

# Miljøforholdene i Tange Sø og Gudenåen

Faglig rapport fra DMU, nr. 244

Kurt Nielsen

Jens Peder Jensen

*Afdeling for Sø- og Fjordøkologi*

Jens Skriver

*Afdeling for Vandløbsøkologi*

# Datablad

Titel: Miljøforholdene i Tange Sø og Gudenåen

Forfattere: K. Nielsen<sup>1</sup>, J.P. Jensen<sup>1</sup> & J. Skriver<sup>2</sup>

Afdelinger: <sup>1</sup>Afdeling for Sø- og Fjordøkologi  
<sup>2</sup>Afdeling for Vandløbsøkologi

Serietitel og nummer: Faglig rapport fra DMU nr. 244

Udgiver: Miljø- og Energiministeriet  
Danmarks Miljøundersøgelser ©

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

Udgivelsesår: September 1998

Tegninger: Kathe Møgelvang & Pia Nygaard Christensen  
ETB: Hanne Kjellerup Hansen

Bedes citeret: Nielsen, K., Jensen, J.P. & Skriver, J. (1998). Miljøforholdene i Tange Sø og Gudenåen. Danmarks Miljøundersøgelser. 66 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 244

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse.

Emneord: Tange Sø, Gudenå, miljøtilstand

ISBN: 87-7772-408-9  
ISSN: 0905-815X  
Papirkvalitet: Cyclus Print  
Tryk: Silkeborg Bogtryk  
Oplag: 500  
Sideantal: 66

Pris: 50,- kr. - (inkl. 25% moms, ekskl. forsendelse)

Købes hos:

Danmarks Miljøundersøgelser	Miljøbutikken
Vejlsøvej 25	Information & Bøger
Postboks 314	Læderstræde 1
DK-8600 Silkeborg	DK-1201 København K
Tlf. 8920 1400	Tlf. 3337 9292
Fax 8920 1414	Fax 3392 7690

# **Indhold**

**Forord 5**

**Resumé 5**

**Indledning 7**

**Gudenåen fra Silkeborg til Randers set på langs 7**

**Forureningskilder 10**

**Tange Sø 13**

**Miljømæssig betydning af Tange Sø 15**

**Miljømæssig betydning af løsningsforslag I-VII 20**

**Sammenfattende vurdering 27**

**Referencer 28**

**Bilag 1 - Notat om næringsstofbalancer for  
Tange Sø 30**

**Bilag 2 - Notat om smådyrsfaunaen 53**

**Bilag 3 - Notat om vegetation i den nedre  
Gudenå 62**

**Danmarks Miljøundersøgelser**

**Faglige rapporter fra DMU/NERI Technical Reports**



# Forord

Denne rapport er udarbejdet af Danmarks Miljøundersøgelser i forbindelse med høring om Tange Sø arrangeret af Viborg Amt i september 1998.

Rapportens formål er at belyse de miljømæssige konsekvenser af syv fremkomne løsningsforslag til forbedring af passageforholdene ved Tangeværket.

Rapportens vurderinger bygger på tilsynsdata fra Århus Amt og Viborg Amt, samt historiske data indsamlet siden århundredeskiftet. Bearbejdning af såvel de historiske som nutidige data er foretaget af Danmarks Miljøundersøgelser. Datagrundlaget fremgår af bilag 1-3.

## Resumé

Anlæggelsen af Tangeværket i 1918-20 betød, at ca. 13 km af Gudenåen blev omdannet til Tange Sø. Tange Sø blev anlagt der, hvor Gudenåens fald var størst.

Anlæggelsen af Tange Sø medførte store fysiske ændringer i Gudenåen, idet de mest strømfyldte lokaliteter forsvandt. Dermed blev Gudenåens fysiske variation mindre, hvilket har påvirket plante- og dyrelivet. Etableringen af Tangeværket bevirkede endvidere, at passageforholdene for fisk og smådyr blev stærkt forringet. Bygningen af fisketrappen har kun afhjulpet de dårlige passageforhold i begrænset omfang.

Gennem de sidste 20 år er fosfortilførslen til Tange Sø formindsket fra ca. 100 til 50 tons pr. år på grund af forbedret spildevandsrensning. Fosfortilførslen er af afgørende betydning for miljøtilstanden i Tange Sø. Der findes kun meget få målinger af miljøtilstanden. Målingerne tyder imidlertid på, at fosforkoncentrationen er faldet fra 0,2 mg l<sup>-1</sup> til 0,09 mg l<sup>-1</sup> og sigtdybden er øget fra 0,8 - 0,9 m til 1,5 m i perioden 1980-1998. Udviklingen i Tange Sø kan imidlertid ikke vurderes med sikkerhed, fordi der er for få målinger.

Tange Sø påvirker Gudenåen, idet søer via plankton tilfører organisk stof til Gudenåen. Tilførslen af organisk stof påvirker artssammensætningen og forekomsten af smådyr. Forureningsgraden nedstrøms Tange Sø er II-III, hvilket afspejler tilførslen af organisk stof til Gudenåen. Forureningsstilstanden opstrøms Tange Sø er bedre, idet forureningsgraden her er II. Påvirkningen fra Tange Sø svarer til påvirkningen fra andre af Gudenåesøerne. Tange Sø øger endvidere temperaturen og pH i Gudenåen nedstrøms Tangeværket, hvilket kan have indflydelse på fisk.

Tange Sø påvirker transporten af kvælstof og fosfor i Gudenåen. Modelberegninger viser, at Tange Sø tilbageholder 14% og 20% af henholdsvis den tilførte fosfor- og kvælstofmængde. Herved formindskes transporten af næringsstoffer til Randers Fjord. Beregningerne tyder på, at Tange Sø er i nogenlunde ligevægt med den nuværende fosfortilførsel.

De fremkomne syv løsningsforslag omfatter:

- I. Nuværende tilstand.
- II. Fysisk forbedring af åen nedstrøms Tange Sø.
- III. Kort omløbsstryg - vandmængde  $3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .
- IV. Lang kanal med omløbsstryg - vandmængde  $3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .
- V. Tange Sø tømmes og Gudenåens leje genskabes.
- VI. Vandløb til Ans Bro, kanal med omløbsstryg og hele Gudenåens vandføring.
- VII. Sænkning af vandspejl, kanal med omløbsstryg  $9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

Løsningsforslag I ændrer ikke ved den nuværende tilstand.

Løsningsforslag II forbedrer kun de fysiske forhold nedstrøms Tangeværket, hvorfor det ikke påvirker de vurderede miljøforhold. Miljøforholdene i Gudenåen forbedres kun i begrænset omfang, da Tange Sø fortsat vil tilføre organisk stof.

Løsningsforslag III forbedrer fiskenes passage, men ellers ændrer dette forslag ikke den nuværende tilstand i hverken Tange Sø, Gudenåen eller Randers Fjord.

Løsningsforslag IV, hvor en vandmængde på  $3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  ledes uden om Tange Sø, mindsker i meget begrænset omfang tilbageholdelsen af næringsstoffer til søen, hvorfor transporten til Randers Fjord øges i begrænset omfang. Til gengæld forbedres passagen for både fisk og smådyr.

Løsningsforslag V, hvor Tange Sø tømmes og Gudenåen genetableres, vil øge transporten af næringsstoffer i Gudenåen og dermed også til Randers Fjord. Da Tange Sø nedlægges, er det ikke relevant med en vurdering af søkvaliteten. Dette løsningsforslag giver de største forbedringer af tilstanden i Gudenåen. Ved genetableringen af Gudenåens leje bliver passageforholdene for både fisk og smådyr som inden bygningen af Tangeværket. Samtidig genskabes den del af Gudenåen med det største fald, hvorved de strømfyldte levesteder efterhånden vil genskabes. Behovet for restaurering ved genetablering af Gudenåen kendes ikke.

Løsningsforslag VI indebærer, at hele Gudenåens vandmængde føres uden om Tange Sø, samtidig med at søen opretholdes. Tange Sø's tilstand vil uden tvivl forbedres på grund af den mindre fosfortilførsel, men forbedringerne i form af lavere fosforkoncentration og planktonmængde og dermed øget sigtddybde kan ikke kvantificeres. Passagen for både fisk og smådyr forbedres og forureningspåvirk-

ningen af Gudenåen falder. Strømfyldte levesteder genetableres kun i de korte stryg.

Løsningsforslag VII medfører sænket vandstand i Tange Sø og gravning af en kanal fra Ans Bro med en vandmængde på  $9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Ved denne løsning stiger transporten af kvælstof og fosfor i Gudenåen og dermed også til Randers Fjord. Forbedringerne i Tange Sø er meget begrænsede. Til gengæld forbedres passage for både fisk og smådyr, og forureningspåvirkningen fra Tange Sø mindskes.

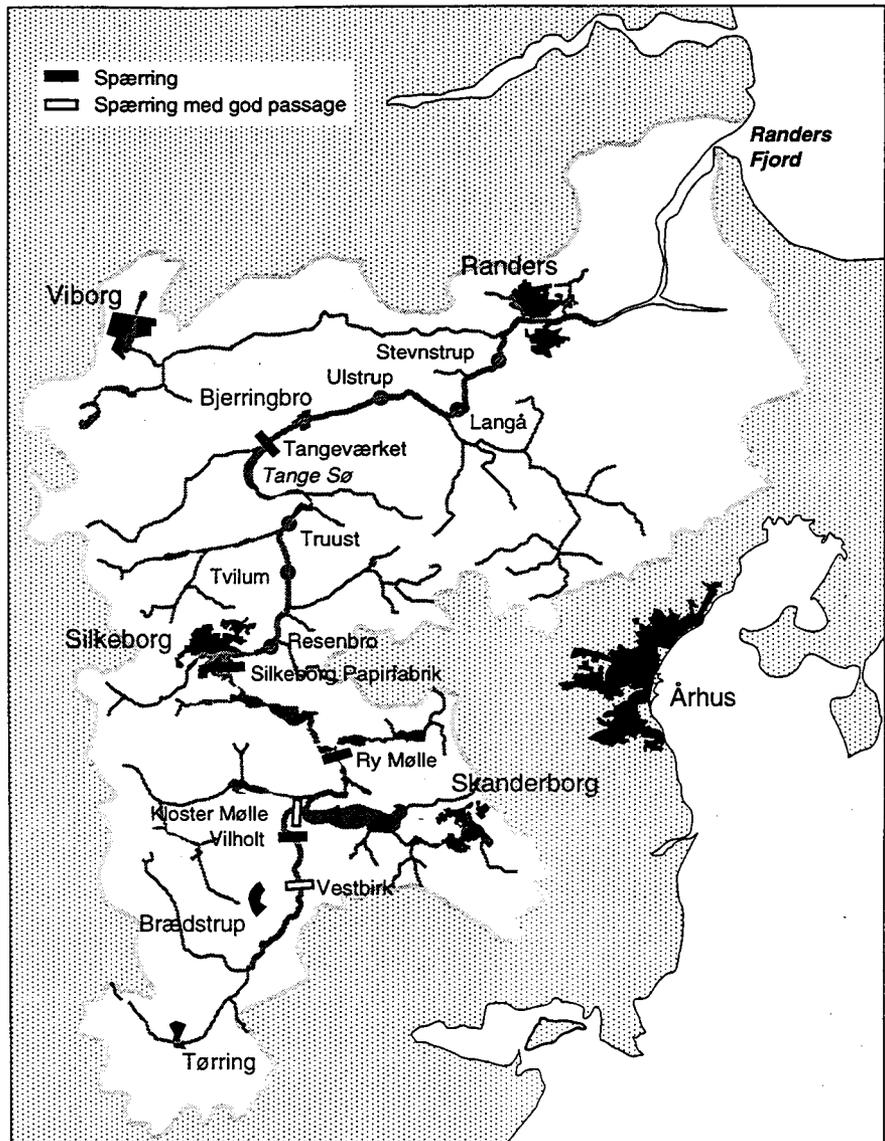
## Indledning

Gudenåen er Danmarks længste vandløbssystem med en længde på 160 km fra udspringet i Tinnet Krat til udløbet i Randers Fjord. Med mere end 30 større søer er Gudenåen samtidig Danmarks mest sørige vandløbssystem (figur 1). Nogle søer ligger i Gudenåens hovedløb, men en hel række søer ligger i vandsystemets sidegrene. Mens alle søerne i hovedløbet er forurenede, ligger der såvel forurenede som uforurenede søer i sidegrenene. Tange Sø er i modsætning til fleste andre søer i Gudenåens vandløbssystem etableret kunstigt i forbindelse med bygningen af Tangeværket. Tangeværket er imidlertid ikke den eneste opstemning. Større opstemninger findes også ved Silkeborg Papirfabrik og Ry Mølle. Nuværende og tidligere opstemninger er vist på figur 1.

## Gudenåen fra Silkeborg til Randers set på langs: Fysiske forhold og spærringer

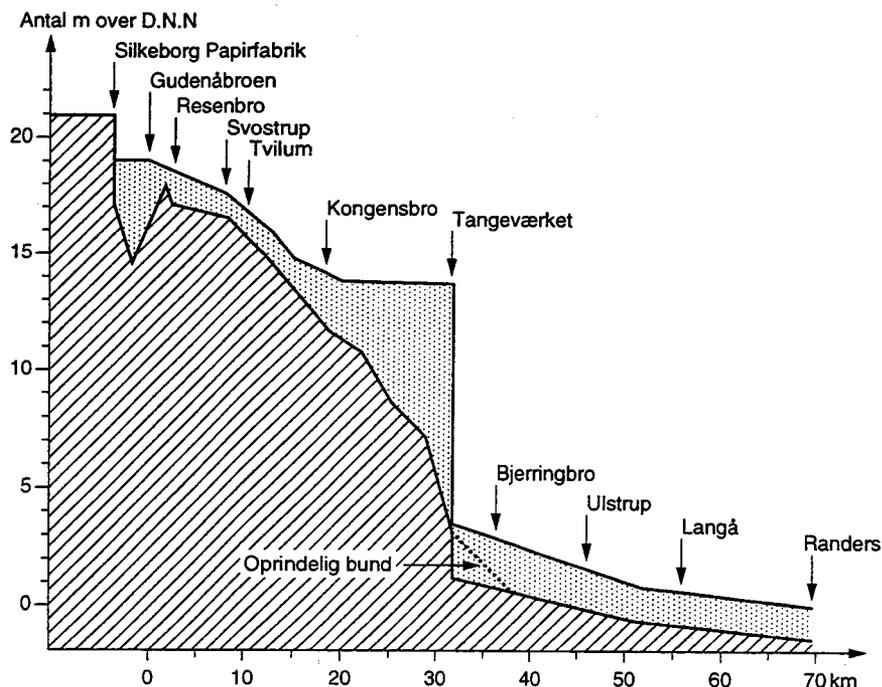
### Oprindelig fysisk tilstand

Den nedre Gudenås oprindelige fysiske tilstand i form af forskellige typer vandløbsbund har været langt mere varieret end den er i dag. Tidligere havde vandløbet en større fysisk variation i form af lavvandede stryg, hvorimellem der var relativt dybe strækninger. Strygene bestod af grus og sten, hvoraf enkelte sten har været så store, at de formodentlig har raget op over vandoverfladen. Nogle af disse sten er gennem tiderne blevet anvendt som byggematerialer i området langs Gudenåen. I sidste halvdel af 1800-tallet medførte pramdragningen på Gudenåen, at de sidste store sten blev sprængt i stykker med sort krudt og fjernet.



Figur 1. Kort over Gudenåens vandsystem med angivelse af spærringer.

Anlæggelsen af Tangeværket i 1918-20 betød, at ca. 13 km af Gudenåen blev omdannet til Tange Sø. Tange Sø blev anlagt på den del af Gudenåens nedre løb, hvor der var størst fald. Gudenåens fald fra Resenbro til Randers er i alt 18 meter, hvoraf de 10,5 meter (58%) i dag er samlet ved Tangeværket (figur 2). Strækningen fra Kongensbro til Tangeværket har haft det største fald (0,69‰), og denne strækning har derfor haft åens mest strømfyldte partier. Det næststørste fald findes på strækningen fra Svostrup til Kongensbro med et fald på 0,47‰. Faldet på strækningen fra Tangeværket til Ulstrup og videre til Randers Fjord er derimod langt mindre, henholdsvis 0,21‰ og 0,06‰ (tabel 1). Efter etableringen af Tangeværket i 1920'erne og 1930'erne blev der foretaget en uddybning på op til én meter på strækningen fra Tangeværket til Bjerringbro for at øge faldhøjden i forbindelse med elproduktionen (figur 2).



**Figur 2.** Længdeprofil af Gudenåen efter etablering af Tangeværket. Nederste linie og øverste linie indikerer henholdsvis vandløbets bund og vandspejlet (Viborg Amtskommune, 1989). Den stiplede linie er efterfølgende indtegnet og indikerer den oprindelige bund inden bortgravningen neden for Tangeværket.

**Tabel 1.** Beregnet fald på delstrækninger af Gudenåen fra Silkeborg til Randers. Værdierne er fremkommet ved aflæsning af figur (Viborg Amtskommune 1989).

Gudenåen (Silkeborg-Randers)	Vandløbskilometer	Bundkote (m)	Fald (‰)
Resenbro	4,0	17,0	0,09
Svostrup	9,5	16,5	0,47
Kongensbro	19,0	12,0	0,69
Tangeværket	32,0	3,0	0,21
Ulstrup	46,0	0,0	0,06
Randers	69,5	-1,5	

## Nuværende fysiske tilstand

Gudenåen har i dag mistet sin tidligere dynamik, hvor åen jævnlige oversvømmede sine omgivelser, og hvor åen gradvist ændrede sit forløb i terrænet. En kortlægning i 1736 viste, at der tidligere fandtes adskillige afsnørede åslynger på hele strækningen fra Silkeborg til Randers (*Gylliams 1736*). Enkelte af disse åslynger kan fortsat ses ved Gudenåens nedre løb nær Randers.

Ingen af de oprindelige stryg er bevaret og der findes kun spredte forekomster af grus på Gudenåens bund i dag. Gudenåen har nu et relativt ensartet forløb på hele strækningen fra Silkeborg til Randers, næsten uden lavvandede, grusede og stenede steder. Vandløbsbunden består for det meste af sand samt endnu mere finkornet materiale langs vandløbets sider. Ved Åbro er der i 1993 anlagt et kunstigt stryg som et forsøg på at genskabe en lille del af Gudenåens tidligere variation til gavn for gydende laksefisk.

Gudenåens bestand af undervands- og bredplanter bidrager til vandløbets samlede fysiske variation. Undervandsplanterne, grøden, har tidligere haft en større og mere varieret forekomst, samt en mere alsidig sammensætning af forskellige arter (*Riis, 1998*). Alt i alt har grøden tidligere i større udstrækning bidraget til vandløbets heterogenitet, end det er tilfældet i dag.

Vedligeholdelsen af vandløb kan i høj grad påvirke vandløbets fysiske forhold. Gudenåen nedstrøms Tangeværket vedligeholdes nu kun via grødeskæring. I de senere år har grødeskæringen imidlertid ikke været særligt omfattende, da grøden ikke har været særligt kraftigt udviklet i den dybe noget uklare å (*Ole Helgren, pers.med.*). Også i de kommende år forventer Viborg Amt og Århus Amt, at vedligeholdelsen vil blive meget begrænset, og om muligt vil den på længere strækninger helt blive udeladt. Tangeværket varetager den praktiske vedligeholdelse med Viborg Amt og Århus Amt som tilsynsførende.

Århus Amt påtænker eventuelt at fjerne nogle af digerne, som omgiver den nedre del af Gudenåen, for at sikre en mere naturlig tilstand, hvor Gudenåen kan oversvømme de omgivende arealer.

## Spærringer

I Gudenåens hovedløb såvel som i tilløbene findes et antal spærringer, som hindrer faunaens frie passage. I hovedløbet findes de store spærringer ud over Tangeværket ved Silkeborg Papirfabrik og Ry Mølle. Skitseforslag er udarbejdet til at sikre passageforholdene, som forventes gennemført i løbet af de næste par år (*Ole Helgren, pers.med.*). Desuden findes en række opstemninger længere oppe i Gudenåen ved Vestbirk, Klostermølle og Vilholdt Mølle. Passagen for faunaen er sikret ved de to førstnævnte opstemninger. Ved Vilholdt Mølle forventer Vejle Amt, at der etableres omløbsstryg i 1999 (*Keld Rasmussen, pers. med.*).

## Forureningskilder

Den første samlede kortlægning af forureningskilder i Gudenåens opland samt forureningstilstanden i Gudenåens vandsystem blev foretaget ved den meget omfattende Gudenåundersøgelse i 1973-75. Som opfølgning på undersøgelsen opstillede de tre amter Vejle, Vi-

borg og Århus, gennem deres samarbejde i Gudenåkomiteen, krav til udledning af især organisk stof og fosfor fra renseanlæg og dambrug allerede fra midten af 1970'erne. Gudenåens vandsystem var således det første danske vandsystem, hvor der blev stillet generelle krav til fosforrensning på renseanlæg. Senere er der via Vandmiljøplanen også fastsat krav til udledningen af kvælstof på de største renseanlæg. Kravene om rensning for organisk stof og fosfor fra renseanlæg er løbende blevet skærpet. De gældende krav til renseanlæg, dambrug, industri og senest til spredt bebyggelse fremgår af amternes regionplaner og vandkvalitetsplaner (*Vejle Amt 1997, Viborg Amt 1997, Århus Amt 1997 a+b*).

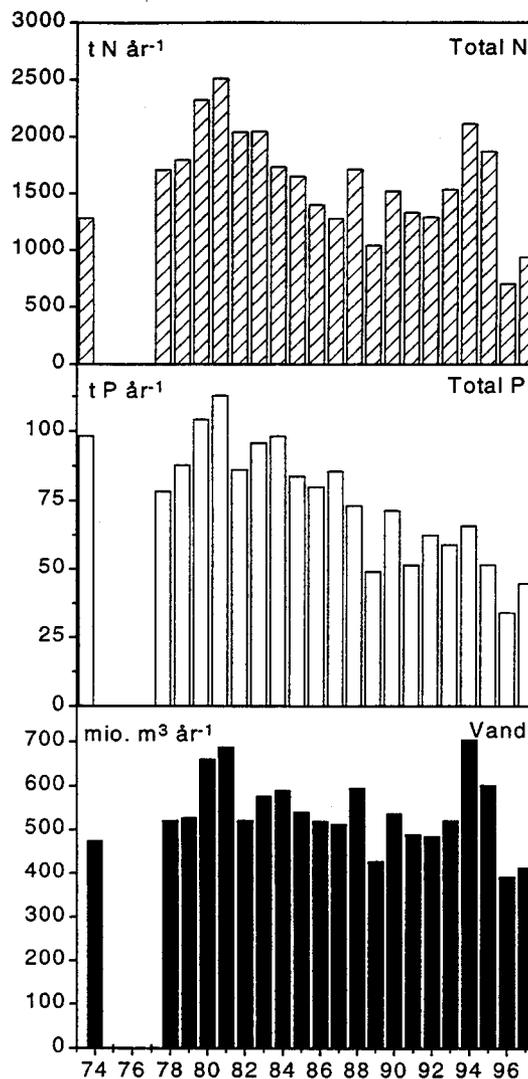
Indsatsen på renseanlæg og dambrug har gradvist formindsket udledningen af organisk stof og fosfor fra forureningskilderne. Udledningen af fosfor fra disse kilder opstrøms Tvilum Bro er formindsket fra 140 tons fosfor pr. år i 1974 til 8,5 tons fosfor pr. år i 1997. På grund af tilbageholdelse og aflastning af fosfor fra opstrømsliggende søer i Gudenåsystemet er tilførslen til Tange Sø (målt ved Tvilum Bro) "kun" reduceret fra ca. 100 til 50 tons fosfor i løbet af de sidste 20 år. Transporten af kvælstof målt ved Tvilum Bro viser ingen tydelig udvikling gennem de sidste 20 år. Transporten er korreleret med Gudenåens vandmængde, da kvælstofudvaskningen fra markerne er stærkt afhængig af nedbøren. Transporten af vand og kvælstof har ligget forholdsvis lavt i de sidste 2 år (figur 3) (*Århus Amt, 1998*).

Tilførslen af fosfor og kvælstof ved Tvilum Bro kan ud fra beregninger fordeles på de enkelte forureningskilder (figur 4). Tilførslen til Tange Sø er stort set som fordelingen ved Tvilum Bro. Bidraget fra det åbne land omfatter baggrunds- og dyrkningsbidrag samt tilførsel af spildevand fra spredt bebyggelse. Baggrundsbidraget er den tilførsel, der ville være, hvis oplandet lå hen i naturtilstand.

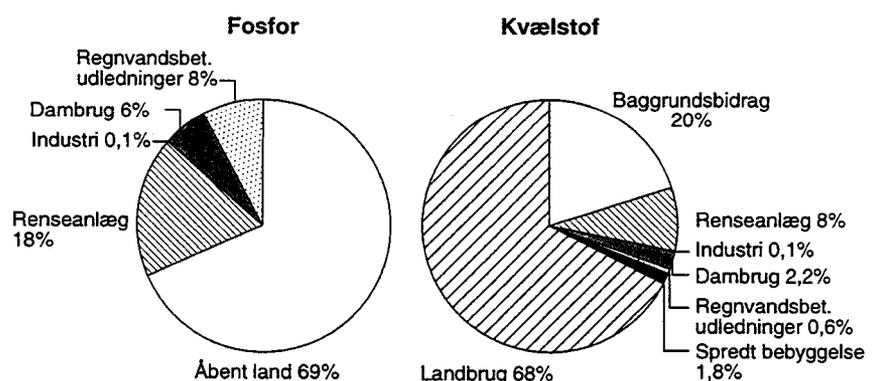
For fosfor udgør de forskellige spildevandskilder (eksklusiv spredt bebyggelse) ca. 1/3 af belastningen. Åbent land bidraget udgør 2/3. For fosfor er det mindre sikkert at opdele åbent land bidraget i baggrundsbidrag, dyrkningsbidrag og spredt bebyggelse.

For kvælstof udgør spildevandskilderne kun 11%, mens resten er åbent land bidrag. Heraf udgør dyrkningsbidraget langt størstedelen, nemlig 68% (*Århus Amt, 1998*).

Den fremtidige tilførsel af fosfor til Tange Sø vil kun i mindre omfang blive påvirket af forbedret spildevandsrensning (*Gudenåkomiteen, 1995*), idet der i dag sker en effektiv spildevandsrensning på de fleste rensningsanlæg. Fosforbelastningen af Tange Sø vil dog falde, når der opnås ligevægt i søerne opstrøms Tange Sø. Hvis fosfortilførslen fra marker stiger fremover, vil fosforbelastningen af Tange Sø øges.



Figur 3. Vandmængde, kvælstof og fosfortransport i Gudenåen ved Tvillum Bro 1974-1997.



Figur 4. Tilførslen af fosfor og kvælstof til Tange Sø fordelt på forureningskilder (gennemsnit af 1995-1997).

Gudenåens indhold af organisk stof stammer dels fra spildevandsudledninger og dels fra de alger, som skylles ud i Gudenåen fra søerne. Alger fra Gudenåens søer skønnes i dag at levere langt det største bidrag af organisk stof til Gudenåen nedstrøms Tange Sø. Indholdet af organisk stof i Gudenåen er målt som biologisk iltforbrug (BI<sub>5</sub>).

Målinger findes fra Tvilum Bro opstrøms Tange Sø for de sidste 20 år, mens der kun findes målinger fra Ulstrup nedstrøms Tange Sø og fra Tange Sø's afløb for perioden 1977-87. Resultaterne viser, at den organiske belastning af Gudenåen er reduceret gennem de sidste 20 år, da koncentrationen af organisk stof målt som gennemsnit over året er faldet fra ca. 4 mg BI<sub>5</sub> pr. liter til ca. 2,5 mg BI<sub>5</sub> pr. liter ved Tvilum Bro (*Århus Amt, 1997c*). Vandets indhold af organisk stof om sommeren er typisk 4-6 mg BI<sub>5</sub> pr. liter ved Tvilum Bro. Koncentrationen af organisk stof i Tange Sø's afløb kendes ikke i dag, men det er sandsynligvis forhøjet i forhold til Tvilum Bro på grund af udskylningen af alger fra Tange Sø.

## Tange Sø

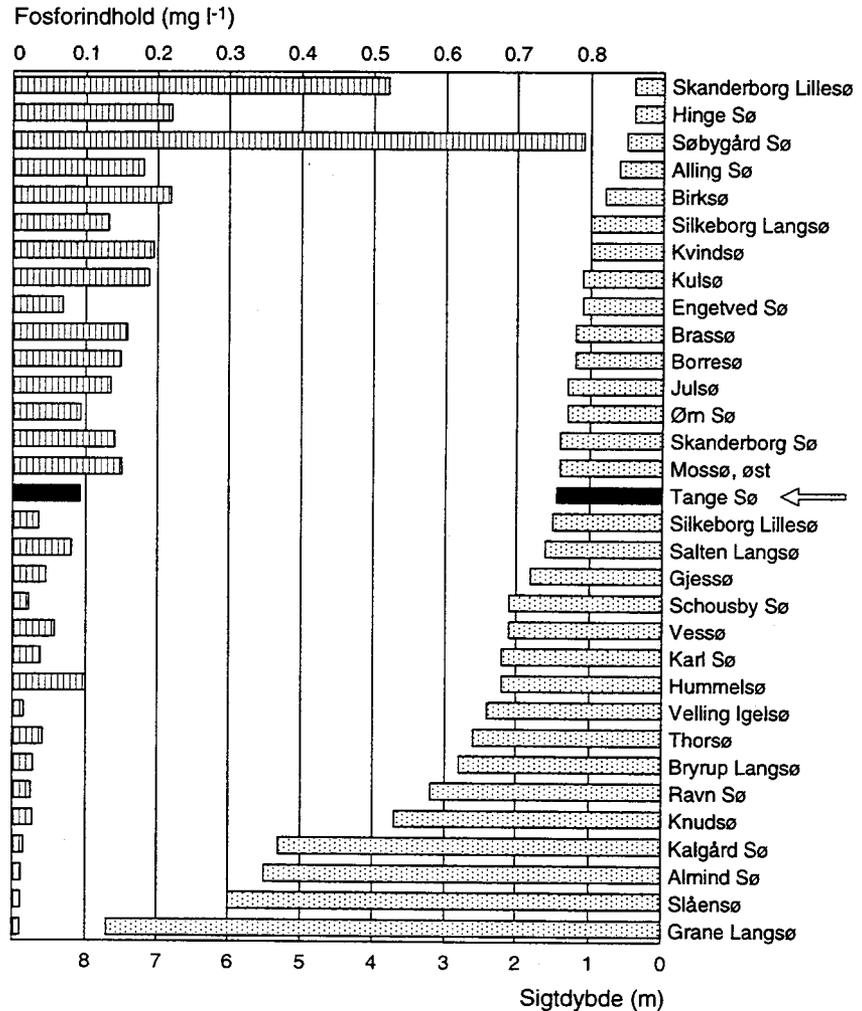
Tange Sø er en af Gudenåsystemets store søer med et areal på ca. 5,9 km<sup>2</sup>. Søen er lavvandet som de fleste andre danske søer og har en gennemsnitsdybde på 2,8 meter. Tange Sø har et volumen på ca. 17 mio m<sup>3</sup> (tabel 2). Da søen årligt modtager omkring 600 mio m<sup>3</sup> vand fra Gudenåen, strømmer vandet hurtigt gennem Tange Sø. Vandets gennemsnitlige opholdstid i søen er på årsbasis beregnet til ca. 10 døgn, men opholdstiden kan variere fra 4 døgn i vintermånederne til 20 døgn i sommermånederne (*Jensen, 1998*). Til sammenligning er opholdstiden i Silkeborgsøerne 55 døgn, mens opholdstiden for nogle søer som f.eks. Skanderborgsøerne og Knudsø er meget større henholdsvis 1,5 år og 1,3 år i gennemsnit for hele året (*Gudenå-komiteen, 1995*).

Tabel 2. Nøgletal for Tange Sø. \* gns. af 1993-1997

Middeldybde	2,8 m
Maksimumdybde	6 m
Areal	5,9 km <sup>2</sup>
Volumen	16,7 · 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Årlig vandtilførsel	6 · 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> *
Oplandsareal	1790 km <sup>2</sup>

Tilførslen af fosfor er generelt bestemmende for mængden af alger og for vandets klarhed (sigtdybde) og dermed også for søernes miljøtilstand. De to nøgletal for miljøtilstanden, fosforkoncentration og sigtdybde, er vist på figur 5 for en række søer i Gudenåens vandsystem (sommergennemsnit). Tange Sø har en forholdsvis høj fosforkoncentration, 0,1-0,2 mg fosfor pr. liter vand og dermed også en lav sigtdybde, 1-1,5 meter. Dermed ligner Tange Sø de øvrige søer i Gudenåens hovedløb, bl.a. Julsø, Brassø og Silkeborg Langsø. Til sammenligning har nogle af Danmarks reneste søer som f.eks. Grane Langsø, Kalgård Sø og Slåen Sø fosforkoncentrationer under 0,02 mg fosfor

pr. liter vand og sigtddybder på 5-7,5 meter om sommeren. Andre søer som f.eks. Skanderborg Lillesø og Søbygård Sø er langt mere forurenede end Tange Sø, da disse søer tidligere har fået tilført store mængder spildevand.



**Figur 5.** Miljøtilstanden for de vigtigste søer i Gudenåens vandsystem. Miljøtilstanden er målt som sigtddybden (prikket) og vandets fosforindhold (skraveret) i sommerperioden. Søerne er rangeret efter sigtddybde, og Tange Sø er markeret.

Udviklingen i Tange Sø's forureningstilstand kan ikke vurderes med sikkerhed, da der foreligger meget få målinger og ingen lange tidsserier. Hidtil er kun foretaget målinger af sigtddybde og vandets indhold af fosfor, kvælstof og planteplankton målt som klorofyl i årene 1974, 1980, 1981 samt i 1998 (tabel 3). Bedømt ud fra de få målinger af sigtddybde, fosforkoncentration og klorofylindhold ser søens fosforkoncentration ud til at være faldet fra 0,2 mg pr. liter til under 0,1 mg pr. liter og sigtddybden ser ud til at være steget fra 0,8-0,9 m til 1,5 m. Udviklingen i Tange Sø kan imidlertid ikke vurderes med sikkerhed, fordi der er for få målinger.

**Tabel 3.** Måling af sigtdybde, fosfor, kvælstof og klorofyl i Tange Sø i sommerperioden (1. maj-30. september). \* kun perioden 1. maj-1. september

	Kvælstof (total)	Fosfor (total)	Sigt dybde	Klorofyl
	mg N l <sup>-1</sup>	mg P l <sup>-1</sup>	m	µg l <sup>-1</sup>
1974	1,44	0,271		97
1980	1,90	0,200	0,8	67
1981	1,98	0,182	0,8	71
1992	-	-	0,9	-
1998*	1,32	0,089	1,5	37

Miljøtilstanden ændres langsomt, når fosfortilførslen til søerne mindskes, fordi en del af den fosfor, som er ophobet i søbunden, frigives igen. Der er ikke foretaget målinger af fosforindholdet i Tange Sø's søbund.

Ved anvendelse af simple sømodeller kan det beregnes hvad vandets fremtidige fosforindhold vil være, når søen er i ligevægt. Forudsætningen for beregningerne er, at fosfortilførslen til søen ikke ændres. Beregningerne af Tange Sø's fosforbalance tyder på, at søen er nogenlunde i ligevægt med den nuværende fosfortilførsel på trods af, at fosfortilførslen er halveret gennem de sidste 20 år (*Jensen, 1998*). Da størrelsen af søbundens fosfordepoter ikke kendes, kan vi ikke vurdere, i hvilket omfang Tange Sø vil kunne frigive fosfor fra søbunden, hvis fosfortilførslen til søen fremover formindskes.

Manglen på biologiske undersøgelser i Tange Sø, betyder at det ikke er muligt at vurdere søens biologiske tilstand ud fra sammensætning af planteplankton og dyreplankton, dybdeudbredelse af undervandsplanter og sammensætning af fiskebestandene, som er de relevante indikatorer for søers miljøtilstand. Undervandsplanternes dybdegrænse er dog registreret til 1,4-1,9 m i 1998 (*Altenborg, 1998*). De udførte undersøgelser af fisk omfatter kun måling af antal nedtrækkende fisk fra Tange Sø ved Tangeværket, samt dødelighed af unge laksefisk (smolt) (*Kofoed et al., 1996; Jepsen et al., 1997; Holdensgaard et al., 1997*), og kan ikke anvendes til at vurdere fiskebestandenes størrelse. Disse undersøgelser viser, at de hyppigste nedtrækkende fiskearter er aborre, hork og skalle, som udgjorde henholdsvis 59%, 33% og 5 % af antallet af de fangede nedvandrende fisk (*Kofoed et al., 1997*).

## Miljømæssig betydning af Tange Sø

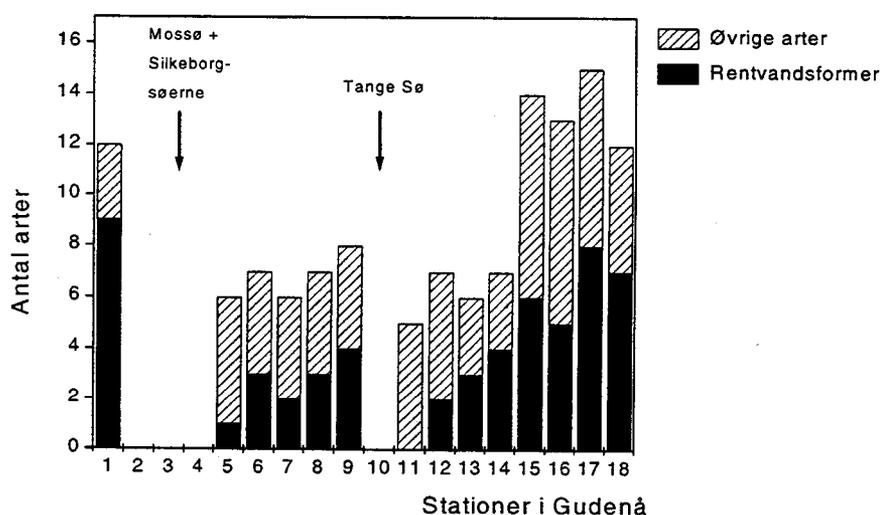
### Påvirkning af Gudenåens forureningstilstand

I Gudenåen såvel som i alle andre vandløb er der en klar sammenhæng mellem på den ene side vandets indhold af letomsætteligt organisk stof (målt som BI<sub>5</sub>) og på den anden side smådyrfaunaens arts-

og antalmæssige sammensætning (forureningstilstand). Indholdet af  $BI_5$  er ikke blevet målt nedstrøms for Tange Sø i de sidste 10 år, men blev målt i en periode i 1980'erne. Indholdet varierede da omkring 4-6  $mg\ l^{-1}$  om sommeren. Det er usikkert i hvilket omfang dette niveau er faldet på grund af mindre mængder af planktonalger i Tange Sø, som målingerne tyder på. Udskylninger af planktonalger fra Tange Sø påvirker stadigvæk Gudenåen i udpræget grad.

Forureningstilstanden, svarende til vandets indhold af organisk stof på 4-6  $mg\ BI_5$  pr. liter, er typisk "moderat forurennet", d.v.s. forureningsgrad II-III (Andersen & Jensen 1981). I søafløb betyder dette, at de mere rentvandskrævende smådyrarter mangler, hvorimod arter, der lever som filtratorer, typisk forekommer i enorme antal. I mange tilfælde domineres smådyrfaunaen af nogle få arter af netspinnende vårfluer. Dette ses også i Gudenåen, både nedstrøms for Silkeborg Langsø og nedstrøms for Tange Sø, hvor 5-6 arter af netspinnende vårfluer dominerer det samlede faunabillede og udgør 95-99% af det samlede individantal blandt vårfluerne (Skriver & Holm 1998). Tilstanden på disse strækninger i Gudenåen vurderes til forureningsgrad II-III (Gudenåkomiteen, 1997; Viborg Amt, 1998).

I Gudenåen opstrøms Tange sø ses en gradvis forbedring i miljøtilstanden i nedstrøms retning fra Silkeborg Langsø. Faunaen er dog på hele strækningen ned til Tange sø domineret af de netspindende vårfluer, men forekomsten af bl.a. visse arter af døgnfluer indikerer dog en gradvis forbedring til forureningsgrad II (figur 6).



Figur 6. Forekomst af døgnfluer i nedre Gudenå.

Nedstrøms Tange Sø er billedet igen ændret til forureningsgrad II-III. De netspindende vårfluer dominerer fortsat totalt faunabilledet, og de rentvandskrævende døgnfluearter, der findes på strækningen opstrøms for Tange Sø, mangler fuldstændig umiddelbart nedstrøms Tange Sø. Dog forekommer 5 døgnfluearter, som ikke stiller specielle krav til vandkvaliteten. Tilstanden forbedres gradvis længere nedstrøms og de rentvandskrævende døgnfluearter indfinder sig efterhånden, således at forureningstilstanden mellem Ulstrup og Åbro er ændret til forureningsgrad II (figur 6 og tabel 4).

**Tabel 4.** Forureningstilstanden i Gudenåen på strækningen Silkeborg til Randers (Gudenåkomiteen, 1997). For hver lokalitet er angivet afstanden til nærmeste opstrømsliggende sø. Sminge Sø mellem Resenbro og Svostrup har så lille en opholdstid, at søen nærmest fungerer som et langsomt strømmende vandløb.

Lokalitet	Afstand fra sø	Forureningstilstand
<b>Silkeborg Langsø v. Motorvejsbro</b>		
Resenbro	2 km	II-III
Svostrup	8 km	II
Tvilum	11 km	II
Ålegårdsbakke	14 km	II
Truust	18 km	II
<b>Tange Sø</b>		
Skibelund	2 km	II-III
"Stryget"	11 km	II-III
Ulstrup	15 km	II / II-III
Østergård	24 km	II
Løjstrup	26 km	II
Frisenvold	32 km	II
Stevnstrup	35 km	II
Motorvejsbro v. Randers	39 km	II

I Gudenåens nederste løb fra Løjstrup til Randers har de netspinnende vårfluer helt mistet deres dominerende rolle, og samtidigt er antallet af registrerede døgnfluer på denne strækning steget til 18 arter, hvoraf 8 arter kan betragtes som egentlige rentvandsformer. Forureningsgraden er dog fortsat II, idet de mest krævende rentvandsarter blandt slørvingerne fortsat mangler. Disse var til stede i begyndelsen og midten af dette århundrede, men er siden gradvist forsvundet. Specielt en række rentvandskrævende slørvingearter var almindeligt forekommende dengang, hvilket indikerer, at miljøtilstanden i begyndelsen af dette århundrede har været stort set uforurenet (*Skriver & Holm, 1998*).

### Effekt af forhøjet pH og temperatur

Forhøjet pH og forhøjet temperatur påvirker de biologiske forhold i vandløb i negativ retning. Nedstrøms Tange Sø er der tidligere målt høje pH-værdier op til 10,4 (*Gorm Rasmussen, pers. med.*). Temperaturen i Gudenåen om sommeren kan ligge op til 2 grader højere neden for Tange Sø end ovenfor. Det er imidlertid ikke muligt konkret at beskrive den kvalitative og kvantitative betydning for den generelle miljøtilstand af det periodisk forhøjede pH, samt de forhøjede temperaturer i sommerperioden. Høje pH værdier kan give anledning til forekomst af ammoniak, idet ligevægten mellem ammonium og am-

moniak forskydes mod ammoniak, når pH stiger. Øget temperatur bidrager yderligere til forskydning af ligevægten mod ammoniak. Ammoniak er giftig for fisk.

## Betydning for spredning af planter og smådyr

Ved etableringen af Tange Sø blev kontinuiteten i den nedre Gudenå brudt. Dette indebærer, at hverken planter, smådyr eller fisk frit kan spredes/vandre i op- og nedstrøms retning. For planterne har dette nok den mindste betydning. Næsten alle arter af større vandplanter kan forekomme både i søer og vandløb, og Tange Sø kan i en vis udstrækning fungere som refugium for arter, som senere kan rekolonisere nedstrømsliggende strækninger.

For de egentlige strømkrævende smådyr fungerer Tange Sø derimod som en barriere, de vanskeligt kan passere. Dette gælder både i op- og nedstrøms retning. Smådyr, som kan flyve, har dog mulighed for passage. Visse rentvandskrævende arter findes i dag kun i Gudenåens nedre løb fra Langå til Randers, men burde optræde i Gudenåen opstrøms for Tange Sø. Tange Sø's fysiske tilstedeværelse såvel som den forureningsmæssige påvirkning på strækningen nedstrøms for Tangeværket betyder, at disse arter ikke kan sprede sig længere op i Gudenåen.

Passageforholdene for fisk er ikke medtaget her, idet disse forudsættes behandlet separat af Danmarks Fiskeriundersøgelser (*Rasmussen et al., 1998*).

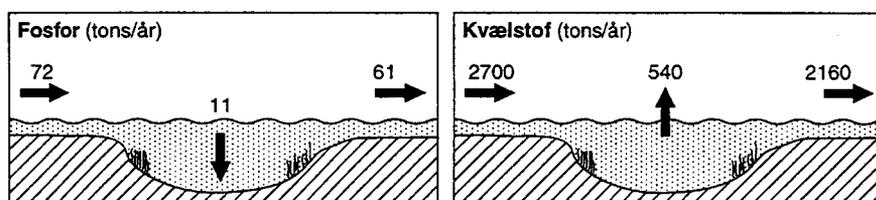
## Påvirkning af Gudenåens kvælstoftransport

Tilførslen af kvælstof fra Gudenåen til Tange Sø er forholdsvis høj, 0,73 g kvælstof pr. døgn målt pr. m<sup>2</sup> søbund. Til sammenligning er medianværdien for de danske søer i det nationale overvågningsprogram ca. 0,35 g kvælstof pr. m<sup>2</sup> pr. døgn (*Jensen 1998*).

Søer kan fjerne en del af kvælstofmængden, som vandløbene tilfører, idet bakterier er i stand til at omdanne nitrat til luftformig kvælstof. Søernes evne til at fjerne kvælstof afhænger fortrinsvis af, hvor hurtigt vandet strømmer igennem søen (*Jensen et al., 1997*). Derudover kan en mindre del kvælstof fjernes fra søvandet, når døde alger og dyr bundfældes på søbunden (*Jensen et al., 1992*). Søernes biologiske struktur har også stor indflydelse på søernes evne til at tilbageholde kvælstof (*Jeppesen et al., 1998a*).

Beregninger af kvælstofbalancen viser, at Tange Sø gennemsnitlig fjernede 20-40 % af den tilførte mængde kvælstof i perioden 1983-97, hvilket svarer til ca. 500-700 tons pr. år (*Jensen, 1998*). Til sammenligning viser modelberegninger, at Tange Sø skulle tilbageholde 20% af den tilførte kvælstof (figur 7) (*Jensen, 1998*). Umiddelbart virker den beregnede tilbageholdelse relativt høj, når man tager søens korte opholdstid i betragtning, ligesom der er meget stor variation mellem årene. En del af usikkerheden på tilbageholdelsen af kvælstof skyldes forudsætningerne for beregningerne af tilførslen i de 20% af Tange Sø's opland, hvor transporten af vand og næringsstoffer ikke er målt.

Tilbageholdelsen af kvælstof målt pr. m<sup>2</sup> søbund svarer stort set til gennemsnittet i de danske overvågningssøer (Jensen et al., 1997). Der er imidlertid ikke nogen tvivl om, at Tange Sø, ligesom de andre søer i Gudenåsystemet, bidrager til at formindske tilførslen af kvælstof til Randers Fjord, hvilket også ses af, at koncentrationen af kvælstof er 1-1,5 mg lavere pr. l i afløbet end i tilløbet til søen (Jensen, 1998). Ud fra de forskellige beregninger vurderes tilbageholdelse af kvælstof i Tange Sø, at være højst 20% af tilførslen, men der er nogen usikkerhed knyttet til beregningerne. Såfremt kvælstoftilførslen til Tange Sø fremover falder, forventes søen at tilbageholde mindre kvælstofmængder end nu.



Figur 7. Tilbageholdelse af fosfor og kvælstof i Tange Sø (gennemsnitsværdier for tilførslen for årene 1993-1997 samt tilbageholdelses % beregnet ved modeller er anvendt).

## Påvirkning af Gudenåens fosfortransport

Også fosfortilførslen til Tange Sø er høj målt pr. m<sup>2</sup> søbund. Værdien for Tange Sø er 0,031 g fosfor pr. m<sup>2</sup> pr. døgn, mens de tilsvarende værdier for de danske overvågningssøer er ca. 0,010 g fosfor pr. m<sup>2</sup> pr. døgn (Jensen, 1997).

Søer tilbageholder normalt fosfor. Hvis tilførslen mindskes, kan der dog i en periode løbe mere fosfor ud af søen end der løber ind, fordi der frigives fosfor, der har ophobet sig i bunden i den periode, hvor tilførslen var høj. I den periode, hvor der frigives fosfor fra søbunden, siges søen at aflaste fosfor. Når balancen mellem tilførslen af fosfor og søvandets indhold er indstillet, siges søen at være i ligevægt. Det tager typisk mange år, inden søer opnår ligevægt. Vandets opholdstid spiller en stor rolle for hvor hurtigt der opnås ligevægt.

Tilførslen af fosfor til Tange Sø er reduceret med ca. 50 tons gennem de sidste 20 år, hvorved belastningen er blevet halveret.

Beregninger foretaget for perioden 1983-97 viser, at Tange Sø generelt ikke frigiver fosfor i den undersøgte periode, men tilbageholder fosfor i alle de undersøgte år med undtagelse af 1995. Der findes imidlertid ikke målinger fra 1994. Søbalancerne viser også, at der generelt ikke frigives fosfor i sommermånederne, som det ofte ses i andre søer, men tilbageholdelsen finder sted over hele året. Fosforbalancen for Tange Sø viser, at der i gennemsnit tilbageholdes 20% af den tilførte mængde fosfor, hvilket svarer til ca. 10 tons pr. år (Jensen, 1998).

Tilbageholdelsen af fosfor er også beregnet ved hjælp af modeller. Resultaterne herfra angiver, at tilbageholdelsen er 14% af tilførslen, hvilket er samme størrelsesorden som beregnet ud fra søbalancerne.

Ud fra beregningerne må Tange Sø vurderes at være nogenlunde i ligevægt med den nuværende tilførsel af fosfor fra Gudenåen.

## Tange Sø's betydning for Randers Fjord

Tange Sø har også indflydelse på transporten af kvælstof og fosfor til Randers Fjord. Tilbageholdelsen af næringsstoffer i Tange Sø formindsker transporten af kvælstof og fosfor til Randers Fjord.

Beregninger tyder på, at Tange Sø tilbageholder 500-700 tons kvælstof og ca. 10 tons fosfor pr. år. Til sammenligning var den samlede årlige transport til Randers Fjord ca. 2800-6800 tons kvælstof og 86-243 tons fosfor i 1990'erne (*Århus Amt, 1998*).

Plantep planktonproduktionen er ikke begrænset af hverken kvælstof eller fosfor i den indre del af Randers Fjord. Næringsstoffbegrænsning forekommer kun sjældent i den ydre del af Randers Fjord, mens kvælstof og fosfor generelt er begrænsende for plantep plankton i Hevning Bugt uden for Randers Fjord (*Århus Amt, 1997d*). Stigningen i tilførslen af næringsstoffer til Randers Fjord vil trække i den forkerte retning i forhold til de andre initiativer til at reducere fjordens belastning. Ved øget tilførsel af næringsstoffer til Randers Fjord vil koncentrationerne af næringsstoffer i vandet stige - mest i den indre del af fjorden. Stigningen vil på nuværende tidspunkt kun have begrænset effekt på produktionen af plantep plankton, da koncentrationerne af næringsstoffer i forvejen er meget høje. Effekten på Hevring Bugt kan ikke vurderes p.t.

## Miljømæssig betydning af løsningsforslag I-VII

Konsekvensen af de enkelte løsningsforslag omfatter vurderinger af effekten på miljøtilstanden i såvel Tange Sø som Gudenåen, samt transporten af næringsstoffer til Randers Fjord. Vurderingerne bygger på scenarie-beregninger af Tange Sø's tilstand og transporten af kvælstof og fosfor i Gudenåen (*Jensen 1998*). Analyse af Gudenåens vegetation og smådyrsfauna er foretaget ved sammenstilling af oplysninger fra århundredeskiftet med de nyeste tilsynsdata fra Århus Amt og Viborg Amt, samt data fra *Riis (1998)* og *Skriver & Holm (1998)*. Løsningsforslagenes betydning for fiskepassagen i Gudenåen indgår ikke, da denne problemstilling er vurderet af Danmarks Fiskeriundersøgelser (*Rasmussen et al., 1998*). De miljømæssige effekter på miljøtilstanden skal naturligvis afvejes mod de rekreative, økologiske og øvrige samfundsmæssige forhold, hvilket der ikke er taget stilling til i nærværende vurdering.

## Løsningsforslag I (Nuværende tilstand)

Uden fysiske ændringer i Gudenåen/Tangeværket vil Tange Sø's fremtidige tilstand afhænge af, hvor stor reduktionen i fosfortilførslen bliver fremover. Fosfortilførslen vil sandsynligvis falde, når søerne opstrøms Tange Sø ikke længere aflaster fosfor, som via Gudenåen transporteres til Tange Sø. Tange Sø vurderes at være nogenlunde i ligevægt med den nuværende fosfortilførsel. Ligevægtskoncentrationen af fosfor ved den nuværende fosfortilførsel er beregnet til ca. 0,1 mg fosfor pr. liter, hvilket svarer til den målte fosforkoncentration i 1998. Det er meget usikkert, om Tange Sø's fosforkoncentration kan falde til 0,05-0,1 mg fosfor pr. liter, hvilket generelt er det kritiske niveau for, at søer kan skifte fra en uklar til en klarvandet tilstand (Jeppesen et al., 1998b). Når alle søerne opstrøms Tange Sø er i ligevægt, vil koncentrationen af fosfor i Tange Sø være ca. 0,07-0,075 mg fosfor l<sup>-1</sup> (Gudenåkomiteen, 1995).

Tilbageholdelsen af kvælstof og fosfor vil svare til situationen i dag, selv om der kan være meget større variationer fra år til år.

Den eksisterende løsning forventes ikke på kortere sigt at ændre forholdene markant for smådyrfaunaen og dermed den generelle forureningstilstand i Gudenåen nedstrøms for Tange Sø. Årsagen hertil er, at søen også i en årrække fremover vil være væsentligt eutrofieret, og følgelig vil der også fremover være en markant påvirkning af Gudenåen med udskyllende planktonalger og øget pH. Når tilstanden i Tange Sø forbedres, vil udskylningen af plankton blive mindre, men produktionen af planktonalger i Tange Sø vil dog selv herefter være så stor, at der må forventes en påvirkning på en flere kilometer lang strækning af Gudenåen.

Kontinuiteten i Gudenåen vil også fremover være brudt som følge af spærringen ved Tangeværket, såvel som den fysiske tilstedeværelse af søen. På strækningen fra Tangeværket til Bjerringbro kan tidligere tiders strømkrævende rentvandsfauna, som primært er knyttet til strygene, ikke forventes at kunne indfinde sig på ny. Årsagen er, at vandløbsstrækningen også fremover vil være væsentligt påvirket af udskylning af plankton fra Tange Sø.

## Løsningsforslag II (Fysisk forbedring af åen nedstrøms Tange Sø)

Dette løsningsforslag omfatter kun fysiske ændringer i Gudenåen nedstrøms Tangeværket, og vil derfor hverken påvirke Tange Sø's tilstand eller transporten af kvælstof og fosfor i Gudenåen i forhold til nu. Tilstanden i Tange Sø vil derfor svare til løsningsforslag I, og tilbageholdelsen af kvælstof og fosfor vil være uændret i forhold til nu.

Genskabelse af mere varierede fysiske forhold i Gudenåen nedstrøms Tangeværket skal reetablere de fysiske forhold. Hensynet til pramdragningen i forrige århundrede medførte, at strygene helt eller delvis blev fjernet. Derudover medførte hensynet til Tangeværket, at der i 1930'erne blev foretaget en uddybning af Gudenåen på strækningen

fra vandkraftværket til Bjerringbro. Alt i alt har dette medført, at laksen helt har mistet sine gydeområder i den nedre Gudenå samtidigt med, at kun få laks har passeret fisketrappen ved Tangeværket (Koed *et al.* 1996).

Varierede fysiske forhold har ligesom for laks og ørred stor betydning for mange arter af smådyr. Ved genetablering af stryg, dvs. lavvandede grusede og stenede områder, vil en del af åens tidligere dynamiske skikkelse blive genskabt. Mange af de arter af smådyr, der er knyttet til strygenes sten, og som i dag forekommer meget sparsomt i den nedre Gudenå, vil få væsentligt forbedrede leveforhold. Der kan dog ikke på kort sigt forventes samme fauna som tidligere ved genskabelse af strygene. Årsagen hertil er, at der fra Tange Sø fortsat i en årrække vil udskyldes store mængder af planktonalger til Gudenåen. Denne forureningspåvirkning vil derfor medføre, at faunaen næppe vil ændres på den første strækning af Gudenåen nedstrøms for Tange Sø. Det er netop på denne strækning nedstrøms søen, at hældningen oprindelig var størst, og hvor strygene derfor især bør placeres (Viborg Amtskommune 1989).

Genetablering af strygene skulle endvidere søge at sikre gydemulighederne for laks og ørred. Det første forsøg på genetablering af et stryg i den nedre Gudenå er foretaget af Århus Amt i 1993. Trods gydning i stryget har der imidlertid kun været meget begrænset registrering af yngel (Ole Helgren, *pers.med.*). Erfaringerne fra dette projekt tyder på, at det er meget usikkert, om laksen kan opbygge en bestand alene ved at genskabe strygene nedstrøms for Tange Sø. Om større gydesucces kan opnås ved mere hensigtsmæssig genetablering af fremtidige stryg er uafklaret.

### Løsningsforslag III (Kort omløbsstryg - vandmængde $3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ )

Dette løsningsforslag indebærer, at der bygges et kort 1,1 km langt såkaldt serpentinerstryg ved Tangeværket med en vandføring på  $3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (COWI, 1996).

Dette løsningsforslag er fremsat med henblik på at sikre passage for fisk, således at strækningen opstrøms for Tangeværket bliver tilgængelig. Med hensyn til de generelle miljømæssige forhold ændres intet i forhold til den eksisterende løsning. Tilstanden i Tange Sø vil være som nu og Tange Sø's tilbageholdelse af kvælstof og fosfor påvirkes heller ikke. Tilstanden er beskrevet under løsningsforslag I.

Søpåvirkningen af Gudenåen med udskylningen af planktonalger og forhøjet temperatur og pH vil også være som beskrevet under løsningsforslag I. Med hensyn til passageforholdene for smådyr vil disse stort set også være uændrede i forhold til den eksisterende løsning og ikke muliggøre spredning af smådyrsfaunaen opstrøms Tange Sø. Det korte omløbsstryg sikrer ikke kontinuitet i Gudenåen og genetablerer heller ikke tidligere tiders strømfyldte lokaliteter. Derimod vil passagen af øred og laks sikres opstrøms, mens nedtræk af smolt stadigvæk vil være begrænset af Tange Sø's tilstedeværelse.

## Løsningsforslag IV (Lang kanal med kort omløbs- stryg - vandmængde $3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ )

Dette løsningsforslag indebærer etablering af et ca. 10,5 km langt kanallignende vandløb med et kort stryg på østsiden af Tange Sø. En vandmængde på  $3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  transporteres i kanalen uden om Tange Sø.

Ved dette løsningsforslag formindskes både tilførslen af vand og næringsstoffer til Tange Sø. Ifølge scenarieberegningerne vil søens fosforkoncentration ved ligevægtstilstand blive 0,09 mg fosfor pr. liter og søens planteplankton biomasse vil være  $6 \mu\text{g}$  klorofyl pr. liter. Sigtdybden er beregnet til 1,4 m og dybdegrænsen for undervandsvegetationen vil være 2,6 m. Søens miljøtilstand vil være uændret i forhold til nu (tabel 5).

Når en del af vandmængden føres uden om Tange Sø vil søens mulighed for at tilbageholde kvælstof og fosfor falde og transporten i Gudenåen nedstrøms Tange Sø må følgelig stige. Beregningerne viser, at tilbageholdelsen af fosfor og kvælstof vil falde med henholdsvis 3% og 2%. Transporten til Randers Fjord stiger således kun i begrænset omfang.

Ved denne løsning sikres de passagemæssige forhold for fisk. Dette gælder både for optrækkende fisk, men også for nedtrækkende fisk, såfremt omløbsstryget udføres korrekt, hvor omløbsstryget forlader Gudenåen nær Borre Å's udløb. Smådyrfaunaen må forventes at få delvist sikret passageforholdene, idet der etableres et sammenhængende forløb af vandløbet. Nogen generel forbedring i Gudenåens miljømæssige tilstand nedstrøms Tangeværket kan ikke forventes ved denne løsning, idet næsten samme vand- og planktonmængde vil forlade Tange Sø som hidtil. Løsningsforslag IV vil derfor på dette punkt svare til den eksisterende løsning. Gudenåen nedstrøms Tange Sø vil følgelig have samme forureningsgrad som på nuværende tidspunkt.

**Tabel 5.** Scenarier for Tange Sø's tilstand samt tilbageholdelse af næringsstoffer.

Løsningsforslag	Fosforkonc. mg l <sup>-1</sup>	Sigtdybde m	Plankton- biomasse μg klorofyl l <sup>-1</sup>	Dybdegrænse vandplanter m	Fosfortilbage- holdelse %	Kvælstoftilbage- holdelse %
1. Nuværende tilstand	0,094	1,4	64	2,1	15	20
2. Forbedring nedstrøms	0,094	1,4	64	2,1	15	20
3. Kort omløbsstryg	0,094	1,4	64	2,1	15	20
4. Lang kanal, kort omløbsstryg $3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$	0,093	1,4	63	2,1	12	18
5. Tange Sø tømmes	-	-	-	-	0	0
6. Vandløb til Ans Bro, kanal hele vandmængden	?	?	?	?	0	0
7. Sænkning af vandspejl, kanal. $9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$	0,089	1,4	61	2,1	10	13

## Løsningsforslag V (Tange Sø tømmes/ genskabelse af gammelt åleje)

Dette løsningsforslag medfører, at Gudenåens åleje genskabes ved tømning af Tange Sø. Gudenåen får det samme meget stærke strømmende forløb som inden etableringen af Tangeværket. I Danmark er Skjern Å det eneste store vandløb, der stedvis har et tilsvarende stærkt strømmende forløb.

Da søen i dette forslag er fjernet og strækningen er omdannet til et stærkt strømmende vandløb, er det ikke relevant at diskutere den fremtidig søkvalitet. Løsningen påvirker i høj grad transporten af kvælstof og fosfor, da Tange Sø er fjernet og derfor ikke kan tilbageholde næringsstoffer. Ved reetableringen af Gudenåen på den nuværende Tange Sø strækning vil kvælstof og fosfor ikke kunne tilbageholdes, hvilket vil forøge transporten af kvælstof og fosfor til Randers Fjord med henholdsvis 500-700 tons kvælstof og ca. 10 tons fosfor pr. år, hvilket svarer til den nuværende tilbageholdelse af næringsstoffer i Tange Sø. Til sammenligning var den samlede årlige transport til Randers Fjord ca. 2800-6800 tons kvælstof og 86-243 tons fosfor i 1990'erne (*Århus Amt, 1998*).

Ved tømning af Tange Sø vil en del af den tidligere søbund fremstå som våde enge. Våde enge kan fjerne kvælstof ved denitrifikation, såfremt kvælstofholdigt vand siver gennem engene. Der foreligger ikke oplysninger om, i hvilket omfang de eventuelt nydannede enge vil kunne bidrage til at fjerne kvælstof fra søens opland. Men selv om hele den tidligere søbund omdannes til våde enge, vil de ikke kunne kompensere for den forøgede kvælstoftransport til Randers Fjord, hvis man antager at engene fjerner 350 kg kvælstof pr. år. Det er næppe praktisk muligt at omdanne hele den tidligere søbund til vel fungerende denitrificerende enge.

Tømning af Tange Sø vil medføre, at slam fra søbunden transporteres videre i Gudenåen og til Randers Fjord. Det er ikke muligt at vurdere omfanget og risikoen for udtømning af slam på nuværende tidspunkt. Ligeledes er det heller ikke muligt at vurdere, i hvilket omfang der kan opnås miljømæssige forbedringer ved at restaurere Gudenåen på strækningen, hvor Tange Sø ligger i dag.

Genskabelsen af Gudenåens tidligere forløb vil sikre de bedste miljømæssige og passagemæssige forhold i selve Gudenåen. Såfremt Tange Sø fjernes vil den eneste væsentlige forureningspåvirkning være udskylningen af planktonalger fra Silkeborg Langsø. På strækningen fra Svostrup til Kongensbro er tilstanden i dag forureningsgrad II (*Skriver og Holm, 1998*). Denne tilstand i Gudenåen vil forbedres yderligere i nedstrøms retning, såfremt Gudenåens gamle leje genskabes. På grund af de gode faldforhold på strækningen fra Kongensbro ned mod Tangeværket (*Viborg Amtskommune 1989*) forventes tilstanden inden for denne strækning at ville forbedres til forureningsgrad I-II (*Skriver & Holm 1998*). Den nuværende tilstand nedstrøms Tange Sø er forureningsgrad II-III, og genskabelsen af det gamle leje forventes derfor at give en markant forbedring i den generelle miljømæssige tilstand i Gudenåen. Denne forbedring må forventes også at slå igennem på hele strækningen nedstrøms for Tan-

geværket og ned mod Randers. Dette forudsætter genskabelse af de tidligere så varierede fysiske forhold i vandløbet både på strækningen nedstrøms Tangeværket, men også på strækningen fra Tangeværket og op mod Silkeborg.

## **Løsningsforslag VI (Vandløb til Ans Bro, kanal med kort omløbsstryg)**

Ved løsningsforslag VI graves et 10,5 km langt kanallignende vandløb på østsiden af Tange Sø. Hele Gudenåens vandføring ledes gennem omløbet uden om Tange Sø. Søens nuværende afløb til Gudenåen vil primært fungere som overløb for Tange Å (COWI, 1996).

Da hele Gudenåens vandmængde føres uden om Tange Sø, vil der ikke ske en tilbageholdelse af kvælstof og fosfor i søen og tilbageholdelsen i det gravede omløb forventes at være uden væsentlig betydning. Transporten til Randers Fjord forøges på samme måde som i løsningsforslag V.

Søens tilstand vil i nogen grad blive forbedret. Vandets opholdstid stiger dramatisk i forhold til nu og det sæsonmæssige afstrømningsmønster vil blive ændret. Fosforkoncentrationen vil blive noget lavere end nu, da søen fremover formodentlig vil afgive mere fosfor end den modtager. Ved løsningsforslag V vil søen kun modtage fosfor fra de direkte tilløb til Tange Sø. Tilstanden kan ikke kvantificeres, da det vil være for usikkert at foretage scenarieberegninger. Men erfaringer fra andre isolerede søer som Ring Sø og Norfolk Broads i England tyder på, at søen sandsynligvis vil komme tæt på det klarvandede stadium. Det er usikkert, om søen vil svinge mellem uklar og klarvandet tilstand (Moss *et al.*, 1996). Hvis Gudenåens transport af kvælstof føres uden om Tange Sø, kunne søen tænkes at blive kvælstofbegrænset. Om løsningsforslag V vil medføre kvælstofbegrænsninger i Tange Sø kan imidlertid ikke afgøres.

Dette løsningsforslag skaber kontinuitet i Gudenåen, hvilket indebærer, at faunaens frie passage vil blive sikret.

På samme måde som ved genskabelsen af det gamle leje må det forventes, at der sker en betydelig forbedring i Gudenåens generelle miljømæssige tilstand på hele strækningen fra Kongensbro til Randers, fordi udskyllingen af planktonalger fra Tange Sø stort set undgås.

Løsningsforslag VI vil dog kun i mindre omfang genetablere levesteder for strømelskende vandløbsdyr. Faldet i denne nyetablerede del af Gudenåen koncentrerer på en ca. 1 km strækning opstrøms Tangeværket, mens hovedparten af det øvrige fald på en 9,5 km strækning koncentrerer i 10 stryg på hver ca. 100 meter. Denne løsning er dog den eneste løsningsmodel, der muliggør at Tange Sø bevares samtidigt med, at der sker betydelige forbedringer med hensyn til både at genskabe Gudenåens kontinuitet og forureningstilstanden nedstrøms Tange Sø.

## Løsningsforslag VII (Sænkning af vandspejl, kanal med kort omløbsstryg)

Dette løsningsforslag søger på én og samme tid at bevare størstedelen af Tange Sø, fortsætte driften af Tangeværket, samt sikre passageforholdene for faunaen (primært med udgangspunkt i laks og ørred).

Dette løsningsforslag indebærer, at vandstanden i Tange Sø sænkes 1,5-2,0 meter samtidig med, at der graves et 5,5 km omløb fra Ans Bro på den tørlagte søbund. Ifølge forslaget kan omløbet graves enten på øst eller vestbredden og omløbet skal have en vandføring svarende til  $9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (NNR, 1998). Sænkningen af vandstanden i Tange Sø med 1,5-2,0 meter vil medføre, at Gudenåen får et længere forløb opstrøms søen end det er tilfældet i dag. En strækning på ca. 6 km omdannes fra sø og meget langsomt løbende vandløb til et vandløb med nogenlunde tilsvarende forhold som inden etableringen af Tange Sø.

Når  $9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  svarende til median minimum ledes uden om Tange Sø vil vandets opholdstid i søen omtrent fordobles. Fosforkoncentrationen ved ligevægt er beregnet til 0,09 mg fosfor pr. liter, mens biomassen af planteplankton er beregnet til  $61 \mu\text{g}$  klorofyl pr. liter, hvilket stort set svarer til Tange Sø's nuværende tilstand. Sigtdybden og dybdegrænsen for undervandsvegetation er beregnet til henholdsvis 1,4 m og 2,7 m, hvilket er uændret i forhold til nu (tabel 5). Den lave vanddybde vil betyde, at en større del af søen vil kunne koloniseres af vandplanter. Søen vil fortsat have så høj fosforkoncentration, at den vil have en uklar tilstand, selv om den vil ligge tæt på grænsen til den klarvandede tilstand (Jensen, 1998). Den tætte kontakt mellem vandløb og sø kan bidrage til at søen fastholdes i den uklare tilstand, idet indvandring af bl.a. skaller fra Gudenåen vil bidrage til denne udvikling.

Scenarieregningerne af tilbageholdelsen af kvælstof og fosfor viser, at tilbageholdelse vil falde med henholdsvis ca. 7% og 5% af den nuværende tilførsel (tabel 5).

Den generelle miljøtilstand i Gudenåen nedstrøms for Tangeværket vil dog også fremover i nogen omfang være påvirket af udskylningen af planktonalger fra Tange Sø. I afløbet fra søen forventes nogenlunde samme algemængde som ved de øvrige løsningsforslag, hvor søen bevares (Jensen 1998), men medianminimums vandmængden som ledes gennem omløbet vil have et algeindhold, der er lavere end afløbet fra søen. Den resulterende mængde af planktonalger i Gudenåen nedstrøms for Tangeværket må derfor forventes at være lavere end i dag, men en sikker kvantificering er ikke mulig.

Faunaens passagemuligheder må forventes at blive gode for fiskene. Mulighederne for passage for den øvrige fauna må i nogen grad forventes at kunne sikres. Forudsætningen er imidlertid, at der bliver så lidt "sø" som muligt opstrøms for den påtænkte dæmning ved Ans Bro.

## Sammenfattende vurdering

Påvirkningerne er mange og yderst forskellige ved de forskellige løsningsforslag. Kun de miljømæssige konsekvenser er sammenstillet, mens de rekreative, økonomiske og andre samfundsmæssige interesser ikke indgår i vurderingen. På baggrund af scenarieberegninger og faglige vurderinger er de samlede miljømæssige konsekvenser af løsningsforslag I-VII angivet i forhold til den nuværende tilstand. Løsningsforslagene har dels betydning for Gudenåen og Tange Sø og dels for transporten af næringsstoffer og dermed også miljøtilstanden i Randers Fjord.

Løsningsforslag I er neutralt, idet dette løsningsforslag er benyttet som grundlag for sammenligning med de andre forslag.

Løsningsforslag II forbedrer kun de fysiske forhold nedstrøms Tangeværket, hvorfor det ikke forbedrer de nuværende miljøforhold i væsentlig grad.

Løsningsforslag III forbedrer fiskenes passage, men ellers ændrer dette forslag ikke den nuværende tilstand i hverken Tange Sø, Gudenåen eller Randers Fjord.

Løsningsforslag IV, hvor en vandmængde på  $3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  ledes uden om Tange Sø, mindsker i meget begrænset omfang tilbageholdelsen af næringsstoffer i søen, hvorfor transporten til Randers Fjord øges i begrænset omfang. Til gengæld forbedres passagen for både fisk og smådyr.

Løsningsforslag V, hvor Tange Sø tømmes og Gudenåen genetableres, vil øge transporten af næringsstoffer i Gudenåen og dermed også til Randers Fjord. Da Tange Sø nedlægges, er det ikke relevant med en vurdering af søkvaliteten. Dette løsningsforslag giver de største forbedringer af tilstanden i Gudenåen. Ved genetableringen af Gudenåens leje bliver passageforholdene for både fisk og smådyr som inden bygningen af Tangeværket. Samtidig genskabes den del af Gudenåen med det største fald, hvorved de strømfyldte levesteder efterhånden vil genskabes. Behovet for restaurering ved genetablering af Gudenåen kendes ikke.

Løsningsforslag VI indebærer, at hele Gudenåens vandmængde føres uden om Tange Sø, samtidig med at søen opretholdes. Tange Sø's tilstand vil forbedres på grund af den mindre fosfortilførsel, men forbedringerne i form af lavere fosforkoncentration og planktonmængde og dermed øget sigtddybde, kan ikke kvantificeres. Passagen for både fisk og smådyr forbedres og forureningpåvirkningen af Gudenåen falder. Strømfyldte levesteder genetableres kun i de korte stryg.

Løsningsforslag VII medfører sænket vandstand i Tange Sø og gravning af en kanal fra Ans Bro med en vandmængde på  $9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Ved denne løsning stiger transporten af kvælstof og fosfor i Gudenåen og dermed også til Randers Fjord. Forbedringerne i Tange Sø er meget

begrænsede. Til gengæld forbedres passage for både fisk og smådyr, foruden at forureningspåvirkningen af Gudenåen fra Tange Sø mindskes.

## Referencer

*Altenborg, J. (1998):* Noter til vegetationsundersøgelser. Botanisk Institut. Aarhus Universitet. 2 pp.

*Andersen, J.M., Jensen, J. (1981):* Sammensætning mellem forureningsgraden i vandløb og koncentrationen af biologisk nedbrydeligt organisk stof i vandet. *Vatten* 2:115-121.

*COWI (1996):* Omløbsstryg ved Tangeværket. VVM-redegørelse. Notat til Viborg Amt. 42 pp + bilag

*Gudenåkomiteen (1995):* Stoftransport i Gudenåen 1974 - 1993. Gudenåkomiteen - rapport nr. 17. 46 pp. + bilag.

*Gudenåkomiteen (1997):* Gudenåens vandmiljø. Forureningstilstand, smådyr og fisk. Pjece udarbejdet af Århus, Vejle og Viborg amter for Gudenåkomiteen.

*Gylliams (1736):* Gylliams kort af Gudenåen. Kongelig lods Gylliam udarbejdede i 1736 et detaljeret kort over nedre Gudenå med angivet bredde og dybdeforhold. Kortet blev fremstillet med henblik på vurdering af mulighederne for at flåde tømmer på Gudenåen fra Midtjylland til Randers.

*Holdensgaard, G., Pedersen, C., Thomassen, S. (1997):* Nedvandring af lakse- og ørredsmolt i Gudenåen og Tange Sø 1994-1996. FOSLAKS Rapport nr. 1 1997. 44 pp + bilag.

*Jeppesen, E., Jensen, J.P., Søndergaard, M., Lauridsen, T.L., Møller, P.H., Sandby, K. (1998a):* Changes in Nitrogen Retention in Shallow Eutrophic Lakes following a Decline in Density of Cyprinids. *Archiv für Hydrobiologie* 142(2): 129-151.

*Jeppesen, E., Jensen, J.P., Søndergaard, M. & Lauridsen, T.L. (1998b):* Trophic structure and dynamics in turbid and clear water lakes with special emphasis on the role of zooplankton for water clarity. *Hydrobiologia*, submitted.

*Jepsen, N., Aarestrup, K., Rasmussen, G. (1997):* Smoltdødeligheder i Tange Sø. Undersøgt i foråret 1996. DFU-rapport 32-97. 28 pp + bilag.

*Jensen, J.P., Jeppesen, E., Kristensen, P., Christensen, P.B., Søndergaard, M. (1992):* Nitrogen loss and denitrification as studied in relation to reductions in nitrogen loading in a shallow hypertrophic lake (Lake Søbygård, Denmark). - *Int. Revue Gesamt. Hydrobiologia* 77: 29-42.

- Jensen, J.P. (1998):* Notat om næringstofbalancer for Tange Sø. Danmarks Miljøundersøgelser 15 pp. + bilag.
- Kofoed, A., Rasmussen, G., Holdensgård, G., Pedersen, C. Tangetrappen (1994-95):* DFU-rapport nr. 8-96. 36 pp + bilag.
- Moss, B., Madgwick, J., Phillips, G. (1996):* A guide to the restoration of nutrient-enriched shallow lakes. Broads Authority, 18 Colegate, Norwich, Norfolk, UK.
- NNR (1998):* Reetablering af Gudenåen ved Tange Sø. Sænkning af vandspejlet i Tange Sø med 1,5-2,0 m. Notat til Viborg Amt 6 pp.
- Rasmussen, G., Aarestup, K., Koed, A.. (1998):* Vurdering af 7 løsningsforslag til fiskepassage ved Gudenaacentralen (Tangeværket) og konsekvenser heraf for fiskebestandene. Notat fra Danmarks Fiskeriundersøgelser september 1998. 10 pp.
- Riis, T. (1998):* Vegetationen i den nedre Gudenå for 100 år siden og i dag. Notat af 24. aug. 1998. Danmarks Miljøundersøgelser. 2 pp.
- Skriver, J., Holm, P. (1998):* Notat om smådyrfaunaen og forureningstilstanden i Gudenåen på strækningen fra Silkeborg til Randers. Danmarks Miljøundersøgelser 5 pp. + bilag.
- Vejle Amt (1997):* Regionplan 1997-2009. Vejle Amtsråd.
- Viborg Amt (1997):* Regionplan 1997-2009. Viborg Amtsråd april 1997.
- Viborg Amtskommune (1989):* Gudenåen Silkeborg- Randers: Redegørelse til Gudenåkomiteen. Teknisk Forvaltning. Rapport nr. 96 i miljøserien. 43 pp.
- Viborg Amt (1998):* Faunabedømmelse i Gudenåens hovedløb. Udskrift fra Viborg Amts miljødatabase. 5 pp.
- Århus Amt (1996):* Forureningstilstanden i vandløb, søer og kystvande 1990-1995. Århus Amt marts 1996. 5 pp.
- Århus Amt (1997a):* Vandkvalitetsplan for Århus Amt 1997. Del 2 Vandløb. 77pp + bilag
- Århus Amt (1997b):* Vandkvalitetsplan for Århus Amt 1997. Del 3 Søer 156 pp.
- Århus Amt (1997c):* Vandløb og kilder. Vandmiljøovervågning 1996. Tekst + bilagsbind
- Århus Amt (1997d):* Randers Fjord 1996. Teknisk rapport. Natur og Miljø. 82pp + bilag.
- Århus Amt (1998):* Vandløb og kilder. Vandmiljøovervågning 1997. Tekst + bilagsbind.

# Bilag 1

## Notat

### Tange Sø: Næringsstofbalancer og vandkvalitet.

Jens Peder Jensen, Danmarks Miljøundersøgelser, september 1998.

Dette notat er udarbejdet på baggrund af det eksisterende datagrundlag lagret hos Danmarks Miljøundersøgelser, Afdeling for sø- og fjordøkologi, Silkeborg samt supplerende data og oplysninger givet af Viborg Amt og Århus Amt.

## Morfometri

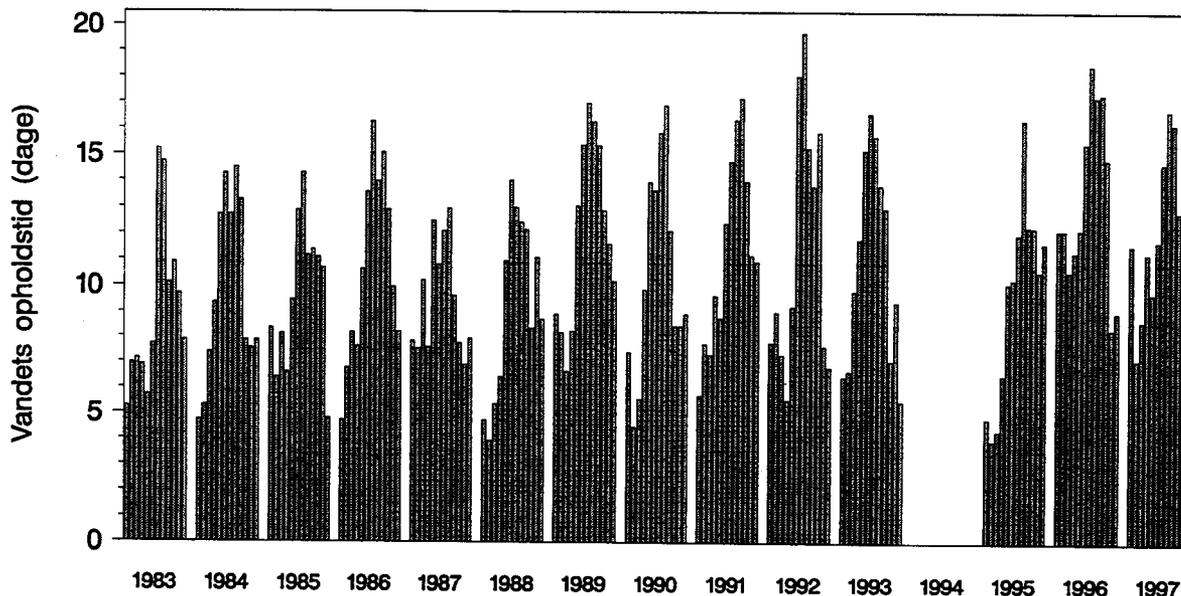
Tange Sø er en af de større danske søer med et overfladeareal på 5,9 km<sup>2</sup>, søen er lavvandet med en middeldybde på 2,8 meter. Med placeringen i Gudenåens nedre del er oplandsarealet meget stort, hvilket bl.a. medfører, at vandets opholdstid i søen er kort.

Tabel 1. Morfometrisk nøgletal for Tange Sø.

Middeldybde	Maksimumdybde	Overfladeareal	Vandvolumen	Oplandsareal (inkl. Tange å)
2,8 m	6 m	5,9 km <sup>2</sup>	16,7 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	1790 km <sup>2</sup>

## Opholdstid

Opholdstiden for Tange Sø er kort og har været forholdsvis konstant i perioden 1983-1997, gennemsnitsopholdstiden er ca. 10 dage (max: 12,5 dage (1996) min: 7,8 dage (1988)). Vandtilførslen til Tange Sø er ret konstant, men opholdstiden kan dog (opgjort på månedsniveau) om vinteren nå ned på 4 dage og om sommeren op på 20 dage (figur 1).



Figur 1. Tange Sø 1983-97 - Vandets opholdstid (dage) opgjort på månedsniveau.

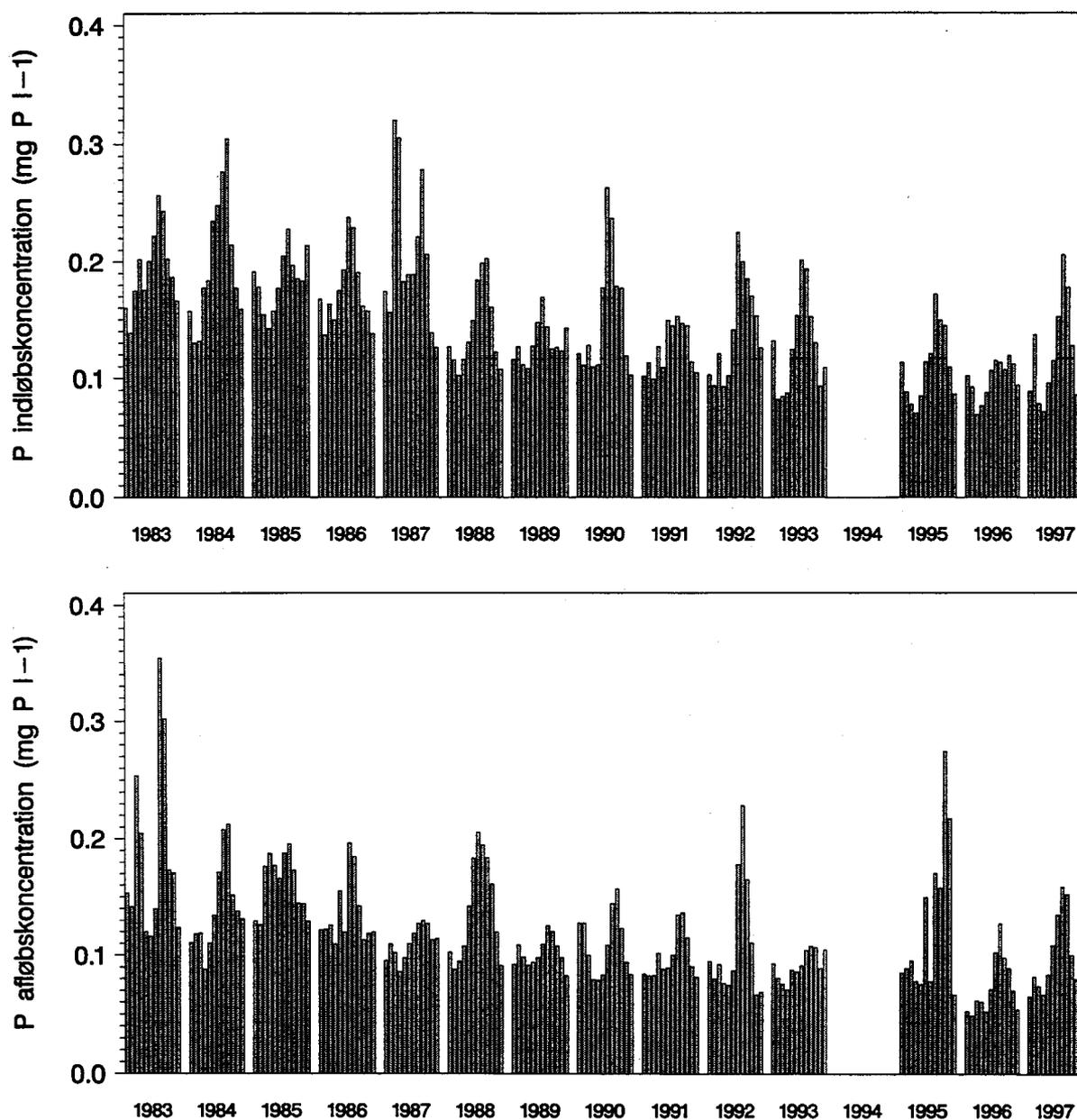
## Indløbs- og afløbskoncentrationer for fosfor og kvælstof

I nedenstående tabel er årgennemsnittene for indløbs- og afløbskoncentrationer for totalfosfor og totalkvælstof angivet. Sæsonforløbet for disse er givet i figur 2 og 3.

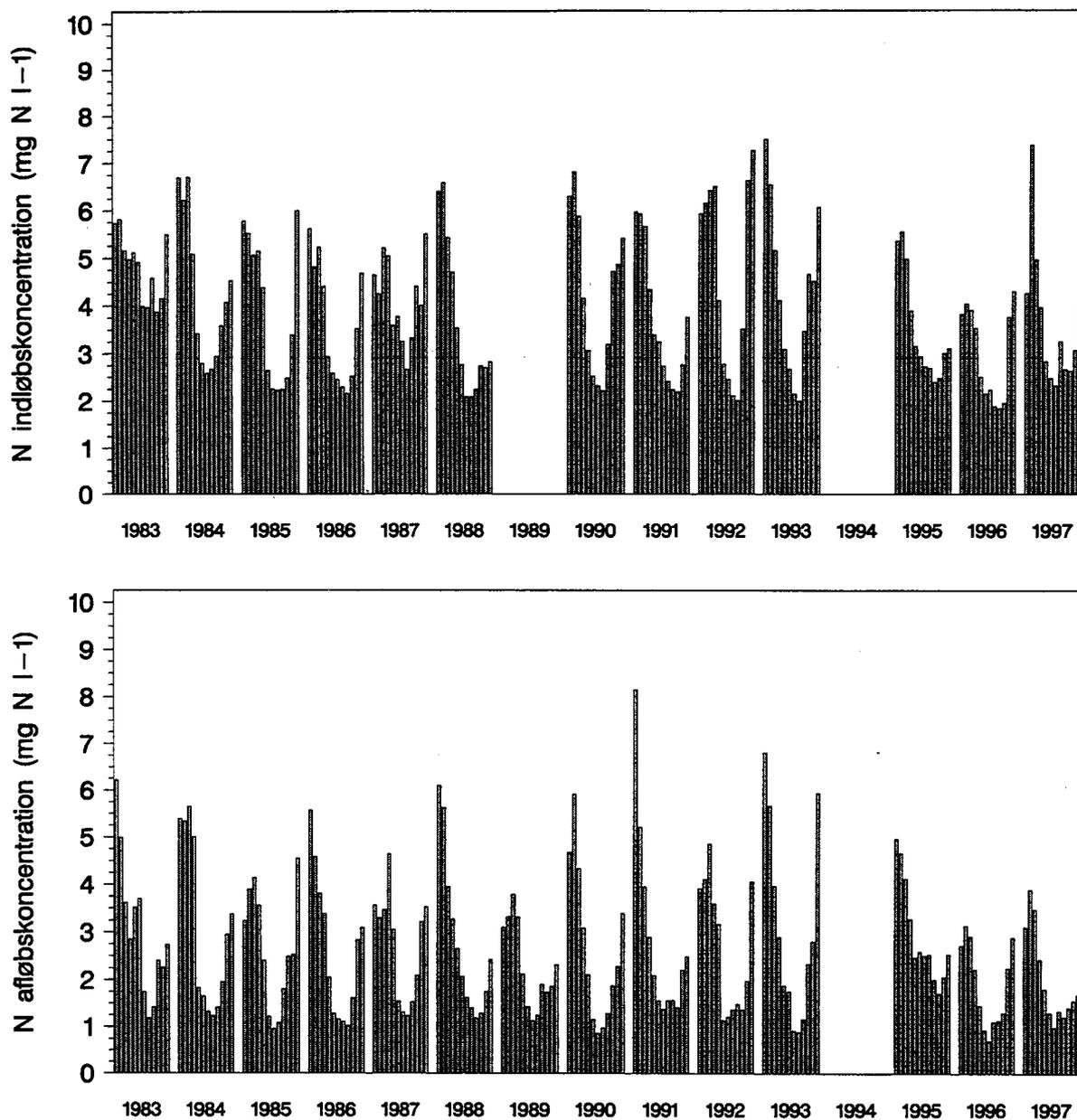
Tabel 2. Tange Sø 1983-1997. Tilløbs- og afløbskoncentration for fosfor og kvælstof. Tilløbskoncentrationerne fra før 1993 er behæftet med en vis usikkerhed idet punktkildebidraget fra umålt opland er sat til niveauet i 1993.

År	Totalfosfor koncentration (mg P l <sup>-1</sup> )		Totalkvælstof koncentration (mg N l <sup>-1</sup> )	
	Indløb	Afløb	Indløb	Afløb
1983	0,194	0,188	4,82	3,05
1984	0,199	0,141	4,28	3,10
1985	0,184	0,161	3,93	2,66
1986	0,175	0,136	3,60	2,63
1987	0,207	0,111	4,14	2,71
1988	0,143	0,140	3,68	2,78
1989	0,130	0,102		2,28
1990	0,153	0,109	4,29	2,67
1991	0,125	0,099	3,72	2,88
1992	0,142	0,110	4,66	2,70
1993	0,128	0,092	4,33	3,09
1995	0,111	0,128	3,52	2,96
1996	0,100	0,074	3,00	1,90
1997	0,118	0,098	3,67	2,02

Tange Sø formindsker koncentrationen af total fosfor og total kvælstof i Gudenåen i størrelsesordenen 0,02-0,03 mg P l<sup>-1</sup> og 1-1,5 mg N l<sup>-1</sup>.



Figur 2. Tange Sø 1983-97 - Totalfosfor ( $\text{mg P l}^{-1}$ ). Øverst: tilløbskoncentration. Nederst: afløbskoncentration. Tilløbskoncentrationerne fra før 1993 er lidt usikre idet punktkildebidraget fra umålt opland er sat til niveauet i 1993.



Figur 3. Tange Sø 1983-97 - Totalkvælstof ( $\text{mg N l}^{-1}$ ). Øverst: tilløbskoncentration. Nederst: afløbskoncentration. Tilløbskoncentrationerne fra før 1993 er lidt usikre idet punktkildebidraget fra umålt opland er sat til niveauet i 1993.

## Vand- og massebalancer

Datagrundlaget for beregning af vand- og massebalancerne for Tange Sø er forholdsvis godt, da der er målt på mere end 80% af den tilførte vandmængde. Vand- og stofbalancerne for Tange Sø er opgjort på månedsniveau, men her vises dog kun resultater summeret på de enkelte år. Der henvises til appendix 1-5 for nærmere beskrivelser af metoder og beregningsgrundlag samt data for vand- og stofbalancer på månedsniveau. I tabel 3.1 er vand- og stofbalancerne for de enkelte år 1983-1997 vist, denne balance er beregnet på baggrund af en vandbalance beregnet med grundvandsudveksling. Da der har været sået tvivl om denne metode er vand- og stofbalancen uden grundvandsudveksling også medtaget til sammenligning (tabel 3.2 samt appendix 3-5). Det er vurderet at balancen med grundvandsudveksling er den bedste, hvorfor det er denne der er beskrevet i det følgende.

Tabel 3.1 Vand og massebalance for 1983-1997. Den angivne vandfraførsel er eksklusiv udsivning. Nederste linie angiver gennemsnitsværdier for 1993-1997 svarende til perioden med eksakte punktkildeoplysninger for det umålte oplande (jævnfør appendix 2). Vandudsivningen sam udsivningen af totalfosfor og totalkvælstof er ikke medtaget i tabellen.

År	Vandbalance		Fosforbalance				Kvælstofbalance			
	Tilførsel (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Fraførsel	Tilførsel (tons)	Fraførsel	Retention	Retention (%)	Tilførsel (tons)	Fraførsel	Retention	Retention (%)
1983	799,2	751,0	149,7	133,8	7,8	5,2	3988,4	2559,6	1255,7	31,5
1984	806,1	713,3	148,0	95,5	40,6	27,4	3857,6	2576,1	927,2	24,0
1985	744,9	696,9	136,6	109,9	19,2	14,1	3236,3	2090,6	997,0	30,8
1986	717,8	649,5	120,4	85,0	26,6	22,1	2885,9	2056,0	629,2	21,8
1987	714,6	673,8	148,5	74,5	69,0	46,5	3061,6	1917,3	1012,0	33,1
1988	830,4	781,1	111,0	97,8	6,9	6,2	3616,4	2681,0	768,5	21,3
1989	597,0	556,2	75,7	55,9	15,6	20,6	-	1406,3	-	-
1990	739,3	676,6	104,2	74,3	23,0	22,1	3590,8	2192,3	1200,1	33,4
1991	661,5	599,7	79,1	56,8	16,6	20,9	2755,0	2091,0	398,2	14,5
1992	669,9	637,4	89,3	62,5	22,2	24,9	3623,8	1984,0	1503,9	41,5
1993	705,3	641,3	85,8	59,5	20,1	23,4	3463,0	2392,8	829,6	24,0
1995	826,1	773,6	84,5	88,7	-10,4	-12,3	3335,4	2648,0	513,1	15,4
1996	532,0	491,0	52,1	34,5	14,7	28,3	1694,3	1011,7	597,7	35,3
1997	567,5	534,1	63,8	49,6	11,2	17,5	2217,9	1176,8	967,8	43,6
93-97	657,7	610,0	71,6	58,1	8,9	14,2	2677,6	1807,3	727,0	29,6

Tabel 3.2 Vand og massebalance for 1983-1997. Balance opgjort uden grundvandsudveksling. Nederste linie angiver gennemsnitsværdier for 1993-1997 svarende til perioden med eksakte punktkildeoplysninger for det umålte oplande (jævnfør appendix 2).

År	Vandbalance		Fosforbalance				Kvælstofbalance			
	Tilførsel (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Fraførsel	Tilførsel (tons)	Fraførsel	Retention	Retention (%)	Tilførsel (tons)	Fraførsel	Retention	Retention (%)
1983	751,0	751,0	138,2	133,8	4,4	3,2	3383,4	2559,6	823,8	24,3
1984	713,3	713,3	128,0	95,5	32,5	25,4	2670,9	2576,1	94,8	3,6
1985	696,9	696,9	124,3	109,9	14,4	11,6	2713,7	2090,6	623,0	23,0
1986	649,5	649,5	105,6	85,0	20,7	19,6	2226,9	2056,0	170,9	7,7
1987	673,8	673,8	127,0	74,5	52,6	41,4	2513,2	1917,3	595,9	23,7
1988	781,1	781,1	102,2	97,8	4,4	4,3	3065,1	2681,0	384,1	12,5
1989	556,2	556,2	69,5	55,9	13,6	19,5	-	1406,3	-	-
1990	676,6	676,6	93,3	74,3	18,9	20,3	2770,5	2192,3	578,3	20,9
1991	599,7	599,7	69,8	56,8	13,0	18,6	2053,0	2091,0	-37,9	-1,8
1992	637,4	637,4	81,8	62,5	19,3	23,6	2899,3	1984,0	915,3	31,6
1993	641,3	641,3	76,0	59,5	16,5	21,7	2512,2	2392,8	119,4	4,8
1995	773,6	773,6	77,7	88,7	-11,0	-14,2	2830,2	2648,0	182,2	6,4
1996	491,0	491,0	45,7	34,5	11,2	24,6	1292,5	1011,7	280,8	21,7
1997	534,1	534,1	59,8	49,6	10,2	17,1	1801,8	1176,8	624,9	34,7
93-97	610,0	610,0	64,8	58,1	6,7	12,3	2109,2	1807,3	301,8	16,9

I løbet af de seneste 15 år er tilførslen af kvælstof er reduceret kun reduceret lidt, mens tilførslen af fosfor til Tange Sø er reduceret med ca. 55%. Tange Sø har dog fortsat høje tilførsler af fosfor og kvælstof sammenlignet med danske søer generelt (31 mg P m<sup>-2</sup> dag<sup>-1</sup> sammenlignet med en median for Vandmiljøplanens overvågningsøer på ca. 10 mg P m<sup>-2</sup> dag<sup>-1</sup> og 733 mg N m<sup>-2</sup> dag<sup>-1</sup> sammenlignet med en median for Vandmiljøplanens overvågningsøer på ca. 350 mg N m<sup>-2</sup> dag<sup>-1</sup>).

Tange Sø har generelt tilbageholdt en forholdsvis stor del af den tilførte stofmængde. I et "normalt år" tilbageholdes ca. 20% af den tilførte fosformængde og 20-40% af den tilførte kvælstofmængde. På trods af disse

procentuelt ret beskedne mængder udgør de på grund af den store stoftilførsel til Tange Sø absolut store mængder (ca. 10 tons fosfor år<sup>-1</sup> og ca. 500-700 tons kvælstof år<sup>-1</sup>) kvælstof og fosfor, der for hovedpartens vedkommende uden Tange Sø ville være endt i Randers Fjord.

Tilbageholdelsen af kvælstof i søer er permanent, da kun en ringe del ophobes i sedimentet, hovedparten frigives som frit kvælstof via denitrifikation til atmosfæren (Jensen *et al.*, 1992). Derfor ses der ved ændringer af den eksterne kvælstoftilførsel til søer ingen forsinkelseseffekter på kvælstoftilbageholdelsen, den relative kvælstoftilbageholdelsen i Tange Sø har således også på trods af en vis år- til årvariation været forholdsvis konstant.

Fosfortilbageholdelse i søer er derimod ikke nødvendigvis permanent, da dette ophobes i sedimentet. Oftest ses det at tilbageholdt fosfor i sedimentet atter frigives, hvis den eksterne fosfortilførsel reduceres væsentligt. Denne fosforfrigivelse fortsætter indtil der igen er opnået ligevægt mellem den eksterne fosfortilførsel og sedimentpuljen af fosfor. Fosfortilbageholdelsen i Tange Sø har udvist en større variation end kvælstoftilbageholdelsen, men dette er sket uafhængigt af den ændrede tilførsel. Der kan ikke umiddelbart findes nogle længere sammenhængende perioder, hvor intern fosforfrigivelse har domineret fosforbalancen for Tange Sø, hvilket eventuelt også skal ses i sammenhæng med at reduktionen i den eksterne fosfortilførsel har været relativ beskedne, og samtidigt er sket over en lang årrække.

## Næringsstofftilbageholdelse og ligevægtskoncentrationer

På baggrund af opholdstiden ( $T_w$ ) kan teoretiske tilbageholdelseskoefficienter for total fosfor ( $R_P$ ) og total kvælstof ( $R_N$ ) beregnes. Disse beregninger forudsætter dog at søens næringsstofomsætning er i ligevægt med den eksterne tilførsel. Dette er ikke noget problem med hensyn til kvælstof, men for fosfors vedkommende ses ofte en længerevarende frigivelse af fosfor fra sedimentet (såkaldt intern belastning) ved en markant reduktion i den eksterne tilførsel.

Ændringer i de biologiske forhold, som eksempelvis undervandsplanternes udbredelse eller mængden af dyreplankton, har tillige vist sig at kunne påvirke tilbageholdelsen af såvel kvælstof som fosfor i lavvandede søer (Jeppesen *et al.*, 1998). Datamaterialet til at vurdere disse forhold for Tange Sø er imidlertid ringe.

### Fosfor (jf. Vollenweider, 1976):

$$R_P = 1 - (1/(1 + \sqrt{T_w})) = 0,142$$

Det vil sige, at Tange Sø i en ligevægtssituation som gennemsnit skulle kunne tilbageholde 14% af den tilførte fosformængde.

Ligevægtkoncentrationen af totalfosfor i søvandet ( $P_{sø}$ ) er således tilsvarende givet ved opholdstiden ( $T_w$ ) og indløbskoncentrationen ( $P_{til}$ ):

$$P_{sø} = P_{til} / (1 + \sqrt{T_w}) = P_{til} * (1 - R_P) = P_{til} * 0,858$$

Det giver for eksempel for 1997 en beregnet søkoncentration på 0,101 mg P l<sup>-1</sup>, hvilket svarer meget godt overens med den observerede afløbskoncentration på 0,089 mg P l<sup>-1</sup>. Andre år er afvigelsen større, men generelt er der rimelig overensstemmelse mellem de observerede afløbskoncentrationer og de søkoncentrationer der kan beregnes ved hjælp af Vollenweider-modellen.

### Kvælstof (jf. Jensen *et al.*, 1994):

$$R_N = 0,59 * T_w^{0,29} = 0,208$$

Det vil sige, at Tange Sø i en ligevægtssituation skulle kunne tilbageholde 21% af den tilførte kvælstofmængde (max: 22%, min: 19%). Ligevægtkoncentrationen af totalkvælstof i søvandet ( $N_{sø}$ ) er således tilsvarende givet ved opholdstiden ( $T_w$ ) og indløbskoncentrationen ( $N_{til}$ ):

$$N_{sø} = N_{til} * (1 - 0,59 * T_w^{0,29}) = N_{til} * (1 - R_N) = N_{til} * 0,792$$

Det giver for eksempel for 1997 en beregnet søkoncentration på 2,91 mg N l<sup>-1</sup>, hvilket er højere end den observerede afløbskoncentration på 2,02 mg N l<sup>-1</sup>. Tange Sø tilbageholdt således mere kvælstof end beregnet ud fra en generel sammenhæng fra danske søer i 1997. I de fleste af årene 1983-97 er tilsvarende fundet en lavere søkoncentration og dermed højere kvælstoftilbageholdelse end forventet, men i eksempelvis 1995 svarer beregnet (2,88 mg N l<sup>-1</sup>) dog stort set til observeret (2,96 mg N l<sup>-1</sup>). Forskelle i den biologiske struktur (undervandsplanter, fisk mv.) kan påvirke tilbageholdelsen af kvælstof væsentligt (Jeppesen *et al.*, 1998), men da der ikke findes informationer om denne fra søen er det ikke muligt at sige om det er dette der kan forklare forskellene i kvælstoftilbageholdelse mellem årene.

## Søtilstand

Tange Sø's tilstand har kun i meget ringe omfang været undersøgt (tabel 4), men på baggrund af de tilstedeværende data er det dog tydeligt, at søen er forholdsvis eutrofieret, en tilstand, der har været gældende de sidste 25 år. Og søens målsætning som fiske- og badevand (B) er således ikke opfyldt.

Tabel 4. Tidsvægtede sommergennemsnit for søtilsynsdata fra Tange Sø 1974-1998. 1998-værdierne basere sig kun på en del af året. (Kilde: G. Krog, Viborg Amt)

År		Totalkvælstof (mgN l <sup>-1</sup> )	Nitrat-kvælstof (mgN l <sup>-1</sup> )	Totalfosfor (µgP l <sup>-1</sup> )	Sigtdybde (m)	Klorofyl (µg l <sup>-1</sup> )
1974	Bassin 1	1,44		0,271		97
	Bassin 2	1,09		0,195		98
1980	Bassin 1	1,90	0,78	0,200	0,8	67
1981	Bassin 1	1,98	0,89	0,182	0,8	71
1992	Bassin 1				0,9	
1998	Bassin 1	(1,56)		(0,080)	(1,5)	

Med simple sømodeller (fra Jensen *et al.*, 1997) kan der estimeres en forventet sommermiddel sigtdybde (Sigt, m) ud fra den årsgennemsnitlige koncentrationen af total fosfor i søvandet (P<sub>tot</sub>):

$$\text{Sigt} = 0,36 \cdot P_{\text{tot}}^{-0,57}$$

I lavvandede søer påvirkede af resuspension er det ofte gunstigt at inkludere middeldybden (Z):

$$\text{Sigt} = 0,27 \cdot P_{\text{tot}}^{-0,59} \cdot Z^{0,27}$$

Tilsvarende beregninger kan foretages for sommermiddel klorofylkoncentration (Chla, µg l<sup>-1</sup>):

$$\text{Chla} = 311 \cdot P_{\text{tot}}^{0,67}$$

Disse beregninger giver for 1997 ved udnyttelse af afløbskoncentrationen (0,098 mg P l<sup>-1</sup>) som et estimat for søvandskoncentration af total fosfor de forventede værdier angivet i tabel 5.

Tabel 5. Modelberegnete sommersigtdybder og klorofylkoncentrationer i Tange Sø 1997.

År	Sigtdybde	Sigtdybde z-korrigeret	Klorofyl
1997	1,35 m	1,38 m	66 µg l <sup>-1</sup>

Som det ses er de beregnede værdier for 1997 på niveau med de observerede i søen.

De samstemmende værdier uanset om sigtdybdeberegningerne korrigeres for middeldybden indikerer at resuspensionen ikke er væsentlig for sigtdybdeforholdene i Tange Sø ved de nuværende næringsstofniveauer.

Der eksisterer en veldefineret sammenhæng mellem vandets sigtdybde og dybdegrænsen (DG, meter) for undervandsplanters udbredelse (mosser undtaget) i danske søer (Jensen *et al.*, 1996):

$$\text{DG} = 0,07 + 1,83 \cdot \text{Sigt}$$

Anvendes denne sammenhæng for den overfor beregnede sigtdybde fås en potentiel dybdegrænse for undervandsplanternes udbredelse på 2,6 m. Dette vil være en udbredelse af undervandsplanter inklusive kransalger i omkring halvdelen af Tange Sø's areal, da middeldybden er 2,8 m.

En tilsvarende sammenhæng findes mellem sigtdybden og dybdegrænsen af rodfæstede undervandsplanter (dvs. uden bl.a. kransnålalger) (Jensen *et al.*, 1996):

$$DG_{rod} = -0.74 + 2.02 \cdot Sigt$$

Anvendes denne sammenhæng for den overfor beregnede sigtdybde fås en potentiel dybdegrænse for de rodfæstede undervandsplanters udbredelse på 2,1 m. Dybdeudbredelsen af de rodfæstede undervandsplanter er mindre end kransnålalger, men med denne potentielle dybdegrænse for undervandsplanternes udbredelse vil en stor del af søen kunne være dækket af vandplanter.

## Scenarieregninger for Tange Sø

For de fire af de foreslåede tiltag for Tange Sø's fremtid (tabel 6), der påvirker Tange Sø's situation, er der foretaget scenarieregninger

Tabel 6. De 4 scenarier med indflydelse på Tange Sø's tilstand samt stoftransporten nedstrøms Tange Sø.

Scenarie 1:	Tange Sø's vand- og stofftilførsel uændret (løsningsforslag nr. I)
Scenarie 2:	Langt omløb om Tange Sø, vandtilførsel til søen reduceres med $3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (løsningsforslag nr. III)
Scenarie 3:	Tange Sø's vandstand sænkes 2 meter, vandløb fra Bus Bro til Gudenåen nedstrøms Tange Sø, vandtilførsel til søen reduceres med $9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (løsningsforslag nr. VII)
Scenarie 4:	Tange Sø fjernes (løsningsforslag nr. V)

Følgende nøgletal er beregnet ved hver af de 4 scenarier (tabel 7): Søvandkoncentrationer af fosfor og kvælstof, afledt sigtdybde og klorofylmængde, undervandsplanters dybdegrænser samt fosfor- og kvælstoftransporten i Gudenåen nedstrøms Tange Sø. Forudsætninger for beregningerne er givet ovenfor samt i appendix 6.

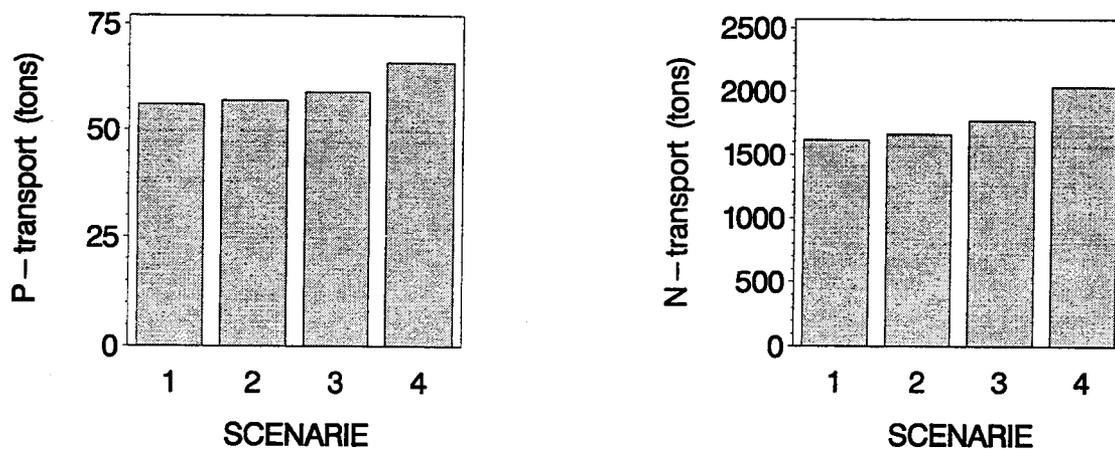
Tabel 7. Scenarieregninger af konsekvenser af de foreslåede tiltag. Beregninger foretaget ud fra forhold (bl.a. vand- og stofafstrømning) som gennemsnittet over årene 1995-1997, stoff tilbageholdelse i søen, vandkvaliteten er beregnet for søen i en ligevægtssituation. Detaljer for beregningerne fremgår af appendix 6. Sigt' er sigt dybden beregnet med korrektion for middeldybden, i scenarie 3 er sigt', DG og  $DG_{rod}$  beregnet både med nuværende middeldybde for sammenligning (tallene før skråstreg) samt med den nye middeldybde efter vandstandsreduktionen (tallene efter skråstreg).

Scenarie	$T_w$ (dage)	$P_{sø}$ ( $\text{mg l}^{-1}$ )	$N_{sø}$ ( $\text{mg l}^{-1}$ )	Sigt (m)	Sigt' (m)	Chla ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	DG (m)	$DG_{rod}$ (m)	$P_{gudenå.}$ (tons P)	$N_{gudenå.}$ (tons N)
1	10,2	0,094	2,69	1,38	1,44	64	2,6	2,1	56	1613
2	12,1	0,093	2,65	1,39	1,45	63	2,6	2,1	57	1659
3	19,4	0,089	2,54	1,43	1,49/1,06	61	2,7/2,0	2,1/1,4	59	1766
4	-	-	-	-	-	-	-	-	66	2037

Som det ses af tabel 6 er konsekvenserne af scenarie 2 og 3 forholdsvis beskedne for Tange Sø's vandkvalitet, umiddelbart er der ingen forskel i vandkvaliteten for scenarierne. Tages der i forbindelse med scenarie 3 højde for vandstandssænkningen på 2 m i forbindelse med beregningen af sigt dybden, reduceres denne markant blandt andet fordi resuspensionen vil øges, men sigt dybden vil dog være tilstrækkelig til at størstedelen af bunden vil kunne være dækket af undervandsplanter.

Fosfor- og kvælstoftransporten nedstrøms Tange Sø øges når en del en eller hele vandmængden ledes uden om Tange Sø, grundet den mindre retention i søen. Retentionen af fosfor og kvælstof vil mindskes med henholdsvis 3% og 2% ved scenarie 2 og tilsvarende reduceres den med henholdsvis 5% og 7% i scenarie 3.

I forbindelse med scenarie 2 og 3 er der dog tale om en mindre øgning af transporten (ca. 2% og ca. 5% for fosfor samt ca. 2% og 9% for kvælstof) (fig. 4). Fjernes Tange Sø er effekten på transporten dog væsentlig, da fosfortransporten øges med 18% og kvælstoftransporten øges med 26%.



Figur 4. Tange Sø. Konsekvenserne for stoftransporten nedstrøms Tange Sø ved scenarie 1-4 (jævnfør tekst). Stoftransporterne er beregnet for Tange Sø i ligevægt med den eksterne stoftilførsel.

### Referencer:

- Jensen, J.P., E. Jeppesen, P. Kristensen, P.B. Christensen & M. Søndergaard, 1992: Nitrogen loss and denitrification as studied in relation to reductions in nitrogen loading in a shallow, hypertrophic lake (Lake Søbygård, Denmark). - *Int. Revue gesamt. Hydrobiologia* 77: 29-42.
- Jensen, J.P., E. Jeppesen, J. Bøgestrand, A. Roer Pedersen, M. Søndergaard, J. Windolf & L. Sortkjær, 1994: Ferske vandområder - søer. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1993. Danmarks Miljøundersøgelser. - Faglig rapport fra DMU nr. 121. 94 s.
- Jensen, J.P., E. Jeppesen, M. Søndergaard, J. Windolf, Torben Lauridsen & L. Sortkjær, 1995. Ferske vandområder - søer. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1994. Danmarks Miljøundersøgelser. - Faglig rapport fra DMU nr. 139. 116 s.
- Jensen, J.P., E. Jeppesen, M. Søndergaard, T. Lauridsen & L. Sortkjær, 1996: Ferske vandområder - søer. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1995. Danmarks Miljøundersøgelser.. - Faglig rapport fra DMU nr. 176. 96 s.
- Jensen, J.P., M. Søndergaard, E. Jeppesen, T. Lauridsen & L. Sortkjær, 1997. Ferske vandområder - søer. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1996. Danmarks Miljøundersøgelser. - Faglig rapport fra DMU nr. 211. 106 s.
- Jeppesen, E., Jensen, J.P., Søndergaard, M., Lauridsen, T.L., Møller, P. Hald & Sandby, K. (1998). Changes in Nitrogen Retention in Shallow Eutrophic Lakes Following a Decline in Density of Cyprinids. - *Archiv für Hydrobiologie* 142(2):129-151.
- Vollenweider, R.A. 1976. Advance in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.* 33: 53-83.

## Appendix 1. Definitioner og generelle metoder anvendt til opstilling af vand- og stofbalance for Tange Sø (efter Jensen *et al.*, 1997).

### Box 1. Definition på begreber i forbindelse med vand- og stoftilførsler og stoftilbageholdelse.

**Vandtilførsel:** Ud fra vandtilførslen ( $Q_{til}$ ,  $10^6 \text{ m}^3 \text{ år}^{-1}$ ) samt en søs overfladeareal ( $A$ ,  $\text{km}^2$ ) og vandvolumen ( $V$ ,  $10^6 \text{ m}^3$ ) kan to karakteristiske variable beregnes:

$T_w = V/Q_{til}$ , vandets opholdstid eller vandskiftet pr. år (år)

$q_s = Q_{til}/A$ , hydraulisk belastning eller afstrømningshøjde ( $\text{m år}^{-1}$ )

**Stoftilførsel:** Ud fra stoftilførslen ( $S_{til}$ ,  $\text{tons år}^{-1}$ ) samt de ovennævnte variable:

$L_s = S_{til}/A$ , arealspecifik belastning med stoffet  $S$  ( $\text{g S m}^{-2} \text{ år}^{-1}$  ( evt.  $\text{mg S m}^{-2} \text{ dag}^{-1}$ ))

$[S]_i = S_{til}/Q_{til}$ , vandføringsvægtet indløbskoncentration ( $\text{mg S l}^{-1}$ )

**Stoftilbageholdelse:** Ud fra stoftilførslen ( $S_{til}$ ,  $\text{tons år}^{-1}$ ) og stoffraførslen ( $S_{fra}$ ,  $\text{tons år}^{-1}$ ) samt en evt. ændring i stofpuljen i søvandet med fortegn ( $\Delta S$ ,  $\text{tons}$ ) og puljen i søvandet ved årets begyndelse ( $S_{so}$ ) beregnes:

$S_{ret} = S_{til} - S_{fra} - \Delta S$ , stoftilbageholdelse også kaldet stofretention ( $S_{ret}$ ,  $\text{tons år}^{-1}$ )

$S_{ret}^* = S_{ret}/A$ , arealspecifik stoftilbageholdelse ( $\text{g S m}^{-2} \text{ år}^{-1}$  ( evt.  $\text{mg S m}^{-2} \text{ dag}^{-1}$ ))

$S_{ret}(\%) = 100 * S_{ret}/S_{til}$ , tilbageholdelse i procent af stoftilførsel (%)

$S_{ret}(\%)^* = 100 * S_{ret}/(S_{til} + S_{so})$ , tilbageholdelse i procent af potentiel mængde (søpulje+stoftilførsel) (%)

### Box 2. Opstilling og beregning af vand- og stofbalancer.

Vandbalance:

Vandbalancen for søerne er opgjort månedsvis som ( $Q$ : vandtransport):

$$Q_{m\ddot{a}lt} + Q_{um\ddot{a}lt} + Q_{nedb\ddot{o}r} + Q_{indsivning} = Q_{aflob} + Q_{fordampning} + Q_{udsivning} + \Delta_{volumen}$$

hvor  $Q_{m\ddot{a}lt}$  er summen af målte tilløb (målt opland),  $Q_{um\ddot{a}lt}$  er ikke målt beregnet tilløb (umålt opland),  $Q_{nedb\ddot{o}r}$  er nedbør,  $Q_{fordampning}$  er fordampning,  $Q_{aflob}$  er det målte afløb.  $\Delta_{volumen}$  er en eventuel ændring i søens vandvolumen. Udvekslingen med grundvandet, henholdsvis  $Q_{indsivning}$  eller  $Q_{udsivning}$  er derefter beregnet ved afstemning af ligningen, og der er således tale om et nettoresultat. Enten  $Q_{indsivning}$  eller  $Q_{udsivning}$  må nødvendigvis være 0 i den givne måned eller år.

Efter opstilling af vandbalancen kan en stofbalance (for stof  $S$ ) beregnes efter samme princip på måneds- eller årsbasis:

$$S_{til} - S_{ret} = S_{aflob, samlet} + \Delta_{magasin}(S)$$

hvor

$$S_{til} = S_{til, m\ddot{a}lt} + S_{til, um\ddot{a}lt} + S_{til, direkte\ punkt\ kilder} + S_{nedb\ddot{o}r} + S_{indsivning} \text{ og}$$

$$S_{aflob, samlet} = S_{aflob, m\ddot{a}lt} + S_{udsivning}$$

$\Delta_{magasin}(S)$  er en eventuel magasinændring af  $S$  i søen gennem perioden.

$S_{til}$  er den samlede stoftilførsel til søen, den er summen af målt tilløb ( $S_{til, m\ddot{a}lt}$ , stoftransport fra målt opland) og umålt tilløb  $S_{til, um\ddot{a}lt}$  (stoftransport fra umålt opland) og eventuelle direkte stofudledninger til søen ( $S_{til, direkte\ punkt\ kilder}$ ) og stoftilførslen via atmosfæren ( $S_{nedb\ddot{o}r}$ ) og evt. indsivningen af stof fra grundvand ( $S_{indsivning}$ ).

$S_{aflob, samlet}$  er den samlede stoffraførsel fra søen, den er summen af målt afløb ( $S_{aflob, m\ddot{a}lt}$ ) og evt. udsivningen af stof fra søen ( $S_{udsivning}$ ).

$S_{ret}$  er tilbageholdelsen af stof i søen ( $S_{ret} > 0$ ) eller frigivelsen af stof fra søen ( $S_{ret} < 0$ ).  $S_{ret}$  er den eneste ubekendte i ovenstående ligninger og kan derfor beregnes herudfra.

## Appendix 2. Specifikke metoder anvendt til opstilling af vand- og stofbalance for Tange Sø 1983-97. Alle beregninger er foretaget på månedsplan.

### Vand- og stoftilførsel:

Følgende stoftransportstationer er direkte benyttet ved beregning af vand- og stoftilførslen til Tange Sø:

Tabel 2.1. Stoftransportstationer benyttet ved beregning af vand- og stoftilførslen til Tange Sø.

Station	Dmu-nr.	Oplandsareal (km <sup>2</sup> )
Gudenå, Tvillum bro	210084	1282,4
Alling å/Hinge å (Hinge Sø's afløb)	210712	53,8
Tange å, Vindelsbæk bro	210502	99,8

Vandtilførslen fra det umålte opland er estimeret ved en oplandskorrigeretværdi fra den målte vandtransport ved stationen Gudenå, Tvillum bro. Til estimering af stoftransporten fra det umålte opland er herudover anvendt koncentrationer af totalfosfor og totalkvælstof fra stationen: Knud å, Sophiendal (Dmu-nr. 210030)

Herudover har data fra Borre å, Møllebro (Dmu-nr. 210446) samt Hinge å, Haugård (Dmu-nr. 210064) været benyttet ved vurderingen beregningsmetoden af vand- og stoftilførslen samt dennes sikkerhed.

Punktkildebidraget fra det umålte opland er oplyst af Århus amt (L. Wiggers, pers. kom.), for perioden før 1993 er anvendt den største værdi fra 1993-1997. Dette er naturligvis meget usikkert, men heldigvis udgør punktkildebidraget fra det umålte opland en meget lille del i forhold til den samlede stoftilførsel til Tange Sø (2 % for fosfor og 0,5 % for kvælstof i 1993).

Tabel 2.2. Punktkildebidrag af totalfosfor og totalkvælstof fra umålt opland til Tange Sø.

År	Totalfosfor (kg år <sup>-1</sup> )	Totalkvælstof (kg år <sup>-1</sup> )
før 1993 (tentativt)	2072	22568
1993	2072	20574
1994	1939	22568
1995	1979	22521
1996	1444	18548
1997	1075	15360

De enkelte månedsbidrag er beregnet ved at fordele den årlige værdi jævnt ud over året.

### Vand- og stoffraførsel:

Følgende stoftransportstation er benyttet ved beregning af vand- og stoffraførslen fra Tange Sø:

Tabel 2.3. Stoftransportstationer benyttet ved beregning af vand- og stoffraførslen fra Tange Sø.

Station	Dmu-nr.	Oplandsareal (km <sup>2</sup> )
Gudenå, ns. Tangeværket	210464	1790

### Vand- og stofbalance for Tange Sø:

Vand- og stofbalance for Tange Sø er opgjort på månedsplan for perioden 1983 til 1997, året 1994 som helhed samt 1989 for totalkvælstofs vedkommende udgik på grund af manglende data (i det mindste i Dmu's database). Beregningerne er generelt udført som beskrevet i Appendix 1, box 1 og 2, dog med nedenstående afvigelser og præciseringer.

#### Vandbalance:

Da vandstandsmålinger fra Tange Sø ikke har været tilgængelige er vandvolumen af Tange Sø antaget at være konstant i perioden 1983-1997, hvilket antages at være rimeligt på grund af opstemningen.

Ved opstilling af vandbalancen er antaget at nedbør og fordampning ophæver hinanden. En tilnærmelse der menes at være acceptabel, da søens overfladeareal er meget lille i forhold til søens opland (5,9/1790).

Ved opstilling af vandbalance er der beregnet et nettoudsivning af vand fra Tange Sø, nettoudsivningen udgør mindre end 10% af den samlede vandraførsel (6% i 1997).

Opstilling af vandbalancen med beregning af grundvansudveksling rummer et usikkerhedsmoment, da eventuelle fejl i vandtil- og fraførslen også vil blive medtaget i dette led.

På baggrund af en række vurderinger findes dog at grundvandsudvekslingen kan antages at være reel:

- 1) Den beregnede grundvandsudveksling er rimelig konsistent uanset om vandbalancen afstemmes på måneds- eller årsniveau.
- 2) Den beregnede grundvandsudveksling er ikke præget af tilfældig variation, men følger derimod et sæsonmønster modsvarende det der er set i andre lavvandede danske søer (Jensen *et al.*, 1995).
- 3) Sammenligning af resultaterne med resultater fra tilsvarende søer viser en høj grad af overensstemmelse (Jensen *et al.*, 1995).
- 4) Der er ikke umiddelbart fundet geologiske informationer (vandstandsede lerlag mv.), der kunne afvise grundvandsudveksling fra Tange Sø.
- 5) Tange Sø er en opstemmet sø og det formodes derfor er der er større muligheder for udsivning end ved naturlige, søer som ofte vil være opstået netop som konsekvens af vandstandsede jordlag.

Konklusionen er, at på det nuværende grundlag er den beskrevne metode til opstilling og afstemning af vandbalancen acceptabel. Vandbalancen med grundvandsudveksling er således anvendt ved scenarieberegning mv.

Den månedlige vandbalance fremgår af appendix 3. For sammenligningens skyld er vandbalancen uden grundvandsudveksling beregnet (ikke vist), ved opstillingen af denne vandbalance er vandtilførslen i det umålte opland korrigeret således at den tilførte vandmængde bliver lig den vandmængden i afløbet og dermed bliver grundvandsudveksling lig 0. Der er kun små forskelle i den beregnede vandbalance mellem de to beregningsmåder.

#### Stofbalance:

Udover de ovennævnte stoftilførsler er anvendt en stoftilførsel fra atmosfæren på søoverfladen ( $20 \text{ kg N ha}^{-1}$  og  $0,2 \text{ kg P ha}^{-1}$ ).

På grund af et meget fåtalligt antal koncentrationsmålinger for totalfosfor og totalkvælstof fra søvandet er der set bort fra magasinændringer i søen vandvolumen ved beregningerne, på baggrund af søens korte opholdstid samt den forholdsvis ringe udvikling i koncentrationsniveauerne i perioden 1983-1997 er betydningen af dette dog ubetydende for de øvrige resultater og konklusioner.

Koncentrationen af fosfor og kvælstof i det udsivende vand er sat til søvandskoncentrationerne, estimeret ved afløbskoncentrationen, da der kun er fåtallige målinger i søen.

Månedstofbalancerne fremgår af appendix 4. (fosfor) og appendix 5. (kvælstof). For sammenligningens skyld er de tilsvarende stofbalancer opstillet på baggrund af vandbalancen uden grundvandsudveksling medtaget (ikke vist). Forskellene i resultaterne for bl.a. stofretentioner er dog små, når de to beregningsmåder sammenlignes.

### Appendix 3. Månedsbalance for vand for Tange Sø 1983-1997 (ekskl. 1994) balance med grundvandsudveksling (jævnfør appendix 1 og 2).

Tabel 3.1. Månedsvandbalance for Tange Sø. Positiv grundvandsudveksling er udsivning, negativ er indsvivning.

År	Måned	Vandtilførsel (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Målt vandtilførsel (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Umålt vandtilførsel (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Grundvands- udveksling (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Vandfratræksel (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Opholdstid (dage)
1983	1	103108	84032	19076	4452	98656	5,3
1983	2	71584	58588	12996	4373	67211	7,0
1983	3	78968	64937	14031	6403	72565	7,1
1983	4	75372	61308	14063	2638	72733	6,9
1983	5	97787	80303	17484	7361	90426	5,7
1983	6	72010	59439	12571	6995	65014	7,7
1983	7	38528	31933	6595	4418	34110	15,2
1983	8	35846	29034	6811	619	35227	14,7
1983	9	47409	37809	9601	-2244	49653	10,1
1983	10	54962	45768	9194	7410	47552	10,9
1983	11	53553	43545	10007	1796	51757	9,7
1983	12	70039	57264	12775	3968	66072	7,9
1984	1	119148	98000	21148	9777	109371	4,7
1984	2	103094	85436	17658	11769	91325	5,3
1984	3	82464	68905	13558	12342	70122	7,4
1984	4	65393	55010	10382	11697	53696	9,3
1984	5	44919	37034	7885	4140	40779	12,7
1984	6	40588	33791	6797	5433	35155	14,3
1984	7	42639	34754	7885	1861	40778	12,7
1984	8	38545	31635	6910	2808	35737	14,5
1984	9	41502	34196	7306	3719	37783	13,3
1984	10	74263	61507	12756	8292	65971	7,9
1984	11	76719	63862	12857	10223	66497	7,5
1984	12	76840	64057	12782	10732	66108	7,8
1985	1	64066	52107	11959	2217	61849	8,4
1985	2	81159	67043	14117	8151	73008	6,4
1985	3	67672	55369	12303	4041	63631	8,2
1985	4	82176	67490	14686	6222	75954	6,6
1985	5	58847	48229	10618	3931	54917	9,4
1985	6	41520	33983	7537	2538	38981	12,9
1985	7	39430	32417	7013	3162	36268	14,3
1985	8	47648	38664	8984	1184	46465	11,2
1985	9	47193	38666	8527	3094	44099	11,4
1985	10	50368	41330	9038	3626	46742	11,1
1985	11	49726	40644	9082	2756	46970	10,7
1985	12	115113	94232	20881	7122	107991	4,8
1986	1	112461	91257	21204	2799	109662	4,7
1986	2	78092	64732	13360	8994	69098	6,8
1986	3	72646	60437	12209	9502	63144	8,2
1986	4	76675	63943	12733	10824	65851	7,6
1986	5	53900	44472	9427	5144	48756	10,6
1986	6	41549	34397	7153	4558	36992	13,6
1986	7	35271	29106	6165	3386	31885	16,3
1986	8	41117	33945	7172	4023	37094	14,0
1986	9	35709	29268	6441	2397	33312	15,1
1986	10	44659	36876	7783	4404	40254	12,9
1986	11	56553	46806	9747	6142	50411	10,0
1986	12	69143	56961	12182	6142	63001	8,2
1987	1	63567	50752	12815	-2711	66278	7,8
1987	2	65765	53739	12026	3569	62197	7,5
1987	3	58219	48395	9824	7411	50808	10,2
1987	4	74839	62044	12795	8664	66175	7,6
1987	5	46742	38710	8032	5202	41540	12,5
1987	6	51438	42456	8981	4988	46450	10,8
1987	7	45700	37402	8298	2786	42914	12,1
1987	8	42712	34958	7754	2612	40100	12,9
1987	9	55500	45410	10090	3315	52186	9,6

År	Måned	Vandtilførsel (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Målt vandtilførsel (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Umålt vandtilførsel (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Grundvands- udveksling (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Vandfratrækning (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Opholdstid (dage)
1987	10	73073	60122	12951	6095	66978	7,7
1987	11	74548	60497	14051	1877	72671	6,9
1987	12	62470	49802	12667	-3043	65513	7,9
1988	1	112113	90828	21285	2032	110081	4,7
1988	2	136683	112784	23900	13079	123605	3,9
1988	3	102238	83520	18719	5429	96809	5,4
1988	4	84036	68950	15085	6017	78018	6,4
1988	5	49052	39907	9144	1758	47293	11,0
1988	6	40049	33125	6925	4237	35812	14,0
1988	7	43540	35810	7730	3560	39979	13,0
1988	8	43704	35634	8069	1971	41733	12,4
1988	9	44932	36938	7994	3591	41341	12,1
1988	10	64904	52952	11952	3092	61812	8,4
1988	11	47506	38756	8750	2255	45251	11,1
1988	12	61658	50170	11488	2246	59412	8,7
1989	1	63524	52300	11224	5475	58049	8,9
1989	2	59626	48570	11056	2444	57182	8,2
1989	3	83798	68717	15080	5805	77993	6,7
1989	4	67305	55536	11769	6437	60868	8,2
1989	5	43333	35638	7694	3539	39794	13,0
1989	6	37613	31297	6316	4949	32664	15,4
1989	7	33482	27573	5909	2920	30561	17,0
1989	8	35307	29140	6167	3413	31894	16,3
1989	9	35134	28805	6329	2400	32733	15,3
1989	10	42648	34851	7797	2323	40326	12,9
1989	11	44388	36030	8359	1158	43231	11,6
1989	12	50875	41030	9845	-41	50916	10,2
1990	1	70813	57251	13562	674	70140	7,4
1990	2	115427	95170	20256	10664	104763	4,5
1990	3	105464	87440	18025	12243	93222	5,6
1990	4	56386	46539	9847	5461	50925	9,9
1990	5	41363	34178	7185	4203	37159	14,0
1990	6	40848	33733	7115	4051	36798	13,6
1990	7	34822	28489	6334	2066	32757	15,8
1990	8	33462	27521	5941	2735	30727	16,9
1990	9	45767	37751	8016	4308	41459	12,1
1990	10	68368	56520	11849	7089	61279	8,5
1990	11	65021	53558	11463	5735	59286	8,5
1990	12	61582	50360	11222	3545	58037	8,9
1991	1	111499	93924	17576	20601	90898	5,7
1991	2	62994	51285	11710	2434	60560	7,7
1991	3	75746	62020	13726	4757	70988	7,3
1991	4	57330	47250	10080	5196	52134	9,6
1991	5	64428	53021	11407	5433	58996	8,8
1991	6	44499	36662	7838	3965	40534	12,4
1991	7	39317	32513	6804	4128	35189	14,7
1991	8	33389	27250	6139	1641	31748	16,3
1991	9	31491	25835	5656	2240	29251	17,2
1991	10	41854	34684	7169	4775	37079	14,0
1991	11	50019	41338	8681	5123	44897	11,2
1991	12	48887	39721	9165	1486	47401	10,9
1992	1	70419	57508	12911	3645	66774	7,8
1992	2	57005	46597	10407	3181	53824	9,0
1992	3	78437	64695	13742	7368	71069	7,3
1992	4	79410	61887	17523	-11216	90625	5,5
1992	5	57067	46196	10871	846	56220	9,2
1992	6	30721	25338	5384	2878	27844	18,0
1992	7	28130	23039	5091	1798	26332	19,7
1992	8	36119	29544	6575	2113	34007	15,3
1992	9	41027	33996	7031	4666	36361	13,8
1992	10	35926	29599	6327	3202	32725	15,9
1992	11	69038	56321	12717	3269	65769	7,6

År	Måned	Vandtilførsel (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Målt vandtilførsel (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Umålt vandtilførsel (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Grundvands- udveksling (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Vandraførsel (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Opholdstid (dage)
1992	12	86633	71962	14671	10757	75876	6,8
1993	1	89624	74064	15561	9147	80478	6,4
1993	2	78308	64729	13579	8082	70226	6,7
1993	3	58479	48254	10225	5598	52881	9,8
1993	4	46750	38519	8231	4179	42572	11,8
1993	5	37717	31105	6612	3521	34196	15,2
1993	6	29621	23767	5855	-658	30279	16,6
1993	7	33046	26658	6388	6	33040	15,7
1993	8	41521	34271	7250	4024	37497	13,8
1993	9	46036	38540	7496	7271	38765	13,0
1993	10	85344	71173	14170	12057	73287	7,1
1993	11	57628	47302	10327	4221	53407	9,4
1993	12	101246	82943	18302	6589	94657	5,5
1995	1	111198	90369	20829	3476	107722	4,8
1995	2	125038	102124	22913	6533	118505	4,0
1995	3	130850	107690	23160	11071	119779	4,3
1995	4	81867	66958	14909	4760	77108	6,5
1995	5	58057	48134	9922	6740	51316	10,1
1995	6	54870	45407	9463	5929	48941	10,3
1995	7	42035	33663	8373	-1267	43302	12,0
1995	8	31601	25463	6137	-140	31741	16,3
1995	9	43752	35843	7909	2850	40902	12,3
1995	10	45628	37438	8189	3273	42355	12,2
1995	11	51190	42004	9185	3686	47504	10,6
1995	12	49983	41384	8599	5510	44472	11,7
1996	1	46804	38542	8262	4074	42729	12,1
1996	2	44324	36605	7719	4403	39921	12,2
1996	3	54973	45490	9483	5927	49046	10,6
1996	4	47419	38852	8567	3110	44309	11,3
1996	5	45046	36811	8236	2452	42594	12,2
1996	6	35763	29482	6281	3278	32485	15,5
1996	7	30794	25359	5435	2684	28110	18,5
1996	8	32399	26579	5820	2297	30102	17,2
1996	9	31021	25418	5602	2046	28975	17,3
1996	10	39275	32516	6759	4318	34956	14,8
1996	11	63528	51883	11645	3300	60228	8,3
1996	12	60658	49540	11119	3155	57503	9,0
1997	1	45565	36904	8661	770	44794	11,6
1997	2	64843	52140	12702	-851	65694	7,1
1997	3	68298	56747	11550	8561	59737	8,7
1997	4	49422	40815	8607	4909	44513	11,3
1997	5	55699	45397	10302	2418	53280	9,7
1997	6	44725	36466	8260	2007	42718	11,8
1997	7	37731	30907	6824	2441	35290	14,7
1997	8	33058	27058	6001	2025	31034	16,7
1997	9	32133	26144	5989	1158	30975	16,2
1997	10	43566	35747	7819	3128	40438	12,8
1997	11	41578	34326	7253	4068	37510	13,4
1997	12	50927	41624	9303	2815	48112	10,8

## Appendix 4. Månedsbalance for fosfor for Tange Sø 1983-1997 (ekskl. 1994) balance med grundvandsudveksling (jævnfør appendix 1 og 2).

Tabel 4.1. Månedsbalance for fosfor for Tange Sø. Positiv retention er stoftilbageholdelse i søen, negativ er stoffrigivelse fra søen. Balance med grundvandsudveksling.

År	Måned	Tilførsel (kg P)	Målt tilførsel (kg P)	Umålt tilførsel (kg P)	Fraførsel (kg P)	Retention (kg P)	Retention (% af tilført)
1983	1	16521	10054	6185	15793	728	4,4
1983	2	9908	7250	2377	10143	-236	-2,4
1983	3	13807	11212	2313	20029	-6222	-45,1
1983	4	15233	10845	4106	15409	-176	-1,2
1983	5	17188	13442	3464	11748	5440	31,7
1983	6	14432	11277	2873	8364	6068	42,0
1983	7	8550	7166	1102	5383	3167	37,0
1983	8	9201	8120	799	12689	-3488	-37,9
1983	9	12092	10234	1278	15001	-2909	-24,1
1983	10	11111	9401	1428	9511	1600	14,4
1983	11	10000	7983	1735	9150	850	8,5
1983	12	11655	8826	2548	8661	2994	25,7
1984	1	18756	14177	4297	13199	5557	29,6
1984	2	13428	10629	2517	12169	1259	9,4
1984	3	10855	8682	1891	9809	1046	9,6
1984	4	11597	8396	2919	5762	5835	50,3
1984	5	8246	6620	1344	4961	3285	39,8
1984	6	9528	8344	903	5457	4071	42,7
1984	7	10570	9146	1142	7314	3256	30,8
1984	8	10657	9165	1211	8006	2651	24,9
1984	9	12629	10964	1383	8817	3812	30,2
1984	10	15923	13092	2550	11238	4685	29,4
1984	11	13586	9638	3666	10576	3009	22,2
1984	12	12196	8873	3041	10092	2103	17,2
1985	1	12252	7938	4032	8304	3948	32,2
1985	2	14454	9702	4470	10261	4193	29,0
1985	3	10438	7706	2450	11937	-1499	-14,4
1985	4	11685	9272	2131	15397	-3712	-31,8
1985	5	9239	7231	1726	10425	-1186	-12,8
1985	6	7342	5802	1259	6880	463	6,3
1985	7	8064	6382	1400	7405	659	8,2
1985	8	10848	8437	2129	9311	1538	14,2
1985	9	9283	7480	1521	8164	1119	12,1
1985	10	9320	7501	1537	7279	2041	21,9
1985	11	9098	7219	1597	7177	1921	21,1
1985	12	24587	17413	6893	14861	9726	39,6
1986	1	18796	14701	3813	13713	5083	27,0
1986	2	10657	8470	1905	9548	1108	10,4
1986	3	11838	8742	2814	9155	2683	22,7
1986	4	11456	7752	3422	8386	3070	26,8
1986	5	9426	6754	2390	8367	1058	11,2
1986	6	8005	6016	1708	4976	3029	37,8
1986	7	8388	6891	1215	6923	1466	17,5
1986	8	9423	7947	1194	7610	1813	19,2
1986	9	6795	5442	1071	5087	1709	25,1
1986	10	7211	5896	1033	5055	2156	29,9
1986	11	8892	7071	1539	6717	2175	24,5
1986	12	9522	7458	1782	8297	1225	12,9
1987	1	11541	8937	1917	6331	5210	45,1
1987	2	10259	8286	1692	7216	3043	29,7
1987	3	18606	9249	9076	5956	12650	68,0
1987	4	22817	14653	7882	6449	16368	71,7
1987	5	8514	7310	922	4570	3944	46,3
1987	6	9696	6923	2491	5657	4039	41,7
1987	7	8616	6509	1825	5427	3189	37,0
1987	8	9426	7881	1263	5443	3983	42,3
1987	9	15432	9813	5338	7215	8217	53,2

År	Måned	Tilførsel (kg P)	Målt tilførsel (kg P)	Umålt tilførsel (kg P)	Fraførsel (kg P)	Retention (kg P)	Retention (% af tilført)
1987	10	15052	9599	5171	9305	5747	38,2
1987	11	10337	7730	2325	8454	1884	18,2
1987	12	8252	5449	2032	7495	757	9,2
1988	1	14182	9692	4208	11502	2680	18,9
1988	2	15765	11414	4069	12004	3761	23,9
1988	3	10454	8259	1914	9702	752	7,2
1988	4	9716	7692	1742	9055	660	6,8
1988	5	6391	4993	1116	6981	-590	-9,2
1988	6	5958	4604	1073	7336	-1378	-23,1
1988	7	7994	6560	1153	8947	-953	-11,9
1988	8	8666	7144	1241	8522	145	1,7
1988	9	9082	6827	1973	8265	817	9,0
1988	10	10402	7964	2156	10452	-50	-0,5
1988	11	5801	4417	1102	5707	94	1,6
1988	12	6628	5027	1320	5633	995	15,0
1989	1	7336	5501	1553	5877	1459	19,9
1989	2	7537	5525	1731	6493	1044	13,8
1989	3	9305	7201	1822	8277	1028	11,1
1989	4	7264	5496	1487	6170	1094	15,1
1989	5	5505	4459	765	4079	1427	25,9
1989	6	5535	4586	667	3695	1840	33,2
1989	7	5661	4842	537	3668	1993	35,2
1989	8	5067	4206	580	4430	637	12,6
1989	9	4377	3363	733	4239	138	3,2
1989	10	5372	4004	1086	4606	765	14,2
1989	11	5462	4034	1147	4348	1115	20,4
1989	12	7249	4627	2331	4210	3039	41,9
1990	1	8544	6514	1748	9055	-511	-6,0
1990	2	12799	9905	2612	14758	-1959	-15,3
1990	3	13507	9399	3826	10588	2919	21,6
1990	4	6163	4775	1106	4486	1678	27,2
1990	5	4600	3576	741	3268	1332	29,0
1990	6	7238	6254	702	3415	3822	52,8
1990	7	9145	8260	603	3793	5352	58,5
1990	8	7920	7214	425	4839	3081	38,9
1990	9	8165	6938	946	7198	967	11,8
1990	10	12068	8614	3172	8433	3634	30,1
1990	11	7718	5667	1770	6139	1579	20,5
1990	12	6310	4743	1285	5156	1154	18,3
1991	1	11354	9323	1749	9386	1967	17,3
1991	2	7112	5232	1599	5211	1901	26,7
1991	3	7500	5668	1550	6286	1214	16,2
1991	4	7256	4451	2524	5848	1408	19,4
1991	5	7011	5303	1426	5706	1305	18,6
1991	6	6630	4828	1520	3983	2647	39,9
1991	7	5669	4409	978	3953	1716	30,3
1991	8	5102	4100	720	4509	593	11,6
1991	9	4614	3723	609	4308	306	6,6
1991	10	6049	4996	771	4832	1217	20,1
1991	11	5687	4271	1134	4542	1145	20,1
1991	12	5125	3790	1053	3992	1133	22,1
1992	1	7225	5173	1771	6703	523	7,2
1992	2	5339	4093	964	4572	767	14,4
1992	3	9455	7906	1267	7270	2185	23,1
1992	4	8434	6181	1202	6929	1505	17,8
1992	5	5824	4661	880	4272	1552	26,6
1992	6	4323	3476	566	2682	1641	38,0
1992	7	6307	5615	411	5011	1297	20,6
1992	8	7204	6491	430	8260	-1056	-14,7
1992	9	7583	6787	514	6778	805	10,6
1992	10	6104	4642	1180	3983	2121	34,7
1992	11	10565	7496	2787	4603	5962	56,4
1992	12	10893	7407	3204	5974	4919	45,2

År	Måned	Tilførsel (kg P)	Målt tilførsel (kg P)	Umålt tilførsel (kg P)	Fraførsel (kg P)	Retention (kg P)	Retention (% af tilført)
1993	1	11792	7796	3715	8374	3418	29,0
1993	2	6442	5086	1074	6357	85	1,3
1993	3	4934	3992	660	4449	485	9,8
1993	4	4102	3314	506	3310	792	19,3
1993	5	4681	3822	578	3312	1369	29,2
1993	6	4629	3765	524	2608	2021	43,7
1993	7	6631	5735	615	3020	3611	54,5
1993	8	8024	6836	907	4348	3676	45,8
1993	9	7004	5864	858	4974	2030	29,0
1993	10	11099	8411	2406	9130	1969	17,7
1993	11	5381	4285	815	5136	245	4,6
1993	12	11032	8047	2703	10633	400	3,6
1995	1	12606	8478	3881	9516	3091	24,5
1995	2	11066	8770	2050	11150	-84	-0,8
1995	3	10200	7985	1969	12526	-2326	-22,8
1995	4	5786	4394	1145	6398	-611	-10,6
1995	5	4934	3798	889	4387	547	11,1
1995	6	6235	4762	1226	8235	-2001	-32,1
1995	7	5220	3970	871	3379	1841	35,3
1995	8	5441	4539	641	5413	28	0,5
1995	9	6526	5555	725	6917	-391	-6,0
1995	10	6595	5611	737	12547	-5952	-90,3
1995	11	5588	4614	728	11144	-5556	-99,4
1995	12	4329	2876	1206	3338	991	22,9
1996	1	4772	2358	2204	2457	2315	48,5
1996	2	4107	1944	1953	2166	1941	47,3
1996	3	3807	2622	975	3396	411	10,8
1996	4	3642	2830	602	2871	771	21,2
1996	5	3955	3114	632	2362	1593	40,3
1996	6	3809	2982	618	2544	1265	33,2
1996	7	3538	2864	464	3158	380	10,7
1996	8	3666	3043	413	4126	-460	-12,5
1996	9	3329	2786	333	3044	285	8,6
1996	10	4672	3996	467	3511	1162	24,9
1996	11	7092	5638	1244	4454	2637	37,2
1996	12	5714	4017	1487	3277	2437	42,6
1997	1	4047	2740	1072	2957	1090	26,9
1997	2	8997	7405	1271	5381	3615	40,2
1997	3	5354	4401	719	5039	315	5,9
1997	4	3546	2902	409	3280	266	7,5
1997	5	5341	4398	709	4669	672	12,6
1997	6	5127	4223	669	4862	264	5,2
1997	7	5740	5016	489	5097	644	11,2
1997	8	6786	5722	829	5260	1526	22,5
1997	9	5704	4850	619	4904	800	14,0
1997	10	5547	4450	862	4370	1177	21,2
1997	11	3569	2721	613	3316	253	7,1
1997	12	4083	2901	947	3538	545	13,3

## Appendix 5. Månedsbalance for kvælstof for Tange Sø 1983-1997 (ekskl. 1994) balance med grundvandsudveksling (jævnfør appendix 1 og 2).

Tabel 5.1. Månedsbalance for kvælstof for Tange Sø. Positiv retention er stoftilbageholdelse i søen, negativ er stoffrigivelse fra søen. Balance med grundvandsudveksling.

År	Måned	Tilførsel (kg N)	Målt tilførsel (kg N)	Umålt tilførsel (kg N)	Fraførsel (kg N)	Retention (kg N)	Retention (% af tilført)
1983	1	590731	423430	154325	640554	-49823	-8,4
1983	2	416370	269464	133930	357042	59329	14,2
1983	3	407747	243662	151109	285516	122231	30,0
1983	4	374730	215318	146435	214381	160349	42,8
1983	5	499746	301439	185331	343996	155750	31,2
1983	6	354047	208058	133012	266510	87537	24,7
1983	7	153996	98920	42099	67269	86727	56,3
1983	8	142296	99253	30066	42351	99945	70,2
1983	9	227849	158490	45701	70225	157624	69,2
1983	10	213003	155769	44257	132156	80846	38,0
1983	11	223075	98405	111694	120991	102085	45,8
1983	12	384831	181332	190522	191715	193116	50,2
1984	1	798608	463986	321645	642253	156354	19,6
1984	2	641829	389377	239475	550751	91077	14,2
1984	3	553671	302760	237934	466740	86931	15,7
1984	4	332834	204899	114959	327153	5682	1,7
1984	5	153987	88060	52951	82467	71520	46,4
1984	6	113900	65272	35651	67071	46829	41,1
1984	7	110114	56571	40567	56745	53370	48,5
1984	8	103154	53584	36593	47486	55668	54,0
1984	9	122268	59997	49294	58714	63555	52,0
1984	10	266309	118797	134536	145199	121110	45,5
1984	11	312618	168474	131167	226250	86369	27,6
1984	12	348306	210236	125093	259591	88715	25,5
1985	1	370410	237665	119768	207568	162842	44,0
1985	2	448073	293161	141935	316274	131799	29,4
1985	3	342018	232985	96057	280564	61454	18,0
1985	4	423502	275933	134592	292630	130872	30,9
1985	5	258283	163675	81632	142031	116252	45,0
1985	6	109600	63340	33283	50526	59073	53,9
1985	7	88759	47273	28509	37893	50866	57,3
1985	8	105789	54037	38775	51666	54123	51,2
1985	9	105601	53461	39163	85417	20184	19,1
1985	10	124601	70009	41615	125247	-646	-0,5
1985	11	169038	99538	56523	125813	43225	25,6
1985	12	690660	405478	272205	523738	166922	24,2
1986	1	631212	423501	194734	626405	4806	0,8
1986	2	375911	251212	111722	358633	17278	4,6
1986	3	379663	245200	121487	276814	102849	27,1
1986	4	338686	197792	127917	260152	78533	23,2
1986	5	158451	83456	62018	110848	47603	30,0
1986	6	107628	59138	35513	53244	54384	50,5
1986	7	86535	48888	24671	41155	45381	52,4
1986	8	94415	56108	25330	45994	48421	51,3
1986	9	77114	45310	18827	36597	40517	52,5
1986	10	112351	69326	30048	72129	40222	35,8
1986	11	199817	113279	73561	160466	39351	19,7
1986	12	324163	171274	139913	214342	109821	33,9
1987	1	308295	157220	113987	236659	71636	23,2
1987	2	279967	174799	92191	216862	63105	22,5
1987	3	303589	177566	113046	202297	101292	33,4
1987	4	377303	237600	126726	347660	29643	7,9
1987	5	167893	107585	47332	142957	24936	14,9
1987	6	194284	103963	77344	80069	114215	58,8
1987	7	149275	80372	55927	59975	89300	59,8
1987	8	113660	63517	37166	52854	60806	53,5
1987	9	185072	90854	81241	85131	99942	54,0

År	Måned	Tilførsel (kg N)	Målt tilførsel (kg N)	Umålt tilførsel (kg N)	Fraførsel (kg N)	Retention (kg N)	Retention (% af tilført)
1987	10	322811	152993	156841	153210	169600	52,5
1987	11	299029	174507	111544	240426	58603	19,6
1987	12	360444	174535	139433	231486	128958	35,8
1988	1	717112	412338	291798	683820	33292	4,6
1988	2	900483	589382	298124	769758	130725	14,5
1988	3	555232	348502	193753	404126	151105	27,2
1988	4	395522	227488	155057	275090	120432	30,4
1988	5	173913	100164	60772	129863	44049	25,3
1988	6	110760	63013	34770	83114	27646	25,0
1988	7	90763	50146	27639	70709	20053	22,1
1988	8	91127	49544	28606	61179	29948	32,9
1988	9	100835	55622	32236	53265	47570	47,2
1988	10	178037	78953	86107	83755	94282	53,0
1988	11	128294	67681	47637	83614	44680	34,8
1988	12	174347	105722	55648	149581	24766	14,2
1989	1				197199		
1989	2				198529		
1989	3				318149		
1989	4				223385		
1989	5				92252		
1989	6				53940		
1989	7				37895		
1989	8				43963		
1989	9				66979		
1989	10				74217		
1989	11				82783		
1989	12				118560		
1990	1	445602	246445	186180	331445	114157	25,6
1990	2	787029	451145	322907	682933	104095	13,2
1990	3	619833	385327	221530	458127	161706	26,1
1990	4	234677	142901	78799	174228	60449	25,8
1990	5	126593	77129	36488	87628	38966	30,8
1990	6	102959	60619	29364	47328	55631	54,0
1990	7	80898	45880	22041	30160	50738	62,7
1990	8	74129	46090	15061	32844	41285	55,7
1990	9	146537	71828	61732	59104	87433	59,7
1990	10	322512	131740	177795	128290	194222	60,2
1990	11	316436	144324	159135	149017	167419	52,9
1990	12	333573	175591	145005	209614	123958	37,2
1991	1	666079	410309	242794	909116	-243037	-36,5
1991	2	373520	218048	142496	328128	45392	12,2
1991	3	429091	253436	162678	299794	129298	30,1
1991	4	249273	140646	95651	166496	82778	33,2
1991	5	219118	126611	79530	135382	83736	38,2
1991	6	144916	81662	50278	69525	75391	52,0
1991	7	107717	63990	30751	54002	53715	49,9
1991	8	80605	47047	20582	52322	28283	35,1
1991	9	70523	38753	18793	49631	20892	29,6
1991	10	91749	54777	23995	59253	32495	35,4
1991	11	138162	75336	49849	111033	27129	19,6
1991	12	184223	96831	74416	122080	62144	33,7
1992	1	417614	201614	203024	276303	141311	33,8
1992	2	350649	186306	151366	234759	115890	33,1
1992	3	502997	273130	216890	381257	121741	24,2
1992	4	589994	223233	215714	326833	263160	44,6
1992	5	234611	125571	96063	181547	53063	22,6
1992	6	85388	49014	23398	35144	50244	58,8
1992	7	69101	40558	15566	34164	34937	50,6
1992	8	76375	48019	15379	49846	26529	34,7
1992	9	82653	51949	17727	61070	21582	26,1
1992	10	126795	49581	64237	49403	77392	61,0
1992	11	457730	173207	271547	136814	320916	70,1
1992	12	629934	302560	314397	352764	277170	44,0

År	Måned	Tilførsel (kg N)	Målt tilførsel (kg N)	Umålt tilførsel (kg N)	Fraførsel (kg N)	Retention (kg N)	Retention (% af tilført)
1993	1	672837	379112	280938	610893	61944	9,2
1993	2	511929	287485	211657	444148	67781	13,2
1993	3	301994	178752	110455	232680	69314	23,0
1993	4	192377	112034	67556	136087	56290	29,3
1993	5	116571	70245	33539	71027	45544	39,1
1993	6	81038	42239	23386	53316	27722	34,2
1993	7	71042	37727	20528	30544	40498	57,0
1993	8	83180	45574	24820	37266	45914	55,2
1993	9	159930	67609	79534	53799	106131	66,4
1993	10	397764	166408	218569	199871	197892	49,8
1993	11	260258	123322	124149	162383	97875	37,6
1993	12	614097	351936	249374	601396	12701	2,1
1995	1	595487	397556	185044	552472	43015	7,2
1995	2	694252	457232	224134	583734	110518	15,9
1995	3	650834	434728	203219	540434	110399	17,0
1995	4	318906	207727	98293	269331	49575	15,5
1995	5	183653	117774	52993	143979	39674	21,6
1995	6	161425	103438	45101	142546	18879	11,7
1995	7	117965	67747	32427	109164	8802	7,5
1995	8	85505	49643	22463	80753	4751	5,6
1995	9	104964	60047	32031	88097	16867	16,1
1995	10	112894	63854	36154	78627	34267	30,4
1995	11	153850	79857	61106	105946	47904	31,1
1995	12	155683	84386	58410	127266	28417	18,3
1996	1	179035	95995	70409	127772	51262	28,6
1996	2	179259	93226	73403	139575	39684	22,1
1996	3	214829	118864	83334	160750	54079	25,2
1996	4	167694	88030	67033	105595	62099	37,0
1996	5	112583	69650	30302	65778	46804	41,6
1996	6	76821	48842	15348	33586	43236	56,3
1996	7	68842	42024	14187	21955	46887	68,1
1996	8	61200	35859	12710	35967	25233	41,2
1996	9	57036	31078	13327	35312	21725	38,1
1996	10	76914	43484	20799	51190	25724	33,4
1996	11	238963	95740	130593	143281	95682	40,0
1996	12	261092	125654	122808	175846	85246	32,6
1997	1	194224	120090	61478	142120	52104	26,8
1997	2	485682	251760	207365	256343	229339	47,2
1997	3	338952	195001	131296	238237	100716	29,7
1997	4	196242	99042	84543	120375	75867	38,7
1997	5	157997	92286	53056	101041	56956	36,0
1997	6	110814	63476	34683	58557	52257	47,2
1997	7	87610	49969	24985	37428	50182	57,3
1997	8	107930	54949	40324	44271	63658	59,0
1997	9	85468	48895	23917	39256	46211	54,1
1997	10	114592	58096	43841	61404	53189	46,4
1997	11	127824	54822	60346	64838	62986	49,3
1997	12	210550	78845	119049	86256	124294	59,0

## Appendix 6. Dokumentation af scenarieberegningerne for Tange Sø.

Scenarieberegningerne er foretaget på baggrund af vand- og stofbalancen med grundvandsudveksling inkluderet. Parallelt er beregningerne også foretaget på et datasæt hvor vand- og stofbalancen hvor der ikke var tilladt nogen grundvandsudveksling, resultaterne er så sammenfaldende at det kan konkluderes, at metoden brugt ved opstilling af vand- og stofbalancen ikke mærkbart påvirker resultaterne af scenarieberegningerne.

Simple sømodeller anvendt ved scenarieberegningerne (primært efter Jensen *et al.*, 1997 se i øvrigt hovedteksten):

$$\begin{aligned}
 R_P &= 1 - (1 / (1 + \sqrt{T_w})) \\
 P_{sø} &= P_{til} / (1 + \sqrt{T_w}) \\
 R_N &= 0.59 * T_w^{0.29} \\
 N_{sø} &= N_{til} * (1 - 0.59 * T_w^{0.29}) \\
 Sigt &= 0.36 * P_{tot}^{-0.57} \\
 Sigt &= 0.27 * P_{tot}^{-0.59} * Z^{0.27} \\
 Chla &= 311 * P_{tot}^{0.67} \\
 DG &= 0.07 + 1.83 * Sigt \\
 DG_{rod} &= -0.74 + 2.02 * Sigt
 \end{aligned}$$

hvor  $T_w$ : vandets opholdstiden (år),  $R_P$ : retentionskoefficient for fosfor (dimensionsløs),  $P_{sø}$ : årsmiddel søkoncentration af total fosfor ( $\text{mg P l}^{-1}$ ),  $P_{til}$ : årsmiddel indløbskoncentration af total fosfor ( $\text{mg P l}^{-1}$ ),  $R_N$ : retentionskoefficient for kvælstof (dimensionsløs),  $N_{sø}$ : årsmiddel søkoncentration af total kvælstof ( $\text{mg N l}^{-1}$ ),  $N_{til}$ : årsmiddel indløbskoncentration af total kvælstof ( $\text{mg N l}^{-1}$ ),  $P_{tot}$ : årsgennemsnitlige koncentrationen af total fosfor i søvandet =  $P_{sø}$  ( $\text{mg P l}^{-1}$ ),  $Sigt$ : sommermiddel sigtdybde (meter),  $Z$ : middeldybden (meter),  $Chla$ : sommermiddel klorofylkoncentration ( $\mu\text{g l}^{-1}$ ),  $DG$ : dybdegrænse af undervandsplanter (meter) og  $DG_{rod}$ : dybdegrænse af rodfæstede undervandsplanter (meter).

De fire af de foreslåede scenarier for Tange Sø's fremtidig:

Tabel 6.1 De 4 scenarier med indflydelse på Tange Sø's tilstand samt stoftransporten nedstrøms Tange Sø.

Scenarie 1:	Tange Sø's vand- og stoftilførsel uændret ( <b>løsningsforslag nr. I</b> )
Scenarie 2:	Langt omløb om Tange Sø, vandtilførsel til søen reduceres med $3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ( <b>løsningsforslag nr. III</b> )
Scenarie 3:	Tange Sø's vandstand sænkes 2 meter, vandløb fra Bus Bro til Gudenåen nedstrøms Tange Sø, vandtilførsel til søen reduceres med $9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ( <b>løsningsforslag nr. VII</b> )
Scenarie 4:	Tange Sø fjernes ( <b>løsningsforslag nr. V</b> )

De anvendte modeller for sammenhængen mellem indløbskoncentration, vandtilførsel (opholdstid) og de afledte stofkoncentration i søen forudsættes at der er ligevægt mellem den eksterne stoftilførsel og stofdynamikken i søen. Dette betyder at der med hensyn til fosfor kan være en overgangsfase, hvor fosforfrigivelse fra sedimentet vil øge søvandskoncentration og dermed og fosfortransporten ud af søen til et højere niveau end beregnet.

Scenarieberegninger forudsætter derudover at søvandskoncentrationen er lig afløbskoncentration, det vil sige at søen er fuldtopblandet.

Vand- og stoftransporten er for de forskellige scenarier opdelt i en transport gennem søen og udenom søen, vand- og stoftransporten nedstrøms Tange Sø er beregnet som summen af den beregnede afløbsmængde fra søen og den mængde der føres udenom søen.

Tabel 6.2. Vand- og stoftransport samt stofkoncentrationer ved de 4 scenarier. Koncentrationer er i enheden  $\text{mg l}^{-1}$ . Vandtransporter er i enheden  $10^6 \text{ m}^3 \text{ år}^{-1}$ . Stoftransporter er i tons  $\text{år}^{-1}$ .

Scenarie	Tilløbskoncentration		Vandtransport		Fosfortransport		Kvælstoftransport		Transp. ns. søen	
	Fosfor	Kvælstof	til sø	udenom sø	fra sø	udenom sø	fra sø	udenom sø	P	N
1	0,1097	3,397	600	0	56	0	1612	0	56	1613
2	0,1097	3,397	505	94	47	10	1338	321	57	1659
3	0,1097	3,397	316	284	28	31	802	964	59	1766
4	0,1097	3,397	0	600	0	66	0	2037	66	2037

Vandvolumnet er fastholdt også ved scenarie 3, idet der ikke har været en hypsograf for søen til rådighed. Dette betyder at opholdstiden er overestimeret. Et usikkert skøn for opholdstiden baseret på en ny middel-

dybde på 0,8 meter og et overfladeareal på 5,9 km<sup>2</sup> og dermed et vandvolumen på ca. 4,72 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> er på 5,5 dage. Konsekvensen af denne opholdstid ville være, at søvandskoncentrationerne for henholdsvis fosfor og kvælstof ville henholdsvis 0,097 mg P l<sup>-1</sup> og 2,8 mg N l<sup>-1</sup>. De afledte beregninger i søen ville ikke ændre sig signifikant, men transporten af fosfor og kvælstof nedstrøms Tange Sø ville blive henholdsvis 4% og 5% større i scenarie 3. Ændringerne er dog ikke store nok til at påvirke de generelle konklusioner.

Tabel 6.3. Vandkvaliteten i Tange Sø ved de 4 scenarier. Ved scenarie 3 er der for sammenligningens skyld beregnet værdier for sigtdybden korrigeret for middeldybden (Sigt') både med den nuværende middeldybde samt den nye middeldybde. Der er således også to værdier for undervandsplanternes dybdegrænse.

Scenarie	T <sub>w</sub> (dage)	P <sub>sø</sub> (mg l <sup>-1</sup> )	N <sub>sø</sub> (mg l <sup>-1</sup> )	Sigt (m)	Sigt' (m)	Chla (µg l <sup>-1</sup> )	DG (m)	DG <sub>rod</sub> (m)
1	10,2	0,094	2,69	1,38	1,44	64	2,6	2,1
2	12,1	0,093	2,65	1,39	1,45	63	2,6	2,1
3	19,4	0,089	2,54	1,43	1,49/1,06	61	2,7/2,0	2,1/1,4
4	-	-	-	-	-	-	-	-

I forbindelse med det mindre estimat for henholdsvis sigtdybde og undervandsplanternes dybdegrænser i scenarie 3 ved indregning af den mindre vanddybde skal dette ses i forhold til at både den beregnede sigtdybde og de beregnede dybdegrænser for undervandsplanter er større end den nye middeldybde, hvorfor lysforholdene og undervandsplanternes udbredelser i begge tilfælde er forholdsvis gode.

## Bilag 2

*Danmarks Miljøundersøgelser: Notat af 8. September 1998  
af Jens Skriver, Danmarks Miljøundersøgelser & Peter Holm, Århus Amt*

### Smådyrsfauna i Gudenå - før og nu

#### Indsamling af fauna i Gudenåen op gennem dette århundrede

Kendskab til faunaen i Gudenåen på strækningen fra Silkeborg til Randers i begyndelsen af dette århundrede, skyldes indsamlinger og beretninger foretaget af amatørentomologer. Især Esben Petersen og Ussing har foretaget en del indsamlinger i begyndelsen af dette århundrede, som i dag findes i samlingerne på Naturhistorisk Museum, Århus og Zoologisk Museum, København. Fra 1950'erne, 60'erne og frem til i dag, har Kaiser, Carlo F. Jensen og Frank Jensen foretaget en del kvalitative indsamlinger. Også disse dyr findes i Naturhistorisk Museums samlinger. Trods den omfattende indsats er der frem til i dag ikke foretaget nogen sammenskrivning på videnskabeligt plan af de mange års undersøgelser. Undertegnede har af Frank Jensen modtaget lister over registreringer af en række udvalgte slørvinge- og døgnfluearter, som gennem årene er fundet i Gudenåen, og som findes i Naturhistorisk Museums samlinger i Århus, samt dyr som findes i samlingerne på Zoologisk Museum i København (Jensen 1992, 1993). Derudover har Peter Wiberg-Larsen suppleret med oplysninger om forekomsten af visse udvalgte vårfluearter.

Vejle, Viborg og Århus amter har i de sidste ca. 20 år foretaget undersøgelser med henblik på at undersøge, om vandløbets målsætning er opfyldt. De fleste af disse undersøgelser er feltundersøgelser, hvor der typisk ikke foretages artsbestemmelse, og den samlede registrering af faunaen bliver derfor ufuldstændig set ud fra et videnskabeligt perspektiv. I Gudenå opstrøms for Mossø har konsulentfirmaet Bio/consult imidlertid foretaget undersøgelser for Vejle Amt (Vejle Amt 1988). Der er herved opnået en omfattende beskrivelse af faunaen for denne del af Gudenåen.

I Gudenåen nedstrøms for Silkeborg og ud til Randers er der, ud over feltundersøgelser foretaget af Århus og Viborg amter, blevet foretaget en omfattende indsamling af Århus Amt på 13 stationer på hele strækningen fra Silkeborg til Randers i 1989-91. Næsten hele materialet er udsortet og artsbestemt, men er ikke blevet endeligt afrapporteret. Dele af materialet indgår i forbindelse med en artikel om biodiversitet af vårfluer i danske vandløb (Wiberg-Larsen et al. in prep.), ligesom oplysninger om forekomsten af en enkelt fredet guldsmedeart er blevet offentliggjort (Pedersen & Holmen, 1994).

Nærværende sammenskrivning er baseret på ovennævnte kilder. Oplysninger om de nuværende faunaforhold i den nedre Gudenå, er helt overvejende baseret på de indsamlinger, som Jens Skriver og Peter Holm har foretaget for Århus Amt i 1989-91. Derudover er supplerende data fra indsamlinger i 1996 af Peter Holm endvidere medtaget (Århus Amt, in prep.).

#### Generel karakteristik af de faunamæssige forhold

Generel karakteristik af faunamæssige forhold: Gudenåen på strækningen Silkeborg til Randers har en meget artsrig fauna. Især vårfluer og døgnfluer er repræsenteret med mange arter. Det generelle faunabillede i historisk tid svarer til faunaen i Skjern Å, dvs. at faunaen er karakteristisk for store vandløb ("flodkarakter"). Den aktuelle faunasammensætning i Gudenå er dog i dag noget anderledes end i Skjern Å. Generelt kan faunaen i Gudenåen karakteriseres som artsrig, men overvejende bestående af arter, der også forekommer i søer. Det samlede faunabillede får derved karakter af at være præget af "tolerante" arter, hvorved en biologisk bedømmelse bliver II eller II-III (tabel 1) angivet i forureningsgrader efter den hidtil gældende officielle metode (Landbrugsministeriets, 1970). Skjern Å derimod er, trods mange fælles arter med Gudenå, helt domineret af rentvandskrævende rheophile arter, mens "tolerante" arter indgår meget mere sparsomt rent kvantitativt. I Gudenås hovedløb opstrøms for Mossø findes en tilsvarende rentvandsfauna (Vejle Amt, 1988) som i Skjern Å. På en ca. 15-20 km lang strækning har Gudenå her forureningsgrad I og I-II.

**Tabel 1.** Forureningstilstanden i Gudenåen på strækningen Silkeborg til Randers (Gudenåkomiteen, 1997). For hver lokalitet er angivet afstanden til nærmeste opstrømsliggende sø. Sminge Sø mellem Resebro og Svostrup har så lille en opholdstid, at søen nærmest fungerer som et langsomt strømmende vandløb.

Lokalitet	Afstand fra sø	Forureningstilstand
<b>Silkeborg Langsø v. Motorvejsbro</b>		
Resebro	2 km	II-III
Svostrup	8 km	II
Tvilum	11 km	II
Ålegårdsbakke	14 km	II
Truust	18 km	II
<b>Tange Sø</b>		
Skibelund	2 km	II-III
"Stryget"	11 km	II-III
Ulstrup	15 km	II / II-III
Østergård	24 km	II
Løjstrup	26 km	II
Frisenvold	32 km	II
Stevnstrup	35 km	II
Motorvejsbro v. Randers	39 km	II

### Slørvinger

Der er i alt registreret 11 arter af slørvinger i Gudenå på strækningen Silkeborg til Randers i perioden 1989-96 (appendix). Samlet set udgør slørvinger kun en meget begrænset del af det samlede faunabillede, og de to hyppigst forekommende arter *Nemoura cinerea* og *Taeniopteryx nebulosa* er for den førstes vedkommende meget tolerant, og heller ikke *Taeniopteryx* kan regnes som nogen særligt krævende og følsom art. Af særlig interesse er dog registreringen af *Brachyptera braueri* som er gjort i 1991 (Jensen, 1992). *Brachyptera braueri*, var ikke registreret i Gudenå siden 1918. De to rentvandsformer *Isoperla* sp. og *Perlodes* sp. forekommer med relativt få individer, og disse kunne ikke bestemmes med sikkerhed.

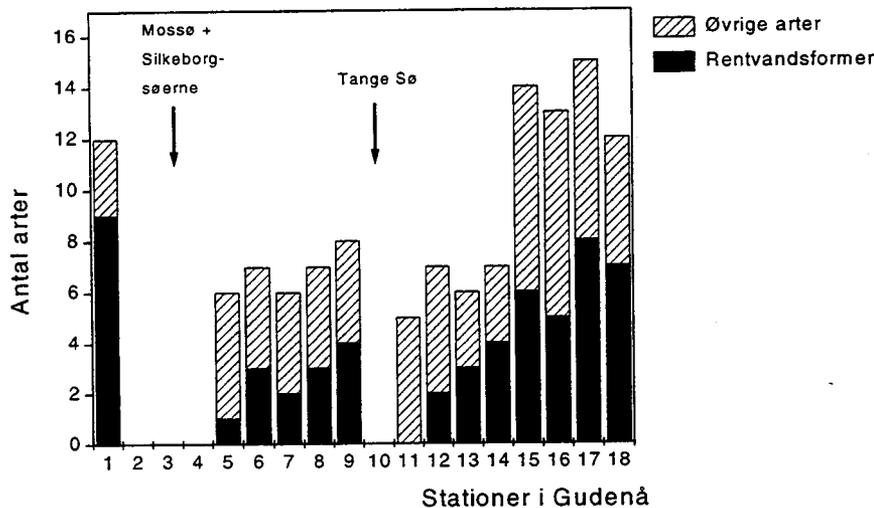
Der har i den nedre Gudenå i begyndelsen og midten af dette århundrede regelmæssigt været registreret en lang række rentvandskrævende slørvingearter, som jævnlige blev fundet i sådanne antal, at det må formodes, at de har været ret hyppige (Jensen 1992, 1993). Det drejer sig om begge de danske arter af *Isoperla*, samt begge arter af *Perlodes*. De to slørvinger *Isoperla difformis* og *Perlodes dispar* forekom regelmæssigt i Gudenå frem til midten af 1950'erne, og er herefter ikke med sikkerhed registreret. Arten *Perlodes dispar* har i Danmark kun været kendt fra den nedre Gudenå fra Langå til Randers. Derudover har den relativt sjældne slørvinge *Isoptena serricornis* været kendt fra Gudenåen på strækningen fra Langå til Randers. Samtlige registreringer i Naturhistorisk Museums samlinger er fra perioden 1909-17.

På basis af Gudenåens tidligere forekomst af rentvandskrævende slørvingearter må åen vurderes til at have haft en fin vandkvalitet frem til omkring midten af dette århundrede, dvs. forureningsgrad I eller I-II.

### Døgnfluer

Der er i alt i Gudenåen på strækningen fra Silkeborg til Randers registreret 20 døgnfluearter i perioden 1989-96 (appendix). Der er fundet døgnfluer på alle de undersøgte lokaliteter med et minimum på 5 arter nedstrøms for Tangeværket, mens de højeste artsantal er fundet i den nedre Gudenå, hvor der på 4 lokaliteter er fundet fra 12 til 15 arter pr. lokalitet. Artsantallet for de enkelte lokaliteter er vist i figur 1, hvor arterne endvidere er opdelt i rentvandsformer og øvrige arter. Data for lokaliteten opstrøms for Mossø er hentet fra

den omfattende undersøgelse i 1988 udført af Bio/consult (Vejle Amt, 1988). Af figuren fremgår, at både artsantal og antallet af rentvandsformer er højt opstrøms for Mossø. Nedstrøms for Silkeborgsøerne er artsantallet og antallet af rentvandsformer noget lavere, men stiger gradvist på strækningen ned mod Tange Sø. Efter Tange Sø ses det laveste artsantal med kun 5 arter, hvorefter ingen er rentvandsformer. Herefter stiger antallet af arter og rentvandsformer i nedstrøms retning, og åen har det største artsantal samt antal af rentvandsformer på strækningen Langå til Randers.



Figur 1. Forekomst af døgnfluer i nedre Gudenå.

Af særlige rentvandskrævende døgnfluearter fra den nedre Gudenå i perioden 1989-96 kan nævnes de tre *Heptagenia*-arter *H. flava*, *H. fuscogrisea* og *H. sulphurea*. Derudover de to *Caenis*-arter *C. rivulorum* og *C. pseudorivulorum*, samt *Brachycercus harisella*. Alle disse 6 arter, der forekommer forholdsvis talrigt, er i appendix henregnet blandt rentvandsformerne. De er endvidere alle fundet på strækningen opstrøms for Mossø (Vejle Amt, 1988).

Ud over de registrerede arter er det sandsynligt, at også *Baetis fuscatus* forekommer, idet denne døgnflue, som ikke er specielt krævende, blev fundet i den nedre Gudenå i slutningen af 1970'erne (Frank Jensen pers. med.).

Det er imidlertid bemærkelsesværdigt, at ingen af de to arter af majfluen *Ephemera* er fundet i Gudenåen i en meget lang årrække. Ussing (1918) beretter, at begge arter sværmede ved Gudenåens nedre løb i begyndelsen af dette århundrede.

### Vårfluer

Vårfluerne er den gruppe i Gudenåen, der er repræsenteret med flest forskellige arter, i alt 38 (appendix). Seks arter af netspinnende vårfluer (*Neureclipsis bimaculatus*, *Polycentropus flavomaculatus*, samt 4 arter af familien Hydropsychidae) dominerer vårfluefaunaen, bortset fra Gudenåens nederste løb fra Langå til Randers. På de lokaliteter, der ligger umiddelbart nedstrøms for Silkeborg Langsø og Tange Sø, udgør de netspinnende (filtrerende) vårfluer op til 90-98% af det samlede antal af individer af vårfluer. På disse lokaliteter er det endvidere kun larver af dansemyg, der har kvantitativ betydning sammen med vårfluerne.

Af de registrerede arter er hovedparten vandløbsformer, men lidt under halvdelen af arterne træffes regelmæssigt eller undtagelsesvis i søer. Egentlige rentvandsformer forekommer spredt og forholdsvis fåtalligt. Dette gælder bla. for *Rhyacophila nubila*, *Molanna angustata*, *Notidobia ciliaris*, *Brachycentrus subnubilus*, *Goera pilosa* og *Lepidostoma hirtum*. Den fritlevende vårflue *Rhyacophila nubila* er dog forholdsvis talrig på de hurtigtløbende strækninger på strækningen fra Silkeborg til Tange. I andre store jyske vandløb, f.eks. Skjern Å og Storå, som har en god vandkvalitet, ses især arterne *Brachycentrus maculatus*, *Brachycentrus subnubilus* og *Lepidostoma hirtum* at forekomme i stort antal. Den første, som er en udpræget rentvandsform, er aldrig registreret fra Gudenå, men findes i visse af tilløbene til den nedre Gudenå bla. Tjærbæk. De to andre arter er i Gudenå i perioden 1989-96 kun fundet på få lokaliteter, og der er som regel tale om en-

keltfund. Af andre følsomme arter, som tidligere er fundet i Gudenå, men som ikke er fundet i perioden 1989-96, kan nævnes: arter af slægten *Hydroptila*, samt arterne *Adicella reducta* og *Ylodes simulans*.

Den netspinnende vårflue *Cheumatopsyche lepida* kendes fra Danmark kun fra strækningen Sminge Sø til Tange Sø. Arten er en udpræget "flodart", dvs. knyttet til større vandløb. Dette gælder ligeledes for *Hydropsyche contubernalis*, som ud over Gudenåen kendes fra enkelte andre større jyske åers nedre løb.

Alt i alt må Gudenåens vårfluefauna betegnes som artsrig, og med en artssammensætning der er typisk for store vandløb. Det er dog forholdsvis forureningstolerante arter der dominerer vårfluefaunaen, og især arter af netspinnende vårfluer er talrigt forekommende nedstrøms for Silkeborg Langsø og Tange Sø. Visse rentvandskrævende arter der forekommer talrigt i andre store jyske vandløb, findes kun meget fåtalligt i Gudenå.

#### Øvrige faunagrupper

Ud over de tre faunagrupper, der er behandlet ovenfor, skal yderligere nævnes enkelte faunaelementer. Guldsmede er fundet på hovedparten af lokaliteterne, og udgøres helt overvejende af slægten *Calopteryx*. Ud fra iagttagelse af voksne individer drejer det sig overvejende om *C. splendens*, men også enkelte *C. virgo* er registreret. Den mest bemærkelsesværdige guldsmed er dog flodguldsmeden *Ophiogomphus cecilia*. Denne art er primært fundet i den nedre del af Gudenåen på strækningen fra Langå til Randers. Enkelte individer er dog registreret ved Ulstrup. Flodguldsmeden kendes også fra det nedre løb af andre store jyske vandløb. Arten er fredet i Danmark, og har også på europæisk plan en særlig beskyttet status, fordi arten betragtes som generelt truet.

Blandt billerne er den rentvandskrævende *Limnius volckmari* kun fundet på 2 af de 13 lokaliteter. De nærtbeslægtede biller *Elmis aenea* og *Oulimnius tuberculatus*, der er knapt så krævende, er derimod fundet langt hyppigere.

#### Samlet vurdering af de forureningsmæssige forhold

Gudenåens nuværende miljømæssige tilstand: På hele strækningen fra Silkeborg til Randers har Gudenåen forureningsgrad II-III og II (Tabel 1). De miljømæssigt dårligste strækninger findes nedstrøms for søerne, det vil sige nedenfor Silkeborg Langsø og Tange Sø, hvor tilstanden er forureningsgrad II-III (Gudenåkomiteen 1997, Viborg Amt 1998). Nedstrøms Tange Sø er strækningen med forureningsgrad II-III på ca. 8 km, idet Gudenåen først forbedres til forureningsgrad II nær Ulstrup. Strækningerne med forureningsgrad II-III er karakteriseret ved betydelig forekomst af arter af den filtrerende vårflue *Hydropsyche*. Antallet af døgnfluearter er lavere, og kun de mere tolerante arter findes på strækningerne nedstrøms for søerne (*Baetis rhodani*, *B. vernus*, *Ephemerella ignita*, *Caenis horaria* og *Caenis luctuosa*). Længere nedstrøms er der registreret op til 14 døgnfluearter i den nederste Gudenå. Det er især de tre arter af *Heptagenia*: *H. flava*, *H. fuscogrisea* og *H. sulphurea*, arten *Brachycercus haricella* og de to arter *Caenis pseudorivulorum* og *C. rivulorum* som findes i den nedre Gudenå, men som mangler nedstrøms for Tange Sø. Alle disse 6 rentvandsarter kendes også fra Gudenåen opstrøms for Mossø, så det er ikke vandløbsstørrelsen der er den fordelende faktor for disse arter.

Tilstanden i den nedre Gudenå: Bedømt ud fra sammensætningen af smådyrfaunaen har vandkvaliteten i begyndelsen af dette århundrede været klart bedre end i dag, hvor tilførslen af organisk stof er større. Det kan især afgøres ud fra fund i første halvdel af dette århundrede af visse slørvinger og døgnfluer. Især forekomsten af *Perlodes dispar*, *Isoperla difformis* og *Isoptena serricornis* viser, at vandkvaliteten har været fin. Blandt døgnfluerne er det bla. forekomsten af majfluen, *Ephemera* der vidner om den gode vandkvalitet (Ussing, 1918). Det er bemærkelsesværdigt, at *Ephemera* ikke blev fundet i undersøgelser foretaget af Århus Amt i 1989-96. *Ephemera* er ellers udbredt i hele Århus Amt, og findes i de øvrige store vandløb i Jylland.

De fysiske forhold er af stor betydning for faunaen på samme måde som vandkvaliteten. Tilstedeværelsen af de 4 nævnte arter viser, at både vandkvalitet og tilstrækkeligt gode fysiske forhold har været til stede frem til det tidspunkt, hvor arterne forsvinder fra Gudenåen. For slørvingen *Isoptena serricornis* er det sandsynligt, at dens forsvinden hænger sammen med etableringen af Tangeværket, idet arten er fundet hyppigt i perioden

frem til 1917. Herefter er der ikke flere fund af denne slørvinge. De to andre slørvinger *Isoperla difformis* og *Perlodes dispar* er jævnligt fundet frem til midten af 1950'erne. Disse to følsomme slørvingers forsvinden kan derfor ikke kædes sammen med hverken bortgravningen af strygene, som primært skete i forrige århundrede, eller med den fysiske etablering af Tangeværket i 1918-20. For disse to slørvingearters vedkommende, må der være tale om, at ændringer i vandkvaliteten gradvist har presset arterne så meget, at de til sidst ikke har kunnet overleve længere.

Overstående viser, at både vandkvaliteten og de fysiske forhold har væsentlig betydning for smådyrfaunaen.

## Referenceliste

- Gudenåkomiteen (1997): Gudenåens vandmiljø. Forureningstilstand, smådyr og fisk. Pjece udarbejdet af Århus, Vejle og Viborg amter for Gudenåkomiteen.
- Jensen F. (1992): Notat med oversigt over forekomsten af visse døgnflue- og slørvingearter fra Gudenå som findes i samlingerne på Naturhistorisk Museum, Århus og Zoologisk Museum, København.
- Jensen F. (1993): Notat med oversigt over forekomsten af yderligere arter af døgnfluer og slørvinger fra Gudenå som findes i samlingerne på Naturhistorisk Museum, Århus og Zoologisk Museum, København.
- Landbrugsministeriet (1970): Landbrugsministeriets vejledning om fremgangsmåden ved bedømmelse af recipienters forureningsgrad.
- Pedersen H. & Holmen M. (1994): Fredede insekter i Danmark. Del 4: Guldsmede. - Ent. Meddr. 62 (2): 33-58.
- Ussing (1918): Randers Fjords naturhistorie.
- Vejle Amt (1998): Smådyrfaunaen og forureningstilstanden i Gudenåsystemet - 1988. 121pp. + bilag.
- Wiberg-Larsen P., Brodersen K.P., Birkholm S., Grøn P.N. & Skriver J. (in prep.): Danish stream-dwelling Trichoptera: Species richness and assemblage structure.
- Viborg Amt (1998): Faunabedømmelser i Gudenåens hovedløb. Udskrift fra Viborg Amts miljødatabase. 5pp.
- Århus Amt (in prep.): Miljøtilstand i Gudenå nord med tilløb. 1996. Forureningsforhold - Fysiske forhold - Smådyrfauna - Fisk. Natur- og Miljøkontoret, Århus Amt.

## Appendix

Oversigter over fund af henholdsvis slørvinger, Døgnfluer og vårfluer i Gudenåen fra Silkeborg til Randers. 1989-96.



## Døgnfluer. Gudenå, 1989-91 (Appendix 2)

Døgnfluer	Silkeborg til Tange Sø						Tange Sø til Randers							
	Resenb.	Svostrup	Tvilum	Alegaard.	Trust		Skibelund	Stryg.	Ulstrup	Østerg.	Løjstrup	Frisen.	Stevn.	Motor.
<i>Siphonurus alternatus</i>								#			#			#
<i>Baetis sp.</i>							#	##			##	###		###
<i>Baetis rhodani</i>	#	##	#	##	#		###	##	##		##	##	#	##
<i>Baetis vernus</i>	###	#####	#####	#	###			##	##		#	#		
<i>Centroptilum luteolum</i>														#
<i>Cloeon dipterum</i>									#		##	##	#	
<i>Proclaeon bifidum</i>									##		##	##	##	#
<i>Heptagenia flava</i>									##		##	##	##	###
<i>Heptagenia fuscogrisea</i>								#	#		##	##	##	#
<i>Heptagenia sulphurea</i>								##	#		##	##	##	##
<i>Ephemerella ignita</i>	###	##	##	##	##		###	###	##		###	###	###	#
<i>Caenis horaria</i>	##						###	###	#		#	##	##	#
<i>Caenis luctuosa</i>	##	#	#	#	#		###	##			#	##	##	
<i>Caenis pseudorivulorum</i>														
<i>Caenis rivulorum</i>														
<i>Brachycercus harisella</i>														
<i>Leptophlebia sp.</i>														
<i>Leptophlebia marginata</i>														
<i>Leptophlebia vespertina</i>														
<i>Paraleptophlebia sp.</i>														
<i>Paraleptophlebia submarginata</i>														
<b>Antal arter pr. lokalitet</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>9</b>		<b>5</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>14</b>	<b>13</b>	<b>15</b>	<b>12</b>
<b>Antal arter pr. strækning</b>	<b>Silkeborg til Tange sø: 11</b>						<b>Tange sø til Randers: 18</b>							

### Vårfluer, Gudenå, 1989-91 (Appendix 3)

	Silkeborg til Tange Sø					Tange Sø til Randers							
	Reserb.	Svostrup	Tvilum	Ålegaard.	Trust	Skibelund	"Stryg."	Ulstrup	Østerg.	Løjstrup	Frisen.	Stevn.	Motor.
<b>Rhyacophilidae</b>													
Rhyacophililla nubila	##	###	###	###	##	##							
Rhyacophililla fasciata						#							
<b>Polycentropodidae</b>													
Neureclipsis bimaculatus	###	###	##		#					#		#	#
Cynurus trimaculatus													
Polycentropus flavomaculatus	#	###	###	###	###	###	###	#	###	#	###	#	#
Polycentropus irroratus		#			#	###	###	###	###	#	###	###	###
<b>Hydropsychidae</b>													
Cheumatopsyche lepida		###	###	###	###	###							
Hydropsyche contubernalis	###	###	###	#	###	###	###	#	###	##	##	##	
Hydropsyche pellucidula	###	###	###	##	###	###	###	##	###	##	###	##	
Hydropsyche siltalai	##	###	##	###	##				#			#	
<b>Molannidae</b>													
Molanna angustata		#	#				#		##			#	#
<b>Beraeidae</b>													
Beraea minutus													
<b>Phryganeidae</b>													
Phryganea grandis													
Agrypnia pagetana	#												#
<b>Sericostomatidae</b>													
Notidobia ciliaris													
<b>Brachycentridae</b>													
Brachycentrus subnubilus								#				#	
<b>Leptoceridae</b>													
Oecetis lacustris													
Athripsodes albifrons		##	#	##	##					#	#		#
Athripsodes aterrimus	###	#	##		#					#	#		
Athripsodes cinereus	#	#	#	#	#								
Ceraclea alboguttata	#	##	#	##	###		#		##			##	###
Ceraclea annulicornis				#	#				##	#	#	###	##
Ceraclea dissimilis	##	#	#	#	#				##	#	##	#	#



## Bilag 3

### Vegetationen i den nedre del af Gudenå for 100 år siden og idag

Notat af Tenna Riis, 24. aug. 1998.

#### *Ændringer i vegetationens sammensætning og udbredelse*

Vegetationen i de nedre dele af Gudenåen har ændret sig i løbet af de sidste 100 år. Omkring århundredeskiftet var vegetationen mere artsrig og forekom generelt i meget større bestande end i dag. Sammenligning af tidlige kvalitative undersøgelser fra 1895 og 1905 foretaget fra Silkeborg Langsø til Randers (Baagø og Kølpin Ravn 1896, Ostenfeld 1905), og kvantitative samt kvalitative undersøgelser lavet i 1996 (Sand-Jensen og Riis, unpubl.) viser, at der fandtes næsten dobbelt så mange arter af ægte undervandsplanter for 100 år siden (tabel 1). Kigges kun på *Potamogeton* sp. fandtes 12 arter for 100 år siden mod kun 6 arter i 1996. Dette er nok den mest sikre sammenligning, idet *Potamogeton* sp. er meget omhyggeligt beskrevet i de gamle beretninger, mens andre vandplanter kun nævnes overfladisk, og man derfor ikke kan være sikker på, at alle arter er noteret.

Bestandene af planterne var tidligere ofte meget større og tættere end det ses i dag. Baagø og Kølpin Ravn (1896) beretter fra den nedre Gudenå, at der langs begge bredder på 0,5-1,5 m's dybde fandtes en tæt rodfæstet grøde. Dette fandtes stadigvæk nogle steder langs bredderne i 1996, men ikke i så høj grad som tidligere. Det betyder, at de arter der fandtes både for 100 år siden og i dag, forekommer i mindre mængder end tidligere. F.eks. fandtes *P. zosterifolius* i 1996 kun med få individer (Sand-Jensen og Riis, unpubl.), mens den var meget almindelig for 100 år siden. Baagø og Kølpin Ravn (1896) beskriver en generel meget rig udvikling af de store *Potamogeton*-arter, og at disse kunne danne store blandede bevoksninger, eller enkelte arter kunne være dominerende på strækninger mere end 100 alen (ca. 65 m) lang. Dette fænomen ses ikke idag.

#### *Årsager til ændringer i vegetationen*

Årsagen til ændringer i artssammensætning og udbredelse af de ægte vandplanter i Gudenåen i løbet af de sidste 100 år er sandsynligvis en kombination af flere faktorer. For det første er lysforholdene i vandet dårligere i dag i forhold til tidligere, som følge af større fytoplanktonmængde p.g.a. højere næringssaltskoncentrationer. For det andet er vedligeholdelsen meget kraftigere idag end tidligere, og den større forstyrrelse favoriserer opportunistiske plantearter, som f.eks. de store vandaksarter ikke tilhører. For det tredje er de fysiske forhold i vandløbet blevet generelt dårligere i løbet af de sidste 100 år. I dag er vandløbsprofilen i høj grad trapezformet, hvilket indskrænker arealet med tilstrækkelige gode lysforhold for plantevækst i forhold til en varieret vandløbsprofil med skiftende strækninger med stryg og høl. Idag består bunden også mange steder af fint "sammenkittet" materiale, der er så hårdt, at planter kan have svært ved at etablere sig, eller bunden kan være domineret af mudder, der heller ikke er velegnet for planters etablering. Bundforholdene har givetvis tidligere været mere varierende både med hensyn til substratforhold og varierende dybdeforhold. Årsagen er den hårdhændede vedligeholdelse af vandløbsstrækninger og opgravning af vandløbsstrækningen umiddelbart nedenfor Tange Sø, som fandt sted i forbindelse med etablering af Tangeværket.

#### *Tange Sø's betydning for vegetationen*

Artsantallet af vandplanter på strækningen fra Silkeborg Langsø til Tange Sø er 5, mens artsantallet er 11 på strækningen nedstrøms Tange Sø til Randers. Grunden til, at der er flere arter nedstrøms Tange Sø er sandsynligvis, at Gudenåen her er større og derfor indeholder flere habitater, hvor de store vandaksarter kan vokse. En anden grund kan være, at Tange Sø fungerer som rekruteringsområde for vegetationen på de nedstrøms vandløbsstrækninger. Dette spiller sandsynligvis ikke nogen stor rolle, idet der jo i området fandtes endnu flere vandløbsarter før etableringen af Tange Sø.

## Referencer

Baagøe, J. og F. Kølpin Ravn. 1896. Ekspeditioner til jyske søer og vandløb i sommeren 1895. *Botanisk Tidsskrift*, 20, 288-326.

Ostenfeld, C.H. 1905. Om vegetationen i og ved Gudenåen nær Randers. *Botanisk Tidsskrift*, 26, 377-393.

Tabel 1. Registrerede vandplanter i den nedre del af Gudenå mellem Silkeborg Langsø og Randers 1895, 1905 og 1996, samt vandplanter fra Silkeborg Langsø til Tange Sø og fra Tange Sø til Randers. Undersøgelserne fra 1895 og 1905 er kvalitative undersøgelser på hele strækningen mellem Silkeborg Langsø og Randers. Undersøgelsen fra 1996 er foretaget på 11x100 m strækninger jævnt fordelt fra Silkeborg Langsø til Randers med 5 strækninger opstrøms Tange Sø og 6 strækninger nedstrøms Tange Sø.

I tabellen er kun medtaget ægte vandplanter, idet de tidligere beretninger kun beskriver disse planter fyldestående. Desuden fandtes tidligere en del hybrider af *Potamogeton* arter, mens disse ikke findes idag. Dette kan skyldes at de ikke er blevet registreret som hybrider men blot som variende former af de respektive arter. Disse er derfor også udeladt af tabellen. Data fra J. Baagøe og F. Kølpin Ravn, 1896; C.H. Ostenfeldt, 1905; og K. Sand-Jensen og T. Riis, 1996, upubl. data (undersøgelser på 11 x 100 m strækninger jævnt fordelt fra Silkeborg Langsø til Randers).

Arter	1895 ;1905	1996	1996	
			Før Tange Sø	Efter Tange Sø
<i>Potamogeton crispus</i>	X	X	X	X
<i>P. densus</i>	X			
<i>P. frisii</i>	X			
<i>P. lucens</i>	X	X	X	X
<i>P. natans</i>	X			
<i>P. nodosus</i>	X			
<i>P. obtusifolius</i>	X			
<i>P. pectinatus</i>	X	X		X
<i>P. perfoliatus</i>	X	X		X
<i>P. praelongus</i>	X	X		X
<i>P. pusillus</i>	X			
<i>P. zosterifolius</i>	X	X		X
<i>Batrachium circinatum</i>	X			
<i>B. aquatile</i>	X	X		X
<i>B. peltatum</i>		X	X	X
<i>Callitriche</i> sp.	X	X	X	
<i>Ceratophyllum demersum</i>	X			
<i>Elodea canadensis</i>	X	X	X	X
<i>Myriophyllum spicatum</i>	X	X		X
<i>Nuphar lutea</i>	X	X		X
<i>Sagittaria sagittifolia</i>	X			

# Danmarks Miljøundersøgelser

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

Henvendelse kan rettes til:

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

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

*Direktion  
Personale- og Økonomisekretariat  
Forsknings- og Udviklingssektion  
Afd. for Systemanalyse  
Afd. for Atmosfærisk Miljø  
Afd. for Miljøkemi  
Afd. for Havmiljø og Mikrobiologi*

Danmarks Miljøundersøgelser  
Vejlsøvej 25  
Postboks 413  
8600 Silkeborg  
Tel: 89 20 14 00  
Fax: 89 20 14 14

*Afd. for Terrestrisk Økologi  
Afd. for Sø- og Fjordøkologi  
Afd. for Vandløbsøkologi*

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

*Afd. for Landskabsøkologi  
Afd. for Kystzoneøkologi*

Danmarks Miljøundersøgelser  
Tagensvej 135, 4.  
2200 København N  
Tel: 35 82 14 15  
Fax: 35 82 14 20

*Afd. for Arktisk Miljø*

## Publikationer:

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

I årsberetningen findes en oversigt over årets publikationer. Årsberetning og DMU Nyt fås gratis ved henvendelse på telefon 46 30 12 00.

## Faglige rapporter fra DMU/NERI Technical Reports

### 1997

- Nr. 213: Marine områder - Fjorde, kyster og åbent hav. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1996. Af Jensen, J.N. et al. 124 s., 125,00 kr.
- Nr. 214: Ferske vandområder - Vandløb og kilder. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1996. Af Windolf, J., Svendsen, L.M., Kronvang, B., Skriver, J., Olesen, N.B., Larsen, S.E., Baattrup-Pedersen, A., Iversen, H.L., Erfurt, J., Müller-Wohlfeil, D.-I. & Jensen, J.P. 109 s., 150,00 kr.
- Nr. 215: Nitrogen Deposition to Danish Waters 1989 to 1995. Estimation of the Contribution from Danish Sources. By Hertel, O. & Frohn, L. 53 pp., 70,00 DKK.
- Nr. 216: The Danish Air Quality Monitoring Programme. Annual Report for 1996. By Kemp, K., Palmgren, F. & Mancher, O.H. 61 pp., 80,00 DKK.
- Nr. 217: Indhold af organiske opløsningsmidler og phthalater i legetøj. Analytisk-kemisk kontrol af kemiske stoffer og produkter. Af Rastogi, S.C., Worsøe, I.M., Køppen, B., Hansen, A.B. & Avnskjold, J. 34 s., 40,00 kr.
- Nr. 218: Vandføringsevne i danske vandløb 1976-1995. Af Iversen, H.L. & Ovesen, N.B. 2. udg. 55 s., 50,00 kr.
- Nr. 219: Kragefuglejagt i Danmark. Reguleringen af krage, husskade, skovskade, råge og allike i sæsonen 1990/91 og jagtudbyttet i perioden 1943-1993. Af Asferg, T. & Prang, A. 58 s., 80,00 kr.
- Nr. 220: Interkalibrering af bundvegetationsundersøgelser. Af Middelboe, A.L., Krause-Jensen, D., Nielsen, K. & Sand-Jensen, K. 34 s., 100,00 kr.

### 1998

- Nr. 221: Pollution of the Arctic Troposphere. Northeast Greenland 1990-1996. By Heidam, N.Z., Christensen, J., Wählin, P. & Skov, H. 58 pp., 80,00 DKK.
- Nr. 222: Sustainable Agriculture and Nature Values - using Vejle County as a Study Area. By Hald, A.B. 93 pp., 100,00 DKK.
- Nr. 223: Ændringer i bekæmpelsesmidlernes egenskaber fra 1981-1985 frem til 1996. Af Clausen, H. 61 s., 45,00 kr.
- Nr. 224: Natur og Miljø 1997. Påvirkninger og tilstand. Red. Holten-Andersen, J., Christensen, N., Kristiansen, L.W., Kristensen, P. & Emborg, L. 288 s., 190,00 kr.
- Nr. 225: Sources of Phthalates and Nonylphenoles in Municipal Waste Water. A Study in a Local Environment. By Vikelsøe, J., Thomsen, M. & Johansen, E. 50 pp., 45,00 kr.
- Nr. 226: Miljøundersøgelser ved Maarmorilik 1997. Af Johansen, P., Riget, F. & Asmund, G. 35 s., 50,00 kr.
- Nr. 227: Impact Assessment of an Off-Shore Wind Park on Sea Ducks. By Guillemette, M., Kyed Larsen, J. & Clausager, I. 61 pp., 60,00 kr.
- Nr. 228: Trafikdræbte dyr i landskabsøkologisk planlægning og forskning. Af Madsen, A.B., Fyhn, H.W. & Prang, A. 40 s., 60,00 kr.
- Nr. 230: On the Fetch Dependent Drag Coefficient over Coastal and Inland Seas. By Geernaert, G.L. & Smith, J.A. 20 pp., 35,00 DKK.
- Nr. 231: Mere brændstofeffektive køretøjer. CO<sub>2</sub>-konsekvenser og samfundsøkonomi. Af Møller, F. & Winther, M. 74 s., 100,00 kr.
- Nr. 232: Fragmentering og korridorer i landskabet - en litteraturudredning. Af Hammershøj, M & Madsen, A.B. 110 s., 100,00 kr.
- Nr. 233: Anskydning af vildt. Status for undersøgelser 1997-1998. Af Noer, H., Madsen, J., Hartmann, J., Kanstrup, N. & Kjær, T. 61 s., 60,00 kr.
- Nr. 234: Background Concentrations for Use in the Operational Street Pollution Model (OSPM). By Jensen, S.S. 107 pp., 125 DKK.
- Nr. 235: Effekten på sangsvane ved etablering af en vindmøllepark ved Overgaard gods. Af Larsen, J.K. & Clausen, P. 25 s., 35,00 kr.
- Nr. 236: The Marine Environment in Southwest Greenland. Biological Resources, Ressource Use and Sensitivity to Oil Spill. By Mosbech, A., Boertmann, D., Nymand, J., Riget, F. & Acquarone, M. 202 pp., 250,00 DKK (out of print).
- Nr. 237: Råvildt og forstyrrelser. Af Olesen, C.R., Theil, P.K. & Coutant, A.E. 53 s., 60,00 kr.
- Nr. 238: Indikatorer for naturkvalitet i søer. Af Jensen, J.P. & Søndergaard, M. 39 s., 50,00 kr.
- Nr. 239: Aromater i spildevand. Præstationsprøvning. Af Nyeland, B.A. & Hansen, A.B. 64 s., 60,00 kr.
- Nr. 240: Beregning af rejsetider for rejser med bil og kollektiv trafik. ALTRANS. Af Thorlacius, P. 54 s., 74,00 kr.
- Nr. 241: Control of Pesticides 1997. Chemical Substances and Chemical Preparations. By Krongaard, T., Køppen, B. & Petersen, K.K. 24 pp., 50,00 DKK.
- Nr. 242: Vingeindsamling fra jagtsæsonen 1997/98 i Danmark. By Clausager, I. 50 pp., 45,00 DKK.





