

Reduktionsmål for tilførslen af kvælstof og fosfor til projektområde Norsminde Fjord. Del af task 1.1 i EU- LIFE projektet AGWAPLAN

Udført af

**Christina Ellegaard
og
Henrik Skovgaard**

Århus Amt

Maj 2006

LIFE05 ENV/DK/000155: Integrated Protection of Surface and Groundwater in Agricultural Regions (AGWAPLAN)



RESUME

Dette notat er en del af første leverance af Task 1.1 i AGWAPLAN. Det overordnede formål med notatet er, at fastsætte en god økologisk tilstand i Norsminde Fjord, som forventes at være i overensstemmelse med kravene i EU's vandrammedirektiv.

Der er gennemført beregninger af scenarier for reduktion af tilførslen af kvælstof og fosfor fra oplandet, som kan sikre en god økologisk tilstand. Beregningerne er gennemført på baggrund af en forsimplet stof-transport model for fjorden. Der er sideløbende igangsat et arbejde med opstilling af en økologisk model for Norsminde Fjord, som forventes at give mere sikre svar på hvilke forbedringer af miljøtilstanden, der kan forventes som følge af reducerede tilførsler til fjorden. Modellen forventes ikke at give væsentligt forskellige svar med hensyn til reduktionmålenes størrelsesorden.

Norsminde Fjord er et beskyttet vandområde beliggende ca. 20 km syd for Århus, der gennem en sluse er forbundet med den sydlige del af Århus Bugt. Fjorden er udpeget som EF-fuglebeskyttelsesområde fordi et stort antal fugle benytter området som rasteplass i træktiden og som vinterkvarter. Fjorden dækker et areal på ca. 1,86 km² og er ca. 3,5 km lang og 0,5 km bred. Den er meget lavvandet med en gennemsnitsdybde på 0,5 m og en maksimal dybde på 1,5 m. Norsminde Fjord tilføres vand, næringsstoffer (kvælstof og fosfor) og organisk stof fra det 101 km² store opland, hvoraf 82% er opdyrket. Størstedelen af afstrømningen fra oplandet sker via Rævs Å der udmunder i den inderste del af fjorden. I takt med den forbedrede spildevandsrensning i 80'erne er fosfortilførslerne til fjorden reduceret fra omkring 20 ton fosfor pr år til 3 ton i dag. Kvælstof tilførslen er siden begyndelsen af 90'erne reduceret som følge af gennemførelsen af Vandmiljøplan I og II. I dag er kvælstoftilførslen i størrelsesordenen 100-150 ton kvælstof pr år.

Tilførslerne af næringsstoffer fra oplandet til fjorden er stadig meget stor og det har en negativ effekt på den økologiske tilstand i Norsminde Fjord. Det høje næringsstofniveau i fjorden favoriserer væksten af forureningstolerante arter, således at vegetationen er domineret af store måtter af søsalat, mens der kun er mindre forekomster af den rodfæstede vegetation ålegræs og havgræs. Undersøgelser fra 1992 og 2005 viser at væksten af søsalat både er begrænset af mængden af tilgængeligt fosfor og kvælstof. Det betyder, at det er hensigtsmæssigt både at begrænse tilførslen af fosfor og tilførslen af kvælstof til fjorden. På baggrund af beregningsresultaterne anbefales det, at fosfortilførslen til Norsminde Fjord reduceres med i størrelsesordenen 50 % og kvælstoftilførslen med i størrelsesordenen 50-65 %. Reduktionen i tilførslerne til fjorden vil betyde at produktionen af søsalat og andre forureningsbetingede planter vil blive reduceret og der vil blive forbedrede lys- og iltforhold til gavn for den rodfæstede vegetation og bunddyrene.

Reduktionsmålene svarer til at fosfortilførsel skal reduceres med 1,4 ton P/år og kvælstoftilførslen med 65-87 ton N/år fra Rævs Å. Der forventes en reduktion på ca. 1,5 tons P/år og 6,5 ton N/år gennem forbedret spildevandsrensning i henhold til Århus Amts regionplan. Fosfortilførslen til fjorden er imidlertid usikkert bestemt, hvorfor det er usikkert om målet for fosfor reduktionen kan opnås udelukkende gennem forbedret spildevandsrensning.

Denne rapport er udarbejdet med støtte fra Det Europæiske Fællesskabs finansielle instrument LIFE.



This report is prepared with the contribution of the LIFE financial instrument of the European Community.

Task 1.1. Norsminde Fjord

1. Introduktion og formål

Dette notat er første leverance fra Task 1.1 i AGWAPLAN. Det overordnede formål med task 1.1 er at identificere en god økologisk tilstand i Norsminde Fjord og Ravn Sø og fastsætte miljømål for drikkevandet i Hinnerup Vandværks opland, som forventes at være i overensstemmelse med kravene i EU's vandrammedirektiv. Der opstilles modeller for Ravn Sø og Norsminde Fjord, hvormed miljømålene kan omsættes til tålegrænser for tilførsel af kvælstof og/eller fosfor fra oplandene. Resultaterne fra task 1.1 skal anvendes til at fastsætte reduktionskrav for tabet af næringsstoffer på markniveau hos de deltagende landmænd i oplandene, jf. task 1.2. Da de endelige miljømål for naturtyperne ikke er udmeldt fra staten endnu og afventer resultater fra EU's interkalibrering ved udgangen af 2006, opstilles der foreløbige modeller og tålegrænser samt reduktionskrav ud fra bedste faglige vurdering af Århus Amt. Den endelige rapport over task 1.1 med eventuelt justerede tålegrænser er færdig 1. april 2007.

EU's vandrammedirektiv

EU's Vandrammedirektiv skal sikre, at der senest i 2015 opnås mindst en god økologisk tilstand i medlemslandenes vandløb, søer og fjorde, svarende til en tilstand, som kun i mindre grad må afvige fra den upåvirkede referencetilstand. Implementeringen af direktivet betyder, at miljøtilstanden skal klassificeres i forhold til fem kvalitetsklasser: høj, god, moderat, ringe eller dårlig. Indsatsplanen for det enkelte vandområde skal være klar i 2009.

Mange af de danske fjorde er tidligere blevet påvirket af et intensiveret landbrug, spildevandsudledninger osv. Selvom den eksterne næringssaltbelastning i dag er reduceret vil der være behov for en yderligere reduktion i den eksterne næringssaltbelastning for at sikre, at fjordene kan leve op til Vandrammedirektivets bestemmelser. Da det kan tage flere år for en fjord at indstille sig i en ligevægt i forhold til en reduceret næringssaltbelastning, er det vigtig at få fastlagt handlingsplaner for de enkelte fjorde i god tid, således der er mulighed for at overholde direktivets bestemmelser inden udgangen af 2015.

Omfanget af den nødvendige reduktion i den eksterne næringssaltbelastning kan estimeres ved at opstille hydrodynamiske og økologiske modeller. Disse modeller kan endvidere anvendes til at estimere referencetilstanden. Modellerne kan beskrive en lang række af de kemiske og biologiske parametre og give indblik i fjordenes kemiske og økologiske tilstand. Herved kan tilstanden ved forskellige niveauer af næringssaltbelastning simuleres.

1.1 Beskrivelse af Norsminde Fjord

Norsminde Fjord er et beskyttet vandområde, der gennem en sluse er forbundet med den sydlige del af Århus Bugt. Fjorden, der er beliggende ca. 20 km syd for Århus i bunden af en tunneldal omgivet af morænebakker, var tidligere omtrent dobbelt så stor. Den sydlige del, Kysing Sø, er i dag afvandet, opdyrket og adskilt fra Norsminde Fjord af en dæmning. For at beskytte de lavtliggende landbrugsarealer omkring fjorden blev der i 1964 bygget en sluse. Slusen lukker når vandstanden i Århus Bugt stiger til 30 cm over normal vandstand.

I 1983 blev fjorden udpeget som EF-fuglebeskyttelsesområde fordi et stort antal fugle benytter området som rasteplass i træktiden og som vinterkvarter. Fjorden er også udpeget som Natur- og Vildtreservat, hvilket betyder, at der er begrænsninger på jagt i området og der må ikke foregå sejlads med motorbåd. Fjorden har en stor rekreativ værdi pga. dens relative uberørthed af fysiske forstyrrelser og den centrale beliggenhed i forhold til Århus. Der er i dag kun én erhvervsfisker i fjorden.

1.2 Morfometri og hydrografi

Fjorden dækker et areal på ca. 1,86 km² og er ca. 3,5 km lang og 0,5 km bred. Den er meget lavvandet med en gennemsnitsdybde på 0,5 m og en maksimal dybde på 1,5 m.

Norsminde Fjord tilføres ferskvand fra oplandet til fjorden. Den største tilførsel kommer fra Rævs Å, som udmunder i den inderste del af fjorden. Ferskvandstilførslen er på omkring 27 mio m³/år svarende til ca. 25 gange fjordens volumen. Opholdstiden i fjorden er derfor lav kun omkring 1,5 – 5 døgn i vinterhalvåret, hvor ferskvandstilførslen er størst og 3-13 døgn om sommeren. Gennem slusen tilføres fjorden saltvand fra Kattegat. Mødet mellem det ferske og salte vand resulterer i en langsgående gradient i saltholdigheden i fjorden og i perioder med rolige vindforhold kan fjorden også være lagdelt. Inderst i fjorden varierer saltholdigheden mellem 0 og 20 ‰, ved slusen mellem 5 og 25 ‰.

1.3 Opland

Norsminde Fjord tilføres vand, næringsstoffer (kvælstof og fosfor) og organisk stof fra det 101 km² store opland til fjorden. Størstedelen af vandafstrømningen fra oplandet sker til Odder Å og Rævs Å (Odder Å løber ud i Rævs Å). Det samlede opland til Rævs Å er ca. 90 km².

I dag er 82% af hele oplandet opdyrket, mens ca. 3% er udlagt med vedvarende græs. Skov og krat udgør 11 %, mens bebyggelse og veje dækker 3%. I takt med den forbedrede spildevandsrensning i 80'erne er fosfortilførslerne fra spildevand reduceret med omkring 90%. Kvælstof tilførslen er reduceret som følge af gennemførelsen af VMP I og II (Vandmiljøplan I og II).

2. Nuværende tilstand

2.1 Økologisk tilstand

De store tilførsler af næringsstoffer fra oplandet til fjorden har stor indflydelse på den økologiske tilstand i Norsminde Fjord. Det høje næringsstofniveau i fjorden favoriserer væksten af forureningstolerante arter. Således er vegetationen domineret af søsalat, mens der kun er mindre forekomster af den rodfæstede vegetation ålegræs og havgræs.

Vegetationen i Norsminde Fjord bliver undersøgt langs 8 transekter fordelt i hele fjorden. De samme transekter er blevet undersøgt næsten hvert år siden 1989. Ved undersøgelserne bliver de enkelte makroalger- og plantearters dækningsprocent vurderet og sedimentets tilstand beskrevet.

I de senere år har der været tegn på en svagt forbedret miljøtilstand i fjorden; der er konstateret fremgang for havgræs i fjorden og sedimentet er veliltet og ikke længere dækket af kiselalgebelægninger. Men vegetationen i Norsminde Fjord er desværre stadig kraftigt domineret af forureningsbetingede alger, søsalat (*Ulva lactuca*) og rørhinde (*Enteromorpha sp.*), som tåler høje koncentrationer af næringsstoffer. De løstflydende alger skygger for væksten af de rodfæstede vandplanter.

I 2005 fandtes havgræs generelt i de samme områder som ved undersøgelsen i 2004. Udbredelsen var dog meget mindre, og vegetationen var ikke så kraftig (høj) som tidligere år. I august 2005 var store dele af fjorden totalt domineret af store flydende måtter af søsalat og rørhinde.

Ved vegetationsundersøgelsen i 1992 blev der fundet enkelte eksemplarer af kransålalgen *Chara canescens* (indikator for rent vand). Der er ikke registreret kransålalger ved de øvrige undersøgelser. Vandkrans (*Zannichellia sp.*) er kun set i 2000 og 2001.

Muslinger og snegle er dominerende bunddyr i Norsminde Fjord. Omkring 75 % af det totale individantal og 85 % af den totale biomasse af bunddyr udgøres af muslinger og snegle. Den resterende andel af bunddyr består af børsteorme og krebsdyr.

Den reducerede belastning af Norsminde Fjord har også gavnet fjordbundens dyreliv. Den større udbredelse af havgræsbede, som er et vigtigt levested for specielt mange arter af krebsdyr, har medført en stigning i den samlede artsrigdom i fjorden. Således steg det samlede artsantal fra 1991 og frem til 2003 fra 48 til 57 arter af bunddyr, og fremgangen i artsantallet skyldes først og fremmest flere arter af krebsdyr.

Samtidig med en stigning i artsrigdommen kan der konstateres et fald i den samlede biomasse af bunddyr som følge af den reducerede belastning af fjorden. Reduktionen i biomassen af bunddyr skyldes først og fremmest en reduktion i udbredelsen af muslinger, der lever af at filtrere planteplankton fra vandmasserne.

På trods af reduktionen i belastningen af Norsminde Fjord påvirkes bunddyrene stadig negativt. Specielt de udbredte måtter af søsalat medfører ved forrådnelse lokale iltsvind der dræber bunddyrene.

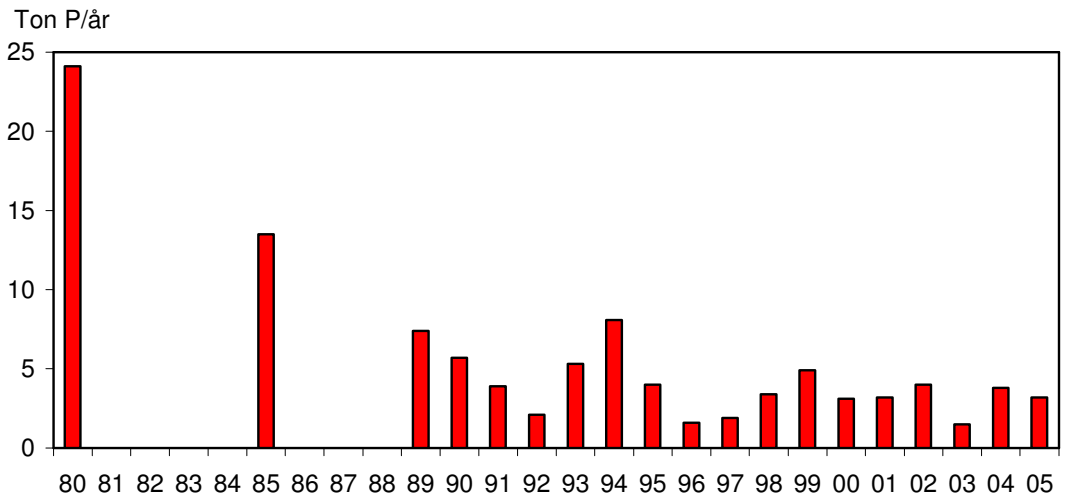
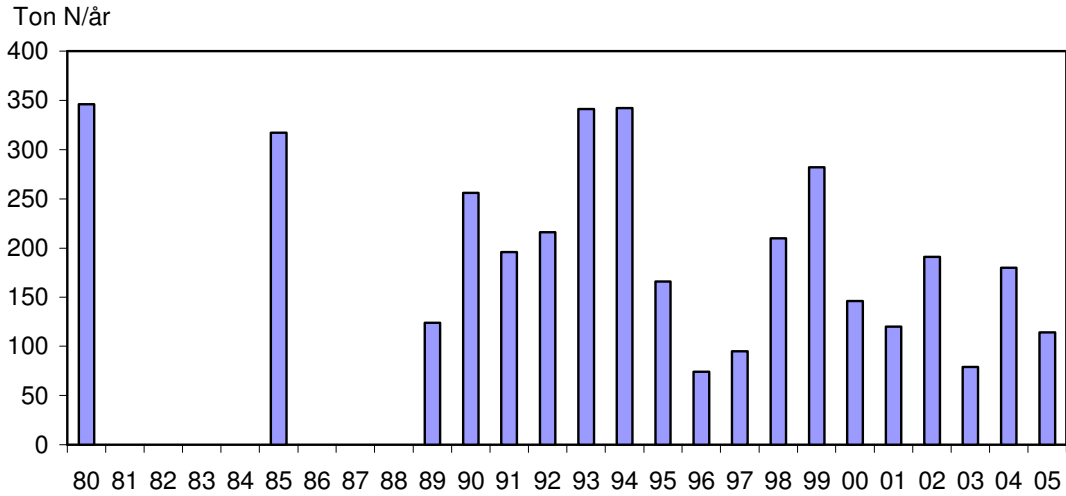
For en mere fyldestgørende beskrivelse af miljøtilstanden i Norsminde Fjord henvises til Århus Amts hjemmeside <http://www.aaa.dk/aaa/nm-havfjord-norsminde.htm>.

2.2 Belastning med næringsstoffer

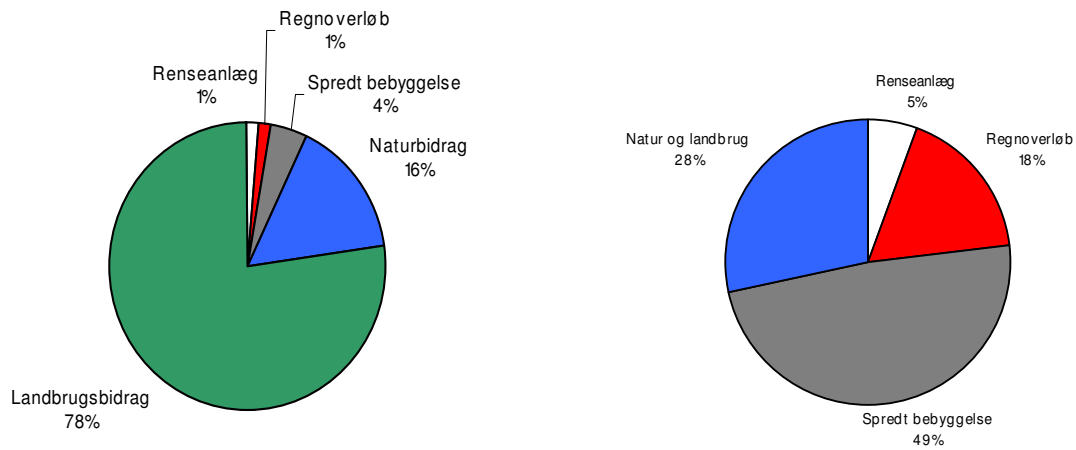
Norsminde Fjord tilføres årligt i størrelsesordenen 80-190 ton kvælstof og 2-4 ton fosfor. Tilførslen af kvælstof varierer meget fra år til år afhængigt af nedbørsmængden. I nedbørrige år udvaskes der meget kvælstof fra markerne til vandløbene, hvorved tilførslen bliver stor. Generelt er der dog sket en reduktion i kvælstoftilførslen efter gennemførelsen af vandmiljøplan I og II. Kvælstofbidraget fra landbrug udgør ca. 78% af den samlede tilførsel til fjorden, mens bidraget fra spildevand udgør ca. 5%. Resten er naturbetinget udvaskning fra oplandet og atmosfærisk deposition. Der vil i en senere fase af projektet blive foretaget en nedbørskorrektion af tilførslerne til fjorden og statistiske analyser af den tidlige udvikling.

Norsminde Fjord blev tidligere stærkt forurenet af spildevand fra Odder og mindre bysamfund i oplandet. Omkring 1980 blev fjorden årligt tilført 20-25 ton fosfor. På grund af forbedret rensning af spildevand og senere afskæring af spildevand fra Odder Renseanlæg er tilførslen nedbragt til 3-4 ton fosfor årligt. Norsminde Fjord modtager stadig spildevand fra Mallings Renseanlæg, via regnvandsbetingede udløb, fra landsbyer uden fælles rensning og fra spredt bebyggelse. Det skønnes, at fosforbidraget fra spildevand udgør ca. 2/3 og landbrug og naturbetinget udvaskning fra oplandet 1/3 af den samlede tilførsel til fjorden.

Fosfor tilførslen vurderes at være underestimeret, fordi prøvetagningen i Rævs Å hidtil ikke har taget højde for den bundnære partikelbundne fosfortransport, som ofte finder sted i forbindelse med større regnskyl.



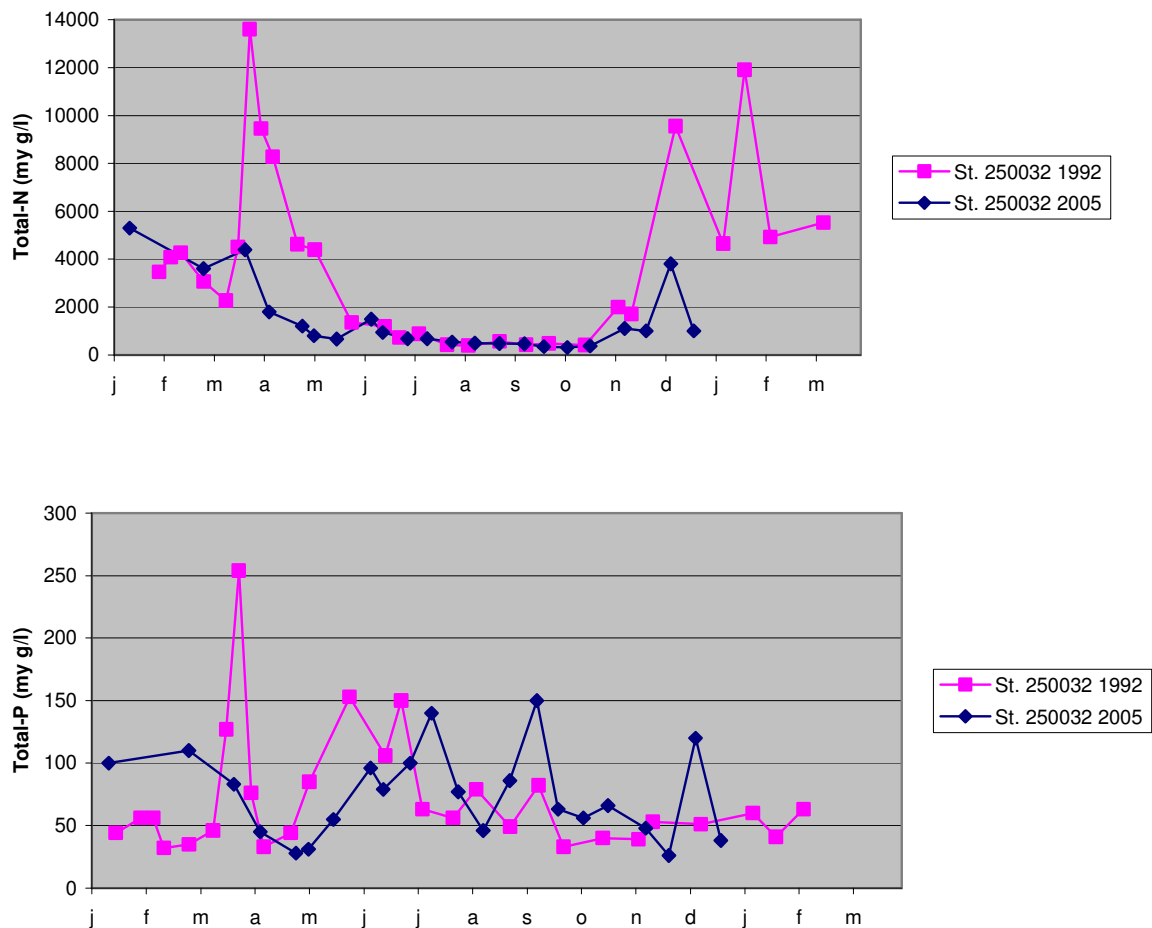
Figur 2.1 Årlig tilførsel af kvælstof (ton N/ år) og fosfor (ton P/ år) til Norsminde Fjord.



Figur 2.2 Fordeling af kvælstof (venstre figur) og fosfor (højre figur) tilførslerne på kilder. 10 års gennemsnit 1996-2005.

2.3 Næringsstofkoncentrationer i fjorden

Den store tilførsel af kvælstof og fosfor fra oplandet resulterer i høje koncentrationer af næringsstoffer i fjorden. I forbindelse med nærværende projekt bliver de vandkemiske forhold i fjorden beskrevet med 14 dages intervaller i perioden januar 2005 til november 2006. Sidst fjorden blev undersøgt var i 1992. Resultaterne fra 1992 viser et vintergennemsnit på omkring 6000 $\mu\text{g N/l}$, mens det i 2005 var 3000-4000 $\mu\text{g N/l}$. Koncentrationen af fosfor var i begge år i størrelsesordenen 50-150 $\mu\text{g P/l}$. Høje fosforkoncentrationer i sommer månederne skyldes sandsynligvis frigivelser fra sedimentet.



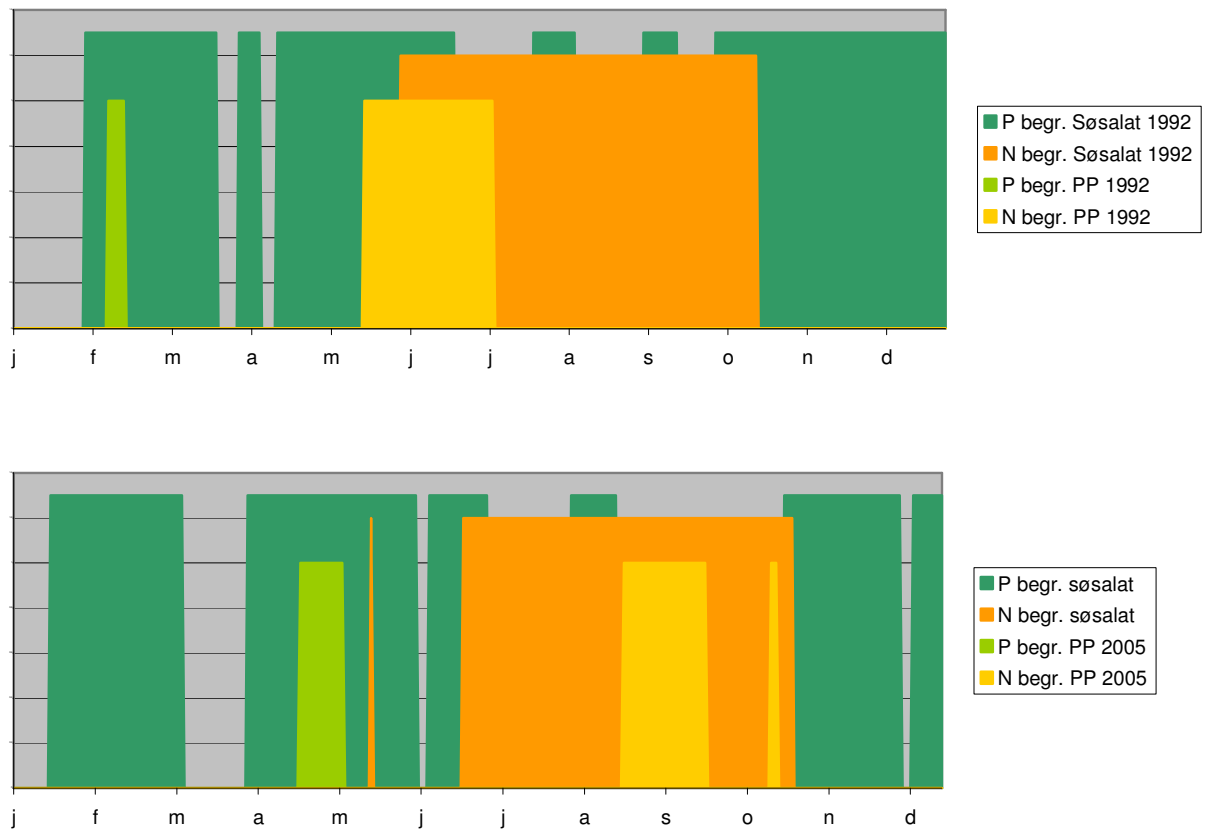
Figur 2.3 Målinger af koncentrationen af total kvælstof ($\mu\text{g N/l}$) og total fosfor ($\mu\text{g P/l}$) på st. 250032 i midten af Norsminde Fjord i 1992 og 2005.

2.4 N/P begrænsning

For at få et indtryk af om det bedst kan betale sig at reducere tilførslen af kvælstof eller fosfor til Norsminde Fjord, er det undersøgt, om der er perioder af året, hvor væksten af henholdsvis planteplankton og søsalat er begrænset af fjordvandets indhold af de to næringsstoffer. Produktionen af planteplankton er antaget at være

potentielt begrænset ved koncentrationer lavere end 28 µg DIN/l (uorganisk kvælstof) og 6,2 µg DIP/l (uorganisk fosfor, mens produktionen af søsalat er potentielt begrænset ved koncentrationer lavere end 275 µg DIN/l og 31 µg DIP/l, DMU(2002).

På baggrund af målingerne af næringsstofkoncentrationer i 1992 og 2005 er det fundet, at produktionen af planteplankton er potentielt begrænset af fosfor i en kort periode i foråret og af kvælstof et par måneder i løbet af sommeren eller sensommeren. Væksten af søsalat er potentielt begrænset af fosfor i den største del af vækstsæsonen kun afbrudt af perioder i løbet af sommeren og sensommeren, kvælstof er potentielt begrænsende i sommermånederne frem til oktober.



Figur 2.4 Perioder med potentiel næringsstofbegrænsning af væksten af planteplankton (PP) og søsalat. Baseret på data indsamlet på st. 250032 i 1992 og 2005.

3. Krav i Regionplanen

I Regionplanen for Århus Amt, Århus Amt (2005), er der fastsat krav til udledningen af fosfor i oplandet til Norsminde Fjord. Ifølge Regionplanen skal den årlige udledning af fosfor fra spildevandsanlæg (renseanlæg+regnvandsbetingede udløb) reduceres til under 550 kg og udledningen fra spredt bebyggelse skal reduceres mest muligt og mindst 90 %.

4. Reference tilstand

I nærværende notat er der lavet en foreløbig vurdering af reference tilstanden i Norsminde Fjord. Reference tilstanden er fastlagt ud fra historiske data om miljøtilstanden i fjorden, målinger fra oplande der skønnes upåvirkede, modellering samt erfaringer fra andre studier.

4.1 Vegetation

Der findes ikke meget materiale om miljøtilstanden i Norsminde Fjord for omkring 150 år siden, hvor fjorden antages at have været i en noget nær upåvirket tilstand (referencetilstanden).

Optegnelser over biologiske undersøgelser foretaget i 1800 tallet (Lange, 1864) omtaler forekomster af kransnålalgen (*Chara canescens*). Kransnålalgen er følsom, og vurderes at være en af de første arter der forsvinder når et område påvirkes af store tilførsler af næringsstoffer.

Muus (1967) angiver, at der fandtes spredte bevoksninger af havgræs i den sydøstligste del af fjorden. Undersøgelserne fandt sted fra 1954. Ud fra disse og andre undersøgelser (bl.a. Thomsen, 1988) vurderes det, at der ikke er sket væsentlige ændringer i havgræssets udbredelse i perioden 1954-1989.

På baggrund af de historiske data vurderes det, at der i referencetilstanden vil forekomme væsentligt mindre mængder søsalat, at udbredelsen, artsrigdommen og stabiliteten i den rodfæstede vegetation vil være væsentligt højere end i dag.

4.2 Bunddyr

Der findes ikke undersøgelser af bunddyr i Norsminde Fjord, der kan beskrive referencetilstanden.

Undersøgelser fra 1955 (Muus, 1967) viste, at der dengang fandtes et samfund af bunddyr, der i store træk minder om det samfund af bunddyr, der findes i fjorden i dag. Også i 1955 dominerede muslinger og snegle samfundet af bunddyr og udgjorde omkring 70 % af biomassen.

Undersøgelser af sammenhængen mellem tilførsel af næringsstoffer og den sekundære produktion og biomasse af bunddyr viser, at en lavere tilførsel af kvælstof også vil medføre en lavere biomasse af bunddyr (Josefson et al., 2000). Det forventes derfor, at biomassen af bunddyr i referencetilstand vil være væsentligt mindre end den er i dag. I referencetilstand forventes der dog også en væsentlig større artsrigdom af bunddyr, idet en retablering af ålegræs- og havgræsbede i fjorden vil skabe større variation i udbredelsen af levesteder for bunddyr i fjorden.

4.3 Belastning med næringsstoffer

Der er foretaget undersøgelser af næringsstofindholdet i vandløb, der afvander oplande, der er næsten upåvirkede af kunstige tilførsler af næringsstoffer. Danmarks

Miljøundersøgelser har sammen med amterne i 2005 undersøgt en lang række vandløb i naturområder (<10% landbrug i oplandet) uden påvirkning af spildevand eller landbrug. I de undersøgte østjyske vandløb blev der fundet næringsstofkoncentrationer i størrelsesordenen 1,09 +/- 0,45 mg total-N/l og ca. 50 µg total P/l (Jens Bøgestrand, DMU, pers. medd.). Disse tal vurderes at være repræsentative for Norsminde Fjord oplandet i en historisk naturtilstand.

4.4 Andre undersøgelser

Fyns Amt har udarbejdet en foreløbig basisanalyse for Odense Fjord, Fyns Amt (2003). Odense Fjord er naturligt opdelt i en lavvandet inderfjord, Seden Strand og en dybere yderfjord. Seden Strand minder på mange måder om Norsminde Fjord; gennemsnitsdybden er 0,8 m; den største ferskvandskilde til fjorden udmunder i den inderste del af Seden Strand; opholdstiden er i gennemsnit ca. 9 dage; saltholdigheden varierer mellem en månedsmedian på 10 og 15 PSU; koncentrationen af total kvælstof, som vinter-månedsmedian, er 3500-4000 µg N/l, mens niveauet om sommeren er omkring 650 µg N/l; tilsvarende er vinterkoncentrationen af total fosfor ca. 110 µg P/l og koncentrationen i sommer/sensommeren 200 µg P/l. Desuden er der foretaget afvanding og inddæmning af vådområder i området omkring Seden Strand lige som det er tilfældet ved Norsminde Fjord.

I Fyns Amt (2003) er reference tilstanden for Odense Fjord fastsat ud fra historiske data for makrofytvegetationen og modellering. Reference tilstanden for makrofytter er fastsat ud fra vurderinger af:

- historiske data fra Odense Fjord
- historiske data fra andre lignende fjordssystemer
- modelberegninger

Det vurderes i Fyns Amt (2003) at udbredelsen af den rodfæstede makrofytvegetation, i en reference tilstand ikke vil adskille sig væsentligt fra den nuværende udbredelse, men biomassen og stabiliteten i vegetationsdækket ville være væsentligt større end i dag. Referenceværdierne blev fastlagt til:

Dybde grænse for ålegræs: > 4 m, hvor områdedybden tillader det
Dækningsgrad for ålegræs: > 80% i dybdeintervallet 1,5-4 m
Dækningsgrad for havgræs: > 80% i dybdeintervallet 0,5-1,5 m
Biomasse af søsalat og løstliggende trådalger ved sæsonmaksimum (gennemsnit for hele Seden Strand): < 10 gC/m².

Reference tilstanden for næringsstoffer i Seden Strand er i Fyns Amt (2003) fastlagt på baggrund af:

- empiriske sammenhænge mellem koncentrationen af total kvælstof i vandområdet og dybdegrænsen for ålegræs
- modellering af et naturscenarie; atmosfærisk kvælstof deposition reduceret fra 104 ton N/år til 1 ton, koncentrationer uden for fjorden dvs. i det sydlige Kattegat (kvælstof, fosfor, algebiomasse) reduceret med 67-75%, koncentrationer af kvælstof og fosfor i vandløbene der leder til fjorden reduceret til 0,7 mg N/l og 0,022 mg P/l.

De to metoder resulterede i koncentrationer for kvælstof, der lå på mellem 660 og 730 $\mu\text{g N/l}$ i fjorden i referencetilstand. Der findes ingen lignende empiriske sammenhænge for fosfor. Modelleringen viste en reference-koncentration for fosfor på i størrelsesordenen 30 $\mu\text{g P/l}$. Resultaterne er beregnet for udvalgte år, hvor opblandingen i fjorden er styret af de specifikke hydrodynamiske forhold svarende til en årsmiddel salinitet på 12,2 PSU. Det blev fundet at næringsstofkoncentrationerne reguleres med 57-58 $\mu\text{g N/l}$ og 3,4 $\mu\text{g P/l}$ pr PSU. Årsmiddel saliniteten i Norsminde Fjord på st. 250032 midt i fjorden var i middel for de undersøgte år 1992 og 2005 ca. 15 PSU. En kvælstofkoncentration på 700 $\mu\text{g N/l}$ og en fosfor koncentration på 30 $\mu\text{g P/l}$ ved 12,2 PSU ville svare til en kvælstofkoncentration på ca. 530 $\mu\text{g N/l}$ og en fosfor koncentration på ca. 20 $\mu\text{g P/l}$ ved 15 PSU.

I Randers Fjord blev referencekoncentrationer af totalkvælstof og totalfosfor modelleret (Nielsen et al., 2003). Koncentrationer i referencetilstand i yderfjorden ved Møllerup (middel PSU ca. 12) blev fundet til 400 $\mu\text{g N/l}$ og 30 $\mu\text{g P/l}$. Ved modellering af referencetilstanden blev afstrømningen fra oplandet repræsenteret ved koncentrationer fra naturvandløbsoplande og der blev antaget en retention af kvælstof på 40 % i søerne i oplandet. Koncentrationerne i Hevring Bugt blev antaget at svare til de nuværende koncentrationer i Skagerak, der kun er svagt påvirket af eutrofiering.

Historiske koncentrationer af totalkvælstof i den sydlige del af Roskilde Fjord (middel PSU ca. 12) blev i perioden 1850 – 1950 fundet til 700 – 800 $\mu\text{g N/l}$ (Clarke et al., 2003). Koncentrationerne blev fundet ud fra palæoøkologiske metoder og er således dokumenteret uden antagelser om belastningsforhold ved referencetilstand. Koncentrationsniveauet ligger et niveau over de modellerede referencekoncentrationer i Odense Fjord og Randers Fjord, hvilket afspejler, at der har været en signifikant, men dog begrænset belastning af Roskilde Fjord i perioden 1850 – 1950 forud for industrialiseringen af landbruget. Undersøgelserne fra Roskilde Fjord underbygger således ud fra uafhængige metoder, at de modellerede referencekoncentrationer fra Odense og Randers Fjord er sandsynlige.

5. Scenarier

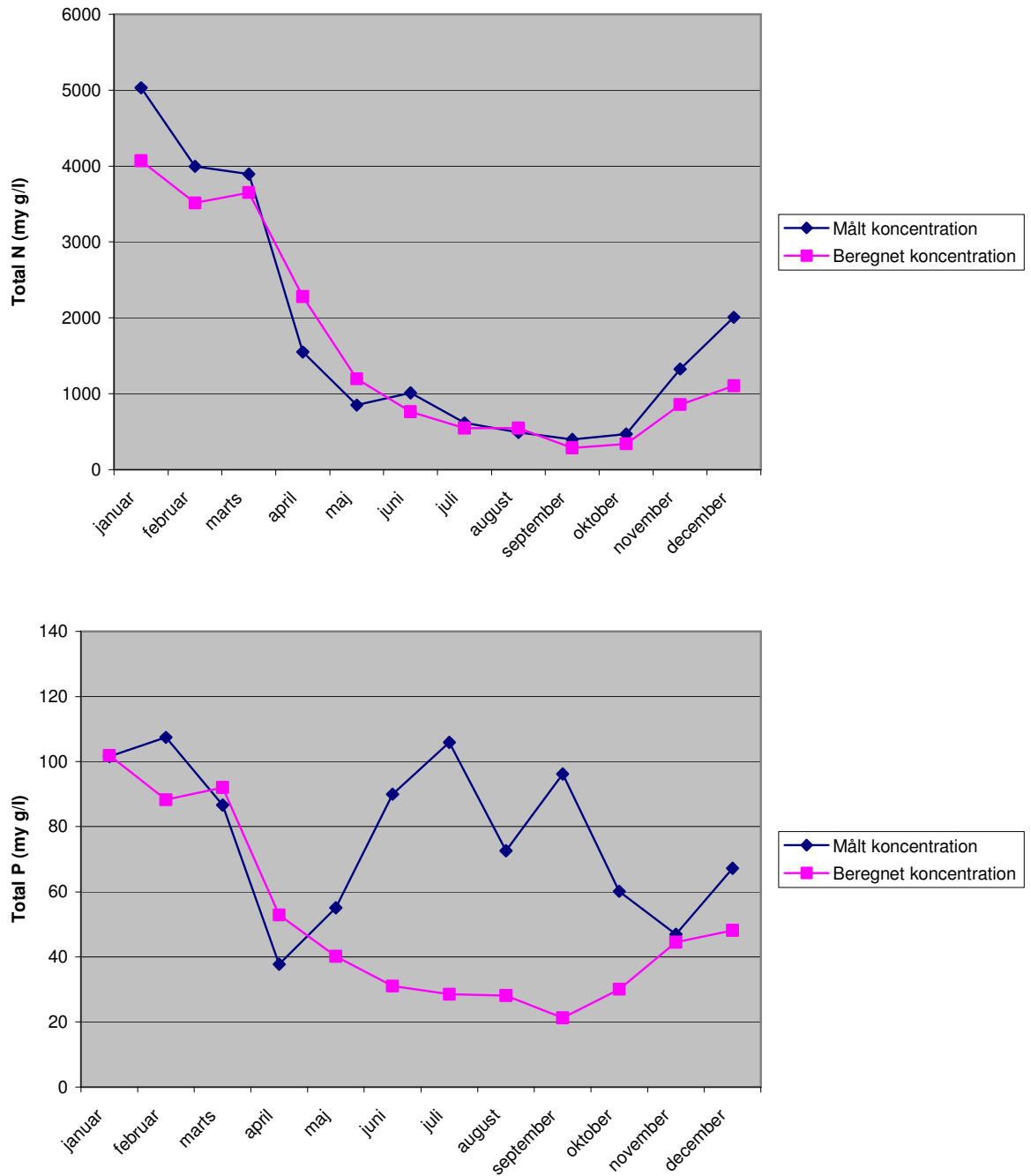
5.1 Metode

For kunne beskrive effekterne af en reduceret belastning til Norsminde Fjord på miljøtilstanden i fjorden vil der under nærværende projekt blive opstillet en økologisk model, der beskriver vandkemi og biologiske forhold i fjorden. Modellen baseres på DHI's FEM model som beskriver forholdene i fjorden i et net i tre dimensioner, DHI(2006). Vertikalt er modellen delt ind i 10 bokse med varierende højde afhængig af dybdeforhold og den aktuelle vandstand.

På nuværende tidspunkt er det kun den del af modellen der beskriver strømningsforholdene, dvs. saltholdigheden, temperaturen, vandstanden og vandets hastighed der er opstillet. Modellen er kalibreret på baggrund af data fra 1992 og efterfølgende opstillet for stoftransport i både 1992 og 2005. Modellen beskriver indstrømning af vand fra Kattegat gennem slusen og tilførslen af vand fra Rævs Å samt blanding og fordeling af de to vandmasser i Norsminde Fjord. Det betyder, at modellen kan anvendes til at beregne koncentrationen af kvælstof og fosfor i fjorden under forskellige belastningsforhold under forudsætning af, at stofferne er

konservative eller med andre ord, at der ikke forekommer nogen udveksling af kvælstof med atmosfæren eller kvælstof og fosfor med sedimentet.

For at få en ide om hvad de manglende processer betyder for resultatet er i figur 5.1 plottet sammenhørende værdier af beregnede og målte koncentrationer af total kvælstof og total fosfor på st. 250032, som er placeret midt i fjorden. Den foreløbige model er i stand til at give et kvalificeret bud på kvælstof koncentrationen i fjorden. Til gengæld underestimerer modellen fosforkoncentrationen i sommerhalvåret hvilket sandsynligvis skyldes en kombination af, at der sker en frigivelse af fosfor fra sedimentet i denne periode og at fosfor tilførslen fra oplandet er underestimeret.



Figur 5.2 Målte og modelberegnete koncentrationer af total kvælstof (N) og total fosfor (P) 2005 i Norsminde Fjord

5.2 Belastningsscenerier

Der er gennemregnet fire scenarier, to som beskriver variationer i naturtilstanden med udgangspunkt i de koncentrationer der blev fundet i østjyske vandløb i upåvirkede områder, et der beskriver ”god økologisk tilstand” med en lille afvigelse og et der

beskriver en 50% reduktion i kvælstof tilførslen. I det sydlige område af Århus Bugt antages koncentrationerne af kvælstof og fosfor i naturtilstanden at have været den samme som de koncentrationer der findes i Skagerak området i dag (Nielsen et al., 2003). I modellen er koncentrationerne i Århus Bugt er således reduceret en smule svarende til 10 års gennemsnittet for koncentrationerne i Skagerak 1970-1999, hvilket dog ikke er væsentligt lavere end de koncentrationer der blev målt i Århus Bugt i 2005.

Scenarie I, Naturtilstand ("lav") - koncentration af total kvælstof 0,63 mg N/l (1,09 – konfidensinterval på 0,46 mg N/l), koncentration af total fosfor 20 µg P/l i tilledningen fra Rævs Å

Scenarie II, Naturtilstand ("høj"), - koncentration af total kvælstof 1,55 mg N/l (1,09 + konfidensinterval på 0,46 mg N/l), koncentration af total fosfor 50 µg P/l i tilledningen fra Rævs Å

Scenarie III, God økologisk tilstand, - koncentration af total kvælstof 1,94 mg N/l (1,55 mg N/l + 25%), koncentration af total fosfor 62,5 µg P/l (50 µg P/l + 25%) i tilledningen fra Rævs Å

Scenarie IV, 50% reduktion i kvælstoftilførslen fra Rævs Å

6. Resultater

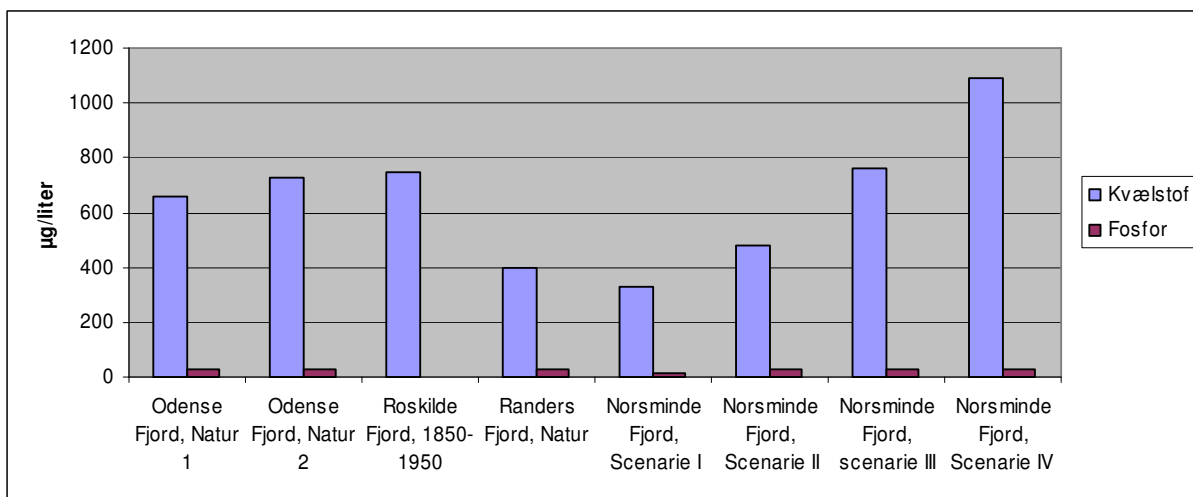
Tabel 6.1 og 6.2 opsummerer resultaterne fra de fire scenariekørsler. Hvis tilførslen af kvælstof reduceres til en tilløbskoncentration på 1,94 mg N/l bliver det resulterende koncentrationsniveau i Norsminde Fjord ca. 760 µg N/l (årsmiddel). På baggrund af erfaringerne fra Odense Fjord kunne der estimeres en referencekoncentration for Norsminde Fjord på 530 µg N/l, hvilket stemmer rimeligt overens med den modellerede "Naturtilstand – høj" på 480 µg N/l (se figur 6.1). Fosfor scenariet er noget sværere at vurdere, fordi denne foreløbige model ikke beskriver udvekslingen med sedimentet. Hvis det, meget groft, antages, at forskellen mellem målte og beregnede fosfor koncentrationer i Norsminde Fjord, figur 5.1, beskriver bidraget fra sedimentet og dette lægges til det koncentrationsniveau, der er fundet for de to scenarier vil de begge resultere i koncentrationsniveauer der ligger inden for det interval på 30-50 µg P/l, der blev fundet nødvendigt for at kunne opnå referencetilstand i inderfjorden af Odense Fjord, Fyns Amt (2003).

	Koncentration Rævs Å (mg/l)	Årlig tilførsel fra Rævs Å (ton)	Resulterende konc. Norsminde Fjord (µg/l)
Eksisterende situation		129 (gsn. 1996-2005)	1600 (2005 niveau)
Scenarie I Naturtilstand (lav)	0,63	14 (89% reduktion)	330
Scenarie II Naturtilstand (høj)	1,09	24 (81% reduktion)	480
Scenarie III God økologisk tilstand	1,94	42 (67% reduktion)	760
Scenarie IV 50% reduktion		65 (50% reduktion)	850

Tabel 6.1 Resultater for scenarieberegninger, total-kvælstof. Årsmidler.

	Koncentration Rævs Å (µg/l)	Årlig tilførsel fra Rævs Å (ton)	Resulterende konc. Norsminde Fjord (µg/l)
Eksisterende situation		2,6 (gsn. 1996-2005)	51 (77)* (2005 niveau)
Scenarie I Naturtilstand (lav)	20	0,4 (83% reduktion)	16 (42)*
Scenarie II Naturtilstand (høj)	50	1,1 (58% reduktion)	26 (52)*
Scenarie III God økologisk tilstand	62,5	1,4 (48% reduktion)	30 (56)*

Tabel 6.2 Resultater for scenarieberegninger, total-fosfor. *inklusive estimeret frigivelse fra sedimentet i løbet af sommeren/sensommeren baseret på figur 5.1. Årsmidler.



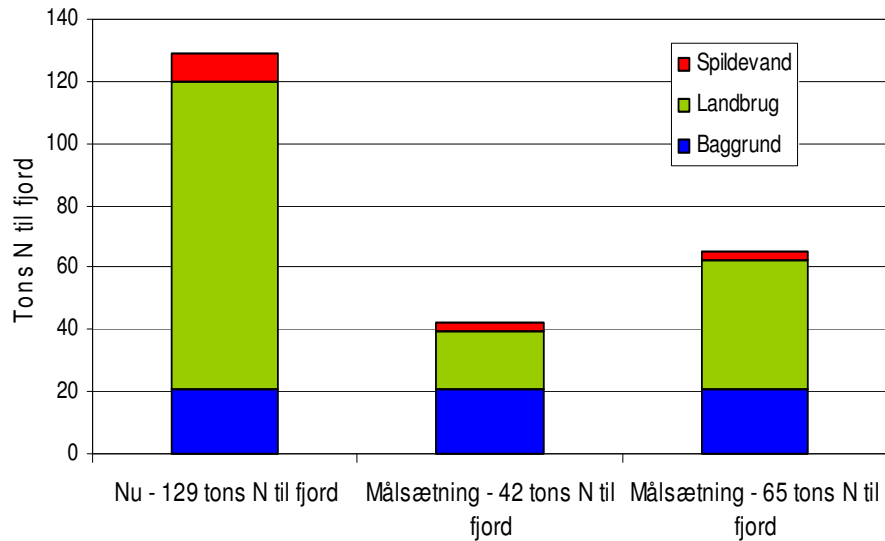
Figur 6.1. Kvælstofkoncentration i danske fjorde i naturtilstand samt ved 4 scenarier i Norsminde Fjord.

6.1 Reduktionsmål

På baggrund af simuleringsresultaterne anbefales det, at kvælstoftilførslen reduceres med 67 % og fosfortilførslen med 50% fra Rævs Å (scenarie III), som bidrager med ca. 90% af vand- og næringsstofftilførslen til Norsminde Fjord. Hermed sikres det, at næringsstoffniveauet i fjorden kun afviger svagt fra referencetilstanden (25% højere end naturscenarie II). Effekten forventes at være en betydelig reduktion af algevæksten både i vandfasen og den fastsiddende vegetation af søsalat og andre enårige alger, mens havgræs og andre blomsterplanter vil gå frem. Muligvis vil kransnålalger kunne genindvandre. Vandet vil blive betydelig mere klart i inderfjorden, som i dag er forringet på grund af planktonalger i vandet. Det er dog ikke muligt på nuværende tidspunkt at beregne den biologiske effekt af næringsstoffreduktionerne.

Hvis scenarie III vælges skal den årlige tilførsel af kvælstof til Norsminde Fjord fra Rævs Å (gennemsnit 1996-2005) nedbringes fra 129 tons N/år til 42 tons N/år. Der vil formentlig ske en reduktion af kvælstof fra spredt bebyggelse på ca. 6,5 tons N/år som følge af forbedret rensning. Dermed er der et reduktionsbehov på ca. 80 tons N/år fra oplandet til Rævs Å, som kun kan hentes ved at tabet af kvælstof fra landbrugsarealerne mindskes og/eller ved etablering af vådområder til kvælstoffjernelse i dræn og langs vandløbene. Med et landbrugsareal på 6073 ha i Rævs Å oplandet svarer reduktionskravet på 80 tons N/år til 13 kg N/ha/år fra de dyrkede arealer (målt i vandløbet). Kvoten for udvaskning til vandmiljøet fra rodzonen vil afhænge af kvælstoffjernelsen mellem rodzonen og vandmiljøet.

Vælges scenarie IV med en 50% reduktion af nuværende tilførsel, som muligvis vil kunne medføre en god økologisk tilstand i Norsminde Fjord, skal tilførslen af kvælstof nedbringes til 65 tons N/år. Det vil medføre et reduktionsbehov på ca. 57 tons N/år fra landbrug i oplandet til Rævs Å (målt i vandløbet) svarende til 9 kg N/ha/år.



Figur 6.2. Nuværende tilførsel af kvælstof til Norsminde Fjord fra Rævs Å og forslag til målsætning for fremtidig tilførsel (scenarie III - 42 tons N/år og IV - 65 tons N/år)

Den årlige tilførsel af af fosfor til Norsminde Fjord fra Rævs Å (gennemsnit 1996-2005) skal nedbringes fra 2,6 tons P/år til 1,4 tons P/år.

I Århus Amts regionplan 2005 er der stillet krav til spredt bebyggelse i oplandet til Norsminde Fjord om maksimal fosforfjernelse fra spildevand svarende til mindst 90% fjernelse. Endvidere må fjorden højst tilføres 0,55 tons P/år fra spildevandsanlæg. Den nuværende belastning fra spredt bebyggelse er fastsat til 1,4 tons P/år og fra spildevandsanlæg 0,7 tons P/år. Med de fremtidige krav til spildevandsrensning i oplandet vil fosfortilførslen til fjorden fra Rævs Å reduceres til ca. 1,1 ton P/år. Hertil skal lægges et bidrag fra det øvrige opland på ca. 0,5 tons P/år, hvilket dog ikke vurderes at være nogen hindring for at nå scenarie III målet på 30 (56)* µg P/l i selve fjorden. Spildevandsrensning kan således i sig selv være nok til at nå scenarie III målet. Det skal dog nævnes, at beregningerne for fosfor dækker dog over en betydelig år til år variation på grund af forskellige nedbørsmængder og usikkerhed på beregningen af den totale fosfortilførsel. Nye målinger med ISCO samplere i 2006 vil forbedre beregningsgrundlaget betydeligt og sandsynligvis vise, at de beregnede fosfortilførsler er underestimerede. Der bør derfor arbejdes på at begrænse især den partikelbundne fosfortransport i vandløbene ved at fokusere på risikoområder for udvaskning af fosfor på dyrkede arealer langs vandløbene i oplandet.

Referencer

Clarke, A., Juggins, S., Conley, D.J., 2003. A 150-year reconstruction of the history of coastal eutrophication of Roskilde Fjord, Denmark. *Marine Pollution Bulletin* 46, 1615 – 1529.

DHI(2006) DHI, MIKE 21 & MIKE 3 Flow model FEM, Short description, 2006.

DMU (2002) Krause-Jensen, Dorte et al. 2002: Næringssaltbegrænsning af makroalger i danske kystområder. Faglig rapport fra DMU nr. 392.

Fyns Amt (2003) Odense Pilot River Basin, Foreløbig Basisanalyse. Vandrammedirektivets artikel 5. Fyns Amt (2003).

Lange(1864) Håndbog i den danske flora. 3. udg. København 1864.

Nielsen, K, Sømod, B., Ellegaard, C., & Krause-Jensen, D., 2003: Assessing reference conditions according to the European Water Frame Directive using modelling and analysis of historical data: An example from Randers Fjord, Denmark. *Ambio* Vol. 32 No. 4, June 2003.

Thomsen (1988) Makroalgevækst i Norsminde Fjord 1986-1987. Specialrapport. Botanisk Institut, Aarhus Universitet.