsnit dambrug" angiver gennemsnit af spredninger for de 70 dambrug efter at spredningen først er beregnet per dambrug. "5 % fraktil dambrug" angiver laveste 5 % fraktil af spredninger for de 70 dambrug.

	TN (mg/l)	TP (mg/l)
Gennemsnit alle år	1,10	0,113
Gennemsnit dambrug	1,06	0,099
Median alle år	0,803	0,040
Median dambrug	0,775	0,041
5 % fraktil dambrug	0,202	0,018
17 % fraktil dambrug	0,292	0,026
83 % fraktil dambrug	1,80	0,163
95 % fraktil dambrug	2,61	0,463
Minimum dambrug	0,149	0,015
Maximum dambrug	3,55	0,681

På baggrund af analysen anbefaler DCE-AU at standardspredningen for TN og TP revideres til:

- 1,10 mg N/l
- 0,110 mg P/l.

## 6.6 Stoftransportberegningemetoder

Beregning af nettoudledninger af NH<sub>4</sub>-N, TN, TP og BI<sub>5</sub> fra ferskvandsdambrug baseres på målte koncentrationer af de pågældende stoffer i afløb fra og indløb til dambruget og tilsvarende for vandmængder. Der fastlægges en nettoudledning  $T_{\text{netto}}$  ved:

$$T_{\text{netto},x} = q_{ui} \times c_{xui} - q_{ii} \times c_{xii},$$

hvor  $c_{xui}$  og  $c_{xii}$  er døgnkoncentrationen dag  $i$  for stof  $x$  i henholdsvis det samlede udløb og indløb og  $q_{ui}$  og  $q_{ii}$  tilsvarende vandføring i samlede indløb og udløb. Herefter kan man summere alle døgnnettoudledninger til en årsværdi.

Ideelt måles  $c$  og  $q$  kontinuert så stoftransporten for stof  $x$  i perioden  $t_0$  til  $t_1$  kan fastlægges som:

$$T_x = \sum_{t_0}^{t_1} q_x(t) \cdot c_x(t) \cdot dt$$

I praksis måles koncentrationerne dog kun et antal gange årligt (typisk, 6, 12 eller 26) og indtil Dambrugsbekendtgørelsen (2012) trådte i kraft måles vandmængder ind og ud af dambrugene med en tilsvarende frekvens typisk med værdier gældende for prøvetagningsdøgnet. Der er nu krav om, at vandindtag og -afledning måles kontinuert (høringsudkast til Bekendtgørelsen, 2016). Når der ikke findes kontinuerte målinger, findes der en række metoder til

stoftransportberegning. For spildevandsudledninger og vandløb har der typisk været anvendt to metoder: lineær regression eller trapez-metoden, mens der ved få prøver kan anvendes en tredje metode, hvor der foretages en midelværdiberegning af nettoudledninger på prøvetagningsdagene som så opskales til et helt år.

For stoftransport i vandløb er den foreskrevne metode under Nationale Overvågningsprogram for vandmiljøet og naturen (NOVANA) lineær interpolation (Bøgestrand og Erfurt, 2014) og det er også den metode, som DCE-AU anbefaler og selv anvender for beregning af stofmængder og herunder nettoudledninger fra ferskvandsdambrug.

For at vurdere hvor stor forskel det giver at anvende de tre metoder ved beregning af nettoudledninger fra dambrug, er der gennemført stoftransportberegninger med disse for de dambrug, som er anvendt under vurdering af betydning af vandløbsbidrag under projekt "Udvikling og validering af renses-teknologi til klassiske dambrug" (Svendsen et al., i trykken).

Nedenfor er der indledningsvist en kort introduktion af de tre metoder:

- Lineær interpolation
- Trapez metode
- Opskalering.

Ved *lineær interpolation* beregnes stoftransporten på basis af døgnmiddelværdier af vandføring og enkelt målinger af koncentrationer, hvor daglig værdier af koncentrationer findes ved lineær interpolation. Døgnmiddelværdier af vandføringer vil typisk være målte (fra kontinueret målinger), men hvor der kun er enkeltmålinger af vandføring, findes døgnvandføringer også ved lineær interpolation. Stoftransportberegningen med daglige vandmængder og hvor der lineært interpoleres for at fastlægge daglige koncentrationer, kan matematiske beskrives ved:

$$\hat{L} = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{t_i < t \leq t_{i+1}} Q_t \frac{C_i \cdot (t_{i+1} - t) + C_{i+1} \cdot (t - t_i)}{t_{i+1} - t_i}$$

I formlen er de målte dage med nettokoncentrationer (koncentration i udløb minus koncentration i indtag)  $t_i, i = 1, 2, \dots, n$ .

Der forudsættes samme vandmængde i ind og udløb, ellers skal der sikres flowvægtning af koncentrationerne (se kapitel 4.3).

$\hat{L}$  er den estimerede nettoudledning af et givent stof:

Nettokoncentration for et stof benævnes  $C_i, i = 1, 2, \dots, n$ .

$t_0$  og  $t_{n+1}$  er henholdsvis start og slutdato. Det antages at  $C_0 = C_1$  og  $C_{n+1} = C_n$ .

$\sum_{i=0}^{n-1}$  er sum af værdierne for indeks  $i$  i interval 0 til  $n-1$ , og



$\sum_{t_i < t \leq t_{i+1}}$  er sum af værdierne for  $t$  i intervallet  $t_i$  to  $t_{i+1}$ , hvor  $t_i$  ikke er inkluderet i intervallet

Forudsætningen om at  $C_0 = C_1$  betyder at  $C_{\text{interpoleret}} = C_1$ , for  $t_0 < t \leq t_1$

og forudsætningen  $C_{n+1} = C_n$  medfører at  $C_{\text{interpoleret}} = C_n$ , for  $t_n < t \leq t_{n+1}$ .

Koncentrationerne indsættes i  $\text{mg l}^{-1}$ , vandføring i  $\text{l s}^{-1}$ . For at omregne til daglige stofmængder ganges ligningen med 0,0864.

*Trapez metoden* beregner stoftransporten på basis af målinger af koncentrationer og vandmængder på prøvetagningsdatoer. Der er flere varianter af, hvordan man herefter beregner stoftransporten. Normalt foretages en lineær interpolation for både koncentrationer og vandføringer, så der dannes daglige datasæt heraf - herved bliver det reelt svarende til den lineære interpolationsmetode, når man ikke har daglig vandføringsmålinger. En anden variant laver lineær interpolation på koncentrationer, men lader vandmængde på prøvetagningsdatoer gælde for den halve periode før og efter prøvetagning til forrige og næste prøve. Det er denne metode, som her er anvendt ved sammenligning med lineær interpolation nettoudledningsberegning.

Ved *opskaleringsmetoden* beregnes nettoudledninger  $T$  for de dage der er målt koncentrationer og vandmængder, dvs.:

$$T_{xi} = q_{ui} \times c_{xui} - q_{ii} \times c_{xii}$$

hvor  $c_{xui}$  og  $c_{xii}$  er døgnkoncentrationen dag  $i$  for stof  $x$  i det samlede udløb og indløb og  $q_{ui}$  og  $q_{ii}$  tilsvarende vandføring i samlede indløb og udløb.

Herefter beregnes gennemsnit af nettoudledninger for stof  $x$  i de  $i=N$  dage der er prøvetagning:

$$\bar{T} = \sum_{i=1}^{i=N} T_i / N$$

og årets nettostofudledninger  $T$  er da:

$$T = \bar{T} \cdot 365 \quad (\text{eller } 366 \text{ ved skudår})$$

For hvert dambrugsår er nettoudledningen beregnet med henholdsvis trapezmetoden og opskaleringsmetoden og sammenlignet med nettoudledningen beregnet med lineær interpolation. Resultaterne er herefter grupperet efter de to førstnævnte metoders afvigelse i procent fra resultatet beregnet med lineær interpolation. I tabel 17 angives ud for f.eks. <80, hvor mange procent af i alt 271 måleår fra 59 dambrug (Svendsen et al, in prep. og kapitel 4.7), der er beregnet nettoudledning for, som f.eks. med trapez metoden giver mindst 20 % lavere nettoudledninger end beregnet med lineær interpolation metoden for det givne stof.

Analysen viser, at der i gennemsnit ikke er den store forskel mellem at anvende trapez eller lineær interpolation og at langt hovedparten af nettoudledningerne har afvigelser indenfor  $\pm 1$  % mellem de to metoder. For  $\text{NH}_4\text{-N}$ , som findes på opløst form, ligger over 96 % af de 271 nettoudledninger inden  $\pm 1$

% mellem de to metoder. For TP og BI<sub>5</sub>, hvor en større del af transporten sker på partikulær form, er der større forskel på de to metoder, idet "kun" 86-90 % afviger mindre end ±1 %. Da der ikke har været målt kontinuert vandføring, kunne der ikke forventes stor forskel mellem de to beregningsmetoder. Opskaleringsmetoden afviger til gengæld en del fra trapez-metoden især for de tre stoffer, hvor en del af transporten er på partikulær form. Der er en meget stor spredning, når nettoudledninger beregnet efter de to metoder sammenlignes. F.eks. afviger kun 12-19 % af dambrugsårene med under ±1 % samtidig med at 25-44 % afviger med mere end ±10 % mellem de to metoder. Opskaleringsmetoden bør ikke anvendes, og lineær interpolation bør altid anvendes, især når der er målt kontinuerte vandmængder.

**Tabel 17.** Sammenligning af nettoudledning for 271 måleår beregnet med forskellige metode. Trapezmetoden (TRZ) mod lineær interpolation (INT) og opskaleringsmetoden (OPS) mod lineær interpolation. <80 betyder hvor mange procent af beregninger for en given kemisk parameter med hhv. trapez- og opskaleringsmetoden har været mindst 20 % lavere end nettoudledningen beregnet med lineær interpolation. For hver parameter indgår 271 måleår fra i alt 59 dambrug.

% af INT	NH <sub>4</sub> -N (%)		TN (%)		TP (%)		BI <sub>5</sub> (%)	
	TPZ/INT	OPS/INT	TPZ/INT	OPS/INT	TPZ/INT	OPS/INT	TPZ/INT	OPS/INT
<80	0,0	5,9	0,4	12,2	0,4	12,9	0,0	8,9
80-<90	0,7	7,7	0,7	7,7	0,4	12,2	1,1	10,7
90-<95	0,0	8,1	0,4	4,4	0,4	7,4	0,7	8,9
95-<99	1,1	18,5	3,3	19,9	5,2	17,0	3,0	16,6
99-<100	45,8	7,4	39,9	9,2	45,4	5,2	42,4	6,6
100-<101	50,6	11,8	50,6	8,9	41,0	6,6	48,3	9,6
101-<105	1,5	16,2	4,4	15,5	5,9	11,4	3,3	17,3
105-<110	0,4	12,5	0,4	8,5	0,7	8,1	0,4	9,2
110->120	0,0	6,6	0,0	5,5	0,7	7,7	0,4	4,1
≥120	0,0	5,2	0,0	8,1	0,0	11,4	0,4	8,1
Middel	99,9	99,8	99,9	95,4	100	94,9	99,9	109
Median	100	100	100	99,5	100	99,1	100	99,7
Spredn.	1,4	22,0	1,8	57,8	2,1	137	2,1	154

## 7 Konklusion og sammenfatning

På baggrund af analyserne konkluderes og anbefales følgende:

1. Der bør fortsat udføres tilstandskontrol for  $\text{NH}_4\text{-N}$  og  $\text{BI}_5$  og transportkontrol for TN og TP som tidligere anbefalet af DMU og DCE (Larsen og Svendsen, 1998), baseret på om effekten af disse stoffer er relateret til øjebliksvirkninger på recipienten eller, om det er de samlede udledte mængder til recipienten som har den væsentligste betydning.
2. Rent historisk har udgangspunktet for kontrol af udledninger fra dambrug været, at alle stoffer blev kontrolleret ved tilstandskontrol med udledergrænseværdier fastlagt som maksimalt tilladte overkoncentrationer (forskelle mellem koncentration i udledninger minus koncentration i indtagsvandet). Der kom i 1990'erne et ønske om, at total kvælstof (TN) og total fosfor (TP) i stedet skulle kontrolleres ved transportkontrol, som gengivet i Larsen og Svendsen (1998). Det skulle efterfølgende sikres, at overgangen fra tilstandskontrol til transportkontrol for disse stoffer ikke skulle resultere i, at kontrollen blev lempeligere for udlederen. Transportkontrol var umiddelbart lempeligere end tilstandskontrol: ved tilstandskontrol tillades i gennemsnit kun 20 % af de målte overkoncentrationer at ligge over udlederkravet, for transportkontrollen var det 50 %. Derfor blev der foretaget en tilpasning af udlederkravene ved overgang fra tilstandskontrol til udlederkontrol (Larsen og Svendsen, 2002 og Dambrugsbekendtgørelsen, 2012). I praksis medførte tilpasningen, at der nu gennemføres tilstandskontrol men på nettoudledninger af TN og TP (Dambrugsbekendtgørelsen, 2012).
3. Afløbskontrol for en række punktkilder foretages i henhold til DS2399 (2006) "Afløbskontrol - Statistisk kontrol beregninger af afløbsdata". I denne opereres både med tilstands- og transportkontrol og Dansk Akvakultur har i mail til DCE fra april 2015 fremført, at man mener, at DS2399 (2006) umiddelbart kan overføres til dambrug. DCE har vurderet tilstands- og transportkontrolmetoderne i DS2399 og kan ikke umiddelbart anbefale, at DS2399 overføres til kontrol af udledninger fra dambrug. Det vil som minimum kræve nogle modifikationer af DS2399 (for at undgå problemstilling omkring negative nettoudledninger og en fejl når logaritmetransformerede data skal tilbagetransformeres), der vil gøre den bedre egnet ift. dambrug samt stillingtagen til nogle af de forudsætninger, der anvendes.
4. DCE har sammenlignet og evalueret fire metoder til transportkontrol af total kvælstof og total fosfor udledninger fra dambrug. **Metode 1:** Transportkontrol efter statistisk kontrolteori som oprindeligt defineret i Larsen og Svendsen (1998). **Metode 2:** Transportkontrol jf. Dambrugsbekendtgørelsen (2012) og Larsen og Svendsen (2002). **Metode 3:** Transportkontrol efter DS2399 (2006). **Metode 4:** DCE's forslag til en modificeret version af DS2399's transportkontrol. Konklusionerne om de 4 metoder er opsamlet i tabel 4 og nogle af disse gengives nedenfor.
5. Rangeret fra lempeligste til mest restriktive metode for at overholde udlederkravene er rækkefølgen: metode 1 < metode 3 < metode 4 < metode 2. Metode 1 og 3 er stor set lige lempelige. Metode 2 og 4 er ved lille spredning på nettoudledningerne næsten lige restriktive overfor udlederen og

kun lidt mindre lempelige end metode 1 og 3. Ved større spredning i nettoudledninger bliver metode 4 som forudsat lidt lempeligere end metode 2. I enkelte tilfælde med middel negativ årlig nettoudledning og/eller meget stor spredning i nettoudledningerne kan metode 4 blive en smule mere restriktiv end metode 2. Dette har også været hensigten ved udvikling af metoden, da meget store spredninger i nettoudledninger ikke skal gøre det lettere at overholde udlederkravene.

6. Det ville være hensigtsmæssigt at vurdere, om der kan justeres på metode 2 (Dambrugsbekendtgørelsen, 2012). Det har i praksis vist sig, at dambrug ved relativt små variationer hen over året i nettoudledningerne skal have en middel nettoudledning på en del procent under udlederkravene for at kunne overholde disse. Med andre ord skal dambruget for at kunne opfylde udlederkravene udlede noget under de maksimalt tilladte årlige udledninger (se f.eks. tabel 7-10 i kapitel 4). Metode 2 har den fordel, at justeringsfaktoren er positiv, så det i modsætning til metode 1, bliver sværere at overholde udlederkravene ved en given årlig middeludledning ved en øget variation i nettoudledningerne. I metode 1 kan stor variation i nettoudledning medføre accept af en årlig middeludledning, der er større end udlederkravet. Ved i stedet at lave en egentlig transportkontrol men med en kritisk fraktion på mindre end 50 % som i DS2399 (2006) vil dambrugenes gennemsnits nettoudledning ved en given spredning i disse kunne komme tættere på det maksimalt tilladte årlige udledning for TN og TP uden at overskride disse sammenlignet med den kontrol, der p.t er beskrevet i Dambrugsbekendtgørelsen (2012). Omvendt vil kravene fortsat være skærpet sammenlignet med den oprindeligt beskrevne transportkontrol i Larsen og Svenden (1998), da den kritiske fraktion er sænket fra 50 % til under 50 %. Det medfører, at dambrugene ikke kan udlede så tæt på de maksimale årlige udledninger, som hvis den kritiske fraktion sættes til 50 %.
7. Der er nogle forudsætninger og spørgsmål, som bør afklares, når det overvejes at ændre transportkontrol til DS2399 (2006) eller, som DCE foreslår, til en modifikation af DS2399. Det drejer sig blandt andet om hvilken sammenhæng er der mellem de oprindeligt udmeldte tilladte overkoncentrationer (usledergrænseværdier), da man lavede tilstandskontrol på TN og TP koncentration og de udmeldte udlederkrav (stofmængder), når der laves transportkontrol på TN og TP fremfor tilstandskontrol. Hvad skal den kritiske fraktion  $p_1$  være for transportkontrollen, 50 % som i metode 2 eller lavere? Skal nogle af de andre forudsætninger om risiko for dambrugeren og miljøet justeres? Skal store variationer i udledninger i praksis gøre det lettere at overholde udlederkravene end mindre variationer som ved metode 1 og til dels ved metode 3. Dette er primært politisk/administrative beslutninger, som det vil være hensigtsmæssigt at have udmeldinger omkring, før alle aspekter ved en ændret transport- (og tilstandskontrol) rent fagligt kan vurderes.
8. DCE vurdering af metode 3 - DS2399 (2006): DS2399 anvendes for en række spildevandsudledere som f.eks. renseanlæg. Den er udviklet til kontrol af udledninger fremfor nettoudledninger, og disse kan blive negative. Dermed kan de først logaritmetransformeres, efter der tillægges af en konstant (mindste hele tal), der sikrer at alle nettoforskelle er positive og efter tilbagetransformeringen skal denne konstant fratrækkes. En kontrol alene på udledninger (koncentration/mængde) ville betyde, at dambrugeren får sværere ved at overholde udlederkravene. Formlen for tilbagetransformering i DS 2399 for beregning af kontrolværdien er forkert i DS2399! Når

man logaritmetransformerer, nedvægtes betydning af store værdier (koncentrationer/udledninger) modsat metoden i Dambrugsbekendtgørelsen (2012) og dermed nedvægtes variationer i udledningerne. Ved små variationer i nettoudledningerne bliver justeringsfaktoren negativ, men ved store variationer ift. gennemsnits nettoudledningerne bliver den positiv, og gør det dermed sværere at overholde udlederkravene.

9. En forudsætning for overhovedet at kunne anvende DS2399 (2006) til transportkontrol for dambrug kræver efter DCE opfattelse følgende faglige ændringer - betegnet metode 4:
  - a. der skal anvendes nettoudledninger,
  - b. nettoudledningerne (kontrolværdierne) skal ikke logaritme transformeres (herved undgås problemstillingen omkring negative nettoudledninger),
  - c. justeringsfaktoren  $k_{\text{transport}}$  beregnes i princippet efter samme formler som i DS2399 (2006) (metode 3) men  $\beta$ , som indgår ved udregning af  $k_{\text{transport}}$ , beregnes anderledes end i DS2399 (2006) (se tabel 10a og b) og bliver afhængig af både middelværdien af nettoudledningerne og af spredningen på disse (begge beregnet på utransformerede data). Herved sikres også, at høje nettoudledninger ikke nedvægtes.

For mindre spredninger i nettoudledningerne bliver  $k_{\text{transport}}$  ligesom i metode 3 negativ, men ved større spredninger positiv. Metode 4 vil give en lidt mere restriktiv kontrol end metode 3 men i de fleste tilfælde en lidt til noget lempeligere kontrol for udlederen end Dambrugsbekendtgørelsen (2012) (metode 2). Kun ved nettoudledninger der i middel er negative og/eller ved meget store spredninger kan metode 4 blive en mere restriktiv end metode 2. Metode 4 er lettere at anvende end metode 3, men lidt sværere end metode 2. Den har ikke de u hensigtsmæssigheder og fejl, der er i metode 3.

I DS2399 (2006) er den kritiske fraktion  $p_1$  afhængig af spredning på de logaritmetransformerede udledninger og kan antage værdier mellem 0 % (uendelig spredning) og 50 % (ingen spredning) i modsætning til de 50 % som ligger bag transportkontrollen. Dette giver i de fleste tilfælde en skærpelse i forhold til standard transportkontrol (metode 1).

10. DCE foreslår at TN og TP fremadrettet udføres som en reel transportkontrol af nettoudledninger fremfor den faktiske tilstandskontrol på nettoudledninger (metode 2) som sker jf. Dambrugsbekendtgørelsen (2012). Uslederkravet vil være fastlagt ud fra den maksimale tilladte udledning baseret på  $F_{\text{till}}$  (årligt foderforbrug i henhold til bekendtgørelsen om ferskvandsdambrug) omregnet til døgnniveau. DCE skal gøre opmærksom på, at hvis der administrativt/politisk udmeldes ændringer omkring kritiske fraktion, dambrugerens risiko (som pt. er 5 % ved alle metoder svarende til  $P_1 = 95$  %), om fastlæggelse af udlederkrav, betydning af høje nettoudledninger m.v. sammenlignet med nuværende forudsætninger, vil det påvirke bl.a. justeringsfaktoren  $k$  i metode 4 og om metoden bliver mere eller mindre restriktiv/lempelig.
11. Tilstandskontrol, som bør udføres for både  $\text{NH}_4\text{-N}$  og  $\text{BI}_5$ , anvender i både DS2399 (2006) og Dambrugsbekendtgørelsen (2012)  $(p_1, P_1) = (20, 95)$ , hvor  $p_1$  er den kritiske fraktion og  $P_1$  er udlederens sikkerhed og anvender

også ens risici for miljøet og ved hvilken kritisk fraktion man beregner miljøets risiko. Til gengæld beregnes kontrolfaktoren  $K_{\text{tilstand}}$  anderledes i DS2399 (2006). I lighed med transportkontrollen i DS2399 kan DCE ikke anbefale, at der logaritme transformeres ved tilstandskontrol. Der bør anvendes nettokoncentrationer fremfor alene koncentrationen i udledningerne. Hvis der ikke logaritmetransformeres ved tilstandskontrollen i DS2399 er metoden i princippet lig med tilstandskontrollen i Dambrugsbekendtgørelsen (2012). Det vil dog gøre tilstandskontrollen lidt mere kompliceret end efter Dambrugsbekendtgørelsen (2012). Umiddelbart finder DCE ikke der er grund til at ændre på tilstandskontrollen som den udføres jf. Dambrugsbekendtgørelsen (2012).

12. Der er udviklet en justeret tilstandskontrol og transportkontrol for ferskvandsdambrug, der producerer fisk til udsættelse i havbrug, og som er karakteriseret ved en skæv produktion hen over året. DCE har tidligere foreslået (Larsen og Svendsen, 2014) at kriteriet for skæv produktion er at indenfor et år ligger mere end 45 % af produktionen indenfor 3 måneder og mindre end 10 % af produktionen indenfor 3 andre måneder. I forhold til Larsen og Svendsen (2014) er der justeret på forslag til tilstands- og transportkontrol for disse dambrug, så der tages udgangspunkt i DS2399 tilstandskontrol (ved  $\text{NH}_4\text{-N}$  og  $\text{BI}_5$ ) og transportkontrol (TN og TP), men på henholdsvis nettokoncentrationer og nettoudledninger, og hvor der korrigeres for den fejl, der er i DS2399 (2006) når logaritmetransformerede værdier skal tilbagetransformeres. Endvidere præciseres det, at for at undgå at tage logaritme af negative værdier tillægges der det mindste hele tal, der sikrer at der ikke kommer negative nettokoncentrationer eller nettoudledninger. Formlerne for tilstandskontrollen og transportkontrol for skæv produktion findes i henholdsvis kapitel 5.2 og 5.3.
13. Den optimale prøvetagning for fastlæggelse af den udledte gennemsnitskoncentration (af  $\text{NH}_4\text{-N}$  og  $\text{BI}_5$ ) rammes bedst og mest præcist ved anvendelse af 26 prøver i løbet af en kontrolperiode (1 år) sammenlignet med 12 eller 6 årlige prøvetagninger. For  $\text{NH}_4\text{-N}$  er der tilsyneladende ikke statistisk forskel på, om prøverne tages jævnt fordelt over året eller med flest prøver i sommerhalvåret (med størst produktion), mens der for  $\text{BI}_5$  er tendens til, at prøverne skal tages jævnt fordelt.
14. Den optimale prøvetagning ved fastlæggelse af den "sande" gennemsnitsværdi for nettoudledning (af TN og TP) og af den "sande" årlige stofudledning med mindst bias og størst præcision er at tage 26 prøver årligt. Jævnt fordelte prøve over året giver bedste estimat ift. "sande" værdi ved fastlæggelse af gennemsnit af nettoudledninger, mens der ikke ses statistisk signifikant forskel mellem jævnt fordelte prøver og flest prøver i sommerhalvåret for fastlæggelse af den årlige nettoudledning.
15. Det anbefales at anvende lineær interpolationsmetoden ved beregning af stofmængder ind- og ud af dambrug: lav lineær interpolation mellem målte koncentrationer for at fastlægge daglige nettokoncentrationer og anvend de kontinuert målte vandafledninger til at lave døgnværdier heraf. Der gives i kapitel 6 svar på en række andre tekniske spørgsmål relateret til beregning af nettoudledninger fra dambrug
16. Såfremt der er nettoudsivning over dambruget, anvendes på det udsivende vand, koncentrationen af de opløste fraktioner for  $\text{NH}_4\text{-N}$ , TN, TP og  $\text{BI}_5$  målt i vandet, som afledes dambruget. Hvis disse koncentration ikke

kendes, kan man på målte værdier af henholdsvis  $\text{NH}_4\text{-N}$ , TN, TP og  $\text{BI}_5$  gange den andel, som de opløste fraktioner udgør, og som, hvis man ikke har andre oplysninger, kan sætte til:

- a. 100 % af målt  $\text{NH}_4\text{-N}$  i udløb
- b. 90 % af målt TN i udløb
- c. 50 % af målt TP i udløb
- d. 80 % af målte  $\text{BI}_5$  i udløb.

17. Såfremt der er nettoindsivning over dambruget, anvendes målte koncentrationer fra øvre grundvand/drænvandsprøver. Man kan alternativt anvende nedenstående værdier indtil, der foreligger analyseresultater fra grundvandmålinger ved dambruget:

- a. 0,1 mg/l  $\text{NH}_4\text{-N}$
- b. 1,3 mg/l TN
- c. 0,04 mg/l TP
- d. 1,0 mg/l  $\text{BI}_5$ .

18. Standardspredninger fra bilag 2 i Dambrugsbekendtgørelsen (2012) til justering af udlederkrav ved manglende data for et dambrug anbefales på baggrund af analyser af data fra 70 dambrug og 280 måleår justeret til: TN 1,10 mg/l og TP 0,110 mg/l.

## 8 Referencer

Akvakulturudvalget (2010): Regeringens akvakulturudvalg af 2009. Anbefalinger til en bæredygtig udvikling af danske akvakultur. Hovedrapport. Miljøstyrelsen- 46 s.

Bekendtgørelse om ferskvandsdambrug (1994): Bekendtgørelse nr. 900. p 5212-5221.

Bekendtgørelse om miljøgodkendelse og samtidig sagsbehandling af ferskvandsdambrug (2016): Høringsudkast fra Miljøstyrelsen efteråret 2016, 30 sider.

Bekendtgørelse nr. 923 (2002): Bekendtgørelse om modeldambrug nr. 923 af 8. november 2002.

Bekendtgørelse nr. 1327 (2006): Bekendtgørelse om modeldambrug nr. 1327 af 20.11.2006.

Bøgestrand, J og Erfurt, J. (2014). Stoftransport. Teknisk Anvisning DB01 version 1 8.8.2014, 13 s.

Dambugsbekendtgørelsen (2012): Bekendtgørelse om miljøgodkendelse og samtidig sagsbehandling af ferskvandsdambrug. Bekendtgørelse nr. 130 af 8. februar 2012, Miljøstyrelsen j. nr. MST-1251-0012. – 19 sider.

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

Dansk Standard DS2399 (2006): "Afløbskontrol - Statistisk kontrolberegning af afløbsdata". 2. udgave, 12 s.

Danmarks Miljøundersøgelser (1996): Notat fra Danmarks Miljøundersøgelser vedrørende kontrol af grænseværdier og udledningstilladelser fra dambrug.

Fjorback, C., Larsen, S.E., Skriver, J., Svendsen, L.M., Nielsen, P & Riis-Vestergaard, J. (2003): Forsøgsprojekt Døstrup Dambrug. Resultater og konklusioner. Danmarks Miljøundersøgelser. 272 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 434.

Jokumsen, A. & Svendsen, L.M. (2010). Opdræt af regnbueørred i Danmark. DTUAqua-rapport nr. 219-2010. Charlottenlund. Institut for Akvatiske Resourcer, Danmarks Tekniske Universitet, 49 p.

Johnson, N. L., Kotz, S. og Balakrishnan, N. (1994): "14: Lognormal Distributions", *Continuous univariate distributions. Vol. 1*, Wiley Series in Probability and Mathematical Statistics: Applied Probability and Statistics (2nd ed.), New York: John Wiley & Sons.

Larsen, S.E. & Svendsen, L.M. (1998): Afløbskontrol af dambrug. Statistiske aspekter og opstilling af kontrolprogrammer. Danmarks Miljøundersøgelser. 88 c – Faglig rapport fra DMU nr. 260



Larsen, S.E. & Svendsen, L.M. (2002): Notat vedrørende tilpasning af udlederkrav ved overgang fra tilstandskontrol til transportkontrol. Notat fra Danmarks Miljøundersøgelser.

Larsen, S.E. & Svendsen, L.M. (2014): Kontrol af udledning ved produktion af ørred til havbrugsfisk. Fagligt notat fra DCE, Aarhus Universitet – 8 s.

Ovesen, N. B. (2011). Hydrometriske stationer, etablering, drift og vedligeholdelse. Teknisk anvisning B02, version 1.0. DCE- Nationalt Center for Miljø og Energi Aarhus Universitet – 13 s.

Ovesen, N. B. (2011). Vandføringsmålinger. Teknisk anvisning B03, version 1.0. DCE- Nationalt Center for Miljø og Energi Aarhus Universitet – 16 s.

Ovesen, N. B. og Poulsen, J. R. (2011). Hydrometriske stationer, databehandling og beregninger, QH-station. Teknisk anvisning B05, version 1.0. DCE- Nationalt Center for Miljø og Energi Aarhus Universitet – 22 s.

Pedersen, P. B. (2011): Beregning af produktionsbidrag for et foder der opfylder Dambrugsbekendtgørelsens minimumskrav - En beskrivelse af standardiseret produktionsbidrag som udgangspunkt for overgang til regulering på udledning. Notat DTU Aqua 18. maj 2011

Pedersen, P. B., DTU Aqua, personlig kommunikation om vækstrater for opdræts ørreder i danske ferskvandsdambrug.

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

Poulsen, J.B. og Ovesen, N. B. (2011). Vandføringsmålinger med akustisk Doppler instrument (ACP). Teknisk anvisning B04, version 1.0. DCE- Nationalt Center for Miljø og Energi Aarhus Universitet – 16 s.

Svendsen, L. M. (2014): Vandindtag og kontinuert måling af vandmængde på dambrug. Notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet nr. 165 – 12 s.

Svendsen, L.M, Larsen, S.E og Carstensen, M.V. (2015). Kontrol af udledninger med statistiske kontrolmetoder med fokus på revurdering af transportkontrol og optimering af prøvetagning. Bilag 3: DCE's bidrag til arbejdsplan 2 om "alkontrol program" under til rapport fra projekt "Udvikling af IT-værktøjer til dambrug", 50 s.

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

Svendsen, L.M., Larsen, S.E., Carstensen, M.V., Michelsen, K og Sørensen, A.J.T. (i trykken): Fosforfældning og kvantificering af effekten af vandløbsbidrag. DCE, AU's bidrag til arbejdsplan 1.3 om "Fosforfældning" under arbejdsplan 1 "Sandsynliggøre udvalgte rensningsteknologiers evne til at fjerne kvælstof, fosfor og organisk materiale med fokus på opløste stofkomponenter" og arbejdsplan 3 "Kvantificere effekten af evt. vandløbsbidrag" under projekt "Udvikling og validering af rensningsteknologier til klassiske dambrug". Teknisk rapport fra DCE.

Wiberg-Larsen, P., Windolf, J., Bøgestrand, J., Larsen, S.E., Tornbjerg, H., Ovesen, N.B., Nielsen, A., Kronvang, B., & Kjeldgaard, A. (2015). Nr. 165: Vandløb 2014. NOVANA Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 54 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 165.

# Bilag 1 Beregningseksempler på tilstands- og udlederkontrol, daglig og årlig udledning, kontrol af udledninger m.v. (jf. bilag 2 og 3 i høringsudkast til ”Bekendtgørelse om miljøgodkendelse og samtidig sagsbehandling af ferskvandsdambrug, 2016”)

## B.1 Indledning

Dette bilag indeholder beregningseksempler på hvordan der beregnes tilstands- og transportkontrol m.v. jf. bilag 2 og 3 i høringsudkastet til bekendtgørelsen. Transportkontrollen i høringsudkastet svarer til metode 4 (se kapitel 3.4) i denne rapport ligesom de angivne metoder til tilstands- og transportkontrol ved ”skæv produktion” svarer til de beskrevne i kapitel 4.

Regneeksemplerne dækker dambrug reguleret ved emissionskontrol (bilag 2) men også bilag 3 i høringsudkastet til bekendtgørelse for dambrug reguleret efter foderkvote. For sidstnævnte dambrug anbefaler DCE at alle parametre kontrolleres ved tilstandskontrol af udledninger, men det kræver mindst 12 prøvesæt for at denne kontrol giver en tilstrækkelig sikkerhed.

Beregningseksemplerne omfatter:

- fastlæggelse af den årlige maksimale udledning af ammonium og total kvælstof, total fosfor og organisk stof ( $BI_5$ ) for tre produktionsstørrelser (bilag 2, afsnit 1 i høringsudkastet) ud fra  $F_{till}$  (årlige foderforbrug, der er meddelt den enkelte virksomhed i en fodertilladelse i henhold til bekendtgørelse nr. 224 af 5. april 1989 om ferskvandsdambrug)
- fastlæggelse af maksimal daglig udledning af total kvælstof og total fosfor ud fra maksimal årlig udledning (bilag 2, afsnit 3 i høringsudkastet)
- fastlæggelse af maksimal ammonium-kvælstof og organisk stof (målt som  $BI_5$ ) koncentration (bilag 2, afsnit 4 i høringsudkastet)
- kontrol af maksimale årlige udledninger af ammonium kvælstof og  $BI_5$  ved tilstandskontrol og af total kvælstof og total fosfor ved transportkontrol (bilag 2, afsnit 2 i høringsudkastet)
- kontrol af maksimale årlige udledninger af ammonium kvælstof og  $BI_5$  ved tilstandskontrol og af total kvælstof og total fosfor ved transportkontrol i forbindelse med produktion af fisk, der skal anvendes i havbrugsproduktion (skæv produktion) (bilag 2, afsnit 5 i høringsudkastet)
- beregning af udledergrenseværdier for dambrug på foderkvote og kontrol af maksimale årlige udledninger (bilag 3).

Herudover henvises der til kapitel 6 hvor det er vist hvordan følgende faglige problemstillinger håndteres:

- fastlæggelse af koncentrationen i ind- og udløb og nettoudledning, hvis der er flere ind og eller udløb
- hvordan der tages højde for evt. netto vand ind- og udsivning over dambruget ved fastlæggelse af nettokoncentration og nettostofudledning

- hvordan nettoudledningen fra et dambrug beregnes når der mangler sam-hørende værdier af koncentration og vandmængder
- hvordan håndteres start og slut af måleår ved beregning af året nettoudledning.

I regneeksempler vil der bliver regnet på tre "teoretiske" dambrug (dambrug A, B og C) på emissionsbaseret regulering, og hvor det er relevant anvendes forskelligt vandforbrug for at vise betydningen heraf:

- dambrug A:  $F_{\text{till}}$  20 tons med tilladt vandforbrug svarende til det maksimalt tilladte jf. bilag 1 i høringsudkastet til dambrugsbekendtgørelsen (25 l/s pr. 10 tons  $F_{\text{rel}}$ )
- dambrug A:  $F_{\text{till}}$  200 tons med tilladt vandforbrug svarende til det maksimalt tilladte jf. bilag 1 i høringsudkastet til dambrugsbekendtgørelsen (7,5 l/s pr. 10 tons  $F_{\text{rel}}$ )
- dambrug A:  $F_{\text{till}}$  800 tons med tilladt vandforbrug svarende til det maksimalt tilladte jf. bilag 1 i høringsudkastet til dambrugsbekendtgørelsen (1,5 l/s pr. 10 tons  $F_{\text{rel}}$ ).

Herudover regnes der på et eksempel på et "teoretisk" dambrug, der er reguleret efter foderkvote:

- dambrug D: Foderforbrug på  $F_{\text{till}}$  20 tons og tilladt vandindtag 25 l/s pr. 10 tons foder.

## B.2 Fastlæggelse af den årlig maksimale årlige nettoudledning

### Produktionsbidrag

Produktionsbidraget på foder beregnes ud fra DTU Aqua's (Per Bovbjerg Pedersen) notat/beregningsmodel<sup>2</sup> og baseres på en række krav til foderet jf. bilag 5 i høringsudkastet til bekendtgørelsen og forudsætningerne i DTU Aqua's notat. Herudover er forudsat:

- Foderspild plus støv sættes til 1 % af udfodringen
- Tørstofindhold i foderet på 94 %
- Der anvendes i eksemplerne en foderkvotienten på årsbasis 0,95
- Optag af kvælstof og fosfor i fisk sættes til henholdsvis 2,75 % og 0,43 % af fiskens vådvægt.

Dette giver følgende *produktionsbidrag* P ifølge høringsudkastet til bekendtgørelsen:

- 39 kg ammonium-kvælstof/ tons foder
- 56 kg N/ tons foder
- 4,9 kg P/ tons foder
- 97 kg  $BI_5$ / tons foder.

Ovenstående standardproduktionsbidrag pr. tons foder anvendes for alle produktionsstørrelser.

Nettoudledning for et dambrug beregnes ved:

<sup>2</sup> Per Bovbjerg Pedersen, DTU Aqua: Beregning af produktionsbidrag for et foder der opfylder Dambrugsbekendtgørelsens minimumskrav - En beskrivelse af standardiseret produktionsbidrag som udgangspunkt for overgang til regulering på udledning. Notat DTU Aqua 18. maj 2011.

$$U = P - (R_N \cdot P) = P \cdot (100 \% - R_N) \quad (B1)$$

hvor

U = samlede nettoudledning fra et dambrug af et givent stof (ammoniumkvælstof (NH<sub>4</sub>-N), total N, total P og organisk stof målt som BI<sub>5</sub>), dvs. den samlede faktiske udledning minus stofindhold i vandindtaget

P = produktionsbidraget af et givent stof (ammonium- og total N, total P og organisk stof)

R<sub>N</sub> = rensegraden for et givent stof (ammonium- og total N, total P og organisk stof) som jf. høringsudkastet til bekendtgørelsen for de forskellige produktionsstørrelser fastlægges jf. tabel B.1.

**Tabel B.1.** Rensegrader for dambrug på udlederkontrol fordelt på forskellige produktionsstørrelser. N = kvælstof, P = fosfor, BI<sub>5</sub> = organisk stof.

Produktionsstørrelse (F <sub>till</sub> )	≤ 25 tons foderforbrug	25 til 230 tons foderforbrug	>230 tons foder
	Rensegrad	Rensegrad	Rensegrad
R <sub>N</sub> ammonium_N	47 %	55 %	65 %
R <sub>N</sub> total_N	50 %	50 %	50 %
R <sub>N</sub> total P	60 %	65 %	70 %
R <sub>N</sub> BI <sub>5</sub>	60 %	75 %	85 %

Høringsudkastet til bekendtgørelsen definerer, at det relaterede foderforbrug F<sub>rel</sub> findes ved at gange F<sub>till</sub> med faktoren 1,86. F<sub>till</sub> er den foderkvote det enkelte ferskvandsdambrug har fået meddelt i en fodertilladelse i henhold til bekendtgørelse nr. 224 af 5. april 1989 som ferskvandsdambrug. Det er den omregningsfaktor der bruges ved overgang fra regulering på foderkvote til regulering på udlederkontrol. Det betyder at har et dambrug haft er fodertilladelse på 100 tons jvf. bekendtgørelse nr. 224 af 5. april 1989 som ferskvandsdambrug så vil den foderkvote, der anvendes ved beregning af den maksimale nettoudledning være 186 tons.

Rationalet bag denne faktor er at dambruget ved overgang fra regulering på foderkvote til emissionsbaseret regulering umiddelbart vil kunne udlede samme maksimale mængde total kvælstof som hidtil, dvs. som baseret på F<sub>till</sub>. Men hvor rensegraden under den oprindelige dambrugsbekendtgørelsen er fastsat til 7 % forudsættes den for dambrug på udlederkontrol uanset produktionsstørrelse at være 50 % - se tabel B.1. Derfor beregnes hvor meget foder et dambrug reguleret på udlederkontrol (det som benævnes det relaterede foderforbrug) kan anvende - forudsat det maksimalt må udlede samme mængde kvælstof - ud fra følgende formler jf. Bekendtgørelse om modeldambrug nr. 1327 fra 20/11/2006:

$$\text{Relateret foderforbrug} = F_{\text{till}} \cdot ((1 - R_n) / (1 - R_N)) \quad (B2)$$

hvor R<sub>n</sub> er rensegraden for et standarddambrug (7 % for total kvælstof) og R<sub>N</sub> er rensegraden for et modeldambrug (50 % for kvælstof), dvs.:

Relateret foderforbrug:

$$F_{\text{till}} \cdot ((1 - 0,07) / (1 - 0,50)) = F_{\text{till}} \cdot (0,93/0,50) = F_{\text{till}} \cdot 1,86$$

Herved fremkommer formlerne i for de maksimale udledninger  $U_{\max}$  i bilag 2 tabel 1 i høringsudkastet til bekendtgørelsen ved anvendelse af  $F_{\text{till}}$ :

Total kvælstof:

$$U_{\text{TN}} = P_{\text{TN}} \cdot (100 \% - R_{\text{N}}(\text{TN})) \cdot 1,86 \quad (\text{B3})$$

Ammonium kvælstof:

$$U_{\text{NH}_4\text{-N}} = P_{\text{NH}_4\text{-N}} \cdot (100 \% - R_{\text{N}}(\text{NH}_4\text{-N})) \cdot 1,86 \quad (\text{B4})$$

Total fosfor:

$$U_{\text{P}} = P_{\text{TP}} \cdot (100 \% - R_{\text{N}}(\text{P})) \cdot 1,86 \quad (\text{B5})$$

$\text{BI}_5$ :

$$U_{\text{BI}_5} = P_{\text{BI}_5} \cdot (100 \% - R_{\text{N}}(\text{BI}_5)) \cdot 1,86 \quad (\text{B6})$$

hvor P er produktionsbidraget pr. tons foder for de respektive stoffer. I tabel B.2 er der for de forskellige produktionsstørrelser anvendt formlerne B3 til B6 og rensegraderne fra tabel B.1 svarende til tabel 1 i høringsudkastet til pr. tons  $F_{\text{till}}$  til at beregne maksimale udledninger af de forskellige stoffer.

**Tabel B.2:** Maksimal udledning pr. tons  $F_{\text{till}}$  for dambrug der overgår til emissionsbaseret regulering for de forskellige produktionsstørrelser. N = kvælstof, P = fosfor,  $\text{BI}_5$  = organisk stof.

Produktionsstørrelse ( $F_{\text{till}}$ )	$\leq 25$ tons	25 til 230 tons	$>230$ tons
	foderforbrug kg pr tons $F_{\text{till}}$	foderforbrug kg pr tons $F_{\text{till}}$	foderforbrug kg pr tons $F_{\text{till}}$
$U_{\max}$ ammonium_N	38,5	32,6	25,4
$U_{\max}$ total N	52,1	52,1	52,1
$U_{\max}$ total P	3,7	3,2	2,7
$U_{\max}$ $\text{BI}_5$	72,2	45,1	27,1

Herefter kan vi fastlægge hvor stor den maksimale udledning må være for dambrugene A-D:

Maksimale udledninger for dambrug A ( $F_{\text{till}} = 20$  tons):

$$\begin{aligned} U_{\max} \text{ ammonium\_N} &= 20 \text{ tons} \cdot 38,5 \text{ kg tons}^{-1} = 770 \text{ kg NH}_4\text{-N} \\ U_{\max} \text{ total N} &= 20 \text{ tons} \cdot 52,1 \text{ kg tons}^{-1} = 1.042 \text{ kg total N} \\ U_{\max} \text{ total P} &= 20 \text{ tons} \cdot 3,7 \text{ kg tons}^{-1} = 74 \text{ kg total P} \\ U_{\max} \text{ BI}_5 &= 20 \text{ tons} \cdot 72,2 \text{ kg tons}^{-1} = 1.444 \text{ kg BI}_5 \end{aligned}$$

Maksimale udledninger for dambrug B ( $F_{\text{till}} = 200$  tons):

$$\begin{aligned} U_{\max} \text{ ammonium\_N} &= 200 \text{ tons} \cdot 32,6 \text{ kg tons}^{-1} = 6.520 \text{ kg NH}_4\text{-N} \\ U_{\max} \text{ total N} &= 200 \text{ tons} \cdot 52,1 \text{ kg tons}^{-1} = 10.420 \text{ kg total N} \\ U_{\max} \text{ total P} &= 200 \text{ tons} \cdot 3,2 \text{ kg tons}^{-1} = 640 \text{ kg total P} \\ U_{\max} \text{ BI}_5 &= 200 \text{ tons} \cdot 45,1 \text{ kg tons}^{-1} = 9.020 \text{ kg BI}_5 \end{aligned}$$

Maksimale udledninger for dambrug C ( $F_{\text{till}} = 800$  tons):

$$\begin{aligned} U_{\max} \text{ ammonium\_N} &= 800 \text{ tons} \cdot 25,4 \text{ kg tons}^{-1} = 20.320 \text{ kg NH}_4\text{-N} \\ U_{\max} \text{ total N} &= 800 \text{ tons} \cdot 52,1 \text{ kg tons}^{-1} = 41.680 \text{ kg total N} \\ U_{\max} \text{ total P} &= 800 \text{ tons} \cdot 2,7 \text{ kg tons}^{-1} = 2.160 \text{ kg total P} \\ U_{\max} \text{ BI}_5 &= 800 \text{ tons} \cdot 27,1 \text{ kg tons}^{-1} = 21.680 \text{ kg BI}_5 \end{aligned}$$

Dambrug D er reguleret efter foderkvote hvor der opereres med følgende rensegrader:

- Ammonium kvælstof: 0 %
- Total kvælstof: 7 %
- Total fosfor: 20 %
- Organisk stof BI<sub>5</sub>: 20 %.

Heraf findes maksimale udledninger for dambrug D:

$U_{\max}$ ammonium_N	= 20 tons · 1,0 kg tons <sup>-1</sup> = 770 kg ammonium N
$U_{\max}$ total N	= 20 tons · 0,93 · 56 kg tons <sup>-1</sup> = 1.042 kg total N
$U_{\max}$ total P	= 20 tons · 0,80 · 4,9 kg tons <sup>-1</sup> = 78,4 kg total P
$U_{\max}$ BI <sub>5</sub>	= 20 tons · 0,80 · 97 kg tons <sup>-1</sup> = 1552 kg BI <sub>5</sub> .

### B.3 Fastlæggelse af maksimal daglig udledning

For dambrug med emissionsbaseret regulering skal der jf. bilag 2 i høringsudkastet til bekendtgørelsen fastsættes maksimal daglig udledning til fastlæggelse af fordeling af årsproduktionen. For total kvælstof og total fosfor bestemmes denne som at den daglige udledning  $U_d$  ikke må overskride 1 % af dambrugets samlede årlige maksimale nettoudledning  $U_{\max}$  beregnet som et løbende gennemsnit over 7 dage:

#### **Dambrug A (F<sub>till</sub> = 20 tons):**

Total kvælstof:

$U_d(\text{total N}) \leq 0,01 \cdot U(\text{total N}) = 0,01 \cdot 1.042 = 10,4$  kg total N per døgn som et løbende gennemsnit over 7 dage.

Total fosfor:

$U_d(\text{total P}) \leq 0,01 \cdot 74 = 0,74$  kg total P per døgn som et løbende gennemsnit over 7 dage.

#### **Dambrug B (F<sub>till</sub> = 200 tons):**

Total kvælstof:

$U_d(\text{total N}) \leq 0,01 \cdot U(\text{total N}) = 0,01 \cdot 10.420 = 104$  kg total N per døgn som et løbende gennemsnit over 7 dage.

Total fosfor:

$U_d(\text{total P}) \leq 0,01 \cdot 640 = 6,4$  kg total P per døgn som et løbende gennemsnit over 7 dage.

#### **Dambrug C (F<sub>till</sub> = 800 tons):**

Total kvælstof:

$U_d(\text{total N}) \leq 0,01 \cdot U(\text{total N}) = 0,01 \cdot 41.680 = 416,8$  kg total N per døgn som et løbende gennemsnit over 7 dage.

Total fosfor:

$U_d(\text{total P}) \leq 0,01 \cdot 2.160 = 21,6$  kg total P per døgn som et løbende gennemsnit over 7 dage.

Ved kontrol af maksimale stofudledning per dag beregnes en daglig nettostofudledning og herefter beregnes et løbende gennemsnit over 7 dage. Vandudledningen findes direkte ud fra de kontinuerte målinger af vandafledningen og vandindtaget hvoraf der beregnes gennemsnit pr. døgn. Døgnkoncentrationer af total N og total P findes ved lineær interpolation mellem de 26

prøvetagningsdages døgnkoncentrationsmålinger (evt. 12 ved grund-/dræn-vand). Døgnkoncentrationen i hhv. udløb og indløb ganges med de tilhørende døgnvandmængder til fastlæggelse af døgnlige stofudledning og stofindtag og hvor forskellen giver udledt nettostofmængde af total N og total P pr. døgn.

#### B.4 Fastlæggelse af maksimal ammonium kvælstof og organisk stof koncentration

For dambrug med emissionsbaseret regulering skal der jf. bilag 2 i høringsudkastet til bekendtgørelsen skal der for ammonium kvælstof og organisk stof fastlægges maksimale koncentrationer, der aldrig må overskrides, for at forebygge koncentrationsniveauer. Det sker ved:

- I perioden april-september må koncentrationen i udledningerne ikke på noget tidspunkt være højere end:  $4 \cdot K_{udl} \cdot Q_{mm}/Q_{va}$
- I perioden oktober-marts må koncentrationen i udledningerne ikke på noget tidspunkt være højere end:  $6 \cdot K_{udl} \cdot Q_{mm}/Q_{va}$

hvor

$K_{udl}$  = udledergrænseværdier for hhv. ammonium kvælstof (0,4 mg/l) og  $BI_5$  (1 mg/l) jf. bilag 2 i bekendtgørelsen

$Q_{mm}$  = vandløbets medianminimum umiddelbart nedstrøms dambruget

$Q_{va}$  = aktuelle vandafledning fra dambruget.

##### **Dambrug A ( $F_{fill} = 20$ tons):**

Antages dambruget af have en max. vandafledning på 25 l/s vand pr. 10 tons relateret foder eller 2,5 l/s pr. tons relateret foder, dvs. 20 tons  $F_{fill} \cdot 2,5$  l/s  $\cdot 1,86 = 93$  l/s og antages denne vandafledning at svare til 50 % af  $Q_{mm}$  er der i tabel B.2 angivet, hvilke koncentrationer der aldrig må overskrides i udledningen.

**Tabel B.2.** Maksimal koncentration i udledningerne for dambrug A. Se forudsætninger i teksten ovenover.

	april-september	oktober-marts
	mg/l	mg/l
Ammonium-kvælstof	3,2	4,8
$BI_5$	8,0	12,0

Såfremt dambrug kun anvendte halvt så meget vand (dvs. 12,5 l/s pr. tons foder) er der i tabel B.3 vist, hvilke maksimale koncentrationer, som aldrig må overskrides.

**Tabel B.3.** Maksimal koncentration i udledningerne for dambrug A, men med halv så stort vandforbrug som i tabel B.2.

	april-september	oktober-marts
	mg/l	mg/l
Ammonium-kvælstof	6,4	9,6
$BI_5$	16,0	24,0



### **Dambrug B ( $F_{\text{till}} = 200$ tons):**

Antages dambruget af have en maksimal vandafledning på 7,5 l/s vand pr. 10 tons relateret foder eller 0,75 l/s pr. tons relateret foder, dvs. 200 tons  $F_{\text{till}} \cdot 1,86 \cdot 0,75$  l/s = 279 l/s) og antages denne vandafledning at svare til 30 % af  $Q_{\text{mm}}$  angives i tabel B.4 hvilke maksimale Nettokoncentrationer, der aldrig må overskrides.

**Tabel B.4.** Maksimal koncentration i udledningerne for dambrug B. Se forudsætninger i teksten ovenover.

	april-september	oktober-marts
	mg/l	mg/l
Ammonium kvælstof	4,8	7,2
$BI_5$	12,0	18,0

### **Dambrug C ( $F_{\text{till}} = 800$ tons):**

Antages dambruget af have en maksimal vandafledning på 1,5 l/s vand pr. 10 tons relateret foder eller 0,15 l/s pr. tons relateret foder, dvs. 800 tons  $F_{\text{till}} \cdot 1,86 \cdot 0,15$  l/s = 223 l/s) og antages denne vandafledning at svare til 10 % af  $Q_{\text{mm}}$  angives i tabel B.5 hvilke maksimale nettokoncentrationer der aldrig må overskrides.

**Tabel B.5** Maksimal koncentration i udledningerne for dambrug B. Se forudsætninger i teksten ovenover.

	april-september	oktober-marts
	mg/l	mg/l
Ammonium kvælstof	16,0	24,0
$BI_5$	40,0	60,0

Ved kontrol af maksimale koncentrationer baseres denne på de målte koncentrationer i udledningerne (målt koncentration i udledningen (26 prøver pr. år) sammenholdt med den kontinuert afledte vandmængde, hvor sandsynligheden for overskridelse af den maksimal tilladte koncentration primært må antages at kunne forekomme i forbindelse med en hurtig forøgelse af vandafledningen.

### **Dambrug D ( $F_{\text{till}} = 20$ tons):**

Dambrug D er reguleret efter foderkvote og der fastlægges derfor ikke maksimal daglig udledninger af TN og TP eller maksimal ammonium-kvælstof og organisk stof koncentration efter bilag 2 i høringsudkastet til bekendtgørelsen. Der fastlægges i stedet i henhold til bilag 3 i høringsudkastet til bekendtgørelsen alene udledergrænseværdier - se næste delafsnit.

## **B.5 Udledergrænseværdier for dambrug på foderkvote**

Lad os betragte dambrug D med  $F_{\text{till}}$  på 20 tons reguleret efter foderkvote med et tilladt vandforbrug på 25 l/s pr. 10 tons foder, dvs. på 50 l/s og at den aktuelle vandmængde  $Q_{\text{va}}$  dambruget i gennemsnit bruger i løbet af et år er 48 l/s. Lad os endvidere antage at median minimum  $Q_{\text{mm}}$  er 120 l/s. I henhold til bilag 3 i høringsudkastet til bekendtgørelsen fastlægges udledergrænseværdier (den maksimale koncentrationsforøgelse over dambruget der tillades) ved:

$$\begin{aligned} \text{Ammonium-kvælstof} &= 0,04 \text{ mg NH}_4\text{-N/l} \cdot Q_{\text{mm}}/Q_{\text{va}} = 0,04 \text{ mg NH}_4\text{-N/l} \cdot \\ &120/48 = 0,1 \text{ mg NH}_4\text{-N /l} \\ \text{TN} &= 0,6 \text{ mg N/l} \cdot 120/48 = 1,5 \text{ mg N/l} \\ \text{TP} &= 0,05 \text{ mg P/l} \cdot 120/48 = 0,125 \text{ mg P/l} \\ \text{BI}_5 &= 1,0 \text{ mg BI}_5 / \text{l} \cdot 120/48 = 2,5 \text{ mg P/l.} \end{aligned}$$

## B.6 Kontrol af maksimale årlige udledninger jf. punkt 2, bilag 2 i høringsudkastet til bekendtgørelse (emissionsbaseret regulering)

### B.6.1 Fastlæggelse af udledergrænseværdier

Ved kontrol af overholdelse af de maksimale årlige udledninger skal der indledningsvist *fastlægges udledergrænseværdier*. Hvordan disse beregnes er eksemplificeret for dambrug A-C.

For ammonium-kvælstof og organisk stof anvendes *tilstandskontrol* og udledergrænseværdierne betegnes  $U_k$ . For total kvælstof og total fosfor anvendes *transportkontrol* og udledergrænseværdierne betegnes  $U_T$ .

For Dambrug C med  $F_{\text{till}} = 800$  tons vises hvordan man fastlægger udledergrænseværdierne og derefter gennemgås på basis af udlederkontrol fra et par ferskvandsdambrug hvordan udlederkontrollen konkret beregnes.

For dambrug C anvendes den maksimale årlige udledning  $U_{\text{max}}$  som vist tidligere i dette bilag. Der antages et max. vandforbrug på 800 tons  $\cdot 1,86 \cdot 0,15$  l/s tons foder<sup>-1</sup> = 223 l/s.

Ved *tilstandskontrol* deles den årlige maksimale udledning med de årlige tilladte maksimale udledninger af henholdsvis ammonium-kvælstof og  $\text{BI}_5$  med gennemsnittet af vandafledning på prøvetagningsdøgn for at fastlægge udledergrænseværdien  $U_k$ .

For *ammonium-kvælstof* bliver  $U_k$  for dambrug C:  
 $20.320 \text{ kg NH}_4\text{-N} / (365 \text{ dage} \cdot 223 \text{ l/s}) = 20.320 \cdot 10^6 \text{ mg} / (365 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 24 \text{ s} \cdot 223 \text{ l/s}) = 2,89 \text{ mg/l}$

For dambrug A fås tilsvarende:  $770 \text{ kg NH}_4\text{-N} / (365 \text{ dage} \cdot 93 \text{ l/s}) = 0,263 \text{ mg/l}$   
 For dambrug B fås tilsvarende:  $6.520 \text{ kg NH}_4\text{-N} / (365 \text{ dage} \cdot 279 \text{ l/s}) = 0,741 \text{ mg/l}$ .

For *organisk stof* ( $\text{BI}_5$ ) bliver  $U_k$  for dambrug C:  
 $21.680 \text{ kg BI}_5 / (365 \text{ dage} \cdot 223 \text{ l/s}) = 3,08 \text{ mg BI}_5/\text{l}$

For dambrug A fås tilsvarende:  $1.444 \text{ kg BI}_5 / (365 \text{ dage} \cdot 93 \text{ l/s}) = 0,49 \text{ mg/l}$   
 For dambrug B fås tilsvarende:  $9.020 \text{ kg BI}_5 / (365 \text{ dage} \cdot 279 \text{ l/s}) = 1,03 \text{ mg/l}$

Ved *transportkontrol* deles den årlige tilladte maksimale udledning af henholdsvis total kvælstof og total fosfor med 365 (dage) for at fastlægge den daglige udledergrænseværdi  $U_T$ , der skal overholdes.

For *total kvælstof* bliver udledergrænseværdien  $U_T$  for dambrug C:  
 $41.680 \text{ kg total N} / 365 \text{ dage} = 114,2 \text{ kg total N/døgn}$

For dambrug A fås tilsvarende: 1.042 kg N / 365 dage = 2,85 kg total N/døgn  
 For dambrug B fås tilsvarende: 10.420 kg N / 365 dage = 28,5 kg total N/døgn.

For total fosfor bliver udledergrænseværdien  $U_T$  for dambrug C:  
 2.160 kg total P/365 dage = 5,9 kg total P/døgn

For dambrug A fås tilsvarende: 74 kg P / 365 dage = 0,203 total P/døgn  
 For dambrug B fås tilsvarende: 640 kg P / 365 dage = 1,75 kg total P/døgn.

### B.6.2 Hvordan udføres tilstandskontrol?

I dette afsnit eksemplificeres gennemførelse af tilstandskontrol på baggrund af konkrete egenkontrollodata fra to dambrug. Der er ikke tale om dambrug A-D, der har været anvendt ovenfor men data fra nogle af dambrugs som er indgået i denne rapport's kapitel 4 og 5.

Som grundlag for gennemførelse af tilstandskontrol skal den årlige tilladte maksimale udledning af henholdsvis ammonium-kvælstof og  $BI_5$  som omtalt i afsnit B5.1 deles med 365 og med gennemsnittet af vandafledningen for prøvetagningsdøgnet for at fastlægge de udledergrænseværdier  $U_k$ , der skal overholdes.

Tilstandskontrollen udføres herefter ved:

$$d_k + k_k(n) \cdot s_k \leq U_k$$

hvor

$d_k$ : gennemsnit af  $n$  målte nettodøgnkoncentrationer i udledningen (forskellen i koncentration i udløb og indløb i prøvetagningsdøgnet) (i mg/l)

$s_k$ : spredningen på  $n$  nettokoncentrationer i udledningerne (i mg/l)

$U_k$ : udledergrænseværdi (i mg/l)

$k_k(n)$ : justeringsfaktoren ved tilstandskontrol for  $n$  prøver.  $k_k(26) = 0,5035$ ,  $k_k(12) = 0,3586$ .

#### Eksempel 1:

Dette er et eksempel på tilstandskontrol, hvor der har været stor variation mellem de målte nettodøgnkoncentrationer af kontrolstoffet  $BI_5$ . For kontrolåret 2014 var der i alt 22 prøvetagninger på dette dambrug og nedenfor er nettodøgnkoncentrationen (i mg/l) (som døgnkoncentrationens ud minus døgnkoncentrationen ind) på de 22 prøvetagningsdage angivet:

3,18	-0,46	1,7	-0,6	-0,8	0,55	2,23	2,23	2,14	1,44
-0,8	-1	0,25	-0,75	0,03	1,13	-1,29	-1,89	-0,09	0,41
0,11	-0,86								

Man får følgende beregnede størrelser:

$$d_k = 0,3118$$

$$s_k = 1,3572.$$

Dette giver en variationskoefficient på  $d_k / s_k \cdot 100 \% = 435 \%$  – altså en stor spredning i nettodøgnkoncentrationerne.

Ifølge tabel 1 (kapitel 3) bliver justeringsfaktorer med  $n = 22$ :  $k_k(22) = 0,4764$ .

Udlederkravværdien for dette dambrug er:  $U_k = 1 \text{ mg BI}_5 \text{ l}^{-1}$ .

Hermed kan kontrolstørrelsen beregnes til:

$$d_k + k_k(n) \cdot s_k = 0,9584 \text{ mg BI}_5 \text{ l}^{-1}.$$

Udlederkravet er opfyldt, da den beregnede kontrolstørrelse ligger lige under udledergrænseværdien  $U_k$ .

### Eksempel 2:

For et andet dambrug er der gennemført 23 egenkontrol for kontrolåret 2014 og her er variationen mellem de 23 nettodøgnkoncentrationer lille. Der er fundet følgende nettodøgnkoncentrationer for ammonium-kvælstof ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ):

4,24	0,54	2,27	2,47	2,56	1,96	5,46	5,02	2,02	2,4
1,9	2,9	4,2	3,55	2,25	3,46	2,96	2,33	1,93	1,78
1,3	2,4	3,6							

Man får følgende beregnede størrelser:

$$d_k = 2,7609$$

$$s_k = 1,1752.$$

Dette giver en variationskoefficient på  $d_k / s_k \cdot 100 \% = 42 \%$  – altså en beskedne spredning i nettodøgnkoncentrationerne.

Ifølge tabel 1 (kapitel 3) bliver justeringsfaktorer med  $n = 23$ :  $k_k(23) = 0,4838$ .

Udlederkravværdien for dette dambrug er:  $U_k = 4,3280 \text{ mg NH}_4\text{-N l}^{-1}$ .

Hermed kan kontrolstørrelsen beregnes til:

$$d_k + k_k(n) \cdot s_k = 3,3281 \text{ mg NH}_4\text{-N l}^{-1}.$$

Udlederkravet er opfyldt da den beregnede kontrolstørrelse ligger noget under udledergrænseværdien  $U_k$ .

### B.6.3 Hvordan udføres transportkontrol?

I dette afsnit eksemplificeres gennemførelse af transportkontrol på baggrund af konkrete egenkontrollodata fra to dambrug (nogle andre end dem anvendt i B.5.1).

Som grundlag for gennemførelse af transportkontrol deles den årlige tilladte maksimale udledning af henholdsvis total kvælstof og total fosfor som tidligere omtalt med 365 (antal dage i året) for at fastlægge de daglige udledergrænseværdier  $U_T$ , der skal overholdes.

Transportkontrollen udføres ved:

$$d_T + k_T(n) \cdot s_T \leq U_T$$

hvor

$d_T$ : gennemsnit af  $n$  målte nettodøgnudledninger (forskellen i transport i udløb og transport i indløb baseret på målte koncentrationer i vandafledning og vandindtag og tilsvarende målte vandmængder i prøvetagningsdøgnet) (i kg/døgn)

$s_T$ : spredningen på de  $n$  nettodøgnudledninger (i kg/døgn)

$U_T$ : udledergrænseværdi (i kg/døgn)

$k_T(n)$ : justeringsfaktoren ved transportkontrol for  $n$  prøver. Den afhænger af  $n$ ,  $d_T$  samt af  $s_T$ .  $k_T(n)$  og beregnes efter følgende metode, som består af nogle beregningstrin:

$$v = n - 1$$

$$\delta = -\sqrt{n} \cdot \frac{\sqrt{\ln\left(1 + \frac{s_T^2}{d_T^2}\right)}}{2}$$

$$A = \frac{1,6449^2}{2 \cdot v} - \left(1 - \frac{1}{4 \cdot v}\right)^2$$

$$B = -2 \cdot \delta \cdot \left(1 - \frac{1}{4 \cdot v}\right)$$

$$D = 1,6449^2 - \delta^2$$

$$E = B^2 - 4 \cdot A \cdot D$$

$$t_0 = \frac{-B + \sqrt{E}}{2 \cdot A}$$

$$k_T(n) = \frac{t_0}{\sqrt{n}}$$

### Eksempel 1:

Dette eksempel på transportkontrol er baseret på konkrete målinger fra et dambrug, som på et kontrolår har gennemført 26 egenkontrol målinger og derfor udføres kontrollen på 26 nettodøgnudledninger (udledt stofmængde i døgn i minus indtaget stofmængde døgn i). Dette dambrug har en lille variation i mellem nettodøgnudledningerne. Nettodøgnudledningerne af total N har været:

28,38	37,74	32,73	33,92	18,14	39,59	26,02	34,75	28,79	28,79
30,80	26,28	33,19	0,70	12,04	18,55	13,72	22,68	26,04	21,44
28,01	29,65	47,03	38,21	29,25	31,99				

Man får følgende beregnede størrelser:

$$d_T = 27,63 \text{ kg/døgn}$$

$$s_T = 9,64 \text{ kg/døgn.}$$

Dette giver en variationskoefficient på  $d_k / s_k \cdot 100 \% = 35 \%$  - altså en beskedne spredning i nettodøgnudledningerne.

Udlederkravværdien for dette dambrug er:  $U_T = 34 \text{ kg total N/døgn.}$

Justeringsfaktoren  $k_T$  ved  $n = 26 = k_T(26)$  beregnes efter følgende metode, som består af nogle beregningstrin:

$$v = n - 1 = 25$$

$$\delta = -\sqrt{n} \cdot \frac{\sqrt{\ln\left(1 + \frac{s_T^2}{d_T^2}\right)}}{2} = -0,848$$

$$A = \frac{1,6449^2}{2 \cdot v} - \left(1 - \frac{1}{4 \cdot v}\right)^2 = -0,93$$

$$B = -2 \cdot \delta \cdot \left(1 - \frac{1}{4 \cdot v}\right) = 1,68$$

$$D = 1,6449^2 - \delta^2 = 1,99$$

$$E = B^2 - 4 \cdot A \cdot D = 10,2$$

$$t_0 = \frac{-B + \sqrt{E}}{2 \cdot A} = -0,81$$

$$k_T(26) = \frac{t_0}{\sqrt{n}} = -0,160$$

Med disse størrelser bliver:

$$d_T + k_T(26) \cdot s_T = 26,09 \text{ kg total N/døgn,}$$

hvilket er under udledergrænseværdien  $U_T$ .

### Eksempel 2:

I dette eksempel på transportkontrol af total P har dambruget udført i alt 24 egenkontrol målinger på et år, og derfor skal kontrollen udføres på 24 nettodøgnudledninger. Dette dambrug har en lille variation i mellem nettodøgnudledningerne. Nettodøgnudledningerne af total P har været:

0,5	0,7	1,4	0,2	-0,2	1,7	4,1	0,5	-0,7	-1,2
-1,0	0,5	1,2	3,1	2,2	1,7	0,7	3,6	1,2	-1,7
-0,2	-3,1	0	0,26						

Man får følgende beregnede størrelser:

$$d_T = 0,64$$

$$s_T = 1,64.$$

Dette giver en variationskoefficient på  $d_k / s_k \cdot 100 \% = 255 \%$  - altså en temmelig stor spredning i nettodøgnudledningerne.

Udlederkravværdien for dette dambrug er:  $U_T = 1,3 \text{ kg total P/døgn}$

$k_T(24)$  beregnes efter følgende metode, som består af følgende beregningstrin:

$$v = n - 1 = 23$$

$$\delta = -\sqrt{n} \cdot \frac{\sqrt{\ln\left(1 + \frac{s_T^2}{d_T^2}\right)}}{2} = -3,48$$

$$A = \frac{1,6449^2}{2 \cdot v} - \left(1 - \frac{1}{4 \cdot v}\right)^2 = -0,92$$

$$B = -2 \cdot \delta \cdot \left(1 - \frac{1}{4 \cdot v}\right) = 6,88$$

$$D = 1,6449^2 - \delta^2 = -9,40$$

$$E = B^2 - 4 \cdot A \cdot D = 12,8$$

$$t_0 = \frac{-B + \sqrt{E}}{2 \cdot A} = 1,80$$

$$k_T(24) = \frac{t_0}{\sqrt{n}} = 0,367$$

Med disse størrelser bliver;

$$d_T + k_T(26) \cdot s_T = 1,25 \text{ kg total P/døgn,}$$

hvilket er under, men tæt på udledergrænseværdien  $U_T$ .

### **B.7 Kontrol af maksimale årlige udledninger i forbindelse med produktion af fisk, der skal anvendes i havbrugs produktion (skævt produktion), jf. punkt 5, bilag 2 i høringsudkastet til bekendtgørelse**

I høringsudkastet til bekendtgørelsen (2016) er der i bilag 2 afsnit 5 e modificeret metode til udførelse af kontrol af udledningerne, som tager hensyn til den skæve produktion. Metoden er beskrevet i nærværende rapport's kapitel 5 og eksemplificeres her på basis af konkrete egenkontrolmålinger.

#### **B.7.1 Hvordan udføres tilstandskontrol**

Som grundlag for gennemførelse af tilstandskontrol deles den årlige tilladte maksimale udledning af henholdsvis ammonium-kvælstof og  $BI_5$  med 365 og med gennemsnittet af vandafledningen for prøvetagningsdøgnet for at fastlægge de udledergrænseværdier  $U_k$ , der skal overholdes.

Tilstandskontrollen udføres herefter ved:

$$\exp(d_k + k_k(n) \cdot s_k) \cdot \exp(0,5 \cdot s_k^2) \leq U_k,$$

$U_k$  er udledergrænseværdien angivet som en koncentration (i mg/l).

$d_k$ : gennemsnit af logaritme transformerede  $n$  målte daglige nettokoncentrationer  $x_i$  i udledningen (forskul i koncentrationen i udløb og koncentrationen i indløb i prøvetagningsdøgnet  $i$ ) (i mg/l):

$$d_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(x_i),$$

Hvis en eller flere af  $x_i$  værdierne er negative adderes det mindst hele positive tal så alle  $x_i$  værdierne bliver positive (da der kan ikke tages naturlig logaritme af negative tal). Det positive tal, der er adderet til alle  $x_i$  værdierne, fratrækkes efterfølgende på venstre side af uligheden efter at udtrykket med eksponentialfunktionen er beregnet.

$s_k$ : spredningen på de  $n$  logaritme transformerede nettokonzentrationer (i mg/l):

$$s_k = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln(x_i) - d_k)^2}{n-1}}$$

$k_k(n)$ : justeringsfaktoren ved tilstandskontrol for  $n$  prøver. Den afhænger af  $n$ , og af  $s_k$  (se nedenfor for beregning).  $k_k(n)$  beregnes efter følgende metode, som består af nogle beregningstrin:

$$v = n - 1$$

$$\delta = -\sqrt{n} \cdot \frac{s_k}{2}$$

$$A = \frac{1,6449^2}{2 \cdot v} - \left(1 - \frac{1}{4 \cdot v}\right)^2$$

$$B = -2 \cdot \delta \cdot \left(1 - \frac{1}{4 \cdot v}\right)$$

$$D = 1,6449^2 - \delta^2$$

$$E = B^2 - 4 \cdot A \cdot D$$

$$t_0 = \frac{-B + \sqrt{E}}{2 \cdot A}$$

$$k_k(n) = \frac{t_0}{\sqrt{n}}$$

#### Eksempel:

Dette eksempel viser hvordan tilstandskontrollen beregnes for et dambrug der producere fisk til anvendelse i havbrugsproduktion (skæv produktion). Der er på et kontrolår udført 22 prøvetagninger af ammonium-kvælstof ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) og nettokonzentrationen i udledningerne er beregnet til at være:

2,18	0,42	2,22	1,14	-0,06	-0,59	-0,16	1,86	0,94	0,95
-0,48	-0,28	0,31	1,02	2,04	2,53	2,18	2,45	2,58	1,75
3,05	3,53								

Da der er nogle negative nettokonzentrationer skal man til alle nettokonzentrationer i tabellen ovenfor addere tallet 1 som er det mindste hele positive tal, der sikrer at alle nettokonzentrationer bliver positive. Derefter transformeres data med den naturlige logaritme og det giver herefter:

1,16	0,35	1,17	0,76	-0,06	-0,89	-0,17	1,05	0,66	0,67
-0,65	-0,33	0,27	0,70	1,11	1,26	1,16	1,24	1,28	1,01
1,40	1,51								

Man får følgende beregnede størrelser:

$$d_k = 0,67$$

$$s_k = 0,70.$$

Udlederkravværdien forudsættes at være:  $U_k = 1,7 \text{ mg NH}_4\text{-N l}^{-1}$ .



$K_k(22)$  beregnes efter følgende metode, som består af følgende beregningstrin:

$$v = n - 1 = 21$$

$$\delta = -\sqrt{n} \cdot \frac{s_k}{2} = -1,63$$

$$A = \frac{1,6449^2}{2 \cdot v} - \left(1 - \frac{1}{4 \cdot v}\right)^2 = -0,91$$

$$B = -2 \cdot \delta \cdot \left(1 - \frac{1}{4 \cdot v}\right) = 3,22$$

$$D = 1,6449^2 - \delta^2 = 0,0477$$

$$E = B^2 - 4 \cdot A \cdot D = 10,6$$

$$t_0 = \frac{-B + \sqrt{E}}{2 \cdot A} = -0,0144$$

$$k_k(n) = \frac{t_0}{\sqrt{n}} = 0,003$$

Tilstandskontrollen udføres herefter ved at beregne:

$$\exp(d_k + k_k(22) \cdot s_k) \cdot \exp(0,5 \cdot s_k^2) - 1 = 1,47$$

hvilket er under udlederkravværdien  $U_k$ .

### B.7.2 Hvordan udføres transportkontrol

Som grundlag for gennemførelse af transportkontrol deles den årlige tilladte maksimale udledning af henholdsvis total kvælstof og total fosfor med 365 for at fastlægge de daglige udledergrænseværdier  $U_T$ , der skal overholdes.

Transportkontrollen udføres ved:

$$\exp(d_T + k_T(n) \cdot s_T) \cdot \exp(0,5 \cdot s_T^2) \leq U_T$$

$U_T$  er udledergrænseværdien (kg pr. døgn).

$d_T$ : gennemsnit af logaritme transformerede  $n$  målte nettoudledninger  $y_i$  (forskelle i transport i udløb og transport i indløb baseret på målte koncentrationer i vandindtag og vandafledning og tilsvarende målte vandmængder i prøvetagningsdøgnet  $i$ ) (i kg/døgn):

$$d_T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln y_i,$$

Hvis en eller flere af  $y_i$  værdierne er negative adderes det mindste hele positive tal så alle  $y_i$  værdierne bliver positive (der kan ikke tages naturlig logaritme af negative tal). Det positive tal, der er adderet til alle  $y_i$  værdierne, fratrækkes efterfølgende på venstre side af uligheden efter at udtrykket med eksponentialfunktionen er beregnet.

$s_T$ : spredningen på de  $n$  logaritme transformerede nettodøgnudledninger (i kg/døgn):

$$s_T = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln(y_i) - d_T)^2}{n-1}}$$

$k_T(n)$ : justeringsfaktoren ved transportkontrol for  $n$  prøver. Den afhænger af  $n$ , og af  $s_T$  (se nedenfor for beregning).  $k_T(n)$  beregnes efter følgende metode, som består af nogle beregningstrin:

$$v = n - 1$$

$$\delta = -\sqrt{n} \cdot \frac{s_T}{2}$$

$$A = \frac{1,6449^2}{2 \cdot v} - \left(1 - \frac{1}{4 \cdot v}\right)^2$$

$$B = -2 \cdot \delta \cdot \left(1 - \frac{1}{4 \cdot v}\right)$$

$$D = 1,6449^2 - \delta^2$$

$$E = B^2 - 4 \cdot A \cdot D$$

$$t_0 = \frac{-B + \sqrt{E}}{2 \cdot A}$$

$$k_T(n) = \frac{t_0}{\sqrt{n}}$$

#### Eksempel:

Dette eksempel viser hvordan transportkontrollen beregnes for et dambrug der producere fisk til anvendelse i havbrugsproduktion (skæv produktion). Der er på et kontrolår målt total P i alt 25 gange. De daglige nettostoftransporter er beregnet som angivet nedenfor og da ingen nettodøgnudledninger er negative kan de transformeres med den naturlige logaritme uden at addere et positivt heltal til dem alle sammen. Nettodøgnudledningerne er:

6,74	5,20	7,38	6,58	4,04	6,72	4,70	0,81	1,76	3,25
3,51	3,38	4,77	2,06	1,01	1,64	1,74	2,57	3,51	1,98
2,05	2,13	3,41	5,04	6,37					

De transformerede nettodøgnudledninger er:

1,91	1,65	2,00	1,88	1,40	1,91	1,55	-0,21	0,57	1,18
1,26	1,22	1,56	0,72	0,013	0,49	0,55	0,94	1,25	0,68
0,72	0,76	1,23	1,62	1,85					

Man får følgende beregnede størrelser:

$$d_T = 1,14$$

$$s_T = 0,61.$$

Udlederkravværdien forudsættes at være:  $U_T = 3,8$  kg total P/døgn.

$k_T(25)$  beregnes efter følgende metode, som består af følgende beregningstrin:

$$v = n - 1 = 24$$

$$\delta = -\sqrt{n} \cdot \frac{s_T}{2} = -1,52$$

$$A = \frac{1,6449^2}{2 \cdot v} - \left(1 - \frac{1}{4 \cdot v}\right)^2 = -0,92$$

$$B = -2 \cdot \delta \cdot \left(1 - \frac{1}{4 \cdot v}\right) = 3,01$$

$$D = 1,6449^2 - \delta^2 = 0,40$$

$$E = B^2 - 4 \cdot A \cdot D = 10,5$$

$$t_0 = \frac{-B + \sqrt{E}}{2 \cdot A} = -0,13$$

$$k_T(n) = \frac{t_0}{\sqrt{n}} = -0,027.$$

Transportkontrollen udføres ved:

$$\exp(d_T + k_T(n) \cdot s_T) \cdot \exp(0,5 \cdot s_T^2) = 3,72 \text{ total P/1}$$

hvilket er lige under udlederkravværdien  $U_T$ .

### **B.8 Kontrol af overholdelse af udledergrænseværdier for dambrug reguleret efter foderkvote jf. bilag 3 i høringsudkastet til bekendtgørelse**

For dambrug der er reguleret efter foderkvote skal en kontrol af overholdelse af udledergrænseværdierne ske med tilstandskontrol for alle parametre, dvs. for  $\text{NH}_4\text{-N}$ , total N, total P og  $\text{BI}_5$ . Rent praktisk beregnes udledergrænseværdierne som angivet i afsnit B.5 og selve kontrollen gennemføres som beskrevet i afsnit B6.2.

## Bilag 2 Kommentering på nogle faglige kommentarer i høringssvarene

Miljøstyrelsen har efter høringen af "Bekendtgørelse om miljøgodkendelse og samtidig sagsbehandling af ferskvandsdambrug, 2016" bedt DCE om at svare på nogle faglige kommentarer i høringssvarene.

Nr. 1 "Aalborg Kommune bemærker, at for dambrug på foderkvote betyder metoden til fastlæggelse af udledergrænseværdien, at der i mange tilfælde tillades en fordobling af den tilladte udledning, idet der ganges en fortyndingsfaktor på de sædvanlige udledergrænseværdier og dambrugene typisk indtager  $\frac{1}{2} Q_{mm}$ . Aalborg Kommune anbefaler derfor, at der kun er i særlige tilfælde, at der skal tages hensyn til fortynding."

### Svar:

Fastlæggelse af udledergrænseværdierne både for dambrug efter emissionsbaseret regulering (§3 og bilag 2) og for dambrug på foderkvote (§4 og bilag 4) sker efter præcis samme måde og beskrivelse som under den nuværende "Bekendtgørelse om miljøgodkendelse og samtidig sagsbehandling af ferskvandsdambrug" (Bekendtgørelse nr. 430 af 11/05/2012). Den eneste forskel er, at der i bilag 2 i formel for fastlæggelse af  $U_{max}$  total N i Bekendtgørelse nr. 430 af 11/05/2012 var faldet en faktor 1,86 væk, denne trykfejl er rettet i udkastet til den nye bekendtgørelse.

For dambrug reguleret efter foderkvote er det foderkvoten som fastlægger den potentielle maksimale mængde næringsstoffer, der må udledes fra et dambrug med de givne krav til fodersammensætning og anvendelse heraf, drift og indretning af dambruget, BAT standardkrav m.v. Herudover er der så et sæt udledergrænseværdier som skal overholdes. Ved udledning af en given stofmængde vil koncentrationen i udledningen være afhængig af hvor meget vand, der udledes. Halveres den vandmængde, der anvendes til produktionen af en given mængde fisk, og der er samme stoftilførsel ved produktionen af f.eks. kvælstof efter stoffjernelse over dambruget, så fordobles koncentrationen i det udledte vand, men det bliver det samme antal kg, som tilføres vandløbet og som skal fortyndes op i recipienten. Der tillades derfor ikke udledt højere stofmængder, men en højere koncentration i den afledte vandmængde, som så samtidigt er reduceret. Det er samme princip, der er anvendt ved maximale koncentration i udledningerne i bilag 2, hvor en halvering i vandforbruget betyder at koncentrationen kan fordobles - men stofmængde vil være den samme. Tilsvarende gælder hvis vandforbruget øges, så vil udledergrænseværdierne skulle reduceres ellers ville man risikere øgede udledninger.

Nr. 2 "Endvidere vil Aalborg Kommune gerne vide, om der med  $Q_{va}$  som årlig aktuel vandføring menes et årligt gennemsnit."

### Svar:

Det afhænger af i hvilken sammenhæng  $Q_{va}$  (aktuel vandføring) anvendes om der skal bruges et årligt, et døgn eller et andet gennemsnit. Ved fastlæggelse af udledergrænseværdier ved tilstandskontrol under både emissionsbaseret reguleringer og efter foderkvote anvendes  $Q_{va}$  som et årligt gennemsnit. Ved

kontrol af om udledergrænseværdierne er overholdt anvendes døgn gennemsnit af  $Q_{va}$  for det døgn, der er udtaget vandprøve til fastlæggelse af koncentrationen i indtags- og afløbsvandet.

Ved fastlæggelse af maksimal ammonium-kvælstof og organisk stof koncentration ( $C_{max}$ ) for henholdsvis perioden april-september og oktober-april bør  $Q_{va}$  gennemsnittet for hver af de to perioder anvendes, mens der ved kontrol af overholdelse af de maksimale koncentrationer anvendes døgn gennemsnit på måledagen.

Nr. 3 "I bilag 3 er  $Q_{min}$  defineret som median minimum og  $Q_{va}$  er defineret som den årlige aktuelle vandføring fra dambrug. Det kan i stedet overvejes at bruge den aktuelle vandafledning i forbindelse med udtagning af egenkontrolprøverne i stedet for den årlige vandafledning. Det bør suppleres med enheder (m /år eller l/s) for både  $Q_{min}$  og  $Q_{va}$ " (Vejle Kommune)

**Svar:**

Der henvises til svar på spørgsmål 2, idet der anvendes årligt gennemsnit af aktuel vandafledning ved fastlæggelse af udledergrænseværdien, mens den aktuelle vandafledning i forbindelse med udtagning af egenkontrolprøve anvendes ved kontrol af udledergrænseværdier.

Enheden for  $Q_{va}$  er i l/s.

Nr. 4. "Bilag 2, pkt. 2. Det vil være mere enkelt for tilsynsmyndigheden, hvis udlederkravet ikke hvert år skal justeres ift. til det aktuelle vandgennemsnit (for at holde enheden mg/l). Kan det derfor fremgå, at tilstandskontrollen kan gennemføres i kg/d ved at kigge på gennemsnit i nettodøgnudledninger i stedet for nettodøgnkoncentrationer?" (Rinkøbing Skjern Kommune)

**Svar:**

Udledergrænseværdien tager i høringsudkastet højde for at hvis der bruges mindre vand til produktionen og der er samme stoftab pr. produceret kg fisk, så vil nettokoncentrationen stige i udledningerne, selv om der udledes samme stofmængde og tilførslen dermed er den samme til vandløbet. Hvis vandforbruget øges falder koncentrationen i nettoudledningen, men så bør udledergrænseværdien tilsvarende også falde for ellers tillades en øget udledning. Udledergrænseværdien er meget let at beregne:  $U_{max}$  divideret med 365 (dage) og divideret med gennemsnittet af aktuelle vandafledning på prøvetagningsdagene. Da den aktuelle vandafledning på prøvetagningsdøgn også skal anvendes ved kontrol af overholdelse af udledergrænseværdierne findes disse data allerede, og beregningerne er hurtige og simple at lave. Hvis man som foreslået vil anvende nettodøgnudledninger, så bliver det reelt en kontrol på stofmængder, som ved anvendelse af tilstandskontrolformlen vil give et væsentligt skærpet krav til overholdelse af udledningerne jf. DCE's rapport "Ny kontrolmetode for udledninger fra ferskvandsdambrug" (Svendsen og Larsen, 2016). Så burde man i stedet lave en reel transportkontrol for ammonium-kvælstof og  $BI_5$ . Men da det for de to stoffer er koncentrationen (forøgelsen heraf) i vandløbet umiddelbart nedstrøms dambrug som er relevant ift. effekt i vandmiljøet, bør de kontrolleres efter tilstandskontrol og derfor er den angivne metode i høringsudkastet den fagligt hensigtsmæssige metode og den DCE-AU anbefaler.

Nr. 5 "Det fremgår ikke af udkastet, hvilken kontrolmetode, der skal anvendes for dambrug på foderkvote. Hvis der skal bruges tilstandskontrol, som kræver mindst 6 prøver, bør det fremgå af bekendtgørelsen" (Aalborg Kommune)

**Svar:**

For dambrug på foderkvote angives alene udledergrænseværdier, dvs. hvor meget koncentrationer af fire stoffer maksimalt må forøges i udledninger. Det vil umiddelbart skulle kontrolleres med tilstandskontrol. Det forudsætter dog, at der tages et tilstrækkeligt antal prøvesæt til bestemmelse af koncentrationerne af de fire stoffer (ammonium-kvælstof, total kvælstof, total fosfor og BI<sub>5</sub>) i hhv. indløb til og udløb fra dambrug. Tilstandskontrollen kræver som udgangspunkt minimum 12 prøver, hvis der skal opnås en tilstrækkelig sikker vurdering af overholdelse af udledergrænseværdierne. Ved 12 prøver og en kritisk fraktion på 20 % (hvor mange prøver der i gennemsnit i en kontrolperioden (et år) må være over udledergrænseværdien), 95 % sikkerhed for dambrugeren (dvs. at i 5 % af tilfældet vil man afvise at udledergrænseværdien er overholdt selv om den i virkeligheden ikke har været overskredet), og 50 % kritisk fraktion ift. vandmiljøet, vil der være en risiko for vandmiljøet på knap 12 % (12 % risiko for at acceptere at udledergrænseværdien er overholdt selv om den i virkeligheden ikke er det). Ved kun 6 årlige prøvesæt stiger risikoen for vandmiljøet til over 34 %, hvilket ud fra en faglig vurdering er en meget stor usikkerhed og derfor ikke er anvendelig til kontrol af om udledergrænseværdierne er overholdt. Det giver derfor ikke faglig mening at kontrollere om udledergrænseværdierne er overholdt, hvis der tages under 12 årlige prøvesæt.

Høringsudkastet opererer med at dambrug på foderkvote med et foderforbrug på over 100 tons skal udtage 12 prøvesæt (indtag og afløb) på et år, mens kommunalbestyrelsen for dambrug med et foderforbrug på op til og med 100 tons fastlægger hvor mange prøvesæt, der årligt skal udtages.

Udtages 12 årlige prøver kan man anvende tilstandskontrol for alle fire stoffer. Det vil ikke være fagligt hensigtsmæssigt at anvende transportkontrol for total kvælstof og total fosfor, da risikoen for miljøet vil være ca. 30 % ved 12 prøvesæt årligt.

DCE-AU vil derfor anbefale at dambrug reguleret efter foderkvote på basis af minimum 12 prøvesæt indenfor et år kontrolleres efter tilstandskontrol, hvor selve kontrollen af udledergrænseværdierne gennemføres som angivet i bilag 2. Af bilag 3 fremgår hvordan udledergrænseværdien beregnes.

Nr. 6 "Bilag 2 afsnit 2 og 5. Kontrol af maksimal udledning. Der mangler noget om den nye kontrolmetode i slutningen af sidste afsnit. Der ønskes desuden en uddybende vejledning." (Rinkøbing Skjern Kommune)

**Svar:**

Det der mangler er en del af referencen til publikationen, som beskriver "Ny kontrolmetode for udledninger fra ferskvandsdambrug", da rapportnummer og serie ikke var kendt, da udkast til bekendtgørelse blev sendt i høring. Den omtalte rapport vil også indeholde et bilag med uddybende vejledning til anvendelse af kontrolmetoden.

## Nr. 7 "Kapitel 3 – Regulering på baggrund af emissionskontrol

*Beregningsmetoden til fastsættelse af udledergrænseværdier for kvælstof og fosfor ændres. Denne ændring betyder, at der tillades en væsentlig højere udledning af næringsalte, hvis disse krav anvendes direkte. Hvis det er tilsigtet, som følge af "Dansk akvakultur i vækst", at tillade en større udledning af næringsalte fra dambrugene, bør det fremgå af bekendtgørelsen, med en begrundelse og hjemmel herfor, således at der skabes en sammenhæng mellem dambrugsbekendtgørelsen og VVM, habitat samt miljømålslov. Det skal bemærkes, at de nuværende beregnings-regler allerede betyder, at der typisk tillades en øget udledning af næringsalte, i forhold til det regulering på foderkvote.*

*Hvis hensigten derimod blot er en ændret kontrolmetode, skal beregningen af  $U_{\max}$  ændres, så denne bliver tilsvarende lavere." (Aalborg Kommune)*

### Svar:

DCE-AU er i tvivl om spørgsmålet refererer til den maksimale årlige udledning  $U_{\max}$  – som fremgår af formlerne i tabel 1 i bilag 2 i høringsudkastet – eller om der menes udledergrænseværdien  $U_K$  (tilstandskontrol) og  $U_T$  (tilstandskontrol) jf. side 16 i høringsudkastet.

Fastlæggelse af de maksimale årlige udledninger  $U_{\max}$  sker efter præcis samme måde og beskrivelse som under den nuværende "Bekendtgørelse om miljøgodkendelse og samtidig sagsbehandling af ferskvandsdambrug" (Bekendtgørelse nr. 430 af 11/05/2012). Den eneste forskel er, at der i bilag 2 i formlen for fastlæggelse af  $U_{\max}$  total N i Bekendtgørelse nr. 430 af 11/05/2012 var faldet en faktor 1,86 væk, denne trykfejl er rettet i udkastet til den nye bekendtgørelse. Anvendelse af disse formler resulterer ikke i større udledninger af noget stof. Forudsætningen er at der tillades samme kvælstofudledning som hidtil, men en reduceret udledning af de øvrige stoffer. For total kvælstof er der i tidligere bekendtgørelser forudsat en rensegrad på 7 % af produktionsbidraget, hvilket betød der blev tilladt en maksimal udledning fra et klassisk dambrug på  $0,93 \cdot 56$  kg N pr tons foder = 52,08 kg N pr. tons foder (baseret på standardproduktionsbidraget angivet i bilag 2).

Anvendes formlen i høringsudkastet forlanges nu en rensegrad på 50 % for kvælstof ved alle produktionsstørrelser ( $F_{\text{fill}}$ ). Det betyder, at der tillades en maksimal udledning på  $56$  kg N/tons fisk  $\cdot (100 \% - 50 \%) \cdot 1,86 = 56 \cdot 0,93 = 52,08$  N pr tons foder. For total fosfor (og  $BI_5$ ) har rensegraden i tidligere bekendtgørelser (et klassisk dambrug) være forudsat til 20 %. Her tillades altså en maksimal udledning på  $0,8 \cdot 4,9$  kg P pr. tons foder = 3,92 kg P pr. tons foder. I høringsudkastet til bekendtgørelse fås for dambrug med  $F_{\text{fill}} \leq 25$  tons:  $4,9 \cdot (100 \% - 60 \%) \cdot 1,86$  kg P pr. tons foder = 3,65 kg P. pr tons foder og endnu lavere endnu udledninger ved større produktionsstørrelser.

Ved fastlæggelse af udledergrænseværdien  $U_K$  ved tilstandskontrol er  $U_{\max}$  for hhv.  $BI_5$  og ammoniumkvælstof divideret med 365 (dage) og gennemsnittet af den (aktuelle) vandafledning for prøvetagningsdøgnene. Tilsvarende fastlægges udledergrænseværdien  $U_T$  for transportkontrol ved at  $U_{\max}$  for hhv. total kvælstof og total fosfor divideres med 365. Ændringen sammenlignet med Bekendtgørelse nr. 430 af 11/05/2012 er at der ved tilstandskontrol i høringsudkastet ligesom i bilag 3 anvendes aktuel vandafledning fremfor tilladte vandafledning. Men dette ændrer ikke på, hvor meget der maksimalt må udledes, det er fastlagt af  $U_{\max}$  som fastlægges præcis som i Bekendtgørelse nr. 430 af 11/05/2012. Se også svaret til spørgsmål 1.

Med hensyn til kontrolmetoder og hvordan den kontrollerer udledninger/udledergrænseværdier henvises til rapporten fra DCE af Svendsen, L.M. og Larsen, S.E. (2006) "Ny kontrolmetode for udledninger fra ferskvandsdambrug".

Nr. 8 "Holstebro Kommune foreslår i §13 stk. 2 at tilføje at prøver skal udtages ".. jævnt fordelt": ....."

**Svar:**

Den nuværende formulering skal sikre, at der ved 12 prøvesæt pr. år bliver udtaget en prøve pr. kalendermåned, men at de ikke nødvendigvis skal ligge hver 4. uge, idet det netop kan være hensigtsmæssigt at prøverne ikke tages en bestemt dag hver fjerde uge, hvis man skal måle de faktisk variationer i nettoudledningerne (både koncentrationer og stofmængder) fra et dambrug. Tilsvarende gælder ved 26 prøver indenfor et år.

Endelig bemærker DCE-AU at Aalborg Kommune foreslår at kravet til måling af grundvandet (for alle dambrug) ændres, så det bliver muligt at anvendes vandur. Da kravet til måling af vandindtag og vandaflledning ifølge høringsudkastets §13 stk. 2 og 19 stk. 2 er "at der kontinuerligt skal måles vandføring af både det samlede vandindtag og den vandaflledning fra ferskvandsdambruget (målenøjagtighed +/- 5 %)" og i §15 " For ferskvandsdambrug som indtager overfladevand, skal kommunalbestyrelsen i godkendelsen fastsætte vilkår om, at dambruget skal etablere en teknisk foranstaltning, der sikrer måling af den indtagne vandmængde med en nøjagtighed på +/- 5%, jf. bilag 1." udelukker dette ikke, der kan anvendes vandur. Et vandur måler flowet kontinuert og kan fås med den ønskede nøjagtighed og vanduret kan anvendes til både at vise øjebliksvandføringen og den akkumulerede vandmængde over en tidsperiode - sidstnævnte er en akkumulering af de øjebliksvandføringer, som måles.



## Bilag 3 Måling af vandføring og prøvetagning i ind- og udløb

### B3.1 Vandmængder

Til kontrol af nettoudledningen fra dambrug er det nødvendigt at kende vandføringen i alle ind- og udløb således at det samlede indtag af vand og vandafledningen kan fastlægges, herunder om der er en indsivning eller ud-sivning over dambruget. I henhold til høringsudkastet af bekendtgørelsen skal der monteres et instrument med log funktion til kontinuert måling af vandføringen i alle vandindtag til dambruget og i alle vandafløb fra dambruget, der sikrer at vandindtag og vandafledning kan følges kontinuert (gennemsnit af hver 10. minut ved hyppigere måling eller som øjebliksvandføring hvert 10. minut) fraset for vælddambrug. Der skal altså måles kontinuert vandføring året rundt. Der er desuden et krav om en måleusikkerhed på max.  $\pm 5\%$ , der skal være med til at reducere usikkerheden på måling af nettoudledningerne.

Vandmængden kan f.eks. måles ved montering af et vandur på et rør, der leder vand ind i eller afleder vand fra ferskvandsdambruget. Dambrug med flere indtag og/eller afløb kan overveje at samle et eller flere af disse indtag henholdsvis afløb, så der skal anvendes færre instrumenter til at dække vandmængden i ind- og afløb. I Svendsen (2014) er beskrevet forskellige problemstillinger omkring måling med vandur og hvordan man sikrer måling af vandmængder med den fornødne sikkerhed ( $\pm 5\%$ ). Foruden vandur findes der også mulighed for at etablere overfald med kontinuert måling af vandstand, og jævnlig kalibrering (måling af vandføring) af vandhøjde over overfaldet, så der kan dannes en sammenhæng mellem vandhøjden i overfaldet og vandmængderne i ind- og afløb. Når der er etableret en god sammenhæng mellem vandhøjde over overfaldet og den tilhørende vandmængde vil en kalibrering 6-12 årligt typisk være tilstrækkelig. Der kan også etableres en målerende med fast bund og sider, hvor vandstanden skal måles kontinuert og vandføringen kalibreres jævnlige, så der kan etableres en relation mellem vandstand og vandmængder i renden. Når der er etableret en god relation mellem vandstand og vandmængder vil en månedlig (i visse tilfælde sjældnere) kalibrering typisk være tilstrækkelig. DCE har udarbejdet flere tekniske anvisninger under det Nationale Overvågningsprogram for Vand og Natur (NOVANA), som beskriver hvordan vandstands og vandføringsmålinger foretages med forskellige instrumenter og hvordan vandmængder beregnes f.eks. teknisk anvisning nr. B02, B03, B04 og B05 under "belastning (incl. Hydrometri)" på følgende link: <http://bios.au.dk/videnudveksling/til-myndigheder-og-saerligt-interesserede/fagdatacentre/fdcfersk/>

### B.3.2 Vandprøver

Der udtages puljede døgnprøver med en automatisk prøvetager både i indløbet til og afløbet fra dambruget. Er der flere separate indtag og/eller afløb skal der tages puljede prøver i hver af disse. En puljet døgnprøve består af en række delprøver, og delprøverne skal tages så hyppigt, at de kan repræsentere de døgnvariationer, der forventes over døgnnet i henholdsvis vandindtag til og vandafledninger fra dambruget. Der bør som udgangspunkt tages mindst en delprøve i timen pr. prøvetagningssted og mindst 100 ml pr. gang. Indtaget til prøvetageren placeres under vandoverfladen men ikke for tæt på

bunden for at undgå at indtags tilstoppes af f.eks. planterester eller suger sediment op fra bunden. Indtages skal også placeres et sted hvor vandet i indtag/afløb er velopblandet og strømmende, så der kan udtages repræsentativ prøve af de stoffer, der indtages til og afledes fra dambruget. Det skal sikres at indtaget og slangen op til prøvetageren ikke stopper til eller andet i det døgn, der udtages prøver. Slangen bør pustes tom og skylles før hver delprøve udtages. Det sikres at vandprøvetageren kan suges vandprøven op i falske uden der tabes partikler under opsugningen.

Prøvetagere opstilles af et analyselaboratorium, der også udtager prøverne. Prøvetageren skal være med køl og varme, så prøverne opbevares forskriftsmæssigt, dvs. ved ca. 4 °C og mørkt i hele prøvetagningsperioden og under den efterfølgende transport frem til prøverne analyseres. Det skal sikres at vandet i indtagsslangen ikke fryser, dels ved at slangen pumpes tom efter hver delprøve er taget/sikre hældning på slangen og undgå lunger, dels ved at slangen kan isoleres i perioder med frost.

Grundvandsprøverne kan udtages som øjeblikstikprøver eller som puljede døgnprøver.

Der anvendes beholder af glas- eller polyethylen til at opbevare de indsamlede delprøver og til evt. øjeblikstikprøver.



## NY KONTROLMETODE FOR UDLEDNINGER FRA FERSKVANDSDAMBRUG

Rapporten vurderer og sammenligner 4 metoder til kontrol af udledninger fra ferskvandsdambrug, herunder en ny metode til transportkontrol, som DCE har udviklet og som anvendes i høringsudkastet til "Bekendtgørelse om miljøgodkendelse og samtidig sagsbehandling af ferskvandsdambrug, 2016" ved kontrol af udledning af total kvælstof og total fosfor for emissionsregulerede dambrug.

Den nye metode er en ændring af Dansk Standard DS2399 (2006) om afløbskontrol (anvendes for en række punktkilder). Rapporten gennemgår også tilstandskontrol som anvendes ved kontrol af ammonium-kvælstof og organisk stof udledninger ( $\text{BNl}_g$ ) for alle dambrug. Der er endvidere udviklet særskilt metode for henholdsvis tilstands- og transportkontrol - som også fremgår af høringsudkastet til bekendtgørelse - for dambrug der producerer fisk til udsætning i havbrug, hvor en stor del af den samlede fisketilvækst sker over en kort periode af ret. Rapporten indeholder en systematisk gennemgang af hvordan de forskellige tilstands- og transportkontroller udføres ud fra konkrete eksempler. Det beskrives også hvordan prøvetagningen optimeres, og der gives en række faglige anbefalinger på, hvad man skal gøre ift. til at beregne nettoudledninger fra et dambrug, hvis der f.eks. mangler en eller flere målinger eller er netto ind- eller udsivning over et dambrug. Rapporten indeholder også en faglig opfølgning på dele af de høringssvar, der kom til høringsudkastet af bekendtgørelsen, som Miljøstyrelsen har bedt DCE om faglige input til.