

Modtager: Fredericia Kommune**Notat**

Notat om mulige miljøeffekter i Lillebælt og tilstødende havområder

Dette notat er udarbejdet for Fredericia Kommune, og giver en vurdering af de mulige effekter på havmiljøet, som følge af udslippet på Fredericia Havn den 3. februar 2016. Analyserne i notatet er foretaget på baggrund af eksisterende viden omkring effekter af kvælstof på havmiljøet.

Stiig Markager

Professor

Dato: 12. maj 2016

Side 1/12

Baggrund og forudsætninger

Onsdag den 3. februar 2016 kollapsede flere tanke, og der udbrød brand i et tankanlæg på Møllebugtvej 7, 7000 Fredericia. Den største tank på 10.000 m³ indeholdt gødningsproduktet N32, En anden kollapsede tank indeholdt gødningsproduktet N16. Det samlede udslip af kvælstof var på ca. 4.750 tons kvælstof*, heraf 4.000 tons fra N32 og 750 fra N16. Ovenstående bygger på notatet 'Foreløbig vurdering af omfanget af udslippet af kvælstof til Lillebælt fra Dan Gødning A/S', Fredericia Kommune 21. april 2016. I tillæg betød den nødvendige afbrydelse af den biologisk rensning på renseanlægget en merudledning på omkring 5 tons N. Dette har dog ikke nogen praktisk betydning i forhold til de øvrige mængder.

I notatet vurderer kommunen at kun ubetydelige mængder er tilbageholdt på land. De ubefæstede arealer udgør kun 4 procent af det berørte område, og disse vil kun delvist og midlertidigt tilbageholde kvælstof. Der er opsamlet mindre mængder vand som er sendt til Ekokems affaldsbehandlingsanlæg i Nyborg, men kvælstofmængden, som på den måde er fjernet, vurderes som ubetydelig. Afgivelse på gasform vurderes også som minimal, pga. at transporten ud i Lillebælt sker inden for minutter og i op til nogle timer. Generelt er temperaturen lav, indtil branden starter, og branden vurderes ikke at starte en væsentlig omdannelse af carbamid til ammoniak eller nitrose gasser.

Kommunens konklusion er at minimum 4000 tons N er tilført Lillebælt. Det må betragtes som et konservativt estimat. På det oplyste grundlag er mængden nok nærmere 4500 tons N, og kan være så høj som 4750 tons N. I det følgende vil udgangspunktet være en tilførsel på 4500 tons N.

* medmindre andet er eksplicit angivet, er alle mængder i notatet angivet som tons rent kvælstof (N), dvs. at der er taget højde for, at det er vandige opløsninger, og at kvælstof kun udgør en del af vægten i gødningen.

Vurdering af udslippet i sammenligning med normale landbaserede kvælstofudledninger

Biotilgængelighed

En afgørende faktor for kvælstofs betydning for havmiljøet er, om det kan optages af alger og indgå i den biologiske omsætning. Uorganiske kvælstofformer som ammonium, nitrit og nitrat er

umiddelbart tilgængelige for planter og for alger. Carbamid (urea) er et organisk molekyle, men amid delen spaltes nemt fra med enzymet urease og kan derefter optages af bakterier og fytoplankton.

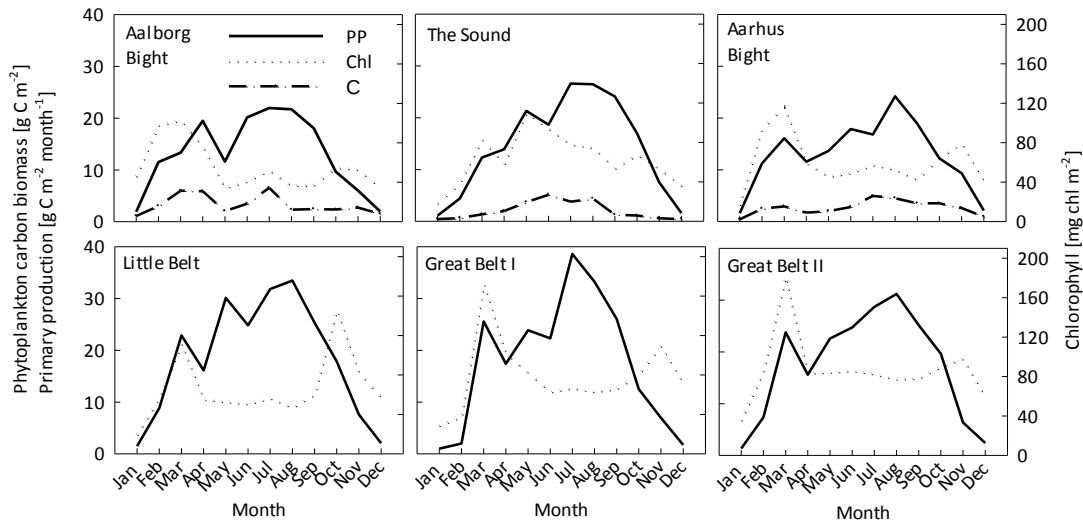
Undersøgelser har vist at carbamid er biotilgængeligt i planktonsamfund, se fx Bradley m. fl. (2010). Det kvælstof som blev tilført Lillebælt ved udslippet må derfor anses for at være 100 procent biotilgængeligt.

Naturligt tilføres havet kvælstof via ferskvand, som atmosfærisk deposition og med havstrømme. Endeligt tilføres kvælstof til havmiljøet når cyanobakterier fikserer kvælstof fra gassen N_2 og ind i organisk stof. Et samlet kvælstofbudget for de indre danske farvande findes i Jørgensen m.fl. (2014). I første omgang er det rimeligt at sammenligne kvælstofudslippet med normale landbaserede tilførsler af kvælstof der udledes sammen med ferskvand til havet.

Landbaserede kvælstoftilførsler indeholder uorganisk kvælstof og kvælstof bundet i forskellige opløste organiske forbindelser (DON). I naturligt vand består DON hovedsagelig af humusforbindelser, og den heri bundne kvælstof er ikke umiddelbart tilgængelig for alger. Et studie fra Horsens Fjords opland viser en fordeling på 81 procent som uorganisk kvælstof og 19 procent som organisk bundet kvælstof (Stedmon m.fl. 2006). I Jørgensen m.fl. (2014) er der argumenteret for, at 35 procent af det organisk bundne kvælstof er biotilgængeligt. Normale landbaserede tilførsler af kvælstof får dermed en biotilgængelighed på 88 procent ($100 \times (0,81 + 0,19 \times 0,35)$). Udslippet fra hændelsen bliver dermed ækvivalent med 5114 tons N, hvis det var et normalt landbaseret udslip ($4500/0,88$).

Sæsonvariation og betydningen af tidspunktet for udslippet

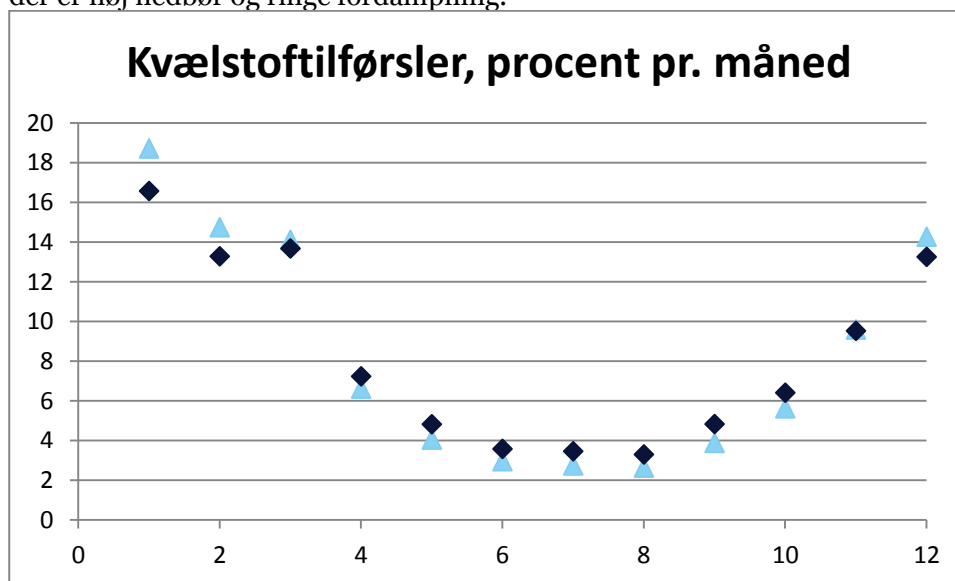
I danske farvande er planktonalgernes vækst begrænset af lyset fra november til januar. I februar begynder der en forårsopblomstring, som i løbet af februar og marts bruger alt tilgængelig fosfor og kvælstof, således at algevæksten i resten af vækstsæsonen frem til og med oktober er næringsstoffebegrænset. I Bælthavet er det typisk fosfor som først bliver begrænsende for algevæksten, men i løbet af få uger vil kvælstof typisk være det mest begrænsende næringsstof og den situation forsætter sommeren igennem. Figur 1 viser fordelingen af algernes vækst og koncentration over året i bl.a. Lillebælt.



Figur 1. Sæsonfordeling af koncentrationen af planktonalger målt som klorofyl (Chl), kulstof (C), samt algernes produktion (PP). Fra Lyngsgaard (2013).

Udslippet den 3. februar sker således omkring en halv til en måned før forårsopblomstringen. En del af kvælstoffet fra udslippet vil således spredes i Bælthavet i omkring 2-4 uger, inden det for alvor indgår i den biologiske omsætning (se nedenfor angående spredning).

Langt hovedparten af de normale landbaserede tilførsler sker i vinterhalvåret, hvor der er høj nedbør og ringe fordampling.



Figur 2. Procentvis fordeling af den landbaserede kvælstoftilførsel gennem året for de indre danske farvande over årene 1990 til 2012 (sum=100%). Kvælstoftilførslerne (grønne symboler) følger ret nøje afstrømningen af ferskvand (blå symboler), dog med lidt lavere kvælstofkoncentrationer om sommeren, hvor planterne på land især er aktive.

Hovedparten (48 procent) af den normale tilførsel fra land sker i månederne oktober til januar, hvor algevæksten hovedsagelig er lysbegrænset. Det er rimeligt at antage, at den anden halvdel af kvælstoftilførslerne, som sker fra februar til september, har en større effekt på miljøet, end den halvdel som sker uden for vækstsæsonen. Tidspunkt for udslippet er således lige før vækstsæsonen starter, og kvælstoffet fra udslippet har derfor sandsynligvis en kraftigere negativ miljøeffekt end den gennemsnitlige effekt for normale landbaserede kvælstoftilførsler, set over et helt år. Det er dog ikke muligt at kvantificere denne forøgede effekt uden en nærmere analyse.

Udslippets størrelse set i forhold til de normale landbaserede tilførsler

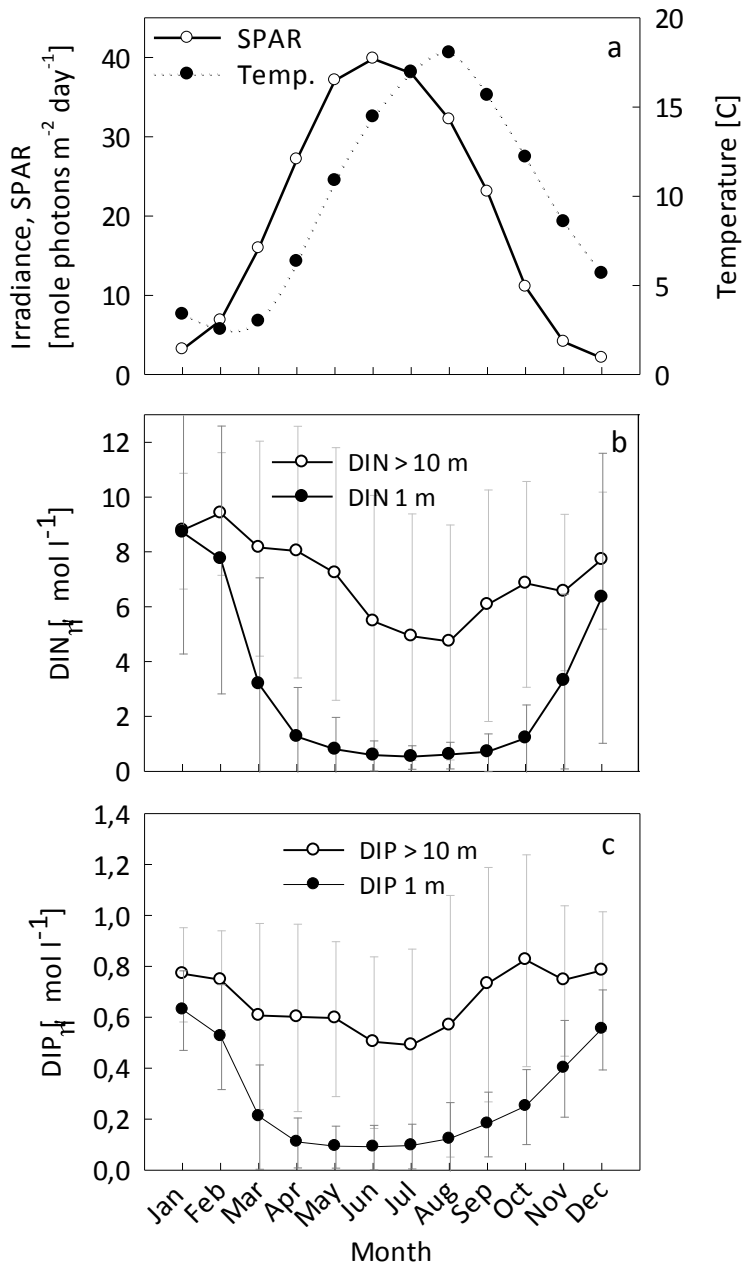
De danske landbaserede tilførsler ligger i øjeblikket omkring c 57.000 tons N pr. år. Udslippet udgør således 9 procent af det årlige udslip. En betydelig del af de samlede danske tilførsler sker dog til Nordsøen, Skagerrak, Limfjorden, Kattegat og Øresund, dvs. områder som ligger relativt langt væk fra Lillebælt med omgivende områder. I tabellen er angivet det årlige udslip for fem forskellige områder og det aktuelle udslips størrelse i procent af disse.

	2. ordens* farvandsområder	Middelttilførsel, 2008 til 2012 (tons N pr. år)	Udslip i procent af årlig tilførsel
Hele Danmark	Alle	57.222	9 %
Indre farvande	31-89, + østlige Limfjord (3. ordens* >=164)	26.824	19 %
Vestlige Bælthav	33, 34, 41-59, 81	10.171	50 %
Lillebælt	51-59	5.517	93 %
Centrale Lillebælt	51-55	3.871	132 %
De marine områder i Danmark er opdelt i 1. til 4. ordens farvandsområder (stigende detaljering) og tilførsler af kvælstof, fosfor og vand er opgjort separat for hvert område.			

Den mest relevante sammenligning er til de Indre Farvande, Vestlige Bælthav og Lillebælt, dvs. at udslippet udgør henholdsvis c 20, 50 og 100 procent af det årlige udslip.

Udslippets miljøeffekter

Udslippets negative miljøeffekter kommer fordi algevæksten i danske farvande er begrænset af næringsstoffer fra februar-marts og frem til oktober.



Figur 3. Årlig variation i lys, temperatur, uorganisk kvælstof og fosfor for 6 stationer i Kattegat og Bælthavet, herunder Lillebælt. Planktonalgers vækst anses for næringsstofbegrænset når DIN (uorganisk kvælstof) koncentrationen er under $2 \mu\text{mol liter}^{-1}$ og/eller $0,2 \mu\text{mol liter}^{-1}$ for DIP (uorganisk fosfor). Efter Lyngsgaard 2013.

En højere algevækst sætter gang i en kaskade af negative miljøeffekter som under ét betegnes som eutrofiering. Effekterne består i mere uklart vand, tab af undervands-

vegetation (især ålegræs), tab af lokale bestande af bunddyr og fisk samt iltsvind. Tilførsler af kvælstof har en umiddelbar og en langsigtet effekt. Den umiddelbare effekt er en stimulering af algevæksten (primærproduktionen) i den øvre belyste del af vandsøjlen (se nedenfor omkring struktur i vandsøjlen). Højere niveauer af næringsstoffer giver ofte anledning til større fluktuationer i det biologiske system i de fri vandmasser. I de frie vandmasser er organismerne små, ofte mikroskopiske, og har potentielt høje vækst- og tilhørende tabsrater. En potentiel fordobling af biomassen pr. dag er almindelig for mange organismer. Normalt er der en kraftig ressource begrænsning (lys, kvælstof eller fosfor), men når den sættes fri, kan enkelte arter pludselig dominere voldsomt. Derfor ses generelt større og mere specielle algeopblomstringer, når der er rigelighed af næringsstoffer. En række algearter kan i høje koncentrationer skabe miljøproblemer, idet de kan være giftige, herunder gøre fx muslinger giftige, eller forårsage problemer med skum eller meget uklart vand og deraf følgende dårlig badevandskvalitet.

Når algevæksten stimuleres (højere primærproduktion) dannes der mere organisk stof som nu indeholder det tilførte kvælstof. Det organiske stof er i første omgang bundet i partikler, men senere omdannes dele af det til opløst organisk stof. Partiklerne synker ned på havbunden, hvor der akkumuleres organisk stof – mudder – som indeholder en del af det tilførte kvælstof. Det vil langsomt frigives som uorganisk kvælstof over måneder og år, og igen stimulere algevæksten. Kvælstoffer vil cirkulere i det biologiske system i en længere periode, indtil det gradvist transporteres væk med havstrømme eller tabes ved nitratånding (denitrifikation). Fra tidligere analyser af fjorde ved vi, at kvælstof som tilføres fjorde påvirker miljøet i 8 til 10 år. Det er usikkert, hvor længe den effekt er i Bælthavet. Bælthavet er et større system end en fjord, hvilket burde give en længerevarende effekt. Omvendt er Bælthavet et gennemstrømningsfarvand, hvor næringsstoffer eksporteres primært nordpå til Kattegat. Området har det man kalder estuarin cirkulation, dvs. at overflade og bundstrøm normalt har hver sin retning. Det betyder, at selvom kvælstoffet transporteres nordpå i overfladen, vil optagelsen i alger, og den efterfølgende sedimentation ned i det sydgående bundvand betyde, at kvælstof tilbageholdes i området selvom der en gennemstrømning af vand. Konklusionen er at et kvælstofudslip af denne størrelse, en 50-100 procent forøgelse af den normale årlige tilførsel, med stor sandsynlighed vil have både kortsigtede (i 2016) og længerevarende miljøeffekter, måske 8 til 10 år frem i tiden.

Kvantificering af effekten

En kvantificering af miljøeffekterne er vanskelig og kun delvist muligt uden i nøje analyse af data. Som anført er forudsætningerne for dette notat, at det udarbejdes på det eksisterende faglige grundlag. Det bedste grundlag vurderes, at være det analysearbejde som Aarhus Universitet lavede som det faglige grundlag for 2. generation af Vandområdeplaner. Her er der lavet statistiske analyser af sammenhænge mellem kvælstoftilførsler og tre indikatorer som beskriver miljøtilstanden; total kvælstof koncentration, algebiomasse målt som klorofyl koncentration og vandets klarhed målt som lyssvækkelseskoefficienten for vandsøjlen. Dette arbejde omfatter 28 stationer i

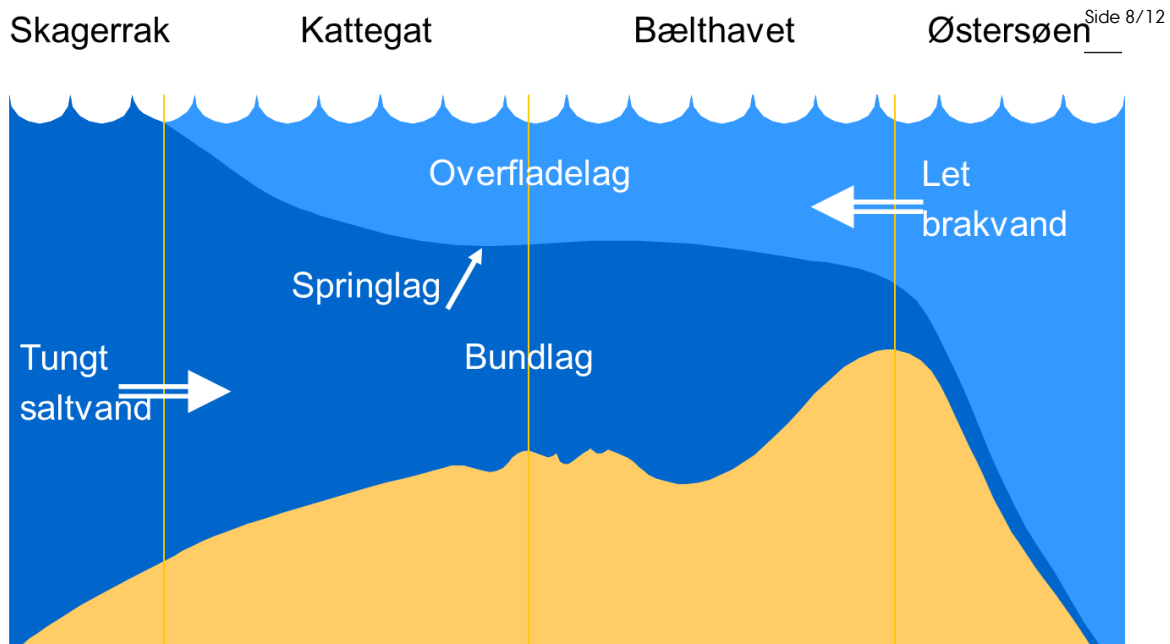
danske farvande, hvoraf en af dem er i Lillebælt. I tabellen nedenfor er angivet koefficienterne (procent ændring i indikator pr. procent ændringer i kvælstoftilførsler). Endvidere er beregnet en forventet ændring ved tre forskellige niveauer af udslippets andel af den samlede årlige tilførsel.

Koefficienter for sammenhænge mellem den landbaserede kvælstoftilførsel og tre indikatorer for den marine miljøtilstand samt de beregnede effekter af udslippet som procent ændring fra den nuværende normalværdi.								
	Koefficient (procent ændring pr. procent ændring i kvælstoftilførsel)*		Procent ændring ved 20 % af årligt udslip		Procent ændring ved 50 % af årligt udslip		Procent ændring ved 100 % af årligt udslip	
	Lillebælt	Indre farvande	Lillebælt	Indre farvande	Lillebælt	Indre farvande	Lillebælt	Indre farvande
Total kvælstof** koncentration	0,74	0,68	15 %	14 %	37 %	34 %	74 %	68 %
Algebiomasse målt som klorofyl koncentration	0,48	0,48	10 %	10 %	24 %	24 %	48 %	48 %
Lyssvækkelse i vandsøjlen	0,22	0,07	4,4 %	1,4 %	11 %	3,5 %	22 %	7 %
* Koefficienterne er fra arbejdet med det faglige grundlag for 2. generation af Vandplaner (Vandområdeplaner). Metoden er beskrevet i Timmermann et al. 2015. ** Total kvælstof er summen af alle kvælstoffraktioner.								

Umiddelbart viser beregningerne at total kvælstof koncentrationen stige med mellem 14 og 74 %, at algekoncentrationen vil stige med mellem 10 og 48 procent og at lyssvækkelsen vil stige med mellem 1,4 og 22 %. Der må dog tages en række forbehold, i det beregningsmetoden er udviklet ud fra data for variationer i de normale landbaserede tilførsler. Modellerne bag beskriver således de sammenhænge som gælder, når kvælstoftilførslerne ændrer sig over en årrække. En enkeltstående hændelse, som det aktuelle udslip, kan have andre miljøeffekter.

Udslippets indlejring i vandsøjlen og miljøeffekter

Vandsøjlen i Lillebælt består af to adskilte vandmasser (se figur). Øverst er et lag af lav-salint vand fra Østersøen med en massefylde på ca 1010 kg m⁻³. Nedenunder findes et tungere lag af vand fra Nordsøen med en massefylde på ca 1025 kg m⁻³.



Figur 4. Skematisk figur af vandmasserne i de indre danske farvande.

Gødningsudslippet havde i udgangspunktet en densitet på 1320 kg m^{-3} , dvs. væsentlig tungere end vandet i Lillebælt. Det tilsiger at udslippet er sunket til bunds og har lagt sig som et lag hen over bunden. Antagelig er der dog sket en vis opblanding med havvand så densiteten gradvist er blevet lavere, men det er vanskeligt at vide, hvor i vandsøjlen udslippet er indlejret.

Miljøeffekterne af udslippet afhænger i høj grad af, hvor i vandsøjlen udslippet er indlejret. Hvis udslippet primært er tilført bundlaget, vil det ikke umiddelbart stimulere algevæksten, da der ikke er lys nok til en væsentlig algevækst i bundlaget. Der kan dog ske en vis algevækst lige under overgangen fra let til tungt vand (Lyngsgaard m.fl. 2014). I den situation vil kvælstoffet fra udslippet primært føres sydpå, hvorefter det langsomt vil blandes op i den øverste belyste del af vandsøjlen. Eventuelt vil det dukke op langs kysten eller i fjorde når fx længere varende kraftig fralandsvind trækker bundvandet ind mod land og dermed op til overfladen. I den situation kan man forvente algeopblomstringer og alvorlige miljøeffekter syd for udslippet i det Sydlige Lillebælt, Sydfynske Øhav og den Vestlige Østersø. Effekterne vil antagelig først vise sig i løbet af sommeren og måske først de følgende år. Til gengæld kan de blive alvorlige med øget forekomst af fx iltsvind i de i forvejen sårbare områder i det Sydlige Lillebælt. Det kan også vise sig meget lokalt, dvs. at nogle områder ikke påvirkes, mens andre områder påvirkes kraftigt når det nu meget næringsrige bundvand kommer op i den belyste zone.

Hvis udslippet hurtigt er blandet op og dermed primært tilført overfladelaget, vil det hovedsagelig føres nordpå til det Nordlige Bælthav og Kattegat. Miljøeffekterne vil være en kraftig algeopblomstring i foråret/forsommeren, med mindre kvælstoffet er

transporteret helt op i det Nordlige Kattegat og Skagerrak før forårsopblomstringen af alger er startet. I det omfang kvælstoffet indgår og forstærker forårsopblomstringen, vil de synke ud og ende i bundvandet over tid, hvorefter en del igen vil transporteres sydpå.

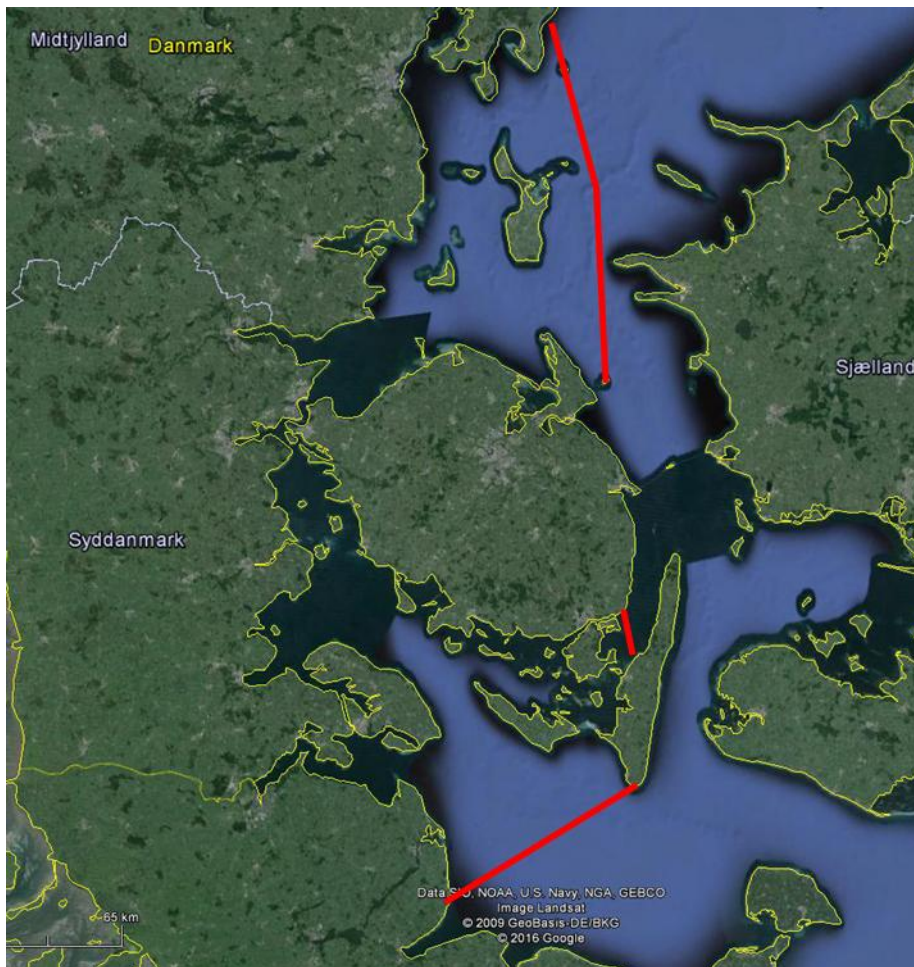
Et særligt forhold er, at hvis udslippet forårsager iltsvind, vil dette starte en yderligere frigivelse af næringsstoffer fra bunden. Havbunden indeholder store mængder kvælstof og fosfor, som, så længe den øverste zone af havbunden er iltet, bliver liggende. Hvis den overliggende vandmasse bliver iltfri, forsvinder ilten også i den øverste del af havbunden. Det starter en række kemiske processer som frigør store mængder næringsstoffer til vandsøjlen. Potentielt kan udslippet således starte en kædereaktion, som yderligere forværre miljøtilstanden.

Betydning af andre faktorer

En række andre faktorer vil påvirke de miljøeffekter som kan forventes, herunder især vejrforhold og andre kvælstoftilførsler.

De aktuelle vejrforhold påvirker havets miljøtilstand. Især er forekomsten af iltsvind påvirket af vejret. Længere perioder med varmt og stille vejr vil forstærke forekomsten af iltsvind. Omvendt vil køligt og blæsende vejr tilføre ilt til bundvandet, reducere algevæksten og mindske bundens iltforbrug. Da man ikke kan forudsige vejret, er dette dog uden betydning for selve risikovurderingen, idet varmt og stille vejr er en mulighed, og der dermed er en risiko for at udslippet vil forværre en i forvejen problematisk miljøsituation.

Som nævnt ovenfor tilføres kvælstof også fra andre kilder, herunder især fra Østersøen, Skagerrak og fra atmosfæren. På baggrund af resultaterne i Jørgensen m.fl. (2014), og en efterfølgende opsplittning af landbaserede tilførsler på lande, kan vi beregne, at de danske landbaserede tilførsler udgør c 16 % af de biotilgængelige tilførsler for hele Kattegat og Bælthavet. På den baggrund vil udslippets effekt være begrænset, da en 20 procents forøgelse (udgangspunkt; tilførslerne til Indre farvand) kun vil forøge de samlede tilførsler af biotilgængeligt kvælstof til hele området med omkring 3 procent. Resultater fra et modelstudie med en dynamisk økosystemmodel (Maar m.fl. 2016) viser dog en betydelig effekt af danske udledninger tæt på (5-15 km) fra de danske kyster. Samme resultat er fundet i statistiske analyser af sammenhænge mellem danske landbaserede tilførsler og indikatorer for miljøtilstanden i havet (fx Lyngsgaard m. fl. 2014). Det er derfor rimligt at konkludere, at tæt på udslippet, i et område som omfatter den Vestlige Østersø, Sydfynsk Øhav, Lillebælt og Bælthavet mellem Fyn og Djursland, er der en betydelig risiko for alvorlige miljøeffekter.



Figur 5. Kort som viser det område, hvor der er en betydelig risiko for alvorlige miljøeffekter.

Handlemuligheder

Det er ikke muligt at fjerne kvælstoffet fra havmiljøet. Ligeledes vurderes det ikke som praktisk muligt at gennemføre andre tiltag som kan afhjælpe de negative miljøeffekter, fx ved iltning af bundvand eller andet. Eneste praktiske afhjælpning, er tiltag som nedsætter andre udslip af kvælstof fra land, men dette vurderes heller ikke som realistisk, også fordi de fleste tiltag på land har en blivende karakter, fx i form af en ændret arealanvendelse. Man kan dog overveje om der er fremkommelige muligheder.

I forbindelse med den øgede risiko for algeopblomstringer bør man overveje en skærpet overvågning af badevandkvaliteten i området og eventuelle forekomster af giftige alger, som fx kan påvirke anvendelsen af muslinger fra området. Generelt er det vigtigt at have en intensiv miljøovervågning i området, hvis man ønsker at kunne dokumentere sammenhænge mellem udslippet og mulige negative miljøeffekter.

Samlet vurdering

På det foreliggende grundlag vurderes det, at kvælstofudslippet den 3. februar 2016 havde et meget betydeligt omfang, som medfører en risiko for alvorlige miljøeffekter i det marine miljø. Hvor vidt denne risiko vil udmønte sig i konkrete negative miljøeffekter afhænger af vejr og strømforhold hen over sommeren 2016, som i sagens natur er ukendte. Herudover afhænger miljøeffekterne af de uafklarede forhold omkring, hvor i vandsøjlen kvælstoffer er indlejret og derefter spredt. De mulige negative miljøeffekter består i mere uklart vand, højere koncentrationer af planktonalger i vandet, et mere ustabilt økosystem med potentielt generende algeopblomstringer, forøget udbredelse af iltvind i tid og rum samt negative effekter på bestande af ålegræs og lokale bestande af fiske og muslinger. En række af disse forhold, herunder specifikt forekomsten af ålegræs og dermed vandets klarhed og koncentrationen af planktonalger, er indikatorer for Danmarks opfyldelse af EU's Vandrammedirektiv. Da Danmark i dag ikke opfylder Vandrammedirektivets krav til 'god økologisk tilstand' i de berørte områder, er der behov for forbedringer i miljøtilstanden. Udslippet betyder derfor at Danmark er længere fra at opfylde miljømålene i Vandrammedirektivet. For at sætte udslippet i perspektiv, svarer de 5114 tons N til halvanden gang lempelserne i Landbrugspakken i 2016 og 86 procent når lempelserne i Landbrugspakken er fuldt implementeret i 2021. Det er således rimligt at fastslå, at udslippet er en hændelse med nationale implikationer for havmiljøet.

Baggrund for dette notat

Dette notat er udarbejdet på baggrund af Fredericias Kommunes dokumenter om hændelsen og eksisterende litteratur om sammenhænge mellem næringsstofftilførsler og miljøtilstand i havet. Data for kvælstofftilførsler til 2. ordens farvandsområder stammer fra 2013. En dybere analyse af problemstillingen med analyser af de konkrete data, ligger ud over nærværende notats rammer. Forholdet omkring hvordan kvælstof er indlejret i vandsøjlen, vil kræve analyser af overvågningsdata for 2016 og eventuelt anvendelse af dynamiske spredningsmodeller som beskrevet i tilbud til Fredericia Kommune den 25. april 2016.

Referencer

- Bradley, P.B., M. Sanderson, M. E. Frischer, J. Brofft, M. G. Booth, L.J. Kerkhof, D.A. Bronk (2010)
Inorganic and organic nitrogen uptake by phytoplankton and heterotrophic bacteria in the stratified Mid-Atlantic Bight. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **88**, 429-441.
- Lyngsgaard, M. Vertical distribution of pelagic photosynthesis – implications for marine ecosystem dynamics. Ph.D. afhandling. 2013.
- Lyngsgaard, M.M., S. Markager & K. Richardson (2014) Changes in the vertical distribution of primary production in response to land-based N-loading. *Limnology and Oceanography* **59**, (5) 1679-1690.
- Jørgensen, L., S. Markager & M. Maar (2014) On the importance of quantifying bioavailable nitrogen instead of total nitrogen. *Biogeochemistry* **117**, 455-472. doi: 10.1007/s10533-013-9890-9.

Maar, M., S. Markager, K. S. Madsen, J. Windolf, M. M. Lyngsgaard, H. E. Andersen, E. F. Møller. (2016) The importance of local versus external nutrient loads for Chl a and primary production in the Western Baltic Sea. *Ecological Modelling*, **320**, 258-272.

Stedmon, C.A., S. Markager, N.H. Borch, A. Laubel, M. Søndergaard, T. Vang & A. Windelin (2006) Dissolved organic matter (DOM) export to a temperate estuary: Seasonal variations and implications of land use. *Estuaries and Coasts*, **29**, 388-400.

Timmermann, K., J. Christensen, C. Murray & S. Markager (2015) Modeller for Danske Fjorde og Kystnære Havområder – del 3.

Henviisning til Fredericia Kommunes dokumenter om sagen.

<http://www.fredericia.dk/OmKommunen/Sider/Nyheder/2016/03/Haendelse-den-3--februar-paa-havnen.aspx>

Notatet er udarbejdet af Stiig Markager, Professor, Aarhus Universitet

Kvalitetskontrol: Seniorforsker Marie Maar

Layout: Charlotte Hvid

Til Fredericia Kommune
ved Henrik Melchior Olsen

Opfølgning på notat af 12. maj om effekter på havmiljøet

I forlængelse af vores telefonsamtale onsdag den 18. maj og efterfølgende korrespondance via mail, fremsendes her konklusionerne, der kan vedlægges mit notat af 12. maj.

Spørgsmålene er fremkommet under et møde mellem Fredericia Kommune og Miljøstyrelsen.

Spørgsmål 1:

Hvad ligger der i udtrykket "fremkommelige handlemuligheder", der fremgår som det sidste punktum i afsnittet om handlemuligheder?

Din udlægning af samtalen ifølge din mail af 18. maj:

- *Jeg forstod på vores samtale, at det refererede til de handlemuligheder, der kan være på land i.f.t. såvel de permanente som midlertidige handlemuligheder. I forhold til de permanente handlemuligheder nævnte du som eksempler skovrejsning og etablering af vådområder samt muligheden for fremskynding af allerede planlagte projekter i de relevante oplande. Med hensyn til de midlertidige pegede du bl.a. på midlertidige krav til randzoner, gødskning og efterafgrøder i de relevante oplande.*

Mine uddybende kommentarer:

Din fremstilling er helt korrekt. Når det er relevant at skelne mellem permanente og midlertidige handlemuligheder på land, skyldes det, at det bør ses i forhold til omkostninger og i sammenhæng med en mulig håndtering af kvælstof fremadrettet. I forhold til mit oprindelig notat, bør det tilføjes, at der er en række relevante handlemuligheder på land. Man kan fx beslutte, at man vil kompensere for udslippets miljøeffekter i havet ved, fx over 5 år og inden for det område som er markeret i notatet, at indføre tiltag, som reducerer tilførslerne med den samme mængde kvælstof som kom ud ved udslippet. Midlertidige tiltag kan fx være krav om efterafgrøder, randzoner,

Department of Bioscience,
Applied Marine Ecology and
Modelling

Stiig Markager

Professor

Dato: 25. maj 2016

Direkte tlf.: +4587158582

Mobiltlf.: 61710081

E-mail: ssm@bios.au.dk

Web: <http://au.dk/ssm@bios>

Afs. CVR-nr.: 31119103

Side 1/2

nedsatte gødningsnormer og braklægning. Tiltag som uden en større engangsomkostning kan indføres og afvikles igen. Der vil selvfølgelig være et tab i form af tabt produktion, som kan beregnes til mellem 250 millioner og 1.500 millioner kroner ved en pris på 50 til 300 kr. pr. kg N.

Spørgsmål 2:

Det andet spørgsmål, der ønskedes en uddybning af var, hvorvidt der kan være en mulig risiko for en negativ påvirkning af havmiljøets tilstandsklasser?

Din udlægning af samtalen ifølge din mail af 18. maj:

- *Jeg forstod på dig, at udslippet kan udgøre en risiko for havmiljøets eksisterende tilstandsklasser, men at du ikke på det foreliggende grundlag kan sige noget konkret om, hvorvidt en sådan påvirkning rent faktisk vil indtræde eller, hvor og hvornår det i givet fald kan ske.*

Med hensyn til det andet spørgsmål, så er det korrekt refereret. Der er en risiko for en forringelse af miljøtilstanden i havet, som kan betyde et fald til en lavere tilstandsklasse, som defineret med udgangspunkt i EU's Vandrammedirektiv. En konkret beregning bør inkludere data fra alle stationer i de berørte områder, og med de nyeste data.

Venlig hilsen



Stiig Markager
Professor

Fredericia Kommune
ved Mette Schjødt

Vedrørende brev af 13. juni med bilag fra Morten Jakobsen fra advokat firmaet Jon Palle Buhl til Fredericia Kommune

Hermed kommentarer til brev vedrørende udslip af nitrogen fra Dan Gødning A/S. Der er kun kommenteret på de forhold som vedrører effekter på det marine miljø og som relaterer sig til mit notat af 12. maj og mail af 25. maj.

- 1) – side 4 (sidenumre henviser til Morten Jacobsens brev)

Mit notat af 12. maj er en konkret vurdering af forholdene og de mulige effekter i de berørte havområder (se kort i notat af 12. maj). Det er forkert når Morten Jakobsen skriver, at notatet er 'en abstrakt analyse baseret på lærebøger'. Der indgår ikke referencer til lærebøger i notatet, men derimod referencer til seks originale videnskabelige artikler med fagfælle bedømmelse (peer review). Alle seks artikler er forskning fra netop det område som er berørt, og alle seks er publiceret i velrenommerede internationale tidsskrifter. Notatet er således baseret på den nyeste forskning fra det relevante område. Kun den syvende af referencerne (Bradley m.fl. 2010) er forskning som er foretaget uden for området. Den artikel beskriver planktonalgens optagelse af forskellige former for nitrogen, herunder carbamid, som netop er relevant i denne sammenhæng. Referencen er medtaget for at dokumentere det forhold, at carbamid er biotilgængeligt. Det virker som om at Morten Jakobsen mangler indsigt i naturvidenskabelig metodik, idet naturvidenskab – i modsætning til jura – er universel, dvs. at en erkendelse om fx planktonalgens fysiologi fra et sted i verden, *a priori* må antages også at gælde andre steder, med mindre man har argumenter for det modsatte. Dette er forståeligt, i det Morten Jacobsens fagområde ikke omfatter miljøet ifølge firmaet Jon Palle Buhls hjemmeside (reference: <http://www.jpb.dk/Jakobsen%2c-Morten-Boe-.19.aspx>), og Morten Jakobsen derfor ikke kan forventes at kende til principperne i naturvidenskabeligt arbejde.

Vedrørende anvendelse af data, så er notatets beregninger baseret på udtræk af data for nitrogentilførsler til netop de berørte områder. Endvidere er der anvendt to sæt koefficienter for sammenhænge mellem nitrogentilførsler og miljøeffekter, som er taget fra en nylig afsluttet analyse (se reference til Timmermann et al. 2015 i mit notat) af netop nitrogens betydning for havmiljøet i

Department of Bioscience,
Applied Marine Ecology and
Modelling

Stiig Markager

Professor

Dato: 24. juni 2016

Direkte tlf.: +45 87158582
Mobiltlf.: 61710081
E-mail: ssm@bios.au.dk

Web: <http://au.dk/ssm@bios>

Afs. CVR-nr.: 31119103

Side 1/5

danske farvande. Det ene sæt koefficienter er for Lillebælt, dvs. så konkret som muligt. Det andet sæt er et gennemsnit for de indre farvande. Dette sæt koefficienter er medtaget, fordi det berørte område omfatter store dele af de indre farvande. Desuden er det god videnskabelig praksis at sammenligne værdier for et enkelt område (her Lillebælt) med et bredere gennemsnit, således at man sikrer, at konklusionen er almen gyldig, og at en eventuel variation mellem områder kan vurderes.

Samlet fastholder jeg derfor, at notatets konklusioner er baseret på data og konkrete analyser fra det berørte område, på den nyeste internationale forskning, hvoraf langt det meste er netop fra området, samt fra 19 års erfaring med marin økologi i danske farvande.

2) – side 5

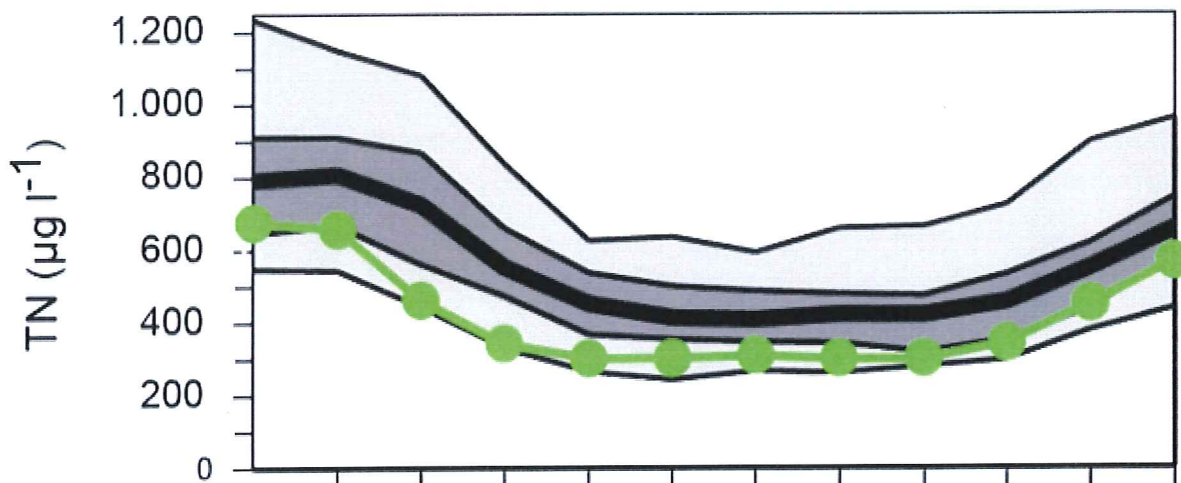
Det forhold, at de meget høje koncentrationer af nitrogen, som ifølge Naturstyrelsens notat blev målt på nogle stationer umiddelbart efter ulykken, nu er tilbage på normalt niveau, kan ikke tolkes som gjort af Morten Jakobsen. Bio-tilgængeligt nitrogen optages netop af planktonalger, og dermed falder koncentrationen i vandet. Nitrogen er nu indbygget i algerne, eller sedimenteret ud af vandsøjlen, men er stadig tilstede i miljøet, og har startet den kaskade af processer (eutrofiering) som giver miljøproblemer. Faldet i koncentrationer skyldes også spredning af nitrogen med vandstrømme, og dermed at nitrogenen nu er spredt over et større område (se kort i notat af 12. maj). Der er således ikke belæg for at sige, at nitrogenen nu er forsvundet fra området, som påstået af Morten Jakobsen.

3) Nederst side 5 – tolkning af fraktiler

Morten Jakobsen henviser til Naturstyrelsens notat og de grafer som er vist i dette. Disse grafer viser de aktuelle målinger efter udslippet i forhold til en median værdi samt 10 og 90 procent fraktiler af alle tidligere målinger, dvs. helt tilbage til 1980'erne. Morten Jakobsens synspunkt er, at da de aktuelle målinger ikke altid ligger højt, fx over 90 procent fraktilen, er effekten af udslippet begrænset. Her overser Morten Jakobsen at graferne viser median og fraktiler baseret på alle tidligere data. Da kvælstoftilførslerne til området er faldet med omkring 50 procent siden 1980'erne (se fx årlige rapporter om tilførsler fra NOVANA programmet), og koncentrationerne i havet, herunder Lillebælt, er faldet tilsvarende, er forventningen til en koncentration i 2016 ikke medianværdien, men nærmere omkring 25 procent fraktilen. De målte koncentrationer i området er derfor exceptionelt høje, hvilket netop giver anledning til at antage, at udledningen vil have alvorlige miljøeffekter. Heraf følger også, at Morten Jakobsens påstand om at 2,4 ud 24 målinger kan forventes at ligge over 90 procent fraktilen, ikke er gyldig i 2016. Dette forhold er illustreret på vedlagte figur (Marine Områder 2014, NOVANA, Hansen (red.) 2015), som viser koncentrationen af total nitrogen i fjorde og kystnære

områder over året (januar til december). De grønne punkter er målte værdier for 2014, og de øvrige linjer er henholdsvis højeste værdi, 75 procent fraktil, middelværdi, 25 procent fraktil og lavest målte værdi. Det ses, at i 2014 var værdierne generelt fra 25 procent fraktilen og ned til den lavest målte værdi siden målingerne startede. Dvs. at forventningen for 2016 nærmere ligger omkring 10 fraktilen.

Side 3/5



4) Side 6

Her anfører Morten Jacobsen at der ikke er belæg for, at en kraftig forårsopblomstring af alger og tidligt iltvind i området, kan henføres til udslippet, således som det er vurderet af Naturstyrelsen og Fredericia Kommune. Til det er der kun at sige, at netop de effekter, altså en kraftig algevækst og deraf følgende iltvind, præcist er de effekter man må forvente i et marint økosystem, når man tilfører store mængder let omsætteligt nitrogen.

5) Side 6

Morten Jacobsen anfører igen, at mit notat fra 12. maj skulle være 'en teoretisk gennemgang'. Det er uklart hvad der ligger i 'teoretisk', men hvis det er et retorisk forsøg på at nedgøre min analyse, virker det malplaceret. Som nævnt ovenfor er mit notat baseret på aktuelle data og analyser fra det konkrete område, og, selvfølgelig, på den relevante teoretiske viden om marine økosystemer.

6) Side 7

Morten Jacobsen skriver, at mine analyser af strømforhold er 'en forsimpning og en forenkling' og konkluderer, at de er 'uegnet til anvendelse i en konkret sag'. Det er helt korrekt, som også beskrevet i mit notat af 12. maj, at beskrivelsen af strømningsforholdene er en beskrivelse af de generelle havstrømme i området. Andet er ikke muligt uden en modelanalyse, når direkte målinger under udslippet ikke findes. Hvorvidt det så kan anvendes i en forvaltningsmæssig sammenhæng, skal jeg ikke vurdere. Det er ikke korrekt, som Morten

Jacobsen anfører, at man ikke kan beregne, hvordan udslippet er spredt i havet. Som beskrevet i mit notat af 12. maj kan man lave den type beregninger med 3D-modeller for hydrodynamikken i området. Den type beregninger er standard, men tager tid. I mit notat er beskrevet hvilke usikkerheder som er knyttet til den type beregninger, og hvilke forhold man bør tage i betragtning.

Side 4/5

7) Side 8

Grundlaget for mit estimat af omkostningerne for at kompensere for udslippet er i mail af 25. maj beregnet til mellem 250 millioner og 1,5 milliarder. Det er ikke 'uden nærmere grundlag' men, som beskrevet, på baggrund af et spænd på mellem 50 og 300 kr. pr. kg N for virkemidler. Disse tal kan findes i en lang række rapporter om omkostninger ved forskellige virkemidler for reduktion af kvælstoftilførsler, og er standardviden for problemstillinger omkring kvælstoftilførsler.

8) Bilag D, Notat fra Dansk Miljørådgivning A/S

De kommentarer som er givet ovenfor omkring vurderinger af afvigelserne af koncentrationer gælder også for dette notat. Dansk Miljørådgivning overser den generelle nedgang der har været i nitrogen koncentrationerne i danske havområder (se figur ovenfor), og dermed at forventningen til de aktuelle koncentrationer i 2016 ikke er medianværdien, men nærmere omkring 10 procent fraktilen. De når dermed frem til den forkerte konklusion (side 2 i deres notat)

Det betyder, at der i den foreliggende dokumentation i 86% af prøverne efter skadestidspunktet ikke er påvist overskridelser over medianen. Statistisk vurderedes dette som en signifikant tendens, hvor- imod den ene overskridelse kan være udtryk for statistik usikkerhed. Der er således ikke på- vist en signifikant stigning i koncentrationen af Total-N i monitoringsperioden i denne måle- station.

De bemærker altså, at mange målinger ligger under tidligere års niveau, men de kobler ikke dette til den generelle udvikling af næringsstoffer i danske havområder og når dermed frem til den stik modsatte konklusion af hvad der er rimeligt. Dansk Miljørådgivning lader således ikke til at kende til den almindelige udvikling i havmiljøet i Danmark. Havmiljø fremgår således heller ikke som et kompetenceområde på deres hjemmeside (<http://www.dmr.dk/>). Dansk Miljørådgivning ser heller ikke ud til at have et nærmere kendskab til prøvetagningsprogrammet for marine områder (vandprøver for vandkemi udtages i 1, 5, 10, 15, ... meters dybder, og ikke som de beskriver). De beskriver endvidere 'er outliers dermed frasortet'. Det er ikke korrekt. Alle valide data efter kvalitetskontrol er lagret i databasen og indgår i datasættet.

Dansk Miljøteknik ser ud til at være enig i mine generelle betragtninger angående strømførhold. Det er dog forkert når de skriver, at vandsøjlen syd for Snævringen altid er opblandet. En gennemgang af data fra 2015 for to statio-

ner syd for snævringen viser, at vandsøjlen her er lagdelt i 37 ud af 40 tilfælde.

Side 5/5

Afsluttende vil jeg pointere, at jeg fastholder mine konklusioner fra notatet af 12. maj. Udslippet den 3. februar havde et meget betydeligt omfang, som overstiger et helt års tilførsler af nitrogen til det centrale Lillebælt. Ud fra størrelsen af udslippet, og de meget veldokumenterede negative miljøeffekter af nitrogen i havmiljøet, er det uden for enhver tvivl i almindeligt sprogbrug, at udslippet vil have alvorlige negative effekter for det marine miljø. Hvorvidt det så betyder, at udslippet skal behandles under Miljøskadeloven, er en forvaltningsmæssig og juridisk vurdering, som ligger uden for mit fagområde.

Venlig hilsen

Stiig Markager
Professor

Henrik Melchior Olsen

Fra: Henrik Melchior Olsen
Sendt: 27. juni 2016 08:15
Til: Henrik Melchior Olsen
Emne: VS: Naturstyrelsens bemærkninger til høringssvaret fra Dan Gødning
Vedhæftede filer: image002.jpg

----- Oprindelig meddelelse -----

Fra: "Nils T. Daell Kristensen" <nitdk@nst.dk>
Dato: 23/06/2016 18.10 (GMT+01:00)
Til: Mette Schjødt <mette.schjodt@fredericia.dk>
Emne: SV: Naturstyrelsens bemærkninger til høringssvaret fra Dan Gødning

Hej Mette

Ja, som drøftet i telefonen i fredags, den 17. juni, så finder Naturstyrelsen ikke, at der i høringssvaret fra Dan Gødning's advokat anfægtes de faktuelle oplysninger, der fremgår af Naturstyrelsens notat af 25. maj 2016 "*Notat om overvågningsresultater i Lillebælt efter gødningsudslip*".

Naturstyrelsen har således ingen bemærkninger til høringssvaret, for så vidt angår referencerne til Naturstyrelsens notat.

Med venlig hilsen

Nils T. Daell Kristensen
Chefkonsulent i Naturstyrelsen Fyn
Dir tlf.: (+45) 72 54 35 04
nitdk@nst.dk

Miljø- og Fødevareministeriet
Naturstyrelsen | Sollerupvej 24 | 5600 Faaborg | Tlf. (+45) 72 54 30 00 | www.naturstyrelsen.dk

Fra: Mette Schjødt [<mailto:mette.schjodt@fredericia.dk>]
Sendt: 23. juni 2016 14:21
Til: Nils T. Daell Kristensen
Cc: Harley Bundgaard Madsen
Emne: Naturstyrelsens bemærkninger til høringssvaret fra Dan Gødning

Hej Nils

For god ordens skyld skal jeg bede NST om, hurtigst muligt og meget gerne d.d, at bekræfte, at NST ikke har bemærkninger til det fra Fredericia Kommune den 16. juni 2016 fremsendte høringssvar med tilhørende bilag fra Dan Gødnings advokat af 13. juni 2016?

Som jeg har forstået det, så er årsagen hertil, at NST mener, at NST alene har afgivet faktuelle oplysninger om måleresultater og dette anfægtes ikke i høringssvaret fra Dan Gødnings advokat. Er det korrekt forstået?

Venlig hilsen

Mette Schjødt

Miljøsagsbehandler

Miljø

Fredericia Kommune

Direkte nummer: 72107648

Mobil: 41318742

E-mail: mette.schjodt@fredericia.dk

Adresse: Gothersgade 20, 7000 Fredericia



FREDERICIAKOMMUNE



FREDERICIAKOMMUNE