

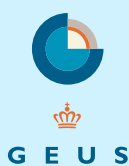


Danmarks Miljøundersøgelser  
Miljøministeriet

# Vandmiljø 2002

Tilstand og udvikling – faglig sammenfatning

*Faglig rapport fra DMU, nr. 423*



Miljøstyrelsen  
Miljøministeriet

*[Tom side]*



Danmarks Miljøundersøgelser  
Miljøministeriet

---

# Vandmiljø 2002

Tilstand og udvikling – faglig sammenfatning

**Faglig rapport fra DMU, nr. 423  
2002**

*Jens Møller Andersen*

*Susanne Boutrup*

*Lars M. Svendsen*

*Jens Bøgestrand*

*Ruth Grant*

*Jens Peder Jensen*

*Thomas Ellermann*

*Gunni Ærtebjerg*

Danmarks Miljøundersøgelser

*Lisbeth Flindt Jørgensen*

Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse

*Karin D. Laursen*

Miljøstyrelsen

# Datablad

Titel:	Vandmiljø 2002	
Undertitel:	Tilstand og udvikling - faglig sammenfatning	
Forfattere:	J.M. Andersen <sup>1</sup> , S. Boutrup <sup>2</sup> , L.M. Svendsen <sup>2</sup> , L., J. Bøgestrand <sup>3</sup> , R. Grant <sup>3</sup> , J.P. Jensen <sup>3</sup> , T. Ellermann <sup>4</sup> , G. Ærtebjerg <sup>5</sup> , L.F. Jørgensen <sup>6</sup> , K.D. Laursen <sup>7</sup> .	
Afdelinger:	<sup>1</sup> Projektchef for det akvatiske miljø, <sup>2</sup> Overvågningssektionen, <sup>3</sup> Afdeling for Ferskvandsøkologi, <sup>4</sup> Afdeling for Atmosfærisk Miljø, <sup>5</sup> Afdeling for Marin Økologi, <sup>6</sup> Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, <sup>7</sup> Miljøstyrelsen	
Serietitel og nummer:	Faglig rapport fra DMU nr. 423	
Udgiver:	Danmarks Miljøundersøgelser© Miljøministeriet	
URL:	<a href="http://www.dmu.dk">http://www.dmu.dk</a>	
Udgivelsestidspunkt: Redaktionen afsluttet:	December 2002 November 2002	
Bedes citeret:	Andersen, J.M., Boutrup, S., Svendsen, L.M., Bøgestrand, J., Grant, R., Jensen, J.P., Ellermann, T., Ærtebjerg, G., Jørgensen, L.F. & Laursen, K.D. 2002: Vandmiljø 2002. Tilstand og udvikling - faglig sammenfatning. Danmarks Miljøundersøgelser 56 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 423.	
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse.	
Sammenfatning:	Denne rapport indeholder resultater fra 2001 af det nationale program for overvågning af vandmiljøet 1998-2003. Rapporten indeholder de faglige konklusioner på status for påvirkning af og tilstanden i grundvand, vandløb og kildebække, søer, atmosfæren og havet. Grundlaget for rapporten er de årlige rapporter, som de enkelte fagdatacentre udarbejder for hvert delområde. Disse rapporter er baseret på data, som er indsamlet af amterne og i de fleste tilfælde også afrapporteret af amterne.	
Emneord:	Vandmiljøplanen, miljøtilstand, grundvand, vandløb, kilder, søer, havet, atmosfærisk nedfald, spildevand, udledninger, landbrug, kvælstof, fosfor, pesticider, tungmetaller, miljøfremmede stoffer, iltsvind.	
Layout: Tegninger: Forsidefoto:	Karin Balle Madsen Grafisk Værksted, Silkeborg Martin Søndergaard	
ISBN: ISSN (trykt): ISSN (elektronisk):	87-7772-705-3 0905-815X 1600-0048	
Papirkvalitet: Tryk:	Cyclus Print Schultz Grafisk Miljøcertificeret (ISO 14001) og kvalitetscertificeret (ISO 9002)	
Sideantal: Oplag:	56 500	
Pris:	kr. 100,- (inkl. 25% moms, ekskl. forsendelse)	
Internet-version:	Rapporten kan også findes som PDF-fil på DMU's hjemmeside <a href="http://www.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_fagrappporter/rappporter/fr423.pdf">http://www.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_fagrappporter/rappporter/fr423.pdf</a>	
Købes i boghandelen eller hos:	Miljøbutikken Information og Bøger Læderstræde 1-3 DK-1201 København K Tlf.: 33 95 40 00 Fax: 33 92 76 90 e-mail: butik@mim.dk	Miljøbutikkens Netboghandel <a href="http://www.mim.dk/butik">www.mim.dk/butik</a>



# Indhold

## Forord 5

## Sammenfatning 6

Kilder til kvælstof, fosfor og organisk stof 6

Tilførsel af fosfor og kvælstof 7

Grundvand 8

Vandløb 9

Søer 9

Marine områder 10

Tungmetaller og miljøfremmede stoffer 12

## 1 Indledning 14

1.1 NOVA-2003: Organisering og indhold 14

1.2 Indholdet i delprogrammerne 14

## 2 Klima og vandmængder 16

2.1 Klimaet 16

2.2 Ferskvandsafstrømning 16

## 3 Kilder til kvælstof, fosfor og organisk stof 18

3.1 Punktkilder 18

3.2 Diffuse næringssaltkilder 21

3.3 Udvaskning fra jorden 23

## 4 Tilførsel til og transport af kvælstof og fosfor i vandområderne 26

4.1 Tilførsel til og transport i vandløb 26

4.2 Næringssalttransport fra land til marine områder 26

4.3 Tilførsel til og transport i marine områder 27

## 5 Grundvand 30

5.1 Grundvandsovervågningen 30

5.2 Nitrat og andre hovedbestanddele i grundvand 31

## 6 Vandløb 34

6.1 Biologisk kvalitet i vandløb 34

6.2 Kvælstof i vandløb 35

6.3 Fosfor i vandløb 37

## **7 Søer 38**

- 7.1 Næringssalte 38
- 7.2 Udvikling i NOVA søerne 39
- 7.3 Brakvandssøer 40
- 7.4 Ekstensive søundersøgelser 40
- 7.5 Målopfyldelse 41

## **8 Marine områder 42**

- 8.1 Næringssalte og alger i de frie vandmasser 42
- 8.2 Iltforhold i marine områder 44
- 8.3 Bundvegetation 44
- 8.4 Bundfauna 45
- 8.5 Målopfyldelse 45

## **9 Tungmetaller og miljøfremmede stoffer 46**

- 9.1 Tungmetaller 46
- 9.2 Pesticider 49
- 9.3 Andre organiske miljøfremmede stoffer 51

## **10 Referencer 54**

**Danmarks Miljøundersøgelser 55**

**Faglige rapporter fra DMU 56**

# Forord

“Vandmiljø 2002. Tilstand og udvikling – faglig sammenfatning” indholder resultater fra 2001 af Det Nationale Program for Overvågning af Vandmiljøet 1998-2003. Rapporten indeholder de faglige konklusioner på status for påvirkning af og tilstanden i grundvand, vandløb og kildebække, søer, atmosfæren og havet. Rapporten sammenfatter udviklingen i udledninger af næringsstoffer og miljøfremmede stoffer fra punktkilder og diffuse kilder til vandmiljøet samt transporten af stofferne i vandmiljøet. Desuden redegøres for tilstanden og udviklingen i miljøkvaliteten i vandmiljøet i relation til ændringer i påvirkningerne.

Formålet med sammenfatningen er først og fremmest at orientere Folketingets Miljø- og Planlægningsudvalg om resultaterne af årets overvågning og om effekterne af de reguleringer og investeringer, der bl.a. fremgår af beretningen om Vandmiljøplanen fra 1987. Endvidere vil sammenfatningen give et nationalt overblik til de medarbejdere i de statslige og amtslige institutioner, der har bidraget til gennemførelse af overvågningsprogrammet, eller som arbejder med forvaltningen af vandmiljøet. Endelig vil offentligheden, interesseorganisationerne kunne få centrale informationer om vandmiljøets tilstand og udvikling.

Sammenfatningen er udarbejdet af Danmarks Miljøundersøgelser (DMU) i samarbejde med Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS) og Miljøstyrelsen på baggrund af rapporter fra syv fagdatacentre:

- *Vandløb 2001, Bøgestrand (red.) (2002) - DMU*
- *Atmosfærisk deposition 2001, Ellermann et al. (2002) - DMU*
- *Landovervågningsoplunde 2001, Grant et al. (2002) - DMU*
- *Grundvandsovervågning 2002, GEUS (2002)*
- *Marine områder 2001, Ærtebjerg (red) (2002)-DMU*
- *Søer 2001, Jensen et al. (2002) - DMU*
- *Punktkilder 2001, Miljøstyrelsen (2002)*

Fagdatacentrenes rapporter er baseret på data indsamlet af amterne samt Københavns og Frederiksberg Kommuner samt på data fra atmosfæren og de åbne havområder indsamlet af DMU. De fleste amtsdata er også rapporteret i regionale rapporter, som indgår ved udarbejdelse af fagdatacentrenes rapporter.

# Sammenfatning

Hovedkonklusionen i denne rapportering af 2001 resultaterne af det nationale program for overvågning af vandmiljøet (NOVA-2003) er, at der siden 1989 er sket meget betydelige reduktioner i udledninger af næringssalte med spildevand og fra dyrkede arealer. Disse reduktioner har forbedret natur- og miljøforhold i søer og marine områder. I grundvand er der ikke konstateret væsentlige ændringer, og i vandløb bestemmes miljøkvaliteten især af de fysiske forhold og af tilførsel af organisk stof. På trods af forbedringerne er målsætningerne kun opfyldt for mindsteparten af vandområderne.

Overvågning af miljøfremmede stoffer har påvist, at hormonforstyrrelser (påvirkninger af kønsorganerne) forårsaget af TBT (tributyltin) hos havsnegle er udbredt hos følsomme arter selv i den åbne Nordsø.

## Kilder til kvælstof, fosfor og organisk stof

Organisk stof og næringssalte er nødvendige stoffer for livet i vand, men samtidig er tilførslen af disse stoffer den vigtigste forureningsårsag i vandområderne. Ved tilførsel af meget større mængder end den naturbetingede tilførsel ændres plante- og dyrelivet, oftest i en uønsket retning. Kilderne til denne forurening (eutrofiering) opdeles i punktkilder (spildevand) og diffuse kilder.

### Punktkilder

Der er siden 1989 sket en markant reduktion i de samlede udledninger fra punktkilder (tabel 1). Den samlede reduktion er på 70% for kvælstofs vedkommende, 84% for fosfor og 81% for nedbrydeligt organisk stof (BOD). Reduktionerne i udledningerne er hovedsageligt opnået ved, at byernes

spildevand fra både husholdninger og industri generelt renses på effektive renseanlæg.

Fra *renseanlæggene* var udledningerne i 2001 på 1,7% af den tilførte mængde organisk stof, 7% af fosfortilførslen og 14% af kvælstoftilførslen. Rensegraden er ca. lige stor over hele landet, uanset om der er mange eller få anlæg under Vandmiljøplanens størrelseskrav for rensning (5.000 personer tilsluttet). De fleste *industrier* med egen udledning har omlagt produktionen og/eller etableret rensning.

Udledningerne af organisk stof og fosfor fra *spredt bebyggelse* er på ca. 24% af de samlede spildevandsudledninger, men har større forureningsmæssig virkning, fordi størstedelen udledes til små vandløb eller søoplande, hvor udledning fra få huse kan give en væsentlig påvirkning. Der er planlagt forbedret rensning for ca. 78.000 helårsboliger ud af i alt 127.000 boliger, der ikke er tilsluttet offentlig kloak, og som har direkte udledning.

*De regnbetingede udledninger* kan give væsentlige forureningsbidrag, især i små vandområder i byer, hvor afløb fra renseanlæg er ført til en større recipient. De kan også give miljøproblemer på grund af kortvarig afledning af meget store vandmængder. Påvirkningerne kan mindskes ved anlæg af regnvandsbassiner.

### Tilførsel fra luften

Tilførsel af *kvælstof* fra luften stammer især fra punktkilder, f.eks. kraftværker, industrier, husdyrhold og fra trafik. Tilførslen sker med nedbør eller som tørafsætning. Der tilføres mest til landarealer (tabel 2), fordi landplanter fanger kvælstofforbindelserne, og fordi de fleste kilder til kvælstofforbindelser er på land. Tallene i tabel 2 er baseret dels på målinger og dels på modelberegninger.

Tabel 1 Udledning af organisk stof (BOD), kvælstof og fosfor fra punktkilder i 1989 og i 2002.

Punktkilder	BOD t/år		Kvælstof t/år		Fosfor t/år	
	1989	2001	1989	2001	1989	2001
Renseanlæg	36.400	2.551	18.000	4.219	4.470	470
Spredt bebyggelse	4.850	3.945	1.280	1.005	440	229
Regnbetingede udledninger	2.500	615	810	279	199	74
Industri	43.722	4.301	4.978	813	1.195	52
Ferskvandsdambrug	6.230	3.210	2.189	1.197	239	91
Havbrug	-	1.622	322	250	44	26
I alt	ca.96.000	16.244	27.579	7.763	6.587	942



### *Kvælstofkilder*

Hovedparten af kvælstofdepositionen i Danmark stammer fra udlandet (60-84%). Det skyldes, at kvælstofforbindelserne transporteres over store afstande med luften. I Kattegat bidrager danske kilder med ca. 30% og i Nordsøen med ca. 9%. For nogle fjorde, vige og bugter er det danske bidrag mere end 40% af tilførslen fra luften. I gennemsnit udgør det danske bidrag omkring 16% af den atmosfæriske kvælstoftilførsel til de danske farvande i 2001. For depositionen til landområderne udgør de lokale danske kilder i gennemsnit 40% af den totale deposition. I husdyrbrugsområder vil der være store lokale variationer grundet tilførslen af ammoniak til luften fra husdyrhold i nærområdet.

Måling af tilførsel af fosfor fra luften er forbundet med stor usikkerhed, men tilførslen på 2-4 kg P/km<sup>2</sup> år til danske vandområder er lille i forhold til de øvrige kilder.

### **Udvaskningen af næringssalte fra jorden**

Udvaskningen af kvælstof og fosfor fra *udyrkede naturarealer* er lille. Ved opdyrkning af jorden øges udvaskningen. Udvaskningens størrelse er bl.a. afhængig af dyrkningsform og gødningsmængde. Nitrat udvaskes meget let fra jorden, hvorimod fosfor i høj grad bindes til jordpartikler. Derfor øges kvælstofudvaskningen mere end fosforudvaskningen ved dyrkningen af jorden. Kvælstofudvaskningen fra dyrkede arealer er ca. 5-10 gange udvaskningen fra naturarealer.

### **Kvælstof**

Kvælstoftilførsel med handelsgødning er mindsket fra 395.000 tons i 1990 til 229.000 tons i 2001. I samme periode er kvælstofmængden tilført med husdyrgødning mindsket fra 244.000 tons til 235.000 tons. Kvælstofoverskuddet på markerne (tilført mængde minus mængde fjernet med afgrøde) er i perioden mindsket fra 375.000 t/år til 252.000 t/år.

I landovervågningsoplandene er der i 2001 fundet en gennemsnitlig udvaskning fra dyrkede arealer på 105 kg N/ha år fra sandjorde og 53 kg N/ha år fra lerjorde. Fra naturarealer er der en udvaskning på ca. 10 kg N/ha år. Der er store år til år variationer i udvaskningen afhængig af de klimatiske forhold.

En analyse af udviklingstendenser, som delvis tager højde for disse variationer, viser et fald siden 1989 i de vandføringsvægtede kvælstofkoncentrationer i rodzonen på ca. 32% for lerjordsoplandene og 47% for sandjordsoplandene. Spredningen på tallene er imidlertid stor, og med 95% sandsynlighed er reduktionen mellem 9 og 47% for lerjordene og mellem 32 og 61% for sandjordene.

Ved modelberegninger er der i landovervågningsoplandene fundet et fald i kvælstofudvaskning fra rodzonen på 32% i perioden fra 1990 til

2001. I vandløb i dyrkede oplande er der målt en reduktion på 23%.

### **Fosfor**

Fosfortilførslen til dyrkningsjorden er mindsket i de seneste år, men på husdyrbrug tilføres der stadig ca. 10 kg P/ha år mere, end der fjernes med afgrøder. Der sker derfor en ophobning i jorden, og det giver øget risiko for udvaskning af fosfor, evt. i form af fosfor på jordpartikler, der udskylles overfladisk eller via dræn.

## **Tilførsel af fosfor og kvælstof**

### **Ferske vande**

Dyrkningsbidraget er den dominerende kvælstofkilde til de ferske vande (tabel 3). Tidligere var spildevand den dominerende fosforkilde, men som følge af en god fosforfjernelse på langt de fleste renselanlæg er spildevandsbidraget af fosfor nu mindre end det bidrag, der kommer som følge af dyrkningen af jorden.

### **Marine områder**

Tilførslen af kvælstof og fosfor til de samlede danske marine områder fra dansk land og fra luften er angivet i tabel 4. Bidraget fra luften, der for størstedelens vedkommende stammer fra udenlandske kilder, er det største bidrag, mens tilførslen med ferskvand er noget mindre.

Tabel 2 Tilførsel af kvælstofforbindelser fra luften.

Atmosfære bidrag 2001	Til landarealer (43.096 km <sup>2</sup> )	Til marine områder (105.372 km <sup>2</sup> )
kg N/km <sup>2</sup> år	1,4 -2,4	0,8-1,5
(gennemsnit)	(2,0)	(1,1)
t N/år	87.000	118.000

Tabel 3 Tilførsel af kvælstof og fosfor til ferske vande i 2001 fordelt på kilder.

N og P kilder til ferske vande i 2001	Kvælstof t/år	Fosfor t/år
Naturbidrag	8.400	320
Dyrkningsbidrag	62.900	980
Spildevand i alt	4.975	667
Ferskvandskilder i alt	76.275	1967
Målt transport til hav	69.600	1.950

**Tabel 4** Tilførsel af kvælstof og fosfor til de danske marine områder i 2001 fra Danmark og fra atmosfæren.

N og P kilder til marine områder 2001	Kvælstof t/år	Fosfor t/år
Ferskvandstilførsel	69.600	1.950
Direkte spildevand i alt	3.238	389
Fra luften til marine områder	118.000	200
I alt	190.838	2.539

Tallene i tabel 4 giver ikke et retvisende billede af næringssaltkilder til de marine områder, som har de største eutrofieringsproblemer. Størstedelen af det danske søterritorium ligger i de åbne dele af Nordsøen og Østersøen. Bidraget fra luften har langt mindre betydning i de indre danske farvande og især i fjordene end for det danske søterritorium som helhed. I de indre farvande og især i fjordene er forureningsbidraget fra lokale ferskvandstilførsler og spildevand langt større end nedbørsbidraget.

#### Områdevis opgørelse af næringssaltbelastning

Vurderinger af de forureningsmæssige konsekvenser af næringssalttilførsler kan ikke laves for de samlede danske vandområder under et, fordi der er meget store forskelle fra område til område. For at kunne lave vurderinger af miljøeffekter af næringssalttilførsler, er det nødvendigt at lave konkrete vurderinger for hver enkelt sø, fjord, bugt, kyststrækning eller havområde. En nødvendig forudsætning for at kunne vurdere virkninger af næringssalttilførsler er, at der for hver enkelt vandområde er lavet opgørelser af de enkelte kilder til næringssalte, herunder af tilførslen fra de tilgrænsende havområder.

## Grundvand

Der kan endnu ikke forventes væsentlige, generelle reduktioner i grundvandets nitratindhold som en følge af Vandmiljøplanens tiltag, fordi det grundvand, som er analyseret, helt overvejende er dannet før 1987. Nitratkoncentrationerne er generelt lavest på øerne, mens der er højere værdier mange steder i Jylland på grund af forskelle i geologi og husdyrtæthed.

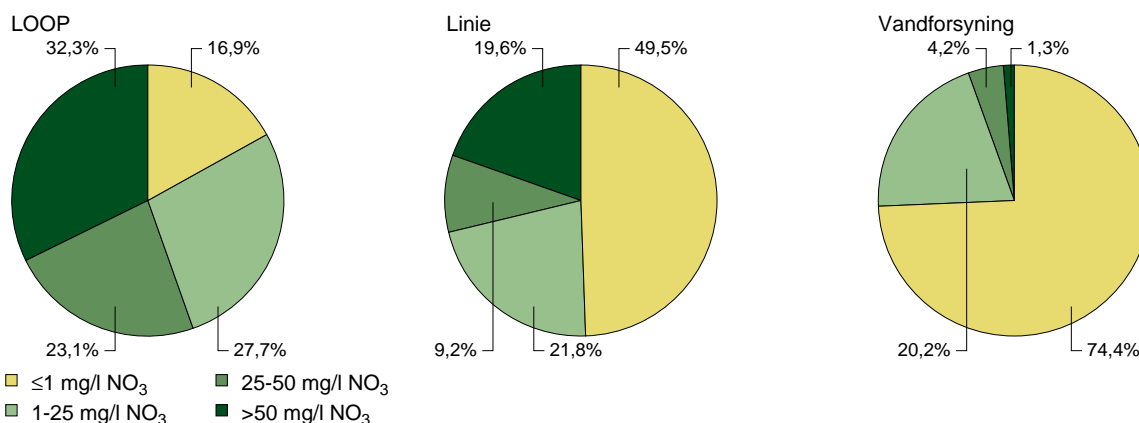
#### Nitrat i grundvand

Fordelingen af de nuværende nitratindhold kan indikere mulige fremtidige udviklinger. De højeste nitratniveauer er fundet i det øvre grundvand dannet inden for de seneste årtier og de laveste generelt i dybtliggende og gammelt grundvand. Målingerne kan dog ikke entydigt tolkes derhen, at nuværende høje niveauer i det øvre grundvand vil resultere i tilsvarende høje indhold i dybere grundvand på et senere tidspunkt. Omsætning af nitrat i undergrunden vil i hvert fald nogle steder mindske nitratindholdet i vandet på dets vej mod indvindingsboringer. Grundvandsmodeller og hydrologiske modeller er vigtige redskaber til at klarlægge disse forhold.

#### Nitratfordeling efter boringstype

Ca. 50% af indtagene i de grundvandsmagasiner, der normalt indvindes vand fra, indeholdt i perioden 1990-2001 mindre end 1 mg nitrat/l. Det samme gælder for ca. 75% af vandværkernes forsyningsboringerne (figur 1).

20% af indtagene i NOVA-boringerne indeholdt mere end tilladt i drikkevand (50 mg nitrat/l svarende til 11,3 mg N/l). Tilsvarende indeholder godt 1% af vandforsyningsboringerne mere end 50 mg nitrat/l. Det lavere tal for vandforsyningsboringer skyldes, at mange boringer med højt nitratindhold er blevet lukket.



**Figur 1** Fordeling af nitratindhold i 2001 i 3 typer af grundvandsboringer: LOOP, GRUMO linie, samt boringskontrol (vandværksboringer).

## Vandløb

Årsagerne til dårlige biologiske forhold i vandløb er oftest forurening med organisk stof fra utilstrækkeligt rensset spildevand. Ligeledes bevirker vandløbsvedligeholdelse (og tidligere vandløbsreguleringer) en meget betydende forringelse af levedmuligheder for dyr og planter i de fleste vandløb.

### Biologisk kvalitet i 2001

Vandløbenes biologiske kvalitet bedømmes hvert år ud fra sammensætningen af smådyrfaunaen på mere end 1000 lokaliteter. Tilstanden udtrykkes ved Dansk Vandløbsfaunaindeks (DVFI), som antager værdier (faunaklasser) fra 1 til 7, hvor faunaklasse 7 er praktisk taget uden påvirkning, og faunaklasse 1 er meget stærkt påvirket og med meget lidt liv.

I perioden 1999-2001 er der sket en forbedring med en øgning af stationer med faunaklasse 5, 6 og 7 fra knapt 35% til godt 42%. En række rentvandskrævende dyr bliver i disse år mere og mere udbredte. Denne tendens til en forbedring i miljøtilstanden ses over hele landet, men er mest markant i Jylland. Den dårligste biologiske kvalitet findes generelt i de små vandløb, selv om det især er her forbedringerne er sket i de seneste år.

### Målopfyldelse

Målsætninger for vandløbene er fastsat i amternes regionplaner.

Vandløbenes biologiske tilstand er bedst i Jylland, Fyn og på Bornholm, hvor 52% af vandløbenes målsætninger er opfyldt bedømt ud fra forekomsten af smådyr. Derimod er kun 35% af målsætningerne opfyldt på Sjælland og Lolland-

Falster. På landsplan var målopfyldelsen i 2001 på i alt 48%.

### Næringssalte

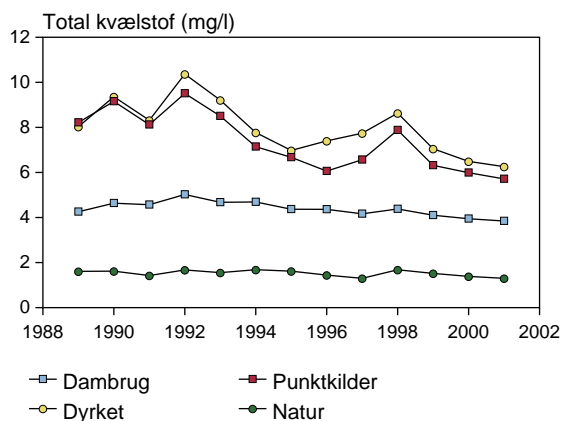
Indholdet af nitrat og fosfat i danske vandløb har ikke væsentlig betydning for de biologiske forhold i vandløbene. Næringssalte i vandløb har derimod betydning som forureningskilde til nedstrøms liggende søer og kystvande.

Udviklingen i *kvælstofkoncentrationer* i vandløbene er vist i figur 2. Koncentrationerne er generelt faldende i vandløb i dyrkede oplande med eller uden spildevandstilførsel. Af figur 2 fremgår, at kvælstofniveauet er faldet fra knap 9 mg N/l omkring 1990 til godt 6 mg N/l i 2001.

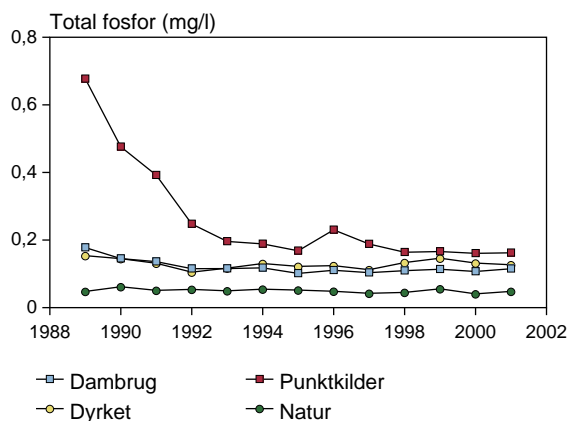
Koncentrationen af *fosfor* i spildevandsbelastede vandløb er faldet markant gennem første halvdel af 1990'erne og er nu kun lidt højere end i dyrkningspåvirkede vandløb (figur 3). Faldet skyldes de foranstaltninger, der er sat i værk for at reducere forureningen fra byspildevand og industrielle udledere gennem Vandmiljøplanen og regionale tiltag. I naturvandløb og vandløb i dyrkede områder er der ingen signifikante ændringer.

### Søer

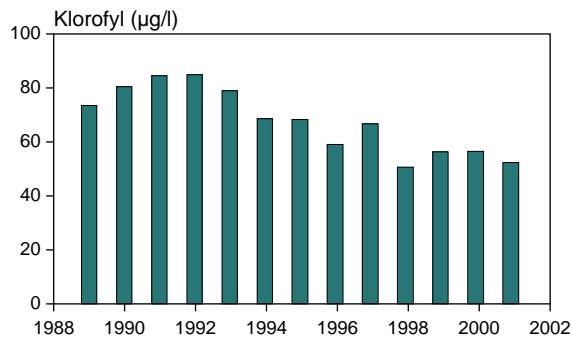
Næringssalttilførslen til søer er vigtig, fordi den i det lange løb er bestemmende for vandkvaliteten i søerne. Både fosfor- og kvælstofmangel kan begrænse algemængden i søer. En reduktion af algemængden i en sø vil næsten altid på langt sigt mest effektivt kunne ske ved at mindske fosfortilførslen.



Figur 2 Udvikling i kvælstofkoncentration i vandløb med forskellige påvirkninger siden 1989.



Figur 3 Udvikling i fosforkoncentration i vandløb med forskellige påvirkninger siden 1989.



Figur 4 Gennemsnit af algemængden (målt som klorofyl) i NOVA søerne i perioden 1989-2001.

### Fosfortilførsel til søerne

Hovedkilden til fosforbelastningen af søerne er bidraget fra det åbne land (baggrund + landbrug). I 2001 er det åbne lands andel på 68% som gennemsnit for NOVA søerne. På landsplan er det for 2001 opgjort, at den naturbetingede baggrundstilførsel af fosfor er på ca. 25% af tilførslen fra det åbne land, og at ca. 75% skyldes dyrkningen af jorden i oplandet. Forholdet er formentlig omtrent det samme for NOVA søerne.

Den samlede kildefordeling af fosfor til NOVA søerne er således, at ca. 25% kommer fra spildevand, mest fra spredt bebyggelse, knap 20% er naturbidrag, ca. 50% er dyrkningsbidrag og tilførsel fra luften er ca. 5%. Disse tal er gennemsnit og varierer stærkt fra sø til sø.

### Udvikling i NOVA søerne

Den vigtigste kvalitetsparameter for eutrofieringsstanden i søerne er mængden af planktonalger i vandet. I figur 4 er vist hvorledes gennemsnitsværdier af klorofylindhold i søvandet (mål for algemængden) er mindsket i perioden 1989-2001.

Dette skyldes ikke en generel forbedring i alle søer, men hovedsageligt, at der er sket væsentlig forbedring i de spildevandsbelastede søer som følge af fosforfjernelse i renseanlæg eller afskæring af spildevand. De forbedringer, der er set i løbet af 1990'erne er i høj grad en effekt af tiltag gennemført i 1970'erne og 1980'erne, idet forbedringer i søers kvalitet efter reduktion af fosfortilførsel typisk sker med årtiers forsinkelse. Reduktionen i algemængden i perioden 1989-2001 var i gennemsnit på ca. 25%. Klorofylindholdet er mindsket i 11 af de 27 NOVA søer og øget i 1.

### Målopfyldelse for søerne

Målsætninger for søerne er fastsat i amternes regionplaner. Ud fra målingerne i 2001 har amterne vurderet, at målsætningen er opfyldt i 5 af de 31

NOVA søer. Tidsforsinkelse på op til årtier mellem reduktion af fosfortilførsel og forbedringer i søtilstand kan medføre, at flere søer i de kommende år vil opnå en tilfredsstillende kvalitet som følge af allerede foretagne reduktioner i fosfortilførsel. I de fleste søer er der dog ikke udsigt til sådanne forbedringer, da den dominerende fosforkilde, udvaskning fra jorden i oplandet til søerne, ikke er mindsket.

## Marine områder

Det vigtigste miljøproblem i de danske marine områder er eutrofieringen, dvs. den øgede algeproduktion forårsaget af næringssalttilførsler, som er betydeligt større end den naturbetingede baggrundstilførsel. Algemængden i de marine områder er især begrænset af kvælstof, men fosforfjernelse fra spildevand har i de seneste år medført, at algemængden i stigende grad begrænses af fosformangel, især om foråret i fjorde og kystvande. De marine områder er meget forskelligartede. Landsdækkende generaliseringer er derfor ikke tilstrækkelige til at vurdere miljø- og naturforholdene i det enkelte vandområde. Figur 5 viser, hvor forskellige niveauerne er for indhold af uorganisk kvælstof i de forskellige marine områder i vinterperioden. Algemængden i vandet om foråret reguleres bl.a. af vinterniveauerne af uorganisk kvælstof.

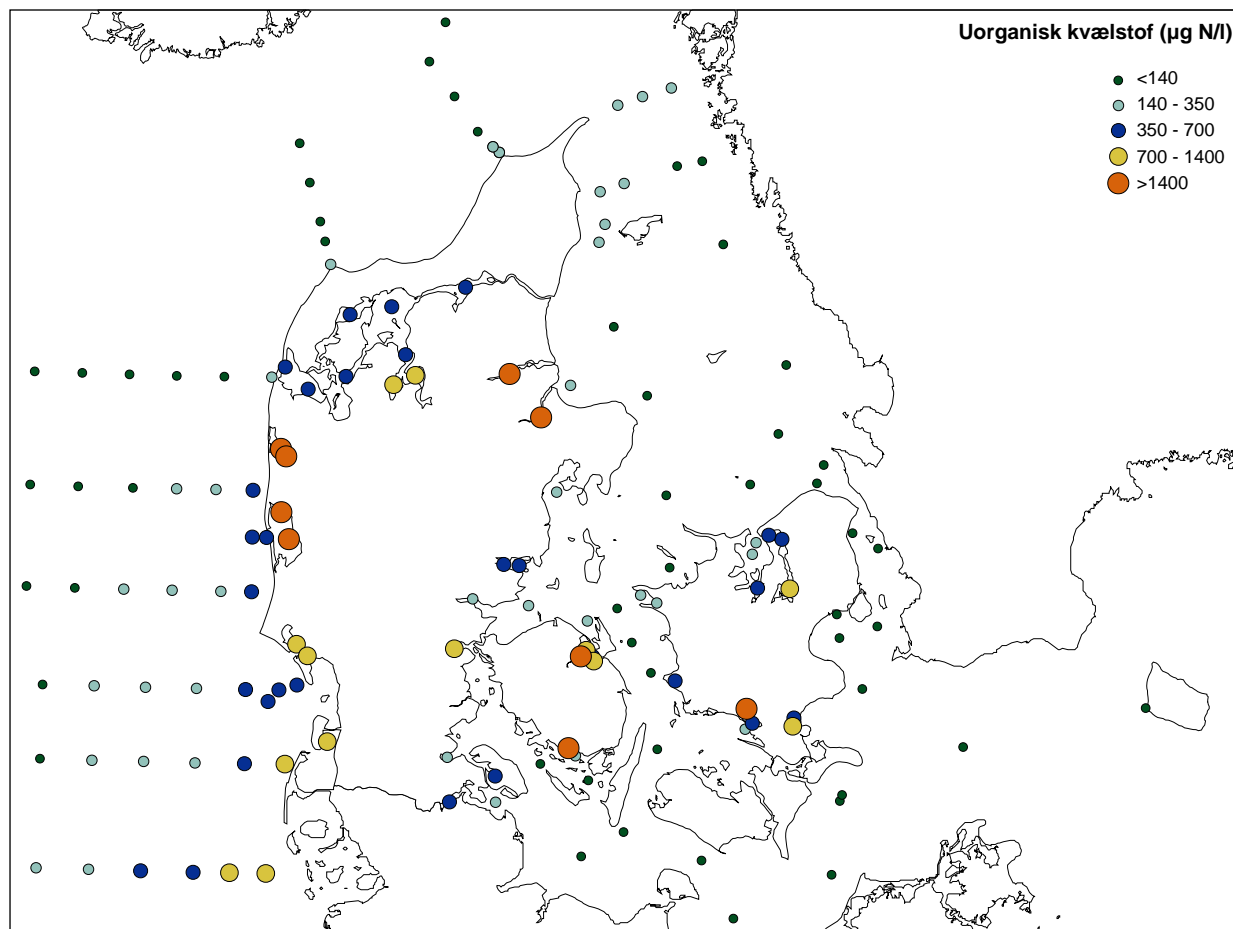
### Udvikling i vandkvalitet

Der er sket et fald i indhold af *total fosfor* og *total kvælstof* både i fjorde og i åbne marine områder i perioden 1989-2001. Faldet er størst for fosfor i fjorde/kystvande, hvor indholdet næsten er halveret i gennemsnit. Disse reduktioner har ført til forbedringer i den biologiske kvalitet, især i *fjordene*, med klarere vand, lavere klorofylkoncentration og lavere primærproduktion. Ændringerne starter efter 1985 og fortsætter i hvert fald frem til omkring 1996-98.

I de *åbne marine områder* er udviklingen ikke entydig. Fra 1980'erne til 1990'erne har der været tendens til en svag forøgelse i sigtdybde og et fald i mængden af kiselalger og i algeproduktion.

### Iltsvind

I 2002 var iltsvindet i de indre danske farvande usædvanligt omfattende. Disse forhold omtales ikke i denne rapport, men der henvises til de iltsvindsrapporter, der er udarbejdet løbende, og som findes på DMU's hjemmeside ([www.dmu.dk](http://www.dmu.dk)).



Figur 5 Vinterkoncentrationer af uorganisk kvælstof i de danske marine områder. Tal er gennemsnit for 1998-2000.

Udbredelsen og styrken af iltsvind i 2001 kan karakteriseres som omkring middel for de seneste 15-20 år. Der er ingen generelle tendenser for udvikling i iltsvindshyppigheden fra starten af Vandmiljøplanens overvågningsprogram i 1989 indtil 2001. Betragter man derimod hyppigheden af iltsvind siden midten af 70'erne, er der sket en forøgelse af hændelser med iltsvind.

#### Bundplanter og bunddyr

Der er ikke sket signifikante, generelle udviklinger i vegetationen af makroalger eller blomsterplanter (herunder ålegræs) i de danske marine områder siden 1989. Mængden af bunddyr i de åbne indre farvande er faldet gennem 1990erne, men i fjorde og kystvande er der ikke sket generelle ændringer i de senere år. Både for bundplanter og bunddyr er der store naturbetingede år til år variationer.

#### Målopfyldelse for marine områder

Alle marine områder er påvirkede af menneskeskabte tilførsler af næringsalte. Påvirkningerne er

generelt stærkest i kystvande, hvor en betydelig del af vandet består af ferskvandstilførsel fra lokale oplande. Mindst påvirkede er de åbne dele af Nordsøen og Skagerrak. Her vurderes det generelle mål om et højst svagt påvirket plante- og dyreliv at være opfyldt. I stort set alle andre marine områder vurderes den menneskeskabte påvirkning at være mere end svag og den generelle målsætning derfor ikke opfyldt.

#### Sammenligning mellem vandområderne

Hovedelementet i NOVA er målinger af nærings-salttilførsler til, nærings-saltindhold i og virkningerne af næringsalte i vandområder, incl. grundvand.

En sammenstilling af nærings-saltniveauer og betydningen af disse i de forskellige dele af vandets kredsløb er vist i tabel 5 og 6.

Særlig markant ved tallene i tabel 5 er den store stigning i kvælstofindhold fra nedbøren rammer jorden til vandet forlader markens rødzone og bliver til grundvand.

**Table 5** Gennemsnitskoncentrationer af kvælstof og fosfor målt i NOVA programmet i 2001 i forskellige typer af "vandområder".

Vandtype 2001	Kvælstof	Fosfor
	mg N/l	mg P/l
Nedbør på land	1,1	0,01
Udsivning fra marker (LOOP)	17,0	0,02
Dræn fra marker (LOOP)	14,0	0,05
Grundvand, LOOP (1,5 – 5 m)	8,9	0,04
Grundvand, GRUMO (ilt-zonen)	11,0	0,03
Grundvand, GRUMO (nitrat-zonen)	6,2	0,04
Grundvand, GRUMO (reduceret)	0,3	0,12
Grundvand, Vandforsyningsboringer	1,3	0,10
Tilløb til renseanlæg	43,0	9,40
Afløb fra renseanlæg	5,8	0,65
Vandløb i naturområder	1,3	0,05
Vandløb i landbrugsområder	6,2	0,15
Vandløb til marine områder	4,8	0,14

**Table 6** Gennemsnitsværdier for generelle kvalitetsparametre målt i NOVA programmet i søer og marine områder i 2001.

Vandområdetype 2001	Kvælstof	Fosfor	Klorofyl	Sigt-dybde
	mg N/l	mg P/l	ug/l	m
Søer i naturområder	0,73	0,037	8,8	2,6
NOVA søer	2,11	0,106	52	1,7
Øvrige søer	1,90	0,145	62	1,1
Brakvandssøer	3,61	0,187	74	0,6
Fjorde og kystvande	0,55	0,039	4,5	4,1
Åbne marine områder	0,26	0,021	1,6	8,7

Endnu større spring i vandkvalitet sker med vandet, fra vi tapper det fra vandforsyningsboringen, til vi igen afleverer det som spildevand ved tilløb til renseanlæg. Disse renser godt, men de afleverer langt fra vandet med samme kvalitet, som da det blev indvundet. I øvrigt bemærkes, at grundvandskvalitet afhænger af dybde (alder) og geologi, mens næringssaltindhold i vandløb især afhænger af dyrkningsgraden i oplandet.

De biologiske virkninger af fosfor og kvælstof ses i søer og marine områder. Tallene i tabel 6 demonstrerer den klare sammenhæng mellem næringssaltindhold, algemængde (klorofyl) og vandets klarhed (sigtdybde). Selv på tværs af de meget forskelligartede typer af vandområder i tabel 6 ses meget tydelige sammenhænge. De mest forurenede er brakvandssøerne. Det store antal ekstensivt

undersøgte søer, er i gennemsnit lidt mere eutrofierede end NOVA søerne.

Vandkvaliteten i fjordene er generelt bedre end i søerne fordi ferskvandet her er fortyndet med det renere havvand. I de åbne havområder er vandkvaliteten atter bedre end i fjorde og kystvande, fordi der her er en svagere påvirkning fra lokale tilførsler.

### Reduktion af næringssaltforurening

De fleste danske søer og fjorde er så stærkt forurenede af lokale tilførsler af fosfor og kvælstof, at tilførslerne skal mindskes stærkt, for at disse områder kan opfylde de fastlagte miljømål (højst en ret svag forureningspåvirkning). Hvis næringssalttilførslerne til søer og fjorde mindskes i et omfang, så at dette mål opfyldes, vil næringssaltpåvirkningen af de åbne havområder fra dansk land være langt mindre end i fjordene.

### Tungmetaller og miljøfremmede stoffer

Overvågningen af tungmetaller, pesticider og andre organiske miljøfremmede stoffer indgår i 2001 i alle programmets delområder, omend i forskelligt omfang.

I søer er der for første gang undersøgt for pesticider og andre organiske miljøfremmede stoffer. I vandløb og i dræn under landbrugsarealer er der målt i 2000 og 2001. Resultaterne giver en indikation på forholdene, men med nogen usikkerhed, da der foreløbig kun er tale om 1-2 års målinger.

Den øvrige overvågning af tungmetaller, pesticider og andre organiske miljøfremmede stoffer er for de fleste stoffer sket gennem en årrække, hvilket giver større mulighed for at beskrive udviklingstendenser.

### Tungmetaller

Tungmetaller tilføres marine områder dels fra luften og dels med vandløb og spildevand. De to bidrag til de indre danske farvande af samme størrelsesorden med undtagelse af bly, hvor tilførsel fra luften er væsentlig højere end tilførslen via vandløbene.

I grundvandet er metalindholdet betydeligt højere i det overfladenære grundvand end i det dybereliggende grundvand. Dette gælder dog ikke for arsen, som forekommer i højere koncentrationer under reducerede forhold og derfor findes i de højeste koncentrationer i dybtliggende grundvand. Dette kan være begrænsende for indvinding af dybtliggende grundvand til drikkevand.

Metalindholdet i søerne er generelt lavere end i vandløbene. Kviksølv afviger herfra, idet der er fundet højere koncentration i søerne end i vandløbene. En forklaring herpå kan være frigivelse af

kviksølv fra en pulje i sedimentet i søerne fra tidligere tiders spildevandsudledninger.

### **Pesticider**

Målene om reduktion af salg af og behandlingshyppighed med pesticider i pesticidhandlingsplanerne fra 1987 og 2000 er opfyldt. Dette afspejler sig imidlertid endnu ikke i pesticidernes forekomst i vandmiljøet. I drænvand under landbrugsarealer er der fundet otte forskellige pesticider, hvis anvendelse er forbudt; det ældste forbud er fra 1990. Derudover er der fundet fem pesticider, hvis anvendelse fortsat er tilladt.

Det er i vid udstrækning de samme pesticider der findes vandløb, søer, dræn og grundvand. BAM, nedbrydningsprodukter af triaziner samt glyphosat og dets nedbrydningsprodukt AMPA er de dominerende stoffer.

BAM er nedbrydningsprodukt af bl.a. dichlobenil, som er det aktive stof i Prefix og Casseron, der har været brugt i stort omfang på udyrkede arealer. Dichlobenil må ikke længere anvendes. Glyphosat er det aktive stof i Round Up.

I vandløb er der enkelte pesticider, som findes med stor hyppighed og undertiden i høje koncentrationer, mens der er en lang række pesticider, som findes med lav hyppighed og i meget varierende og oftest lave koncentrationer. I de undersøgte søer findes de fleste pesticider derimod med samme høje hyppighed, men i væsentlig lavere koncentrationer end i vandløbene, oftest i koncentrationer tæt på detektionsgrænsen.

I grundvandsovervågningen er hyppigheden af indtag med pesticidfund i 2001 på 27% af de analyserede indtag, hvilket er en lille stigning i forhold til 2000. Niveaulet er det samme som de seneste 4-5 år.

### **Andre organiske miljøfremmede stoffer**

Blandt de mange forskellige miljøfremmede stoffer, der bliver fundet i indløb til renseanlæg, er det kun enkelte, der bliver fundet i udløbet. Det drejer sig om bisphenol A, nonylphenoler, DEHP og phenol; de tre førstnævnte hører til gruppen af stoffer med hormonlignende effekt.

Bisphenol A indgår i fremstillingen af visse plasttyper, nonylphenoler findes bl.a. i vaske- og rengøringsmidler, og DEHP anvendes som blødgørere i plastprodukter.

Nonylphenoler er den hyppigst fundne stofgruppe i søerne, idet der er fundet nonylphenoler i 48% af de undersøgte prøver. Stofgruppen er ligeledes fundet i et vandløb, som løber gennem et byområde (København) samt forholdsvis hyppigt i overfladenært grundvand (28% af de undersøgte indtag). Derimod ses stofgruppen sjældent i det dybereliggende grundvand i grundvandsovervågningen og ved vandværkerne.

I det marine miljø er der fundet effekter som følge af forekomst af miljøfremmede stoffer. Hos havsnegle ses hormomforstyrrelser (påvirkning af kønsorganerne) forårsaget af TBT (tributyltin) udbredt hos følsomme arter selv i den åbne Nordsø.

# 1 Indledning

## 1.1 NOVA-2003: Organisering og indhold

NOVA-2003 gennemføres i et samarbejde mellem amterne, DMU, GEUS og Miljøstyrelsen.

Amterne udfører hovedparten af overvågningen. DMU forestår målinger på de ekstensive havstationer, måling og beregning af det atmosfæriske nedfald og driver et net af 27 nationale vandløbsstationer med tidsserier tilbage til 1920'erne til bestemmelse af vandføringen.

Med henblik på at sikre den overordnede koordinering af programmet og lette kommunikationen mellem de deltagende institutioner er der etableret et Aftaleudvalg, der træffer beslutninger om eventuelle ændringer og tilpasninger af programmet.

Til drift og rapportering af de syv fagområder og til udmøntning af Aftaleudvalgets beslutninger findes et fagdatacenter for hvert område. Fagdatacentrene er placeret hos henholdsvis DMU, GEUS og i Miljøstyrelsen.

For hvert område er der en styringsgruppe med repræsentation fra amterne, fagdatacentret for området og evt. andre sektorforskningsinstitutioner og en eller flere administrative styrelser fra Miljøministeriet. Styringsgrupperne arrangerer

fagmøder, evaluerer programmets udførelse og rapporteringer, betjener Aftaleudvalget vedrørende de faglige spørgsmål og refererer i øvrigt hertil.

## 1.2 Indholdet i delprogrammerne

I det følgende beskrives kort indholdet af de enkelte delprogrammer, som oversigtligt er sammenfattet i tabel 1.1.

### Punktkilder

Udledningerne fra renseanlæg, særskilte industrielle udledere, regnbetingede udledninger, husspildvand fra ikke-kloakerede områder samt fra ferskvand- og saltvandsbaserede dambrug bestemmes. Ved renseanlæg og særskilte industrielle udledere måles bl.a. æringsstoffer og organisk stof og ved udvalgte renseanlæg og særskilte industrielle udledere en række miljøfremmede stoffer og tungmetaller.

### Atmosfærisk deposition

Tilførslen til landområder og marine områder af kvælstofforbindelser, svovl og tungmetaller via luften bestemmes dels ved målinger på nedfaldet ved 10 målestationer fordelt over hele landet og dels ved modelberegninger.

Tabel 1.1 Oversigt over undersøgte parametre i de forskellige delprogrammer under NOVA-2003. I programbeskrivelsen for NOVA-2003 findes oversigt over hvilke stoffer, der analyseres for (*Miljøstyrelsen, 2000*). \*Kemiske analyser er i søer og marine områder udført på både vand- og sediment.

Undersøgte parametre	Søer	Vandløb	Grundvand	Landovervågning	Punktkilder	Marin	Atmosfære
Oplandsbeskrivelser Oplandsanalyser	x x	x x	x	x x			
Fysiske parametre: - ilt og temperatur - vandmængder - stofmængder - alder, jordfysik	x x x	x x x	x x x x	x x x	x x x	x x x	x x
Kemiske parametre*: - næringsstoffer - org. stof, andre param. - forsurende stoffer  - miljøfremmede stoffer - tungmetaller - pesticider	x x	x x	x x x	x x x	x x x	x x	x x
Biologiske undersøgelser: - planteplankton - dyreplankton - fiskeyngel - fisk - vegetation - smådyr	x x x x	x x x				x x x	



### **Landovervågning**

Landovervågningen omfatter 5 overvågningsoplunde (LOOP) med detaljerede beskrivelser af dyrkningspraksis, fysisk-kemiske målinger i rodzonen, kemiske analyser af grundvand, gylle og vandløb. Endvidere udvikles vand- og stoftransportmodeller for en række oplunde i samarbejde med vandløbsprogrammet. Derudover omfatter landovervågningen en række andre oplunde med et varierende og mindre omfattende program.

### **Grundvand**

I grundvandet måles stofindhold, bl.a. pesticider og andre miljøfremmede stoffer samt grundvandsstand og indvundne vandmængder. Hydrologiske modeller udarbejdes for de enkelte overvågningsområder (GRUMO).

### **Vandløb**

I vandløbene måles afstrømningsforhold og transport af næringsstoffer og organiske stof. Den samlede stoftilførsel til marine kystafsnit opgøres. I nogle udvalgte vandløb måles der desuden miljøfremmede stoffer, pesticider og tungmetaller. Smådyrene undersøges for at bedømme den biologiske vandløbskvalitet. På udvalgte steder undersøges fiskebestand og vegetation. Koblet til landovervågningen gennemføres oplandsanalyser for bl.a. at bestemme transportveje for næringsstoffer.

### **Søer**

Undersøgelserne af søerne omfatter et intensivt program for 31 søer med oplandsbeskrivelser, analyser af næringsstoffer, miljøfremmede stoffer, pesticider og tungmetaller, analyser af næringsstofforholdene i sedimentet samt biologisk struktur (plante- og dyreplankton, fisk, planter). I et ekstensivt program indgår et større antal søer i en treårig turnus med et mindre omfattende måleprogram.

### **Marine områder**

I de marine områder måles stofkoncentrationer i vandet i fjorde og i åbne marine områder, i sedimenter på bunden og i organismerne. Forekomst og sammensætning af bunddyr, alger og højere planter fastlægges, og mængden af miljøfremmede stoffer og tungmetaller i fisk og muslinger undersøges. Makroalgevegetationen overvåges ved 8 stenrev. Iltforholdene måles for at kortlægge iltvind. Vand- og stofudskiftning i fjorde og vand- og næringsstoftransporter i de åbne farvande beregnes ved modeller ud fra målinger af strømningsforhold, stoftilførsler fra land og luft og ud fra stofkoncentrationer i havvandet.

Intensive undersøgelser foregår i 6 typefjorde, ved 16 havstationer og ved 6 automatiske målebøjer. Herudover overvåges 32 repræsentative

fjord- og kystområder samt 26 ekstensive havstationer i de indre danske farvande og 50 i Nordsøen og Kattegat.

### **Mere information**

Yderligere oplysninger om NOVA-2003 kan findes på programmets hjemmeside på web-adressen <http://OVS.dmu.dk>. Her findes en samlet programbeskrivelse og links til de institutioner, der indgår i samarbejdet omkring overvågningen af det danske vandmiljø.

## 2 Klima og vandmængder

### 2.1 Klimaet

Vejret i 2001 var lidt varmere og mere nedbørsrigt og havde lidt flere solskinstimer end normalen for perioden 1961-1990.

#### Temperaturforhold

Middeltemperaturen på 8,2 °C var 0,5 °C over normalen (1961-90) men lidt under gennemsnittet for overvågningsperioden 1989-2001 på 8,5 °C. Kun marts, juni og december var koldere end normalt. De øvrige måneder havde enten normal temperatur (april og september) eller var varmere end normalt. Der var varmere rekord i oktober med 12,0 °C mod normalt 9,1 °C. 11 af de 13 overvågningsår har været varmere end normalen og gennemsnittet for 1989-2001 har været hele 0,8 °C over normalen. Vinteren 2000/2001 var lun, og dermed fortsætter mønstret med milde vintre, hvor gennemsnitstemperaturen for overvågningsperioden har været 2,6 °C mod normalen på 0,9 °C.

#### Nedbørsforhold

Nedbøren var nær det normale i 2001 med 751 mm nedbør eller 39 mm (5%) over normalen. Kun september med 137 mm mod normalt 73 mm afveg væsentligt fra månedsnormalerne. De 13 overvågningsår har været 15 mm over normalen (tabel 2.1).

Der er stor geografisk variation i nedbørsmængden.

#### Sol og vind

Der var 1780 solskinstimer i 2001 svarende til 79 timer over normalen. Middelvindhastigheden ved kyststationer var med 5,2 m/s noget under normalen på 5,8 m/s. Især i januar, marts og december var middelvindhastigheden lavere end normalt og hyppigheden af blæst var også betydeligt lavere end normalt i 1. og 4 kvartal af 2001.

### 2.2 Ferskvandsafstrømning

#### Ferskvandsafstrømningen

Den samlede ferskvandsafstrømning fra Danmark var i 2001 ca. 14,4 milliarder m<sup>3</sup> svarende til 335 mm (tabel 2.1). Årets afstrømning var hermed kun 2% over middelastrømningen for 1971-2000 på 328 mm. Afstrømningen var samtidig 3% over midlen for 1989-2001. September og oktober havde en afstrømning over normalen grundet de store nedbørsmængder, der faldt i september. Snedebør i marts og december medførte at afstrømningen blev lavere end normalt i disse måneder.

Tabel 2.1 Årsmiddel for temperatur, nedbør og ferskvandsafstrømningen. Vinterværdier er middel for perioden fra december til marts. Normaler er for 1961-90, for afstrømning dog 1971-2000. (Bøgestrand (red.), 2002 & Cappelen og Jørgensen, 2002).

Periode	Temperatur		Nedbør		Afstrømning		
	År °C	Vinter °C	År mm	Vinter mm	År mm	År 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	vinter mm
1989	9,2	4,7	581	210	252	10800	133
1990	9,3	4,7	812	271	322	13900	151
1991	8,2	2,1	654	197	296	12700	154
1992	9,0	3,5	706	208	294	12600	129
1993	7,6	2,4	758	199	325	14000	155
1994	8,7	1,8	880	360	455	19600	259
1995	8,2	2,8	652	337	363	15600	246
1996	6,8	-1,6	505	70	190	8200	68
1997	8,5	1,4	622	153	207	8900	104
1998	8,2	3,5	860	243	362	15600	136
1999	8,9	2,1	905	277	427	18400	204
2000	9,2	3,2	768	331	382	16400	226
2001	8,2	1,8	751	204	335	14400	159
<b>1989-2001</b>	<b>8,5</b>	<b>2,5</b>	<b>727</b>	<b>235</b>	<b>324</b>	<b>13900</b>	<b>163</b>
1961-90	7,7	0,9	712	207	326	14000	159

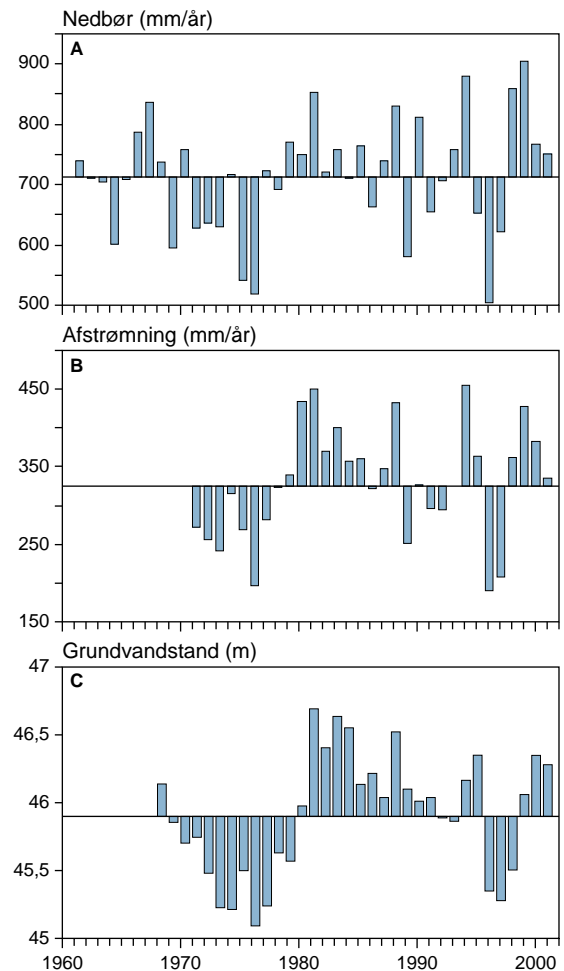
Afstrømningsforholdene udviser ligesom nedbøren en stor geografisk variation i 2001. Fra Øerne var ferskvandsafstrømninger fra under 150 og op til 250 mm, mens afstrømningen fra Vestjylland var mellem 350 og 480 mm.

Med to nedbørmæssigt forholdsvis normale år har der vurderet ud fra nedbørs- og afstrømningsforholdene ikke været nogen væsentlig opbygning eller reduktion af grundvandsmagasinerne i 2001.

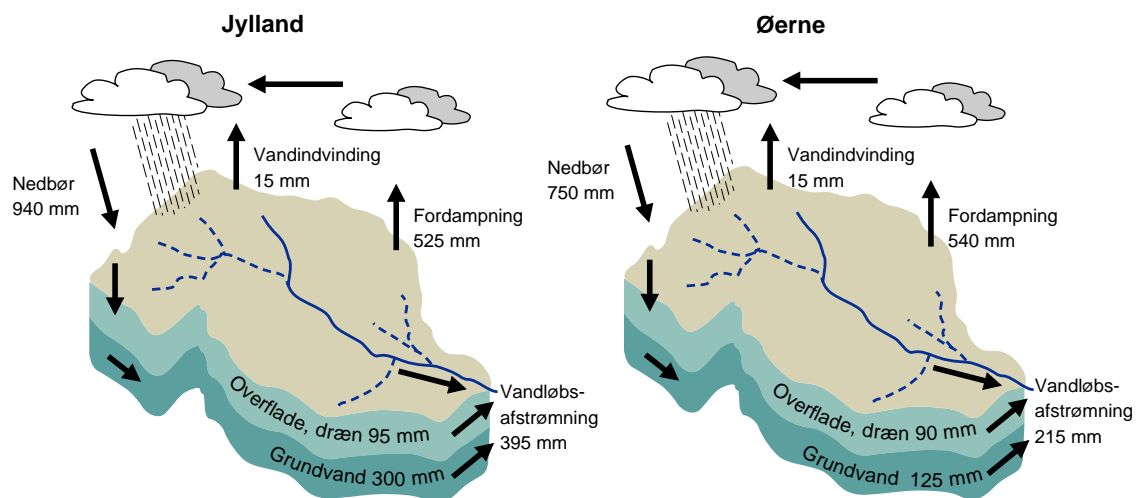
### Vandbalance

Der er overordnet en god sammenhæng mellem nedbør og afstrømning (figur 2.1). Afstrømningen reagerer med en vis forsinkelse i forhold til nedbøren, da en del af denne siver ned i jorden til primære og sekundære grundvandsmagasiner, før den når til vandløb. I tørre år vil afstrømningen ofte være større, end nedbøren kan forklare, idet der så tæres på grundvandsmagasinerne som f.eks. i 1989 og 1995 (tabel 2.1 og figur 2.1). I våde år vil en del af nedbøren gå til at fylde grundvandsmagasinerne, og afstrømningen bliver lavere end forventet som f.eks. i 1990 og 1998. Under og efter tørre år ses et fald i grundvandsstanden, mens der i og efter våde år sker en stigning.

Det hydrologiske kredsløb er vist i figur 2.2 opdelt for Jylland og for Øerne. Da vandbalancen er opstillet over en lang periode, har der ikke været væsentlige ændringer i grundvandsmagasinerne. Vandbalancen viser, at afstrømningen kun er 215 mm på Øerne mod 395 mm i Jylland grundet lavere nedbør og lidt højere fordampning. Dette betyder samtidig, at man lettere påvirker afstrømningsforholdene i vandløb på Øerne end i Jylland. Det er også typisk på Sjælland, at der om sommeren optræder udtørrende vandløb, især hvor der også sker en betydelig vandindvinding.



Figur 2.1 Årsmiddelnedbør (A), afstrømningen fra Danmarks (B) og årsmiddelgrundvandskoten ved Karup (C) for 1961-2001 vist i forhold til gennemsnittet for 1961-90 (A), 1971-90 (B) og 1968-90 (C) (Bøgestrand (red), 2002, Cappelen & Jørgensen, 2002 & GEUS, 2002).



Figur 2.2 Det hydrologiske kredsløb med værdier for vandbalancen for perioden 1971-2000 opdelt på henholdsvis Jylland og Øerne. Modificeret efter Ovesen et al, 2000.

### 3 Kilder til kvælstof, fosfor og organisk stof

Organisk stof og næringssalte er naturligt forekommende i vandområderne, incl. grundvand. De er en forudsætning for liv i vandområderne, men de er samtidig den vigtigste kilde til forurening af vore vandområder. Når disse stoffer tilføres i meget større mængder end den naturbetingede tilførsel, kommer der for meget næringsstof i vandet, og plante- og dyrelivet ændres, oftest i en uønsket retning. Kilderne til denne forurening (eutrofiering) opdeles i punktkilder (spildevand) og diffuse kilder, der omfatter udvaskning fra landarealer og tilførsel fra luften.

#### 3.1 Punktkilder

Der er siden 1989 sket en markant reduktion i de samlede udledninger fra punktkilder. Den samlede reduktion er på 70% for kvælstofs vedkommende, 84% for fosfor og 81% for nedbrydeligt organisk stof (BOD).

Reduktionen i udledninger er hovedsageligt opnået gennem reduktioner i udledninger fra renseanlæg og industri med egen udledning. Dog er udledningen af fosfor fra den spredte bebyggelse og udledningen fra fiskeopdræt anlæg også faldet.

Langt den største spildevandsmængde udledes fra renseanlæg. Selv om rensningsgraden generelt er god, bidrager de med ca. 50% af den samlede udledning af fosfor og kvælstof fra punktkilder. For organisk stof er industriens udledning den største kilde med ca. 25% af den samlede udledning fra punktkilder (tabel 3.1).

Tabel 3.1. Udledning af vand, organisk stof (BOD), kvælstof og fosfor fra punktkilder i 2001 (Miljøstyrelsen, 2002).

Punktkilder 2002	Vand mio. m <sup>3</sup> /år	BOD t/år	Kvælstof t/år	Fosfor t/år
Renseanlæg	720	2.551	4.219	470
Spredt bebyggelse	13	3.945	1.005	229
Regnbetingede udledninger	203	2.119	756	190
Industri	75	4.301	813	52
Ferskvandsdambrug	-	3.210	1.197	91
Havbrug	-	1.622	250	26
I alt		17.748	8.240	1.058

#### Renseanlæg

Det samlede antal renseanlæg reduceres fortsat, fordi spildevandet samles på færre og større anlæg. I 2001 var antallet af renseanlæg 1.311, hvoraf 269 er omfattet af Vandmiljøplanen. I forhold til udledningen i slutningen af firserne er der sket en reduktion i udledningerne på 94% for BOD, 79% for N og 92% for P.

Renseeffektiviteten er generelt god. Den opnåede kvalitet af det udledte spildevand er, som det fremgår af tabel 3.2, i gennemsnit langt bedre end Vandmiljøplanens generelle krav. Af det letnedbrydelige, iltforbrugende organiske stof (BOD) er der kun 1,7% af den tilførte mængde, der ikke fjernes i renseanlæggene. Der er udledt 13,7% af den tilførte kvælstofmængde, men dette er dog af mindre forureningsmæssig betydning, fordi de diffuse bidrag er langt større end punktkildebidragene. Størst forureningsmæssig betydning har fosforudledningen, selv om ca. 93 % fjernes på renseanlæggene. De teknologiske muligheder for at forbedre fosforfjernelsen vil være gode på mange anlæg.

#### Overskridelse af udlederkrav

Selv om der generelt sker en god rensning på renseanlæggene, er der sket overskridelse af udlederkrav på i alt 80 anlæg i 2001. På 29 af disse var der også overskridelser i 2000.

Amterne har vurderet, at 5% af overskridelserne medførte påvirkning af en begrænset del af det recipientområde, hvortil udledningen sker. Yderligere 51% har givet en påvirkning lokalt omkring udledningsstedet. 34% af overskridelserne er vurderet ikke at have medført nogen påvirkning. For 10% af overskridelserne er en eventuel påvirkning ikke angivet.

Tabel 3.2 Gennemsnitlig tilløbs- og afløbskvalitet for alle danske renseanlæg i 2001 sammenlignet med Vandmiljøplanens generelle krav for anlæg over 5.000 PE (Miljøstyrelsen, 2002).

Renseanlæg 2001	BOD	Kvælstof	Fosfor
	mg/l	mg/l	mg/l
Tilløb til renseanlæg	203	43	9,4
Afløb fra renseanlæg	3,5	5,9	0,65
VMP afløbskrav	15	8	1,5

### Særskilte industriudledninger

Størstedelen af stofudledningerne sker fra virksomheder omfattet af Vandmiljøplanens krav om reduktion af de udledte mængder af organisk stof, kvælstof og fosfor (tabel 3.3). Dette er oftest store virksomheder. For alle 3 stoffer er udledningerne 10-15% mindre end i 2000.

Den samlede udledning af organisk stof og næringssalte har været faldende gennem hele perioden 1989 til 2001. Det største fald er sket for fosfor, især som følge af en effektiv indsats på et par store industrier, så at der i 2001 kun udledes 4% af udledningen i 1989.

Sukkerfabrikkerne var de dominerende udledere af organisk stof med i alt 2600 tons BOD i 2001, mens fiskeindustrien leverede det største bidrag af kvælstof (227 tons) og af fosfor (16 tons).

### Regnbetingede udledninger fra byer

Overfladeafstrømning fra veje, tage og andre befæstede arealer udledes gennem separate regnvandsudløb i separatkloakerede områder (tabel 3.4). I fælleskloakerede områder sker udledning af dette vand opblandet med urensset spildevand. Der er i alt i Danmark 14.820 sådanne udløb, der afvander 71.300 ha.

Opgørelse af udledningerne sker gennem beregninger og modeller ud fra nedbør, karakter af kloakoplande og erfaringstal for stofindhold. Variationerne fra år til år følger især nedbørsfordelingen. Der er betydelig usikkerhed på de beregnede værdier, men sikkerheden er øget gennem de senere år, fordi der er lavet mere detaljerede opgørelser af kloakoplande. Indberetningen for renseanlæggene større end 5.000 PE viser, at på trods af at overløbene i dag kun udgør 1-2% af belastningen i renseanlæggenes oplande, har stofudledningerne i mange tilfælde samme størrelsesorden som udløbene fra renseanlæggene. I middel udgør de dog betydeligt mindre (se tabel 3.1).

Regnbetingede udledninger kan reduceres gennem bygningsmæssige og driftsmæssige ændringer i kloaksystemet, bl.a. ved at lede vandet gennem et regnvandsbassin. Sådanne bassiner dækkede i 2001 26.600 ha befæstet kloakopland, mens 44.700 ha var uden bassin.

Tabel 3.4 Regnbetingede udledninger i 2001 fra fælleskloakerede og separatkloakerede områder (Miljøstyrelsen, 2002).

RBU 2001	Vand 1000 m <sup>3</sup> /år	COD t/år	Kvælstof t/år	Fosfor t/år	kvælstof mg/l	fosfor mg/l
Fælleskloakeret	39.352	6.020	427	109	10,9	2,8
Separatkloakeret	164.076	7.323	329	81	2,0	0,5
I alt	203.000	13.300	756	190	-	-

### Bebyggelse i det åbne land

Kommuner og amter opgør udledninger af spildevand fra ukloakerede områder i det åbne land. Opgørelsen foretages ud fra kendskab til afledningsform og type af rensning kombineret med erfaringsværdier for udledte mængder pr. person.

Tabel 3.5 viser den årlige udledning til vandområder af organisk stof, kvælstof, fosfor og spildevand på landsbasis fordelt på de forskellige ejendomstyper i det åbne land.

Det fremgår af tabel 3.5, at langt hovedparten af stofbelastningen stammer fra helårsboligerne i den spredte bebyggelse og landsbyerne. Der er ikke sket væsentlige ændringer i de totale udledninger i de senere år. Der er planlagt en forbedring af spildevandsrensning i det åbne land. I alt ca. 78.000 helårsboliger uden for kloakerede områder skal forbedre deres spildevandsrensning (ud af et samlet antal på ca. 127.000 med direkte udledning). Det vil især forbedre tilstanden i små vandløb og i søer.

### Ferskvandsdambrug og saltvandsbaseret fiskeopdræt

Antallet af ferskvandsdambrug er siden 1989 mindsket fra 570 til 370, hvoraf 359 var i drift i 2001. Vandmiljøproblemer ved dambrugsdrift skyldes især en påvirkning med organisk stof umiddelbart nedstrøms dambrug, at nogle dambrug spærrer for fiskepassage, og at dambrug giver et bidrag til forurening af nedstrøms søer og fjorde med fosfor og evt. kvælstof.

Tabel 3.3 Organisk stof, kvælstof og fosfor udledt fra særskilte industrielle udledere i 2001. Desuden er anførte udledningens størrelse i % af udledningen i 1989 (Miljøstyrelsen, 2002).

Industri 2001 med egen udledning	BOD t/år	Kvælstof t/år	Fosfor t/år
Omfattet af VMP	3.847	576	40
Øvrige udledere	454	237	12
I alt	4.301 8%	813 13%	52 4%

**Tabel 3.5** Udledt mængde af spildevand, organisk stof, kvælstof og fosfor fra ejendomme uden for kloakopland til vandområderne i 2001 (*Miljøstyrelsen, 2002*).

Spredt bebyggelse 2001	Vand 1000 m <sup>3</sup> /år	Organisk stof BOD t/år	Total kvælstof t/år	Total fosfor t/år
Sommerhuse	204	60	14	3
Helårsboliger	10.849	3.311	844	192
Landsbyer	1.732	525	134	31
Andet	173	48	13	3
I alt	12.966	3.945	1.005	229

**Tabel 3.6** Foderforbrug, produktion og udledning fra ferskvandsdambrug og saltvandsbaseret fiskeopdræt i 2001 (*Miljøstyrelsen, 2002*).

Fiskeopdræt 2001 (antal)	Foderforbrug t/år	Produktion t/år	BOD t/år	Kvælstof t/år	Fosfor t/år
Ferskvand (370)	29.816	31.029	3.210	1.197	91
Saltvand (34)		6.359	1.622	250	26

Nettoudledningen af organisk stof, kvælstof og fosfor beregnet ud fra foderforbrug og produktion på det enkelte dambrug er angivet i tabel 3.6. Fiskeproduktionen er faldet med ca. 10% i perioden 1989-2001, og udledningerne af organisk stof, kvælstof og fosfor fra dambrugene er ca. halveret.

Produktion og udledning fra saltvandsbrug er noget mindre end for ferskvandsbrug. Der er også for saltvandsbaserede brug sket et fald i udledningerne siden 1989, men faldet har været noget mindre end for ferskvandsbrugene, formentlig fordi der ikke er muligheder for rensning på havbrug. Udledningen af kvælstof og fosfor pr. ton produceret fisk er dog ca. halveret (N fra 97 til 45 kg og P fra 14 til 9 kg) som følge af bedre foderkvalitet og en optimering af fodringen.

### Amtspådelte udledning

Udledningen fra punktkilder er ikke jævnt fordelt over landet, men følger befolkningsfordeling, virksomhedsplacering og rensningsindsats. Som illustration er vist i tabel 3.7, hvorledes fosforudledningen fordeler sig på de enkelte kildetyper i hvert enkelt amt.

Set i forhold til indbyggertallet er fosforudledningen fra renseanlæg omtrent ens over hele landet med den mindste udledning på Fyn og de største udledninger i København + Frederiksberg kommuner og i Storstrøms Amt.

**Tabel 3.7** Fosforudledning fra de forskellige punktkilder fordelt på amterne i 2001 (tal fra *Miljøstyrelsen, 2002*).

Fosforudledning i 2001	Befolkning personer (jan.2001)	Renseanlæg tons P	Industri udledn. tons P	Regnbet. udledn. tons P	Spredt bebygg. tons P	Dambrug tons P	Marin fiskeprod. tons P	I alt tons P	Udledt pr. indb. kg/år
København + Frb.	590.224	70	0	5	0	0	0	75	0,13
København amt	615.115	46	1	15	1	0	0	63	0,10
Frederiksborg	368.116	26	0	8	4	0	0	38	0,10
Roskilde	233.212	22	2	5	5	0	0	34	0,15
Vestsjælland	296.875	25	2	10	27	0	6	70	0,24
Storstrøm	259.691	40	13	16	31	0	5	105	0,40
Bornholm	44.126	6	0	1	4	0	0	11	0,25
Fyn	472.064	22	2	18	30	0	1	73	0,15
Sønderjylland	253.249	30	3	14	19	2	4	72	0,28
Ribe	224.064	26	2	15	11	22	0	76	0,34
Vejle	349.186	34	0	14	19	12	5	84	0,24
Ringkøbing	273.517	19	8	12	16	32	3	90	0,33
Århus	640.637	45	1	16	26	5	1	94	0,15
Viborg	233.921	19	4	10	12	8	1	54	0,23
Nordjylland	494.833	39	14	28	25	10	0	116	0,23
I alt	5.349.212	470	52	187	229	91	26	1055	0,20

Man kunne forvente, at udledningen var større i de amter, der har mange anlæg mindre end Vandmiljøplanens grænse for fosforfjernelse på 5.000 personer. Spildevandsrensningen er dog lige så effektiv i amter med mange små anlæg, fordi der her er stillet krav om fosforfjernelse også til små anlæg. Desuden er der ofte (krav om) en langt bedre rensning end Vandmiljøplanens generelle krav for at beskytte lokale recipienter.

I amter med megen spredt bebyggelse og evt. fiskeopdræt bliver den totale udledning pr. indbygger dog generelt større end fra mere bydominerede områder. På landsplan udledes der med spildevand fra hver person ca. 0,2 kg fosfor pr. år til vore vandområder.

### Udvikling i udledning fra punktkilder

Udledningen af kvælstof fra samtlige punktkilder er reduceret fra 27.600 tons i 1989 til 8.200 tons (30%) i 2001, mens fosforudledningen er mindsket fra 6.600 tons til 1.060 tons (16%) i samme periode. Reduktionerne i udledninger har været omtrent parallelle for fosfor og for kvælstof. Udviklingen i fosforudledning fordelt på kilder vist i figur 3.1.

Den største reduktion i fosforudledningen skete i begyndelsen af 1990'erne ved udbygning af renseanlæg med fosforfjernelse. Før 1989 var der dog etableret fosforfjernelse på mange anlæg for at mindske eutrofieringen af søer og fjorde.

## 3.2 Diffuse næringssaltkilder

De diffuse kilder er tilførsel til vandområderne fra atmosfæren og udvaskning fra landarealer. Atmosfærebidraget kommer dog oprindeligt i høj grad fra punktkilder, f.eks. kraftværker, industrier, husdyrhold og fra trafik, men det behandles her som en diffus kilde, da det vanskeligt kan henføres til den enkelte kildetype.

Selv uden menneskelig påvirkning ville der være en vis næringssalttilførsel fra atmosfæren og en vis udvaskning fra jorden (den naturbetingede tilførsel eller baggrundstilførslen). Denne er dog langt mindre end det samlede diffuse bidrag i dag, men vanskelig at opgøre, fordi forholdene i dag er så fjernt fra den upåvirkede baggrundstilstand.

Tabel 3.8 Deposition af kvælstofforbindelser i 2001 (Ellermann et al, 2002).

Atmosfærebidrag 2001	Til land-arealer	Til marine områder
Deposition pr. km <sup>2</sup> /år	1,4 –2,4	0,8-1,5
Gennemsnit	(2,0)	(1,1)
Deposition i alt t N/år	87.000	118.000

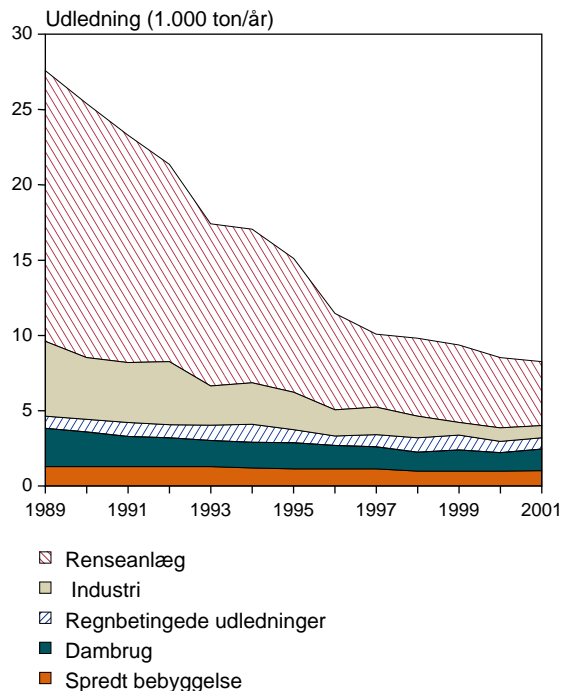
## Atmosfærisk deposition af kvælstof

### Kvælstofdeposition til landområder

Kvælstofdepositionen til landområderne ligger mellem 1,4 og 2,4 t N/km<sup>2</sup> år, med størst deposition i Jylland og lavest deposition i den østlige del af landet. For landet som helhed (43.096 km<sup>2</sup>) beregnes en kvælstofdeposition på 87.000 t N/ år eller ca. 2 t N/km<sup>2</sup> år, hvilket svarer til depositionerne i 2000. Den geografiske variation i depositionen skyldes fordelingen af nedbør, forskelle i afstand til områder med høje emissioner i den nordlige del af det europæiske kontinent og intensitet af husdyrbrug og dermed ammoniakemission på mere lokal skala. Depositionen pr. arealenhed er generelt højere til lands end til vands. Det skyldes især deposition af ammoniak fra lokale landbrug, og at landoverflader lettere end vandoverflader optager luftens kvælstofdioxid.

### Kvælstofdeposition til marine områder

For 2001 viser modelberegningerne, at den samlede kvælstofdeposition til de danske farvande, fjorde, vige og bugte varierer fra 0,8 til 1,5 t N/km<sup>2</sup> år med et gennemsnit på omkring 1,1 t N/km<sup>2</sup> år. Dette giver en samlet kvælstofdeposition til de danske farvandsområder (105.372 km<sup>2</sup>) på 118.000 t N/år.



Figur 3.1 Årlig udledning af fosfor fra punktkilder i perioden 1989-2001 (Miljøstyrelsen, 2002).

### Samlet kvælstofdeposition

I tabel 3.8 er angivet den samlede deposition af kvælstof over danske landarealer (incl. ferske vand) og over danske marine områder. Den samlede deposition var ca. 20% mindre end i 2000, især på grund af lavere nedbørsmængder over de fleste farvande. Generelt var depositionerne højest i forårsmånederne og lavest i vintermånederne. Den samlede deposition i 2001 var på 205.000 tons.

Dette er noget mere end de samlede danske kvælstofkilder til luftforurening, der i 2000 er opgjort til 148.000 tons. Der er således en betydelig nettoimport af kvælstofforbindelser til Danmark gennem luften.

### Kilder til kvælstofdeposition

Af den samlede deposition til farvandene bidrager danske kilder med 30% til Kattegat og 9% til Nordsøen. For nogle fjorde, vige og bugter er det danske bidrag mere end 40% som følge af deposition af lokalt emitteret ammoniak fra husdyrhold. I gennemsnit udgør det danske bidrag omkring 16% af den atmosfæriske kvælstoftilførsel til de danske farvande i 2001. For depositionen til landområderne udgør de lokale danske kilder i gennemsnit 40% af den totale deposition. For depositionerne i husdyrbrugsområder vil der være store lokale variationer grundet bidragene fra husdyrhold i nærområdet.

I figur 3.2 er som illustration vist en kildeop-splitning af det gennemsnitlige kvælstofbidrag pr. km<sup>2</sup> på Kattegat. Bidragene er opdelt i danske og i udenlandske kilder for dels ammoniumbidrag, der hovedsageligt stammer fra landbrug og dels iltede kvælstofforbindelser, der hovedsageligt stammer fra forbrændingsprocesser. Den totale deposition på Kattegat (16.841 km<sup>2</sup>) var 15.700 tons N i 2001.

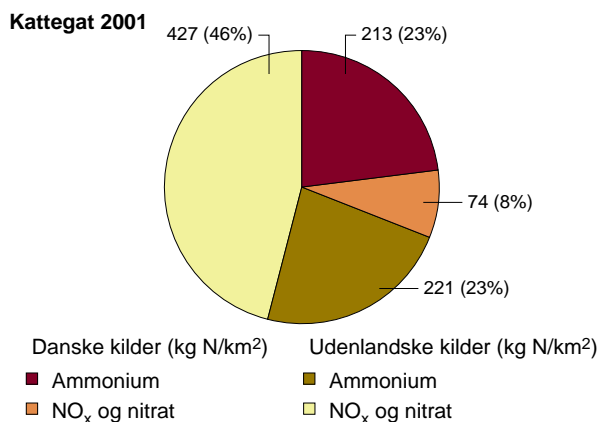
Hovedparten (60-84%) af kvælstofdepositionen i Danmark stammer altså fra udlandet. Dette skyldes, at kvælstofforbindelserne transporteres over store afstande med luften. I Danmark kommer den største del af luftforureningen fra den nordlige del af det europæiske kontinent, hvor emissionerne fra både landbrug og forbrændingsprocesser er høje. De målte reduktioner i våddeposition og stofkoncentrationer følger reduktionerne i danske og europæiske emissioner.

### Stofkoncentrationer i luften

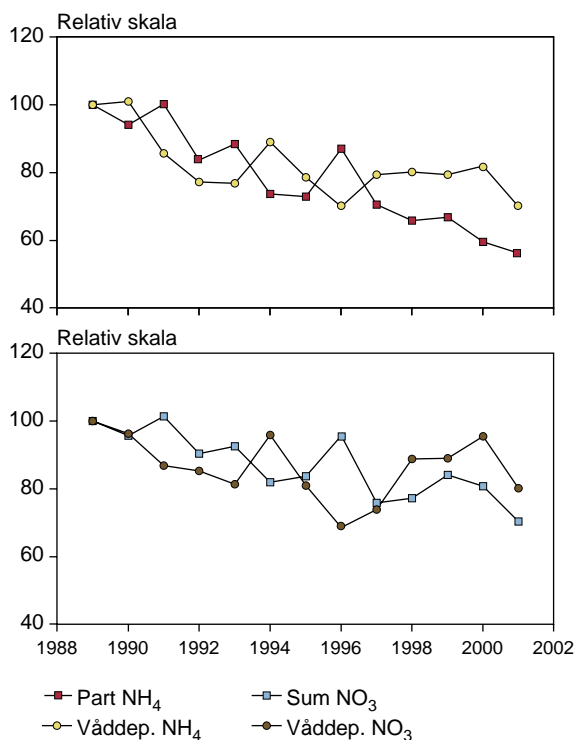
Ændringerne i luftkoncentrationerne af kvælstofforbindelserne på målestationerne viser samme billede, som ved tidligere rapporteringer (se figur 3.3):

- For ammonium måles signifikante fald på alle målestationer på 30-43% i løbet af perioden 1989-2001.
- For sum-nitrat observeres signifikante fald på alle målestationer. Faldet ligger på 20-30% for perioden 1989-1999.

For kvælstofdioxid er der på basis af de nuværende tidsserier ikke påvist udviklingstendenser for perioden 1989-2001. Variationerne fra år til år er store og overskygger eventuelle tendenser.



Figur 3.2 Atmosfærisk deposition af ammonium og iltede kvælstofforbindelser (NO<sub>x</sub> og nitrat) til Kattegat i 2001 fordelt på danske og udenlandske kilder. Tallene er gennemsnit pr. km<sup>2</sup> (Ellermann et al, 2002).



Figur 3.3 Relative ændringer i våddeposition og koncentrationer af ammoniak og kvælstofoxider. Tallene er gennemsnit for danske målestationer (Ellermann et al, 2002).



### Udvikling i kvælstofdeposition

På basis af et fald i våddepositionen (ca. 15%) vurderes, at der har været et fald i den samlede kvælstofdeposition til de danske farvande. Denne vurdering skal tages med forbehold for, at ændringerne fra år til år er store i forhold til den samlede ændring over perioden 1989-2001.

For ammoniak varierer billedet meget fra målestation til målestation. Ved Tange observeres et statistisk signifikant fald på 33% i løbet af perioden, mens ændringerne på de øvrige målestationer er mindre og ikke signifikante.

### Usikkerhed på beregninger af atmosfærebidrag

Usikkerheden på beregning af deposition af kvælstof til de danske land- og vandområder er meget vanskelig at bestemme. Med udgangspunkt i sammenligning mellem modelberegningerne og målingerne estimeres den samlede usikkerhed i beregningerne af kvælstofdepositionen til land til 50%. Anlægges igen en forsigtig betragtning kan usikkerheden i beregningerne for de indre danske farvande estimeres til ca. 30%.

### Fosfordeposition

Fosforbidraget fra atmosfæren til danske vandområder er lille i forhold til de øvrige kilder, og måling af atmosfærebidraget er forbundet med stor usikkerhed. Måling af fosfordeposition er derfor intensiveret i 2001.

Ud fra disse målinger vurderes det, at den samlede atmosfæriske deposition af uorganisk opløseligt fosfat er på 2-4 kg P/km<sup>2</sup> år nogenlunde ligeligt fordelt mellem våddeposition og tørdeposition. Usikkerheden på estimererne er betydelig, formentlig på ± 0,5-1 kg P/km<sup>2</sup>.

Det estimeres, at den uorganiske fosfordeposition til de indre danske farvande (areal 31.500 km<sup>2</sup>) er på ca. 130 tons uorganisk opløseligt P i 2001. Estimatet angiver en øvre grænse. Det vurderes, at der ikke er sket ændringer af fosfordepositionen siden 1990.

## 3.3 Udvaskning fra jorden

Der sker en udvaskning af næringssalte fra jorden ved at det vand, der fra jordoverfladen siver ned i jorden mod grundvandet udvasker de opløste næringssalte fra overfladejorden. Fra dyrkede arealer kan der også ske en udvaskning gennem overfladisk afstrømning af vand i forbindelse med nedbør eller tøbrud, og gennem dræning er der øgede muligheder for en hurtig afstrømning af vand fra markerne, uden at vandet skal sive gennem grundvandsmagasiner. Ved overfladisk afstrømning og evt. også ved drænastrømning vil der ofte føres store mængder jordpartikler og dermed par-

tikulært bundet fosfor med ud i vandområderne (Kronvang et al, 2001).

### Naturligt baggrundsbidrag fra land

Det naturbetingede næringssaltniveau bestemmes ved at måle kvælstof og fosforindhold i små vandløb i ikke-opdyrkede områder og uden tilførsel af spildevand. Disse målinger er grundlaget for at beregne den naturbetingede baggrundstilførsel (tabel 3.9).

Tabel 3.9 Baggrunds niveauer (naturbidrag) i 2001 af kvælstof og fosfor til vandløb fra hele Danmarks areal (43.096 km<sup>2</sup>, vandmængde 14.400 mio. m<sup>3</sup>) (Bøgestrand (red), 2002).

Naturbidrag 2001	Total kvælstof	Total fosfor
Koncentration (mg/l)	1,27	0,05
Pr. areal (kg/ha år)	1,95	0,07
Hele landet (t/år)	8.400	320

### Tiltag til reduktion af udvaskning

Nogle af de vigtigste foranstaltninger til opfyldelse af vandmiljøplanernes mål om en reduktion af kvælstofudvaskning er:

- 9 måneders opbevaringskapacitet for husdyrgødning
- forårsudbringning af gødning
- 10% reduktion af gødningsnorm
- krav til udnyttelse af kvælstof i husdyrgødning
- efterafgrøder
- vintergrønne marker.

Enkelte af disse forhold illustreres i det følgende. I øvrigt henvises til Grant et al (2002).

### Dyrkningsmæssige forhold

*Kvælstof - udviklingen i gødningsforbrug for hele landet*  
Figur 3.4 viser, at den forbedrede landbrugspraksis har ført til et markant fald i handelsgødningsforbruget på landsplan. Ifølge tal fra Danmarks Statistik er handelsgødningsforbruget af kvælstof faldet fra 395.000 tons N i 1990 til 229.000 tons N i 2001. Kvælstof tilført med husdyrgødningen er faldet fra ca. 244.000 til 235.000 tons N i samme periode. Mængden af kvælstof fjernet fra markerne med høstede afgrøder har varieret i perioden afhængig af årets høst. Samlet set er nettotilførslen (kvælstofoverskuddet på markerne) herved reduceret fra 375.000 tons N i 1990 til 252.000 tons N i 2001, en reduktion på ca. 33 %.

### Fosfor – gødningforbrug for hele landet og praksis i oplandene

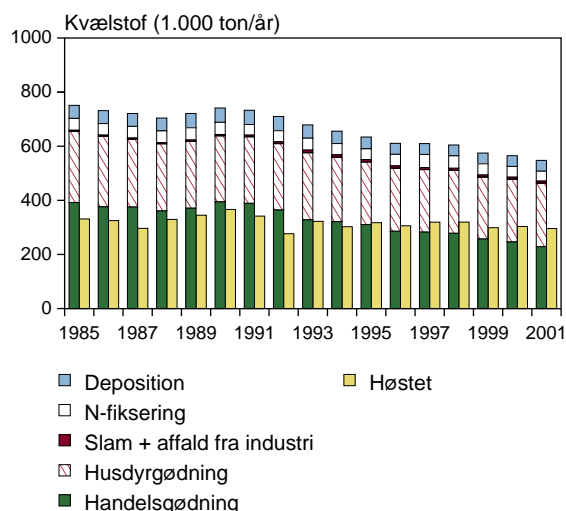
Der er i vandmiljøplanerne ingen krav i forhold til fosforgødsning eller mål vedrørende fosforudvaskning fra jorden. På landsplan er der sket en reduktion i tilførslen af fosfor med handelsgød-

ning fra 1990 til 2001, mens fosfortilførslerne med husdyrgødningen er steget svagt.

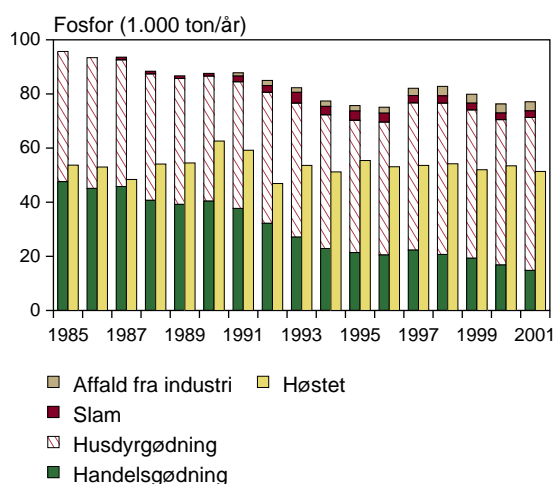
Nettotilførslen har været faldende i perioden og udgør i 2001 ca. 24.000 tons P (figur 3.5).

#### Nettotilførsel af fosfor til markerne på husdyrbrug

Data fra landovervågningsoplandene (Grant et al, 2002) viser, at der er stor forskel på nettotilførslen af fosfor, afhængig af brugstype og husdyrtæthed. På planteavlbrug er der i 2001 omtrent balance mellem tilført og fraført fosfor, mens husdyrbrugene har en nettotilførsel. Nettotilførslen stiger med stigende husdyrtæthed (tabel 3.10).



Figur 3.4 Udviklingen i tildelt kvælstof og høstet kvælstof for hele landbrugsarealet i Danmark i perioden 1985 til 2001 (Grant et al, 2002).



Figur 3.5 Udviklingen i tildelt fosfor og høstet fosfor for hele landbrugsarealet i Danmark i perioden 1985 til 2001 (Grant et al, 2002).

Denne nettotilførsel af fosfor er en konsekvens af, at husdyrgødning indholder mere fosfor end kvælstof i forhold til afgrødernes behov. En gødsning med staldgødning til dækning af kvælstofbehov medfører derfor en overgødsning med fosfor. Jordens fosforbindingsevne er generelt stor, men ved en stadig overgødsning vil udvaskningen fra jorden øges, og udvaskningen vil øges drastisk fra arealer, hvor jordens fosforbindingsevne overskrides.

#### Udvaskning af kvælstof fra markerne

I Landovervågningen måles kvælstofkoncentrationerne i rodzonen på 18 stationsmarker i 3 lerjordsoplande og på 14 stationsmarker i 2 sandjordsoplande. Der er store årstidsvariationer afhængig af de klimatiske forhold. En analyse af udviklingstendenser, som delvis tager højde for disse variationer, viser et statistisk signifikant fald i de vandføringsvægtede kvælstofkoncentrationer i rodzonen på ca. 32% for lerjordsoplandene og 47% for sandjordsoplandene. Spredningen på tallene er imidlertid stor, og med 95% sandsynlighed er reduktionen mellem 9 og 47% for lerjordene og mellem 32 og 61% for sandjordene.

De mest sandsynlige værdier for faldet i kvælstofkoncentrationer i det vand, der forlader markerne er 0,64 mg N/l år for lerjorde og 1,47 mg N/l år for sandjorde. Dette svarer til sandsynlige fald fra 20 til 14 mg N/l fra lerjorde og fra 35 til 20 mg N/l på sandjorde.

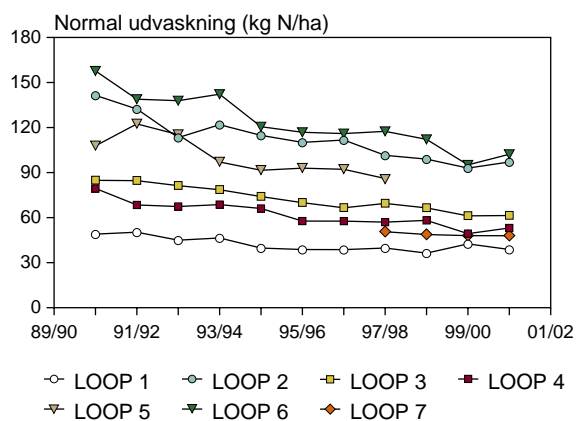
#### Modelberegninger

Kvælstofudvaskning fra hele det dyrkede areal i landovervågningsoplandene er desuden modelberegnet på baggrund af data fra interviewundersøgelsen og ved et gennemsnitsklima for en 10-årig periode, 1990-2000. Her er fundet et fald i kvælstofudvaskning på 32% i perioden fra 1990 til 2001 (figur 3.6).

En statistisk analyse af de vandføringsvægtede kvælstofkoncentrationer i vandløbene i oplandene viser et fald på ca. 20%. I 63 landbrugsdominerede oplande er der fundet et fald i de vandføringskorrigerede kvælstoftransporter i vandløbene på ca. 23% i samme periode.

Tabel 3.10 Fosforbalancer for landbrugsjord på ejendomme med forskellige brugstyper og dyretæthed, Landovervågningsoplande 2001 (Grant et al, 2002).

Fosforbalance for landbrug i LOOP områder	Dyretæthed (DE/ ha)			
	0	0-1,0	1,0-1,7	> 1,7
Handelsgødning (kg P/ha)	12,6	5,1	2,1	1,5
Husdyrgødning <sup>1)</sup> (kg P/ha)	5,3	17,5	27,3	32,9
Høstet (kg P/ha)	17,7	16,4	18,0	20,7
Tilført.-høstet (kg P/ha)	0,1	6,2	11,4	13,7



Figur 3.6 Modelberegnet årlig udvaskning af nitrat ved normalklima for de 7 overvågningsoplande for perioden 1990-2001 (Grant et al, 2002).

### Kvælstofbalance for marken

Den modelberegnete årlige kvælstofudvaskning fra rodzonen, 53 kg N/ha på lerjorde og 105 kg N/ha på sandjorde, svarer stort set til nettotilførslerne af kvælstof til markerne. Udvasningen er væsentlig større fra sandjordene end fra lerjordene. Til trods herfor er kvælstoftransporterne i vandløbene væsentlig højere i lerjordsoplandene (22 kg N/ha) end i sandjordsoplandene (11 kg N/ha). Dette skyldes, at vandafstrømningen på lerjordene sker gennem de øvre jordlag, mens vandafstrømningen på sandjordene fortrinsvis sker gennem de dybere jordlag, hvor det eventuelt har passeret re-doxzonen og således har været udsat for betydelig nitratreduktion.

### Udvasning fra naturarealer

Fra naturarealer er den årlige kvælstofudvaskning ca. 10 kg N/ha og transporten til vandløb ca. 2 kg N/ha.

### Fosforbalance for marken

Den gennemsnitlige nettotilførsel af fosfor i Landovervågningsoplandene var i perioden 1991-2001 11,8 kg P/ha år. Tab af fosfor til vandløbene udgjorde i samme periode 0,36 kg P/ha år. Det er altså kun en lille del af nettotilførslen, der tabes til overfladevand.

### Udvikling i kvælstoftab

Nedenfor er der foretaget en sammenstilling af ændringer i kvælstofforbrug og transporter i landbruget fra 1990 til 2001 (tabel 3.11). Det fremgår, at handelsgødningens forbrug og kvælstofoverskuddet på marken er reduceret med henholdsvis 42 og 33% i perioden. Udvasningen fra rodzonen er reduceret med 32%. Denne reduktionsstørrelse understøttes af målinger på rodzonevandet. I vandløb i landbrugsdominerede typeoplande er kvælstoftransporten reduceret med 23%.

Den lavere reduktion i vandmiljøet end i den modelberegnete udvaskning fra rodzonen skyldes en række forhold, herunder at modellen ikke har inkluderet, hvad der sker når nitrat har forladt rodzonen under den lange transporttid for vand og stoffer fra mark til vandområder.

Tabel 3.11 Reduktion i kvælstofbrug og transporter i landbruget 1990-2001 (Grant et al, 2002 & Bøgestrand (red), 2002).

Kvælstof		1990	2001	Reduktion (%)
Handelgødning, (tons N)		395.000	229.000	42
Kvælstofoverskud (tons N)		375.000	252.000	33
Kvælstof i vand fra rodzone	lerjorde, mg N/l	20	14	32 (9-47)
Kvælstof i vand fra rodzone	sandjorde, mg N/l	32	20	47(32-61)
Modelberegnet udvaskning (kg N/ha år)		111	76	32
Vandløb, dyrkede oplande (mg N/l)		8,1	6,2	23

## 4 Tilførsel til og transport af kvælstof og fosfor i vandområderne

Dette kapitel indeholde dels kildeopsplittede opgørelser af tilførslerne af næringssalte til vandløb og til marine vandområder, dels opgørelse af næringssalttransport fra land til de marine områder og gennem marine områder.

### 4.1 Tilførsel til og transport i vandløb

De samlede næringssalttilførsler til de ferske vande i 2001 er opgjort i tabel 4.1. Opgørelsen er lavet ved at opsummere de punktkildebidrag, der udledes til ferske vande, og de diffuse kilder på land. Nedbørsbidrag på søer og vandløb er ikke medtaget. Det er formentlig højst ca. 500 t/år. Ligeledes er den fixering af atmosfærisk kvælstof, som især blågrønalger i søer kan foretage, ikke medtaget. Dette kvælstofbidrag kan være vigtigt i områder med et stort søareal.

Det ses af tabel 4.1, at langt det største *kvælstofbidrag* til de ferske vande er dyrkningsbidraget. Naturbidraget, dvs. den udvaskning som ville ske, hvis landet ikke var opdyrket, og der ikke var spildevandsudledning, er næststørst, men langt mindre.

*Fosforbidraget* fordeler sig med omtrent halvdelen som dyrkningsbidrag. Det samlede bidrag fra alle typer af spildevandstilførsel er ca. 1/3 af den samlede tilførsel, og naturbidraget er ca. 1/6.

#### Næringssaltfjernelse i søer og vandløb

Der sker en fjernelse både af kvælstof og fosfor under vandets passage gennem de ferske vande. I søerne sker der en tilbageholdelse ved bundfældning af en del af det tilførte materiale og af en del af algeproduktionen i søerne. I gennemsnit fjernes ca. 1/3 af kvælstoftilførslen ved vandets passage af en sø, især ved omsætning af nitrat til atmosfærisk kvælstof (denitrifikation). For NOVA søerne som gennemsnit var kvælstoftilbageholdelsen i 2001 ca. 360 kg N/ha år.

Tilbageholdelsen af fosfor i søerne afhænger meget af, om der er ophobet fosforrigt mudder i bunden fra tidligere spildevandstilførsel. Siden etablering af fosforfjernelse i søernes oplande har fosfortilbageholdelsen i de tidligere spildevandsbelastede søer været mindsket eller været negativ på grund af frigørelse af fosfor fra mudderbunden. Den relative fosfortilbageholdelse forventes øget i løbet af de kommende årtier. Fjernelsen af kvælstof og fosfor i alle søer i Danmark er beregnet til 6.700 t N/år og 10 t P/år (tabel 4.1) ud fra måleresultaterne i NOVA søerne.

Tabel 4.1 Tilførsel af kvælstof og fosfor til vandløb i 2001 fordelt på kilder (*Bøgestrand, 2002 & Miljøstyrelsen, 2002*).

N og P kilder til ferskvand i 2001	Kvælstof t/år	Fosfor t/år
Naturbidrag	8.400	320
Dyrkningsbidrag	62.900	980
Renseanlæg	2.182	202
Regnbetingede udledninger	569	143
Spredt bebyggelse	1.000	228
Industri	50	4
Dambrug	1.174	90
Kilder i alt	76.275	1.967
Målt transport til hav	69.600	1.950
Tilbageholdt i søer	6.700	10

Omsætning af næringsstoffer i vandløb giver dels en forsinkelse i stoftransport, fordi en del næringsalte optages i vandplanterne og frigøres igen senere. En vedvarende tilbageholdelse af næringsalte sker i mindre omfang ved denitrifikation i vandløbsbunden, men kan i stort omfang ske ved aflejring og omsætning af næringsalte i ådale, hvor vandløb oversvømmer lavtliggende arealer ved høj vandføring. Denne næringssaltfjernelse er ikke medtaget i opgørelsen i tabel 4.1. Derfor er tallene for de diffuse kilder (naturbidrag+dyrkningsbidrag) i tabel 4.1 undervurderede svarende til denne fjernelse.

### 4.2 Næringssalttransport fra land til marine områder

Siden 1990 er der sket et signifikant fald i de samlede udledninger i oplandene til de marine kystafsnit for både kvælstof og fosfor. Fosforfjernelse på renseanlæg har mindsket den totale fosfortilførsel med 4.200 t/år. Den samlede *afstrømningskorrigerede* reduktion i kvælstoftilførsel på 46.000 t/år fordeler sig med en reduktion af udvaskningen fra dyrkede arealer på 29.000 t/år og en reduktion af spildevandsbidraget på 17.000 t/år. Reduktionen af den samlede marine belastning fra land af kvælstof og fosfor er henholdsvis ca. 35 og 60% opgjort for perioden 1990 til 2001.

Kvælstof- og fosfortilførslen via vandløb og direkte spildevandsudledninger til de marine kystområder har været opgjort hvert år siden 1989 (figur 4.1). Den diffuse afstrømning er hovedkilden

til kvælstoftilførslen fra land til marine kystafsnit via vandløb og direkte spildevandsudledninger (ca. 80% i gennemsnit for perioden 1989-2001), og den har været tydeligt knyttet til ferskvandsafstrømningen. Den diffuse afstrømning af fosfor udgjorde frem til 1990 en mindre andel af den samlede fosfortilførsel, men betydningen af denne kilde er steget meget i takt med den forbedrede spildevandsrensning med fosforfjernelse.

Den store renseindsats overfor spildevand er meget tydelig, idet de samlede spildevandsudledninger faldt fra ca. 9.000 tons fosfor i perioden 1981-88 til ca. 1.000 tons fosfor i 2001 eller med ca. 90%. Tilsvarende faldt de samlede spildevandsudledninger af kvælstof fra ca. 28.000 tons i perioden 1981-88 til ca. 8.000 tons i 2001 svarende til en reduktion på ca. 70%. I de senere år (fra omkring 1996) har der kun været et mindre fald i spildevandsudledningerne til ferskvand, og det betydelige fald der skete i begyndelsen af 1990'erne, er nu stagneret.

### 4.3 Tilførsel til og transport i marine områder

Næringssalttilførslen til de danske marine områder sker ad 3 hovedårer

- tilførsel fra land med vandløb og spildevand
- tilførsel med nedbør
- tilførsel med havstrømme fra tilgrænsende farvande.

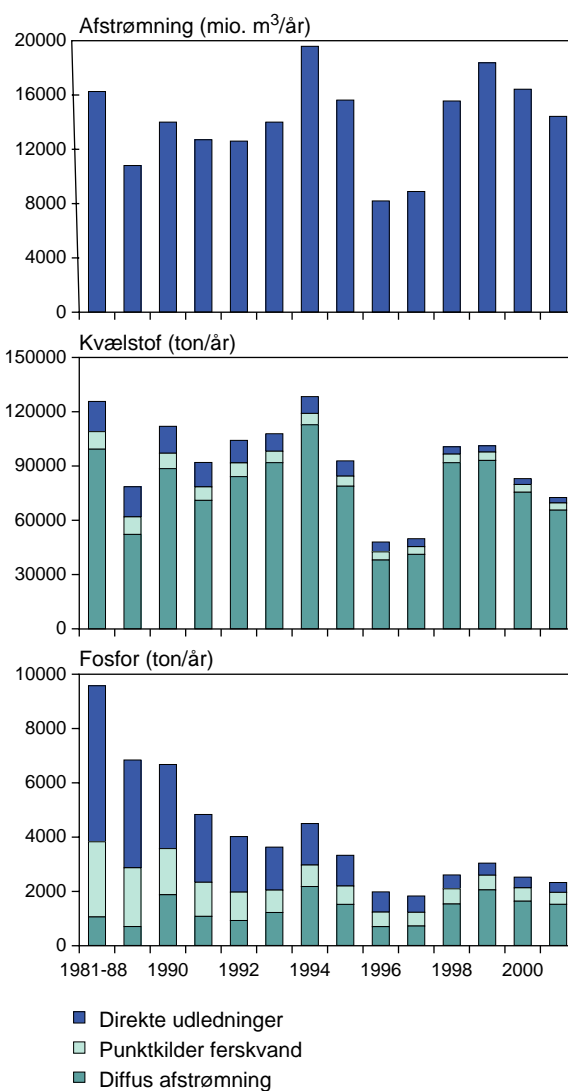
I tabel 4.2 er opgjort tilførslerne af næringssalte fra dansk land og fra luften for det samlede danske søterritorium. En sådan opgørelse tjener kun til at illustrere størrelsen af stoftilførsler. Opgørelsen kan ikke bruges til en vurdering af betydningen af næringssalttilførslerne. Hertil kræves en opgørelse af næringssaltkilderne for *hvert enkelt vandområde* (f.eks. fjord, bugt, Kattegat, Nordsøen, Østersøen), incl. landbidrag fra andre lande og tilførsel fra tilgrænsende farvande.

Tabel 4.2 Tilførsel af kvælstof og fosfor til de danske marine områder (105.372 km<sup>2</sup>) i 2001 fra Danmark og fra atmosfæren (fosfortilførsel fra atmosfæren er en estimeret værdi) (Ellermann et al, 2002 & Bøgestrand (red), 2002).

N og P kilder til marine områder 2001	Kvælstof t/år	Fosfor t/år
Ferskvandstilførsel	69.600	1.950
Spildevand til marine områder	2.037	268
Regnbetingede udledninger	187	48
Industri til marine områder	764	47
Havbrug	250	26
Nedbør på marine områder	118.000	200
I alt	190.838	2.539

Tallene i tabel 4.2 giver ikke et retvisende billede af næringssaltkilder til de marine områder med de største eutrofieringsproblemer. Størstedelen af det danske søterritorium ligger i de åbne dele af Nordsøen og Østersøen. Atmosfærebidraget i de indre danske farvande og specielt i fjordene har langt mindre betydning end for det danske søterritorium som helhed. Her har de lokale tilførsler med vandløb og spildevand tilsvarende større betydning.

Stoftilførslerne fra dansk land til de åbne marine områder er noget mindre end tallene i tabel 4.2, fordi en del af næringssaltene tilbageholdes i fjordene (især hvis vandets opholdstid her er lang), inden de når til åbent hav. Især er kvælstofreduktionen i fjordene ved denitrifikation af betydning, og skønsmæssigt vil ca. ¼ af tilførslen fra land herved blive omsat til atmosfærisk kvælstof.



Figur 4.1 Ferskvandsafstrømningen og den samlede årlige tilførsel af kvælstof og fosfor via vandløb og direkte spildevandsudledninger til de marine kystafsnit for perioden 1989 til 2001 og et gennemsnit for perioden 1981-88 (Bøgestrand (red), 2002).

## Vand- og stoftransporter gennem Kattegat-Bælt-havet

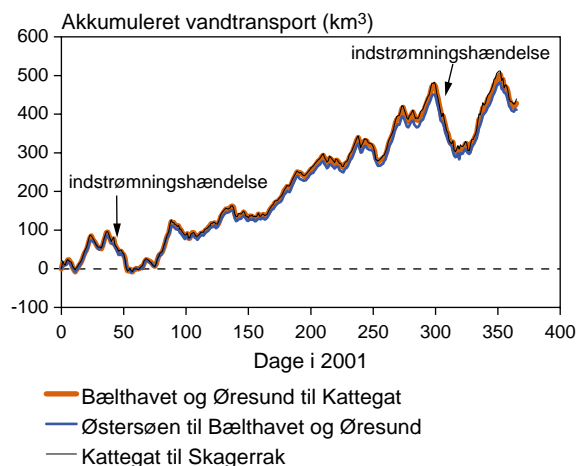
Vand- og stoftransporten gennem de indre danske farvande i 2001 er beregnet med en kombination af Farvandsmodellen (DHI – Institut for Vand og Miljø) og DMU's målinger af næringsstilkoncentrationer i de indre danske farvande. I figur 4.2, 4.3 og 4.4 er vist de beregnede netto transporter af vand, total kvælstof og total fosfor ud gennem de danske farvande i 3 tværsnit – Østersøen til Bælt-havet/Øresund, Bælt-havet/Øresund til Kattegat og Kattegat til Skagerrak (snit ved Læsø). Tværsnittene er valgt således, at der ca. strømmer den samme mængde vand gennem hvert snit.

Nettoudstrømningen fra Østersøen afhænger af ferskvandstilførslen til Østersøen og af de meteorologiske forhold i området. Langtidsmiddel udstrømningen fra Østersøen til Nordsøen er ca. 470 km<sup>3</sup>/år, men år til år variationerne kan variere en del fra dette tal. I 2001 var nettoudstrømningen fra Østersøen ca. 420 km<sup>3</sup>/år (figur 4.2).

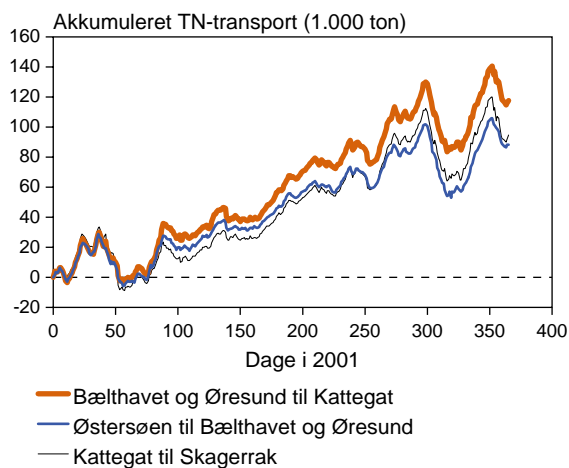
En af de faktorer der i høj grad påvirker størrelsen af nettoudstrømningen fra Østersøen er, om der i et givet år indtræffer markante indstrømningshændelser. I 2001 fandt to indstrømningshændelser sted, én i februar og én i oktober (figur 4.2). Disse indstrømningshændelser vil, hvis de er af tilstrækkelig høj saltholdighed (densitet), forny bundvandet i de dybere dele af Østersøen. Ingen af de to hændelser i 2001 havde dog tilstrækkelig saltholdighed til at bidrage til fornyelse af vandet i den dybere del af Østersøen, men medførte dog en målbar forbedring i iltforholdene i Bornholmsbasinet.

Transporten af total kvælstof (figur 4.3) følger retningen af transporten af vand (figur 4.2). Der er dog forskel i den transportererede mængde over de 3 snit. I 2001 blev der transporteret mindre total kvælstof fra Østersøen til Bælt-havet og Øresund (90.000 tons total kvælstof), end der blev transporteret fra Bælt-havet og Øresund til Kattegat (120.000 tons total kvælstof). Den større transport fra Bælt-havet og Øresund til Kattegat skyldes, at Bælt-havet og Øresund tilføres næringsstoffer i løbet af vækstsæsonen fra andre kilder end Østersøen. Transporten fra Kattegat til Skagerrak er ca. 95.000 tons total kvælstof, så ca. 25.000 tons total kvælstof fra Bælt-havet og Øresund blev tilbageholdt i Kattegat i 2001.

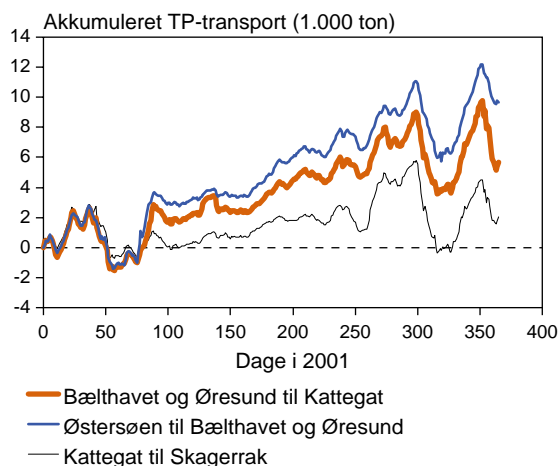
Transporten af total fosfor (figur 4.4) følger også retningen af transporten af vand (figur 4.2), men der er også forskel på den transportererede mængde af total fosfor over de 3 snit. Den største mængde (10.000 tons total fosfor) transporteres fra Østersøen til Bælt-havet og Øresund. Af de 10.000 tons total fosfor bliver ca. 6.000 tons total fosfor transporteret videre fra Bælt-havet og Øresund til Kattegat og ca. 2.000 tons total fosfor transporteres fra Kattegat til Skagerrak.



Figur 4.2 Akkumuleret vandtransport i 2001 beregnet i 3 snit med Farvandsmodellen samt amternes, DMU's og relevante svenske målinger (Ærtebjerg (red), 2002).



Figur 4.3 Akkumuleret total kvælstof transport i 2001 beregnet i 3 snit med Farvandsmodellen samt amternes, DMU's og relevante svenske målinger (Ærtebjerg (red), 2002).



Figur 4.4 Akkumuleret total fosfor transport i 2001 beregnet i 3 snit med Farvandsmodellen samt amternes, DMU's og relevante svenske målinger (Ærtebjerg (red), 2002).



Herudfra kan det beregnes, at der i 2001 skete en akkumulering af ca. 8.000 tons total fosfor fra Østersøen i de indre danske farvande, formentlig ved sedimentation og ophobning i havbunden.

### Kvælstof budget for de indre danske farvande

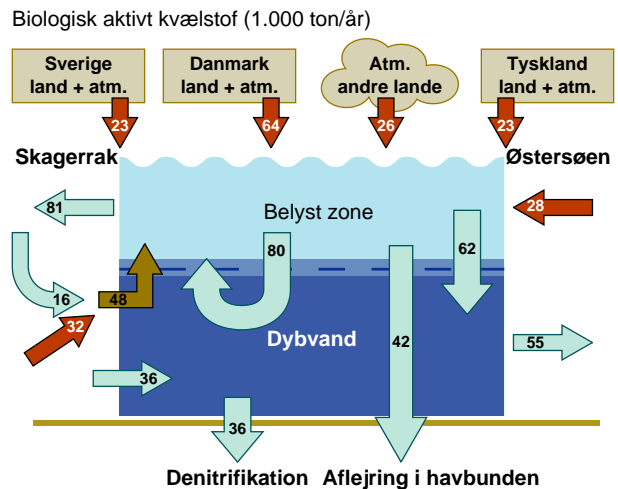
Figur 4.5 viser transporter af biologisk aktivt kvælstof i 1000 tons/år til de indre Kattegat og Bælthavet, dvs. havområdet syd for en linie gennem Læsø og nord/vest for linier fra Gedser til Tyskland og fra Amager til Sverige. Mørke pile er eksterne tilførsler og lyse pile er fraførsel eller interne processer. Tilførslerne fra Sverige, Tyskland og Danmark er summen af udledninger fra land og emissioner til atmosfæren, som falder ned på de indre farvande.

I det danske bidrag er fjernelse af kvælstof i de større fjorde trukket fra. Øvrige eksterne tilførsler er atmosfærisk nedfald fra emissioner fra andre lande og tilførsler fra Østersøen og Skagerrak. En del af tilførslerne fra Østersøen og Skagerrak stammer også fra Danmark, Sverige og Tyskland.

Tab til bunden består af permanent begravelse af kvælstof bundet i organisk materiale (42.000 tons/år) og denitrifikation (36.000 tons/år), hvor nitrat omdannes til frit kvælstof. Sedimentationen fra overfladevandet (den belyste zone) er opdelt i en andel som vender tilbage til overfladelaget (80.000 tons) og en andel som tabes fra dybvandet til Østersøen eller til bunden.

Tilførslen fra Skagerrak er opdelt i en del, som trænger op i overfladelaget og en del, som tabes til Østersøen eller til bunden. De 48.000 tons som trænger op i overfladelaget er sammensat af 2 dele.

En del som kommer fra Nordatlanten/Nordsøen (32.000 tons), og dermed er en ekstern tilførsel, og en del som er kvælstof der tilføres bundvandet i Skagerrak fra Kattegat enten ved sedimentation af partikler eller nedblanding af Kattegat vand i bundvandet, inden det strømme ind i Kattegat som bundvand. Summen af de eksterne tilførsler er 196.000 og Danmarks andel på 64.000 tons udgør dermed 33%.



Figur 4.5 Skematisk oversigt over de vigtigste tilførsler af biologisk aktivt (plantetilgængeligt) kvælstof til Kattegat-Bælthavet i 2001. Desuden er skematisk vist, hvor meget kvælstof der forlader området med havstrømme til Skagerrak og Østersøen, bundfældes eller denitrificeres i område og kvælstoftransporten mellem overfladelag og bundlag (Ertebjerg (red), 2002).

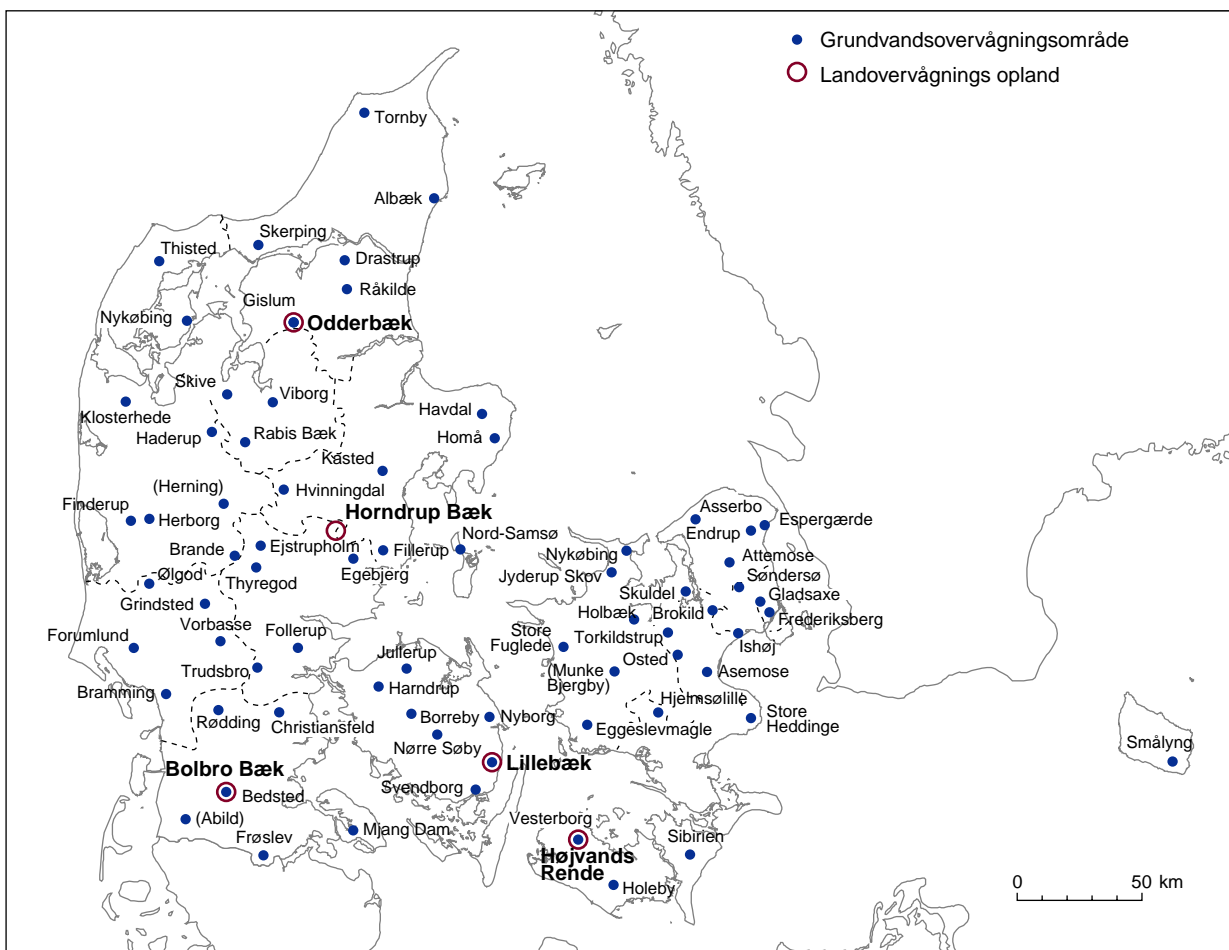
# 5 Grundvand

## 5.1 Grundvandsovervågningen

Nogenlunde jævnt fordelt over landet er der etableret 67 grundvandsovervågningsområder (GRUMO) (figur 5.1), hver udbygget med ca. 17 overvågningsfiltre fordelt i hovedgrundvandsmagasinet (liniemoniterende boringer), øvre sekundære grundvandsmagasiner (punktmoniterende boringer) og én indvindingsboring (volumenmoniterende boring). I alt er der 1300 indtag, der er egnede til måling af grundvandets hovedbestanddele.

Grundvandsovervågning omfatter også ca. 85 indtag i grundvandet i 5 landovervågningsoplande (LOOP), hvor bl.a. kvaliteten af det nydannede grundvand under dyrkede marker måles (figur 5.1).

Endelig indgår i grundvandsmoniteringsprogrammet de analyseresultater, der fremkommer ved vandværkernes kontrol med det vand, der indvindes til vandforsyning fra vandværkernes boringer (boringskontrol).



Figur 5.1 Grundvandsovervågningen i Danmark omfatter 67 grundvandsovervågningsområder og 5 Landovervågningsoplande. I områderne Sibirien, Grindsted, Kasted og Albæk er der yderligere etableret en redoxboring til overvågning af de kemiske forhold omkring redoxzonerne (GEUS, 2002).



### Grundvandsressourcen

Efter et par meget tørre vintre 1995-97 har nedbøren i årene 1998-2001 været op til 25% over normalen, og grundvandsstanden er igen oppe på normalt niveau. Samtidig har våde forsomre i flere af årene medført, at vandindvinding til markvanding har været lavere end normalt.

Den samlede vandindvinding i 2001 på vandværkerne var på 411 mio. m<sup>3</sup> mod 640 mio. m<sup>3</sup> i 1989, et fald på næsten 36%. Indvinding til markvanding var i 2001 på 182 mio. m<sup>3</sup> mod 453 mio. m<sup>3</sup> i 1992, hvor den var højest (figur 5.2).

### Grundvandsmodellering

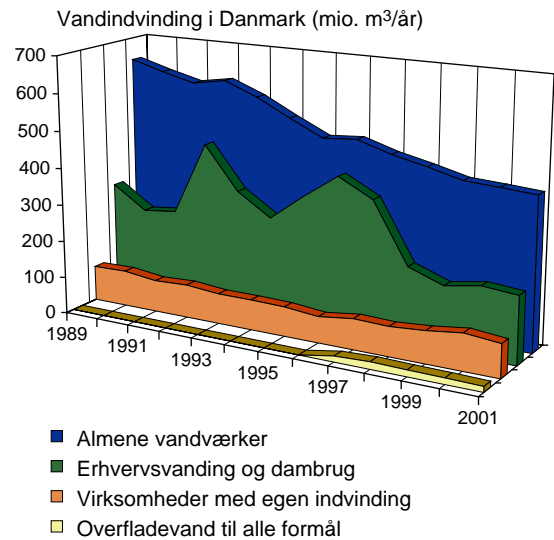
Grundvandsmodeller og hydrologiske modeller, herunder den nationale Vandressourcemodel (DK-modellen) og et antal regionale og lokale modeller bruges i stigende omfang til at beregne nettonedbøren og dermed til at få et billede af grundvandsdannelsen i forskellige dele af landet. Amterne har lavet hydrogeologiske modeller for mere end 90% af GRUMO områderne og opstillet strømningssmodeller for omkring halvdelen af de 67 områder. Det sidste har i flere tilfælde givet anledning til revision af oplandsgrænser for grundvandet.

## 5.2 Nitrat og andre hovedbestanddele i grundvand

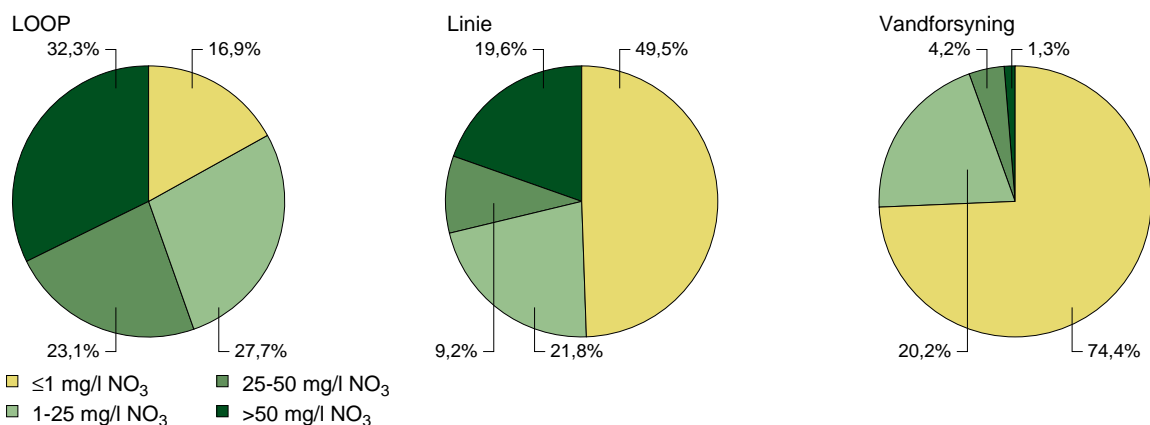
### Nitratfordeling efter boringstype

Ca. 50% af indtagene i de liniemoniterende overvågningsboringer, dvs. boringer sat i de grund-

vandsmagasiner, der normalt indvindes vand fra, indeholdt i perioden 1990-2001 mindre end 1 mg/l nitrat (figur 5.3) Det samme gælder for ca. 75% af vandværkernes forsyningsboringerne.



Figur 5.2 Vandindvinding i Danmark (mill. m<sup>3</sup>/år) fordelt på indvindingskategorier baseret på indberetninger til GEUS og oplysninger fra amternes overvågningsrapporter for perioden 1989-2001. Der er ingen opgørelse af indvinding af overfladevand før 1997 (GEUS, 2002).



Figur 5.3 Fordeling af nitratindhold i 2001 i 3 typer af grundvandsboringer: LOOP, GRUMO linie samt vandværksboringer (boringskontrol) (GEUS, 2002).

29% af indtagene i overvågningsboringerne indeholdt mere nitrat end den tidligere vejledende grænseværdi for drikkevand på 25 mg nitrat/l og 20% indeholdt mere end tilladt i drikkevand (50 mg/l). Tilsvarende indeholder knap 6% af vandforsyningsboringerne nitratkoncentrationer over 25 mg/l og godt 1% over 50 mg/l. Det lavere tal for vandforsyningsboringer skyldes, at mange vandforsyningsboringer med højt nitratindhold er blevet lukket.

Som det fremgår af figur 5.3 er det LOOP områderne med det yngste grundvand, der har den største andel af vand med mere end 25 mg nitrat/l, ca. 55%. For indtag i liniemonitærede boringer i GRUMO områderne er det ca. 28%, mens vandværkernes boringer er nede på 5,5%. Denne fordeling er ikke ændret siden 1989.

### Stofkoncentrationer afhænger af redoxforhold

Geokemisk kan grundvandet opdeles i 4 redoxzoner, hvor den øverste (ilt-zonen) har indeholdt ilt. Desuden kan nitratindholdet være højt som følge af udvaskning af nitrat fra overfladejorden. Ned gennem jorden bruges ilt før nitrat (f.eks. til mineralisering af organisk stof i jorden), og iltindholdet falder derfor ned mod den næste zone (nitrat-zonen) (tabel 5.1 og figur 5.4). I nitrat-zonen bruges nitrat som oxidationsmiddel i stedet for ilt. Når al nitrat og nitrit er opbrugt, er vi nede i jernsulfat-zonen med de reducerede former af jern ( $Fe^{2+}$ ) og mangan ( $Mn^{2+}$ ) og uden ilt og nitrat. Nederst findes den mest reducerede zone (metan-zonen) med metan og svovlbrinte.

I grundvand med højt redoxpotentiale (iltet grundvand) kan der være et højt nitratindhold. Under reducerende forhold bliver nitrat denitrificeret til atmosfærisk kvælstof ( $N_2$ ) eller eventuelt lattergas ( $N_2O$ ). Modsat findes de højeste fosforindhold i reduceret grundvand.

### Vertikalfordeling i grundvand

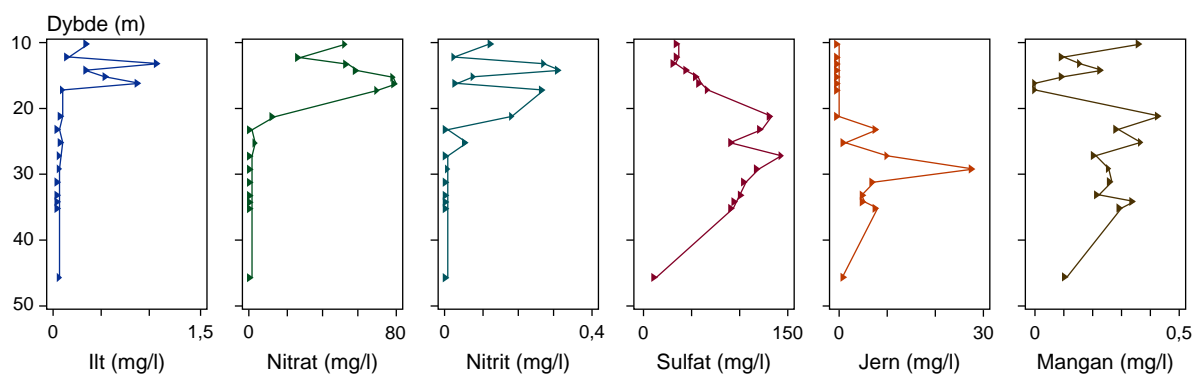
De typiske variationer i stofkoncentrationer i grundvandet ned gennem jordlag, hvor redoxpotentialet aftager er illustreret i figur 5.4 med målinger fra en redoxboring ved Sibirien i Storstrøms Amt. Indholdet af iltede stoffer (ilt, nitrat) aftager med dybden, og indholdet af reducerede stoffer tiltager med dybden under terræn som beskrevet ovenfor. I mere end 30 m dybde er der formentlig også betydelige indhold af svovlbrinte og fosfor i vandet.

### Nitratindholdet er størst i det øverste grundvand

Der er i perioden 1990-2001 udført nitratanalyser på i alt 56.000 grundvandsprøver fra landovervågningen, grundvandsovervågningen og vandværkernes boringer. Resultaterne af disse mange analyser er i figur 5.5 grupperet i koncentrationsintervallerne <1, 1-50 og > 50 mg nitrat/l og afbildet som funktion af den dybde, vandprøven er udtaget i. Figuren viser, at størstedelen af vandprøver med nitrat kommer fra dybder ned til ca. 40 m under terræn, og de højeste nitratindhold findes ikke uventet i de øverste 10 m af jordsøjlen. Fra vandværkernes boringskontrol er der kun medtaget aktive boringer og dermed ikke boringer, der er blevet lukket som følge af et højt nitratindhold.

Tabel 5.1 Gennemsnitskoncentrationer af kvælstof (hovedsageligt nitrat) og fosfor i forskellige grundvandstyper (GEUS, 2002).

Grundvand 2001	Kvælstof mg N/l (mg $NO_3^-$ /l)	Fosfor mg P/l
LOOP (1,5-5 m)	8,9 (39)	0,04
GRUMO, iltzone	11,0 (49)	0,03
GRUMO, nitratzone	6,2 (27)	0,05
GRUMO, reduceret	0,34 (1,5)	0,12
Vandværksboringer	1,31 (6)	0,10



Figur 5.4 Variationer i indtagenes indhold af ilt, nitrit, sulfat, jern, mangan og klorid i forhold til dybden i boring DGU nr. 238.900, Storstrøms Amt. Medianværdier for perioden 2002-2001.

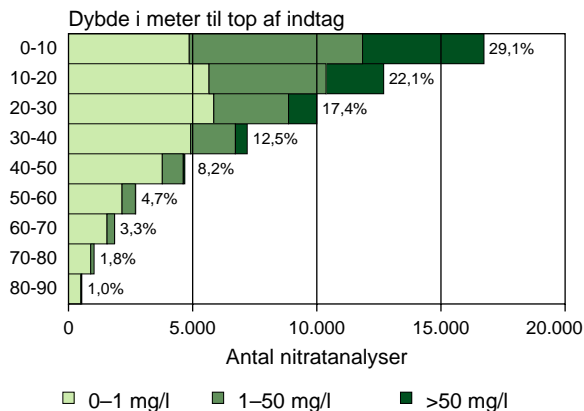
### Udvikling i nitratindhold i grundvand

For GRUMO områderne kan der generelt ikke forventes nogen samlet effekt på grundvandets indhold af nitrat som følge af vandmiljøplantiltag. Det ville heller ikke være at forvente, fordi grundvandet i langt den største del af GRUMO indtagene er dannet før 1990. Der ses dog heller ikke nogen tydelig tendens i 10 indtag med grundvand dannet efter 1989.

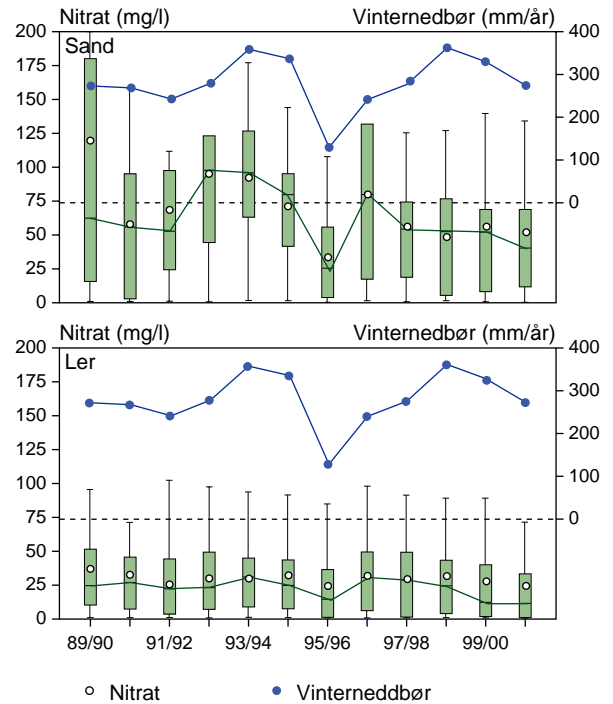
På baggrund af resultaterne fra landovervågningsoplandene synes der for perioden 1990-2001 at være svag tendens til et fald i nitratindhold (figur 5.6). Ændringerne i det terrænnære grundvands indhold af nitrat kan dog være forårsaget af variationer over året i grundvandspejlet og dermed variationer i grundvandsstrømningen i grundvandsmagasinerne. Det er således vanskeligt at afgøre, hvornår et mindre fald i nitratkoncentrationen kan tilskrives formindsket udvaskning fra landbrugsjorder, og hvornår det skyldes variationer i grundvandspejlets beliggenhed og deraf følgende ændringer i grundvandets strømningsbaner.

### Samlet vurdering af nitrat i grundvand

Der kan endnu ikke forventes væsentlige, generelle reduktioner i grundvandets nitratindhold som følge af Vandmiljøplanens tiltag, fordi det grundvand, som analyseres, helt generelt er dannet før 1987. Nitratkoncentrationerne er generelt lave på øerne, mens der er højere værdier mange steder i Jylland på grund af forskelle i geologi og husdyrtæthed.



Figur 5.5 Analyseresultater for grundvandsprøver fordelt efter nitratindhold i mg/l og indtagsdybde (m.u.t.) for indtag i landovervågningen, grundvandsovervågningen og vandværkernes boringskontrol (GEUS, 2002).



Figur 5.6 Nitratudviklingen i landovervågningsoplandene i perioden 1990-2001 fordelt på sand og lerområder sammenlignet med vinternedbør (øverste kurve). Kun data fra kvartalerne 4 og 1 er medtaget (GEUS, 2002).

## 6 Vandløb

Stofkoncentrationer og vandføring måles ved 289 vandløbsstationer, heraf 58 kilder, for at fastlægge vandkvalitet i forskellige typer af vandløb og oplande. På godt 1000 vandløbsstationer laves der en kvalitetsbedømmelse ud fra forekomsten af smådyr, og et index (Dansk Vandløbsfauna Indeks, DVFI) beregnes for at få et landsdækkende billede af vandløbenes tilstand.

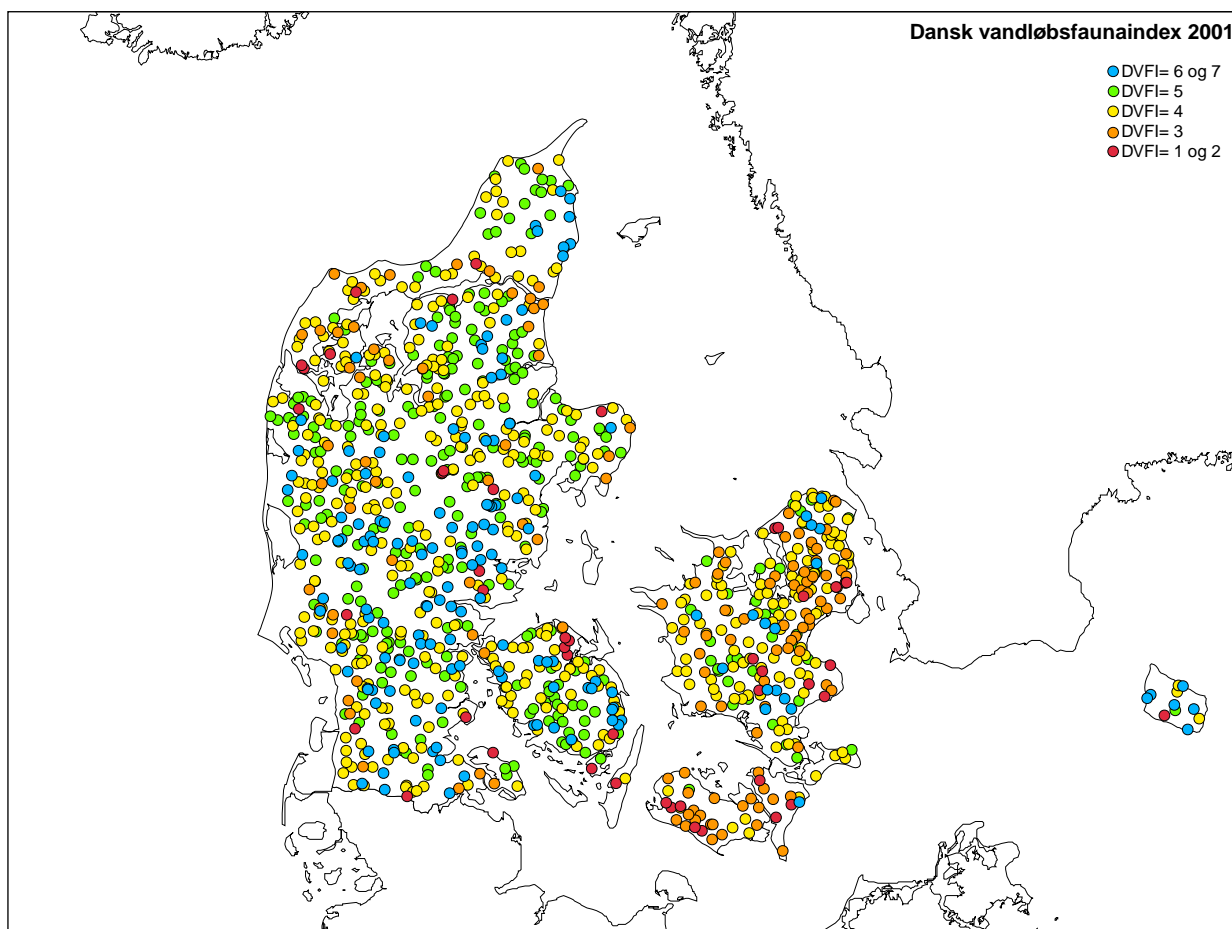
På 80 stationer udføres et udvidet biologiprogram for at belyse sammenhængen mellem den biologiske tilstand i vandløbene og påvirkningen fra menneskeskabte faktorer. Der laves således undersøgelser af både bunddyrsfauna, vegetation, fysiske forhold og fiskebestand. Desuden laves der på de 25 vandløbsstationer, som indgår i landovervågningsprogrammet, opgørelser over både naturgivne og menneskeskabte forhold, som er af betydning for udvaskningen af næringsstoffer fra oplandene.

### 6.1 Biologisk kvalitet i vandløb

#### Biologisk kvalitet i 2001

Vandløbenes biologiske kvalitet bedømmes hvert år ud fra sammensætningen af smådyrfaunaen på mere end 1000 lokaliteter. Tilstanden bedømt ud fra forekomst af smådyr udtrykkes ved hjælp af Dansk Vandløbsfaunaindeks (DVFI), som antager værdier (faunaklasser) fra 1 til 7, hvor faunaklasse 7 er praktisk taget uden forureningspåvirkning, og faunaklasse 1 er meget stærkt forurenet og med meget lidt liv.

Den fundne fordeling af faunaklasser (figur 6.1) viser, at vandløbenes tilstand er bedst i Jylland, Fyn og på Bornholm. Den generelt bedre tilstand i disse områder betyder, at 52% af vandløbenes målsætninger her er opfyldt. Derimod er kun 35% af vandløbenes målsætninger opfyldt på Sjælland og Lolland-Falster. På landsplan var målopfyldelsen i 2001 på i alt 48%.



Figur 6.1 Biologisk kvalitet i vandløb i 2001 målt ved undersøgelse af smådyr. Kortet viser værdien af DVFI (Dansk Vandløbsfauna Index). DVFI værdier på 2 og 3 findes i stærkt forurenede vandløb, mens værdierne 6 og 7 findes i vandløb med en naturlig eller næsten naturlig fauna (Bøgestrand (red), 2002).

Tabel 6.1 Biologisk vandløbskvalitet i forskellige vandløbsstørrelser i 2001. Blandt de større vandløb forekommer kun få med dårlig stand (*Bøgestrand (red), 2002*).

Bredde (m)	Faunaklasse (DVFI)							Total
	1	2	3	4	5	6	7	
0-2	9	23	82	211	147	26	29	527
2-5	3	8	40	143	105	25	26	350
5-10	-	2	4	59	27	18	12	122
≥ 10	-	1	4	18	12	6	13	54
i alt	12	34	130	431	291	75	80	1053

### Små vandløb er mest forurenedede

Andelen af vandløb med faunaklasserne 6 og 7 stiger således med stigende vandløbsstørrelse fra 10% (0-2m bredde) til 35% (over 10 m bredde). Samtidig er der kun meget få af de større vandløb, der har faunaklasserne 1, 2 og 3 (tabel 6.1).

Årsagen til den bedre biologiske kvalitet i de større vandløb er flere. De vigtigste vil i mange tilfælde være:

- Mange små vandløb påvirkes af spildevand fra spredt bebyggelse. Selvrensning i vandløb bevirker, at påvirkningen aftager ned ad vandløbet.
- Levesteder for smådyr er mere effektivt fjernet ved regulering og vandløbsvedligeholdelse i små end i store vandløb.
- Der er naturligt flere forskellige typer af levesteder for smådyr i store vandløb.

### Udvikling i den biologiske vandløbskvalitet

Siden 1999 har det samme stationsnet med mere end 1000 lokaliteter været brugt i monitoreringen med anvendelse af DVFI metoden. Alene i perioden 1999-2001 er der sket en klar forbedring med stadig flere stationer med faunaklasse 5, 6 og 7, som er øget fra knapt 35% til godt 42% (faunaklasse 6 og 7 er øget fra ca. 10 til ca. 15%). En række rentvandskrævende dyr bliver i disse år mere og mere udbredte. Denne tendens til en forbedring i miljøtilstanden ses over hele landet, men er mest markant i Jylland.

Tabel 6.2 Gennemsnitsværdier for total kvælstof i 2001 i vandløb med forskellig type af påvirkninger (i parentes er angivet standardafvigelse) (*Bøgestrand (red), 2002*).

Vandløbstype 2001	Antal vandløb	Kvælstof mg N/l	Kvælstof kg/ha år
Naturvandløb	9	1,3 (0,7)	2,1 (1,0)
Landbrug uden punktkilder	101	6,2 (2,6)	15,3 (7,6)
Landbrug og punktkilder	66	5,3 (2,3)	16,6 (8,3)

Reduktion i antallet af stærkt forurenedede vandløb er tidligere blevet dokumenteret i vandløbene i takt med at de mest forurenende udledninger blev bragt til ophør. Derudover er der blevet konstateret forbedringer i især de større vandløbs tilstand, idet flere og flere vandløb med moderat kvalitet (faunaklasse 4) er forbedret til god kvalitet (faunaklasse 5 eller bedre). Dette skyldes dels forbedringer i vandkvaliteten, men samtidigt har også en mere skånsom vandløbsvedligeholdelse bevirket forbedringer i vandløbenes fysiske forhold.

Forbedringerne i perioden 1999-2001 med stadig flere stationer med faunaklasse 5, 6 og 7 er næsten udelukkende sket i mindre vandløb (<5 meters bredde). I samme periode er der stort set ikke sket ændringer i de større vandløbs tilstand.

## 6.2 Kvælstof i vandløb

### Afstrømning i 2001

Den samlede ferskvandsafstrømning fra Danmark (43.096 km<sup>2</sup>) er for 2001 opgjort til ca. 14.400 millioner m<sup>3</sup> svarende til en arealspecifik afstrømning fra Danmark på 335 mm (gennemsnit 1971-2000 er på 328 mm). Afstrømningens samlede størrelse og fordeling over året var omtrent som normalt. Afstrømningsforholdene udviser ligesom nedbøren den sædvanlige geografiske variation i 2001 med de største værdier i Sydvestjylland.

### Vandløbskoncentrationer i 2001

Koncentrationen af kvælstof i vandløb, som løber i dyrkede oplande eller er udsat for væsentlige udledninger fra punktkilder, var i 2001 gennemsnitligt 4-5 gange så høj som baggrundsniveauet målt i naturvandløb (tabel 6.2). Der er kun ringe forskel på koncentrationerne i vandløb, som løber i dyrkede oplande uden spildevand, og i vandløb med betydelig spildevandstilførsel.

Kvælstofindholdet i vandløb i lerede landbrugsoplande er generelt næsten 2 mg/l højere end i sandjordsoplande. Dette skyldes, at en stor del af vandet i lerede områder løber til vandløb (evt. gennem dræn) med meget kort transport-

tid. I sandområder sker en stor del af afstrømningen gennem grundvandsmagasiner, og vandet er længe undervejs og nitrat i vandet dermed mere udsat for denitrifikation, dvs. omsætning til atmosfærisk kvælstof.

På kortet i figur 6.2 er vist, hvorledes koncentrationerne i vandløbene var fordelt i 2001. Koncentrationerne relaterer sig ikke kun til dyrkningsforholdene på landbrugsarealerne i oplandet, men også til omfanget af denitrifikation i grundvandsmagasiner eller i søer i oplandet. I store vandløb er der lavere nitratindehold end i små vandløb, fordi vandet har opholdt sig her gennem længere tid end i de små vandløb. Derfor har det tilførte kvælstof i længere tid haft mulighed for at blive omsat ved denitrifikation eller optagelse i planter.

### Udvikling siden 1989

Kvælstofkoncentrationen er generelt faldende i vandløb i dyrkede oplande med eller uden spildevandstilførsel. Af figur 6.3 fremgår, at kvælstofniveauet er faldet fra knap 9 mg N/l omkring 1990 til godt 6 mg N/l i 2001.

I NOVA vandløb med dambrug er der et naturligt lavt kvælstofindhold, fordi mange af

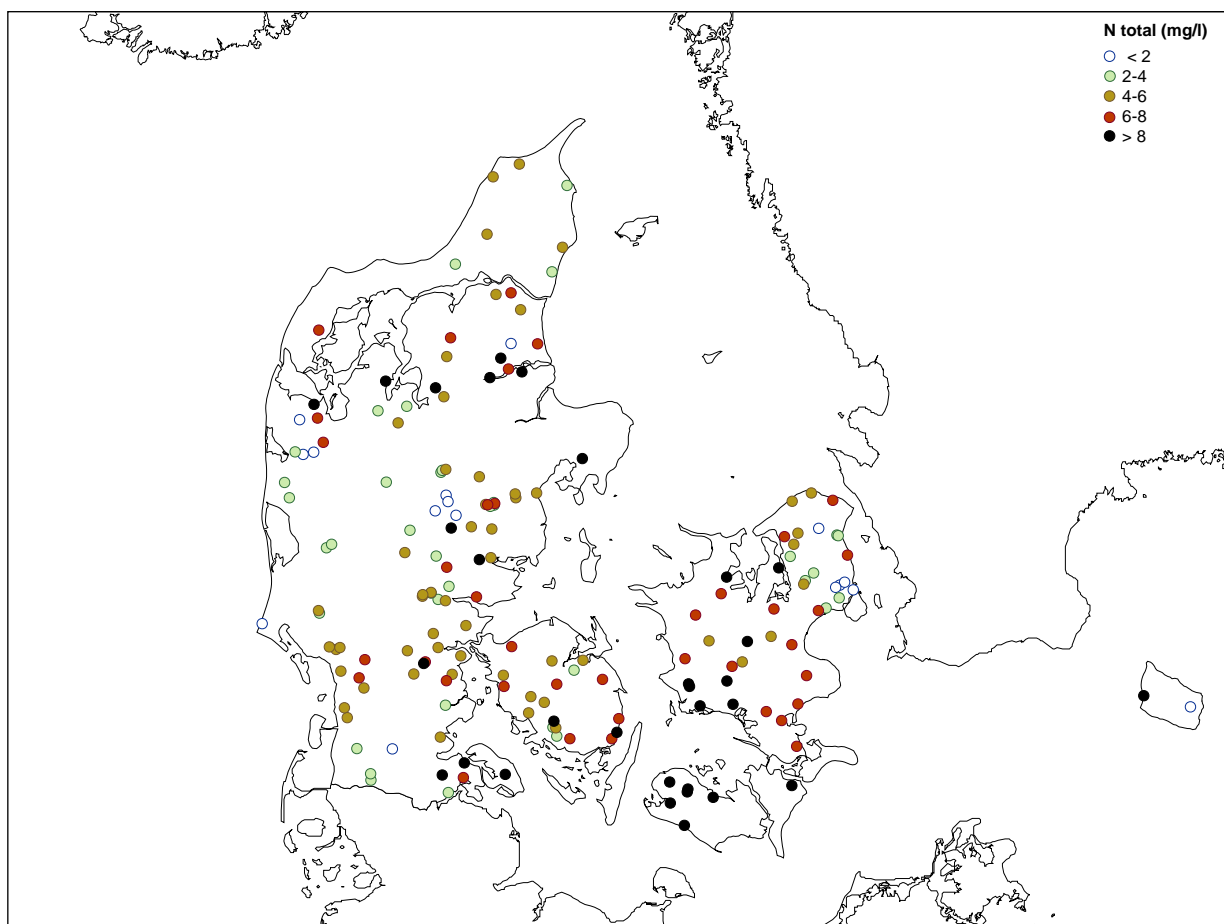
vandløbene er født af reduceret grundvand og dyrkningsintensiteten i oplandet ofte er lille.

I tabel 6.3 er vist de procentvise ændringer i kvælstofkoncentrationer og -transporter i perioden 1989-2001.

Derfor er kvælstofniveauet mindre end i de dyrkede oplande.

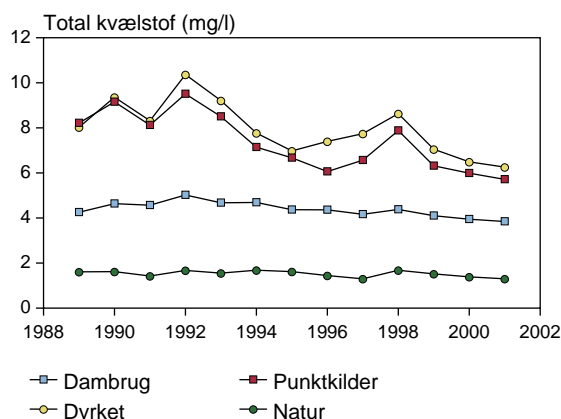
Tabel 6.3 Nøgletal for udviklingstendenser for vandføringskorrigerede koncentrationer af kvælstof i perioden 1989-2001 (Bøgestrand (red), 2002).

Kvælstofudvikling 1989 - 2001	Antal stationer	Ændring i koncentration	Ændring i transport
Natur	7	-15 %	-14 %
Dyrket	63	-28 %	-23 %
Punktkilder	76	-30 %	-28 %
Dambrug	15	-19 %	-19 %
Alle	165	-28 %	-25 %



Figur 6.2 Koncentrationen af total kvælstof i vandløb i 2001 (vandføringsvægtede årsmiddelværdier) (Bøgestrand (red), 2002).





Figur 6.3 Udvikling i kvælstofkoncentration siden 1989. Gennemsnit af vandføringsvægtede årsmiddelværdier for vandløb med forskellige påvirkninger, klassificeret ud fra forholdene i 1991 (Bøgestrand (red), 2002).

Tabel 6.4 Gennemsnitsværdier for total fosfor i 2001 i vandløb med forskellig type af påvirkninger (Bøgestrand (red), 2002). I parentes er angivet standardafvigelse.

Oplandstype	Antal vandløb	Fosfor mg/l	Fosfor kg/ha år
Naturvandløb	9	0,05 (0,03)	0,08 (0,04)
Landbrug uden punktkilder	101	0,12 (0,06)	0,32 (0,22)
Landbrug og punktkilder	66	0,16 (0,07)	0,50 (0,21)

## 6.3 Fosfor i vandløb

### Vandløbskoncentrationer i 2001

Koncentrationen af fosfor i vandløb, som ligger i dyrkede oplande eller er udsat for væsentlige udledninger fra punktkilder, var i 2001 gennemsnitligt 3-4 gange så høj som niveauet målt i naturvandløb. Der er ringe forskel på vandløb, som kun påvirkes af landbrugsdrift og spredt bebyggelse udenfor kloakering, og vandløb som også belastes med spildevand fra renseanlæg (tabel 6.4). Tidligere var fosforindholdet langt større i de spildevandspåvirkede vandløb, men forskellen er mindsket stærkt, fordi mange udledninger fra renseanlæg til ferske vande har et fosforindhold på ca. 0,3 mg/l mod tidligere ofte omkring 10 mg/l.

### Udviklingen siden 1989

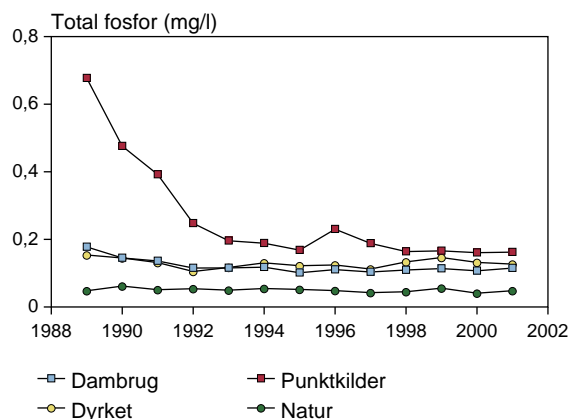
Koncentrationen af total fosfor i punktkildebelastede vandløb er faldet markant gennem første halvdel af 1990'erne og er nu kun lidt højere end i dyrkningspåvirkede vandløb (figur 6.4). Faldet skyldes de foranstaltninger, der er sat i værk for at reducere forureningen fra by-

spildevand og industrielle udledere, både i forbindelse med Vandmiljøplanen og ved regionale tiltag. I dambrugspåvirkede vandløb er fosforkoncentrationen også faldet signifikant som følge af formindskede udledninger fra dambrug. I naturvandløb og vandløb i dyrkede områder er der ingen signifikant ændring.

### Fosforudviklingen i længere perspektiv

Udsigterne for fremtidige fosforindhold og fosfortransporter i danske vandløb er ikke entydige. Der må fortsat forventes reduktioner i tilførslerne med spildevand fra renseanlæg, fordi spildevand herfra stadig er en betydende forureningskilde med gode teknologiske muligheder for reduktion, og fordi der i de kommende år vil ske en bedre fosforfjernelse fra spildevand fra spredt bebyggelse (ofte ved nedsivning). Hertil kommer, at fosforindhold i vandløb nedstrøms søer fortsat vil mindskes i de kommende år, fordi frigørelsen af ophobet fosfor fra tidligere tiders spildevandsudledninger efterhånden aftager.

Modsat disse tendenser til mindskede spildevandsbidrag er det sandsynligt, at det i dag største enkeltbidrag, udvaskningen fra dyrkede arealer, vil øges i de kommende år, fordi fosfortilførslen med staldgødning på husdyrbrug generelt er så høj, at der sker en stadig forøgelse i jordens fosforindhold.



Figur 6.4 Udviklingen i fosforkoncentration siden 1989. Gennemsnit af vandføringsvægtede årsmiddelværdier for vandløb med forskellige påvirkninger, klassificeret ud fra forholdene i 1991.

## 7 Søer

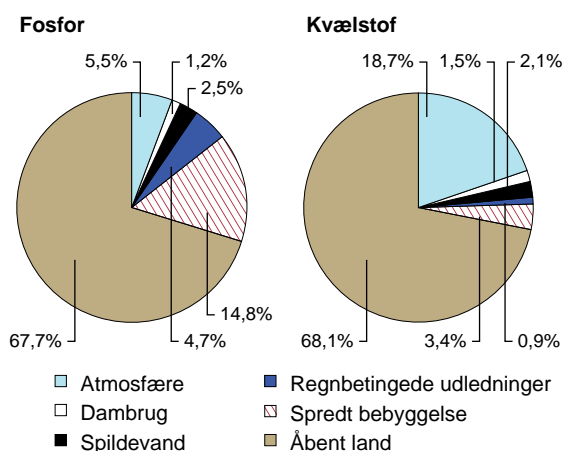
NOVA programmet omfatter 27 ferskvandssøer og 4 brakvandssøer. Hertil kommer målinger i 129-191 søer. De fleste heraf er undersøgt af amterne hvert 3. år med et mindre prøvetagningsprogram end NOVA søerne.

Søerne er for langt størstedelens vedkommende at betragte som isolerede fra hinanden. Forholdene i den enkelte sø afhænger kun af forholdene i det konkrete søopland, og forholdene kan være vidt forskellige, selv for søer som ligger meget tæt. Derfor kan der ikke laves landsdækkende opgørelser af belastningsforhold eller udvikling i økologiske forhold i danske søer ud fra undersøgelser i 31 søer.

Søerne er dog udvalgt, så de er rimeligt repræsentative for danske søer, og de giver dermed en indikation på den generelle udvikling. Med de yderligere resultater fra 100-200 mere ekstensivt undersøgte søer kan der gives en god beskrivelse af tilstanden i de danske søer, og i løbet af nogle årtier også en god beskrivelse af udviklingen.

### 7.1 Næringsalte

Næringsalttilførslen til søer er vigtig, fordi denne i det lange løb er bestemmende for vandkvaliteten i søerne, herunder algemængden. Både fosfor- og kvælstofmangel kan begrænse algemængden i mange søer. Hyppigst styres algemængden af fosfortilførslen, og en reduktion af algemængden i en sø vil næsten altid på langt sigt mest effektivt kunne ske ved at mindske fosfortilførslen.



Figur 7.1 Den procentuelle kildefordeling for fosfor og kvælstoftilførslen til NOVA søerne i 2001. Fordelingen er beregnet som gennemsnit af de enkelte søers procentfordeling (Jensen et al, 2002).

### Mest fosfor fra det åbne land (baggrund + landbrug)

Hovedkilden til fosforbelastningen af søerne er bidraget fra det åbne land (baggrund+landbrug). I 2001 er det åbne lands andel på 68% som gennemsnit for NOVA søerne (figur 7.1). Fordelingen af dette bidrag mellem den naturlige baggrundstilførsel og bidraget fra dyrkning af jorden i oplandet er ikke opgjort, og det vil variere stærkt fra sø til sø afhængig af dyrkningsgrad, dyrkningsform og geologi i oplandet.

For Danmark som helhed var det naturbetingede bidrag i 2001 ca. 25% af den samlede diffuse fosfortilførsel fra landarealer (i alt 1300 t/år), mens dyrkningsandelen var på ca. 75% (tabel 4.1). Fordelingen for NOVA søerne er formentlig omtrent den samme.

Kun et fåtal af søerne modtager spildevand fra renseanlæg. Tilførslen af fosfor fra renseanlæg til NOVA søerne er reduceret fra et gennemsnit på 14,5% af totaltilførslen i perioden 1989-95 til 2,5% i 2001. Spildevandsbidraget var dog allerede før 1989 mindsket betydeligt som følge af tidligere iværksat fosforjernelse eller afskæring af spildevand for en del søer. Spildevand fra spredt bebyggelse bidrog i gennemsnit for NOVA søerne med 15% af fosfortilførslen i 2001.

### Kvælstof

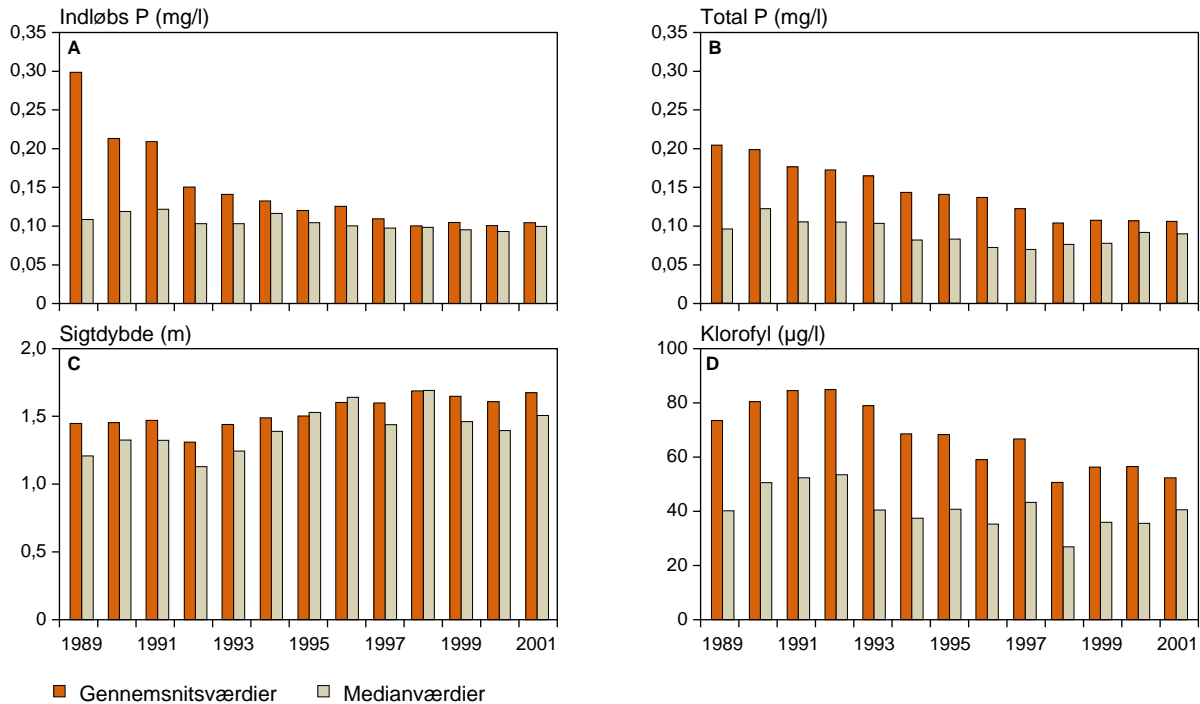
Kvælstoftilførslen kommer hovedsageligt ved udvaskning fra jorden i oplandet, i 2001 ca. 70% af den samlede tilførsel (figur 7.1). Også bidraget fra atmosfæren er vigtig, især for søer med kun lille vandtilførsel fra søoplandet. I gennemsnit var atmosfærebidraget i 2001 på 19%. De øvrige kilder er uden betydning for de fleste søer.

### Udvikling i næringsalttilførsel

Siden overvågningsprogrammets start i 1989 er fosforkoncentrationen i det vand, der strømmer til søerne, som helhed faldet markant (figur 7.2). Årsmiddelværdien af totalfosfor er næsten halveret fra 0,204 mg P/l i 1989 til 0,106 mg P/l i 2001. Faldet har været størst i de mest næringsrige og spildevandsbelastede søer.

Tilførslen af kvælstof til søerne er reduceret med ca. 30% siden 1989. Reduktionen skyldes især, at udvaskningen fra dyrkede arealer er mindsket.





Figur 7.2 Udviklingen i gennemsnits- og medianværdier af fosfor, klorofyl og sigtddybde for de 27 ferske overvågningsøer gennem årene fra 1989 til 2001 (Jensen et al, 2002).

### Tilbageholdelse af N og P i søer

Kvælstofindholdet i vandet mindskes ved passage af en sø, hovedsageligt fordi nitrat omsættes til atmosfærisk kvælstof ved denitrifikation. I halvdelen af søerne var kvælstofreduktionen i 2001 over 32%. Gennemsnittet for kvælstofreduktionen var 99 mg N/m<sup>2</sup> dag svarende til 361 kg N/ha år.

I 2001 havde omkring 1/3 af søerne en negativ fosforbalance, dvs. at der løb mere ud af søen end den samlede tilførsel. Dette skyldes frigørelse fra søbunden af fosfor, som er ophobet her fra tidligere tiders spildevandstilførsel. Det ser ud til, at den interne fosforfrigørelse fra sedimentet er på retur i flere af søerne. Denne interne belastning af søerne med fosforfrigørelse fra sedimentet varer normalt nogle årtier, efter at spildevandstilførslen er mindsket. De forbedringer, der allerede er registreret i søerne skyldes derfor især fosforfjernelse iværksat før 1990.

## 7.2 Udvikling i NOVA søerne

### Vandkemi

Mindsket tilførsel af fosfor har ført til lavere koncentrationer af fosfor i søvandet. I 16 af de 27 søer kan der nu konstateres et signifikant fald i fosfor-koncentrationen i søvandet som årgennemsnit, mens koncentrationen er steget i blot en enkelt sø. Der er også sket et fald i kvælstofindholdet i søvandet i 12 af de 27 søer. Dette skyldes formentlig

både formindskelsen af tilførslen til nogle af søerne og en forøgelse af denitrifikationen i søerne.

I tabel 7.1 er vist i hvilke søer, der er målt ændringer i fosfor, klorofyl og sigtddybde i vandet.

### Sigtddybde og klorofyl

Årgennemsnit af sigtddybden er i perioden 1989 til 2001 steget fra 1,4 m til 1,7 m, fordi algemængden er mindsket. Reduktionen i algemængden er på ca. 25%, idet den gennemsnitlige klorofylkoncentration er faldet fra 73 til 52 µg/l i samme tidsrum. Som det fremgår af tabel 7.1 synes der ikke at være snæver sammenhæng mellem reduktion i indløbskoncentration af fosfor i perioden og den forbedrede vandkvalitet i søen. Årsagen er formentlig, at fosfortilførslen i flere tilfælde er reduceret forud for 1990, mens virkningen heraf først begynder at vise sig sidst i 1990'erne.

### Planteplankton

Biomassen af planteplankton bestemt ved tælling og opmåling af algerne er faldet signifikant i 6 af de 27 søer, mens den er steget i 3 søer. Biomassen af blågrønalger og grønalger er generelt faldet, mens biomassen af fure- og gulalger er steget i overvågningsperioden. En stor andel af gulalger er en indikator for god vandkvalitet.

### Dyreplankton

Ligesom for planteplanktonet er der sket et fald i biomassen af dyreplankton om sommeren i måleperioden. Især er de små cladoceer (små dafnier)

gået tilbage, men også biomassen af vandlopper og hjuldyr er reduceret væsentligt. Faldet kan i høj grad tilskrives et mindsket fødeudbud.

Derimod er dyreplanktonets konsumering (græsning) af alger øget i perioden.

Græsningen er fortrinsvis steget i den halvdel af søerne, hvor der er lavt græsningstryk, formentlig på grund af, at mængden af planktonædende fisk her er mindsket, f.eks. skalle og fiskeyngel. Denne forklaring underbygges af, at cladoceerne (små dafnier) ikke har fulgt det generelle fald i dyreplanktonbiomassen. Der er ikke blot sket en stigning i biomassen af cladoceerne, også de enkelte individer er i gennemsnit blevet større, som det fremgår af figur 7.3, hvilket er en typisk virkning af en mindre prædation fra fisk.

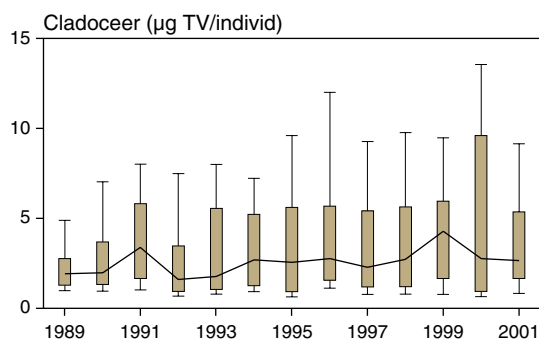
### Undervandsplanter i søerne

Undervandsplanterne har generelt været i fremgang fra undersøgelsen af disse startede i 1993 indtil 1999. I 1999 reduceredes dækningsgraden i mange søer, og medianen faldt kraftigt. Denne tendens er fastholdt i 2001.

Der er ved planteundersøgelserne registreret meget store år til år variationer, en variabilitet der i høj grad kan tilskrives undersøgelsesmetoden.

## 7.3 Brakvandssøer

Algemængden er høj i de 4 lavvandede brakvandssøerne, dels fordi næringssaltindholdene er høje, og dels fordi græsningstrykket på planteplanktonet er lavt, formentlig fordi der er et større predationstryk fra fisk på zooplankton end i de ferske NOVA søer. Vandet i brakvandssøerne er derfor uklart med en gennemsnitlig sommersigt dybde på kun 0,3 - 1 m. En sammenfatning af undersøgelserne af brakvandssøerne vil blive lavet efter målingerne i 2003.



Figur 7.3 Udviklingen i gennemsnitsbiomassen af små cladoceer (dafnier) i NOVA søerne ( $\mu\text{g}$  tørvægt pr. individ) (Jensen et al, 2002).

Tabel 7.1 Udviklingen i generelle vandkvalitetsparametre for den enkelte NOVA sø. Med + og - er angivet ændringer siden 1989. 1, 2, 3 og 4 +/- viser ændring med stigende grad af sikkerhed (10, 5, 1 og 0,1% signifikansniveau) (Jensen et al, 2002).

2001	Årsmiddel		Sommermiddel	
	Indløb Total P	Søvand Total P	Søvand klorofyl	Søvand Sigt dybde
Sø				
Søby Sø	---			--
Holm Sø	---			
Maglesø				
Nors Sø				
Ravn Sø	---	----		
Søholm Sø	++			
Kvie Sø			-	
Bastrup Sø			--	+++
Hornum Sø				
Ørn Sø	---	----	-	--
Furesø	---	---		++++
Fårup Sø		---	--	++++
Damhussøen	-	----		
Bryrup Langsø	--	----		
Hinge Sø				
Tissø	----	+		++
Engelsholm Sø		----	---	+++
Bagsværd Sø		----		
Borup Sø		---	--	+
Arreskov Sø	--	--		++
Tystrup Sø	----	---	+++	
Arresø	----	----	--	
Vesterborg Sø		----	---	++++
St. Søgård Sø		----	--	
Utterslev Mose	----			
Søgård Sø		----	---	+++
Gundsømagle	----	----	-	+

## 7.4 Ekstensive søundersøgelser

Der er gennem de seneste 4 år indsamlet almindelige vandkvalitetsparametre fra i alt 129-191 søer. I de fleste er der kun data for et enkelt år, men med dette materiale kan der gives en langt bredere beskrivelse af tilstanden i danske søer end alene ud fra målingerne i NOVA søerne.

Næringsstofniveauet er meget forskelligt i søerne. Således varierer totalfosfor fra 0,013 til 2,9 mg P/l som sommergennemsnit for årene 1998 til 2001, og totalkvælstof varierer fra 0,2 til 5,5 mg N/l. Derfor er der naturligvis også stor variation i sigt dybden (0,2 til 5,2 m) og klorofylmængden (3 til 406  $\mu\text{g}/\text{l}$ ).

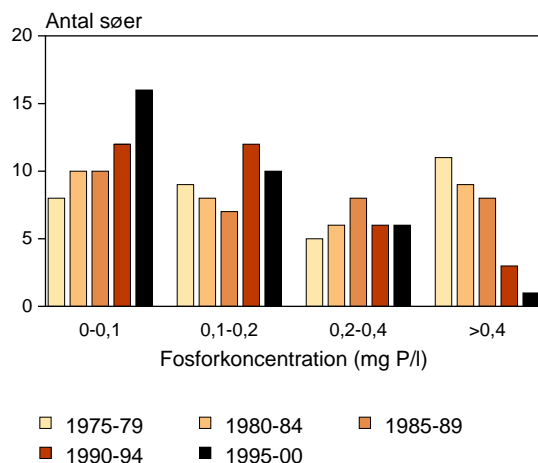
Søerne dækker således hele spektret fra de meget stærkt eutrofierede til helt uforurenede søtyper af forskellig karakter. Fælles for de sidste er, at der ikke er spildevandsudledning eller større dyrkede arealer i oplandet til søerne. Over halvdelen af søerne har et total fosfor indhold i vandet på mere end 0,1 mg P/l. Disse må karakteriseres som ret stærkt eutrofierede. Mindre end ¼ af søerne har et så lavt fosforindhold, at de kan karakteriseres som ikke- eller kun svagt eutrofierede.

### Langtidsudvikling

For en række søer har amterne undersøgelsesresultater fra 1970erne frem til i dag. Disse data er bedre end NOVA data til at vise udviklinger i vandkvalitet, fordi de strækker sig over næsten 3 årtier, og dermed måske længere end søernes responstid på reduktion af fosfortilførsel. Resultater fra 31 søer med data fra mindst 1 år i hver af 5-års perioderne fra 1975 og indtil år 2000 er vist i figur 7.4.

### Fosforindhold er mindsket siden 1975

Der er sket et markant skift i fosforniveauet i mange søer fra 1975 og til 2000. Således var søer med mere end 0,4 mg P/l den største gruppe i 1975-1980, mens der var flest søer i den reneste gruppe med 0-0,1 mg P/l i perioden fra 1995 til 2000. Ændringer i fordelingen af søerne imellem perioderne er statistisk set meget sikker (99,9%).



Figur 7.4 Udviklingen i total fosfor koncentrationen inddelt i 4 intervaller for 31 søer med målinger fra hver 5-års periode fra 1975 til 2000 (Jensen et al, 2002).

### Forbedringer 1985-1995

Fosforindholdet i søerne er især mindsket mellem perioderne 1985-89 og 1990-95, som følge af forbedringer i spildevandsrensningen eller afskæring af spildevand fra søerne i de foregående årtier. Også ophør af udledninger af møddingsvand og lignende fra landbrugsejendomme har bidraget til forbedringerne, der altså hovedsageligt er et resultat af indsatser inden vedtagelse af Vandmiljøplanen i 1987.

## 7.5 Målopfyldelse

Målsætninger for søerne er fastsat i amterne regionplaner. Ud fra målingerne i 2001 har amterne vurderet, at målsætningen er opfyldt i 5 af de 31 NOVA søer. Tidsforsinkelse på op til årtier mellem reduktion af fosfortilførsel og forbedringer i søtilstand kan medføre, at flere søer i de kommende år vil opnå en tilfredsstillende kvalitet som følge af allerede foretagne reduktioner i fosfortilførsel. I de fleste søer er der dog ikke udsigt til sådanne forbedringer, da den dominerende fosforkilde er udvaskning fra jorden i oplandet til søen, og for denne kilde er der ikke udsigt til reduktion.

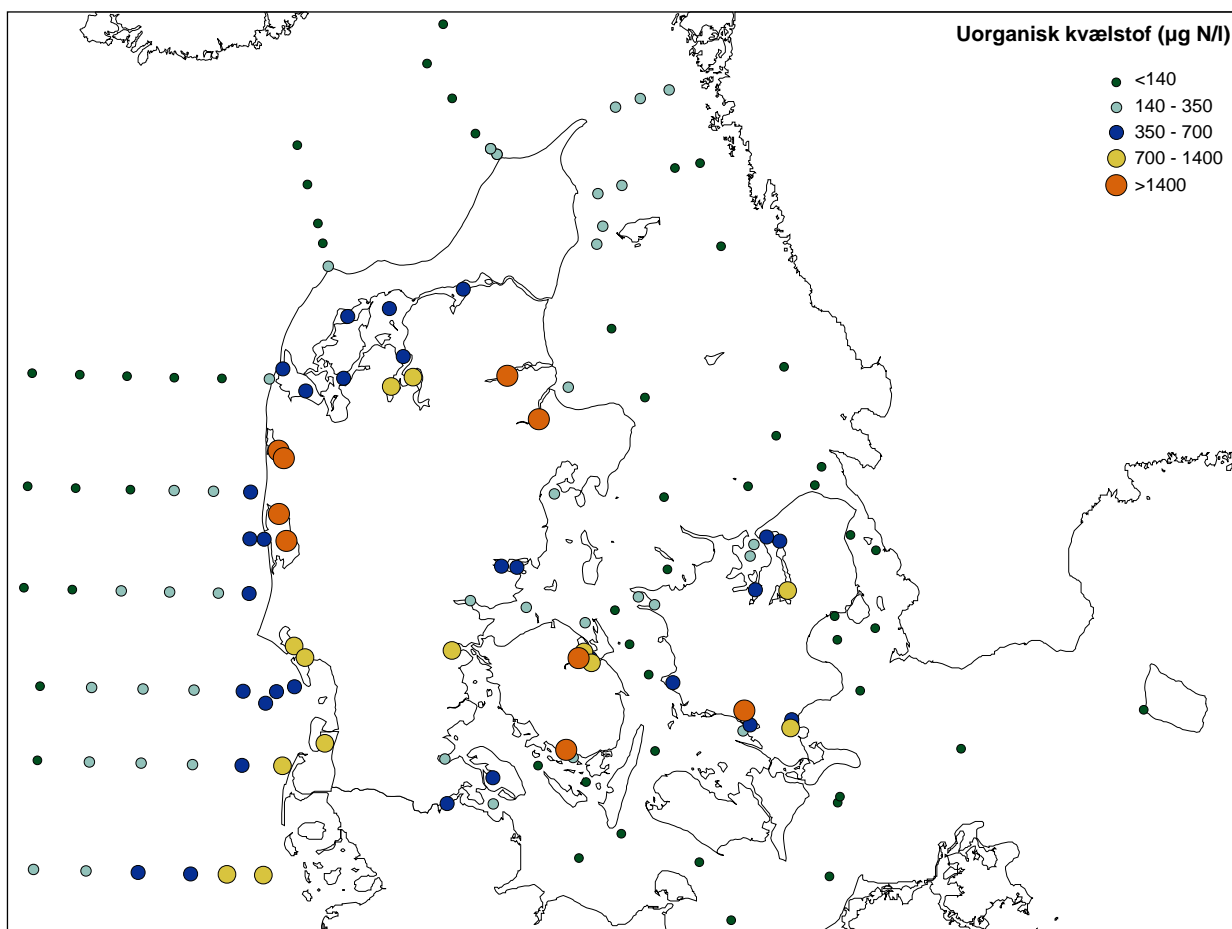
## 8 Marine områder

En generel beskrivelse af tilstand og udvikling i de danske marine vandområder kompliceres af, at alle områderne er forskellige af natur, og af at de menneskelige påvirkninger af havområderne har forskellig virkning fra område til område, bl.a. afhængig af vandskifteforhold, saltholdighed og dybdeforhold. Uden at gå ind i en beskrivelse af de enkelte marine områder er der dog en tydelig gruppering af eutrofieringspåvirkningen efter andelen af ferskvand i området. Fjordene, hvor der generelt er en betydelig, lokal tilførsel af næringsrigt ferskvand, er generelt langt mere eutrofierede end de åbne marine områder. Ferskvandstilførslerne har øget både kvælstof- og fosforniveauerne betydeligt. I figur 8.1 er vist vinterniveauerne af uorganisk kvælstof i overfladevandet i marine områder, altså den mængde kvælstof, som er til rådighed for forårets algemaksimum.

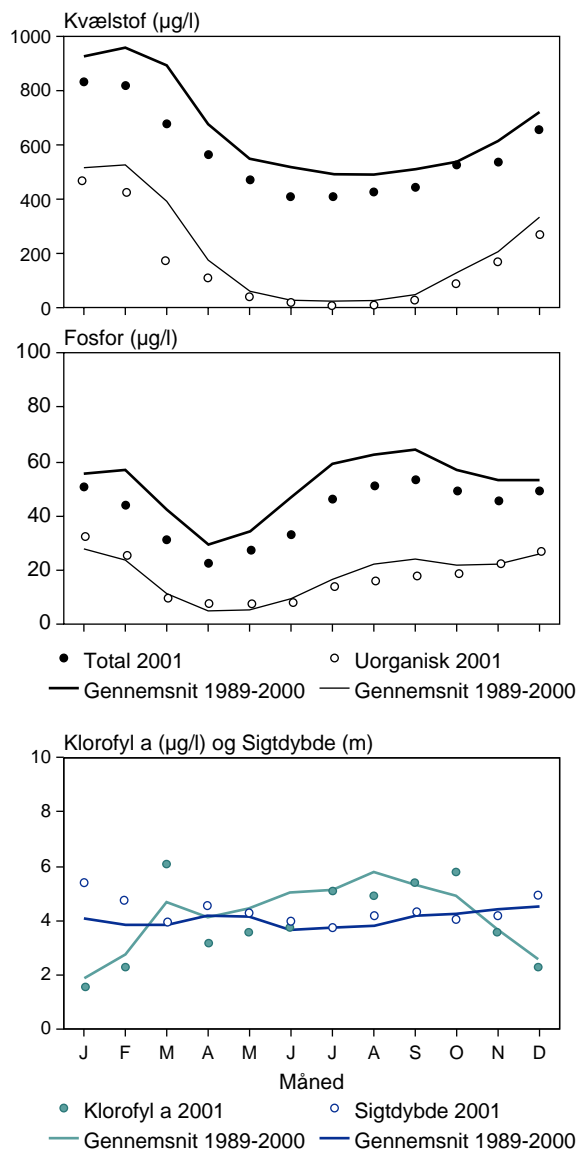
### 8.1 Næringsalte og alger i de frie vandmasser

#### Fjorde og andre kystnære havområder

Kvælstof- og fosfor koncentrationerne var i 2001 konsekvent under middelniveauet for de tidligere år (figur 8.2) og specielt marts måned markerede sig med lave koncentrationer. Væksten af planteplankton var potentielt næringsstofbegrænset i over 50% af tiden fra marts til og med september for de fleste stationer, og sæsonmønstret var som de foregående år. Der var hovedsageligt potentiel fosforbegrænsning (uorganisk P < 6 µg/l) og delvis potentiel kvælstofbegrænsning (uorganisk N < 28 µg/l) fra marts til juni, hvorefter stigende fosfor koncentrationer medførte et skift til højere grad af potentiel kvælstofbegrænsning. Algemængden (målt som klorofyl) i vandet var, formentlig som følge af de lavere næringssaltindhold, gennem sommeren lidt lavere end gennemsnittet for de foregående år.



Figur 8.1 Vinterkoncentrationer af uorganisk kvælstof i de danske marine områder i 2001.

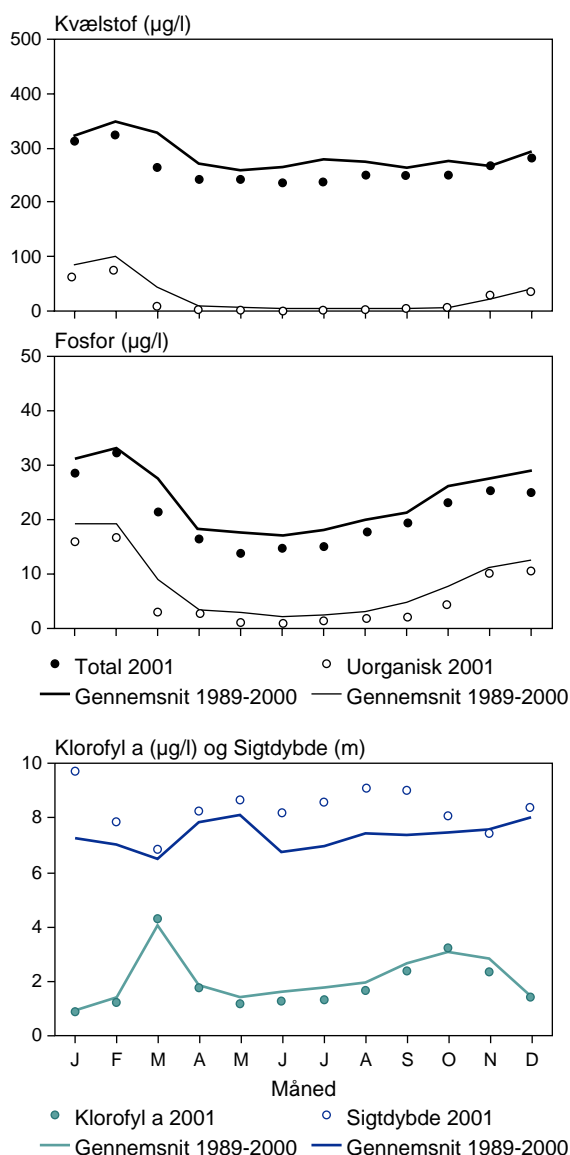


Figur 8.2 Kurver for månedsmidler i overfladevand i fjorde og kystvande af uorganisk og total kvælstof, total fosfor samt klorofyl og sigtdybde i 2001. Desuden er vist månedsmiddelværdier for 1989-2000.

### Åbne farvande

Både fosfor- og kvælstofkoncentrationerne var i 2001 lidt under niveauerne for de tidligere år (figur 8.3). Der var lave indhold af uorganiske fosfor- og kvælstofforbindelser gennem hele vækstperioden, men værdierne var dog inden for variationerne i de tidligere år. Væksten af planteplankton var potentielt begrænset af både kvælstof og fosfor fra marts til oktober, dog med en tendens til kun potentiel kvælstofbegrænsning på flere stationer i september og oktober.

Også i de åbne farvande var algemængden i sommerperioden lavere end gennemsnittet for de foregående år, men dog inden for den sædvanlige år til år variation (figur 8.3).



Figur 8.3 Kurver for månedsmidler i overfladevand i åbne havområder af organisk og total kvælstof, og total fosfor, samt klorofyl og sigtdybde i 2001. Desuden er vist månedsmiddelværdier for 1989-2000.

### Tidsmæssig udvikling i de frie vandmasser

I figur 8.4 er vist udviklingen i total kvælstof og total fosfor i henholdsvis fjorde/kystvande og åbne marine områder.

Der er sket et fald i indhold af total kvælstof og total fosfor både i fjorde og i åbne områder i perioden 1989-2001 (figur 8.4). Faldet er størst for fosfor i fjorde/kystvande, hvor indholdet næsten er halveret i gennemsnit. Disse reduktioner har ført til forbedringer i den biologiske kvalitet målt som algeproduktion, klorofylindhold og sigtdybde.

De tre parametre viser samstemmende en tydelig forbedring af tilstanden i fjordene, med

klarere vand, lavere klorofylkoncentration og lavere primærproduktion.

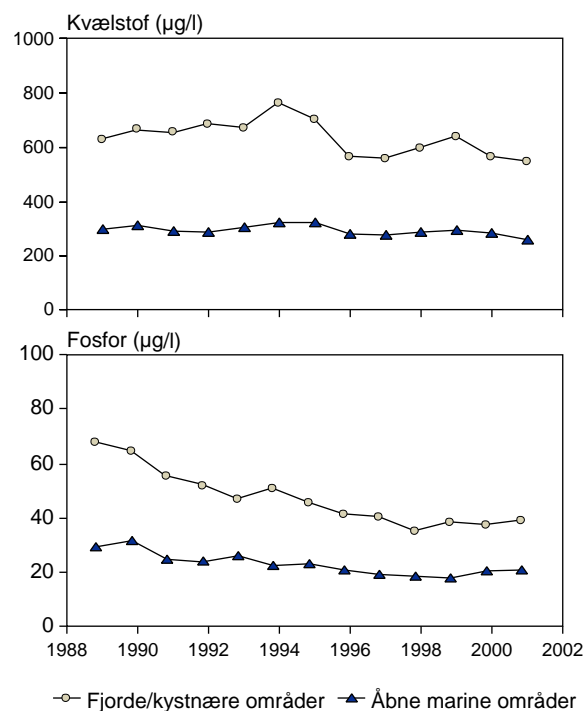
I de åbne marine områder er udviklingen ikke entydig. Der var dog en positiv ændring omkring 1990. Siden da har der været tendens til en svag forøgelse i både sigtddybde og klorofylindhold (Ærtebjerg *red*, 2002).

## 8.2 Iltforhold i marine områder

I 2002 var iltsvindet i de indre danske farvande usædvanligt omfattende. Disse forhold omtales ikke i denne rapport, men der henvises til de iltsvindsrapporter, der er udarbejdet løbende og findes på DMUs hjemmeside ([www.dmu.dk](http://www.dmu.dk)).

### Iltsvind i bundvand 2001

Udbredelsen og styrken af iltsvind i 2001 kan karakteriseres som omkring middel for de seneste 15-20 år. Værst gik det ud over det sydlige Lillebælt, Åbenrå og Flensborg fjerde, hvor iltforholdene forblev meget dårlige til ind i november, næsten en måned længere end normalt. Derimod var iltforholdene i lavvandede fjerde og kystvande relativt gode, idet vinden ofte kunne omrøre vandsøjlen til bunden. Iltsvind, f.eks. i Limfjorden, blev derved ret kortvarige.



Figur 8.4 Udvikling i årsmiddelkoncentrationer af total kvælstof og total fosfor i fjerde/kystvande og åbne marine områder.

### Udvikling i omfang af iltsvind

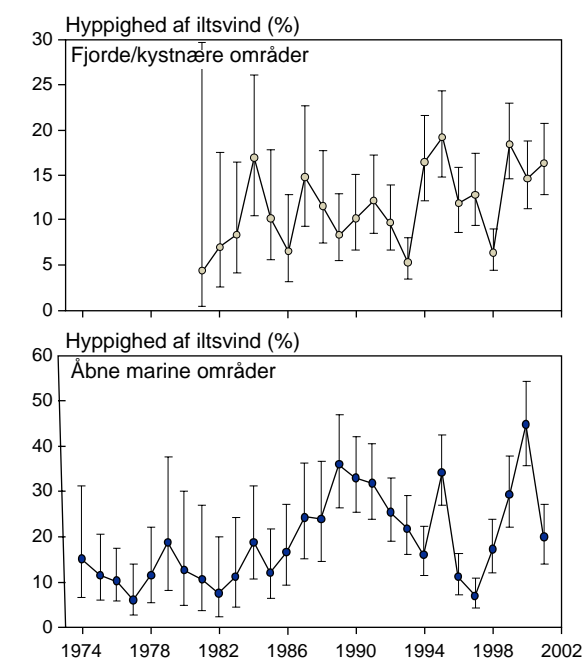
Der er ingen generelle tendenser for udvikling i iltsvindshyppigheden fra starten af Vandmiljøplanens overvågningsprogram i 1989 indtil 2001. Betragter man derimod hyppigheden af iltsvind i de åbne, indre farvande siden midten af 70'erne, er der sket en forøgelse af hændelser med både iltsvind (<4 mg/l) og kraftigt iltsvind (<2 mg/l), og størstedelen af stationerne med lange tidsserier viste tendens til stigende hyppighed af iltsvind frem til omkring 1990 (figur 8.5). Resultaterne af iltmålingerne kan tolkes derhen, at iltsvindsrisiko er forsinket i forhold til eutrofieringspåvirkning af marine områder, fordi det varer nogle år for økosystemerne at tilpasse sig til ændringer i næringssalttilførsel.

## 8.3 Bundvegetation

### Forhold i 2001

Vegetationens dybdeudbredelse begrænses overordnet af lystilgængelighed. Vanddybden og sigtddybden er derfor vigtige regulerende faktorer.

Ålegræssets dybdegrænse og dækningsgrad blev generelt reduceret i 2001 i forhold til de foregående år.



Figur 8.5 Middelhypigheden af iltsvind for repræsentative stationer med tilbagevendende iltsvind i A) fjerde og kystnære områder og B) åbne havområder.

De største reduktioner skete i Kerteminde Fjord, Århus Bugt og Præstø Fjord. Der er ikke nogen umiddelbar forklaring på denne tilbagegang for ålegræs. Tilbagegangen skyldes tilsyneladende ikke dårligere lysforhold, idet sigtdybden ikke har været reduceret, og der har ikke været øgede mængder af eutrofieringsbetingede makroalger, som kunne skygge for ålegræs.

#### **Vegetationsudvikling 1989 - 2001**

Ålegræsset viste følgende udvikling gennem overvågningsperioden:

- ingen ændring i dybdegrænsen langs åbne kyster
- faldende dybdegrænse i inder- og yderfjorde
- ingen udvikling i dækningsgraden i den inderste del af fjordene
- faldende dækningsgrad på lave dybder i yderfjorde og på åbne kyster
- stigende dækningsgrad på store dybder i den yderste del af fjordene.

Det er overraskende, at dækningsgraden er steget på de store dybder i yderfjordene, samtidig med at dybdegrænsen generelt er reduceret. Dette skal yderligere ses i sammenhæng med, at sigtdybden er forbedret gennem de senere år. Det tyder på, at flere faktorer regulerer ålegræssets dybdegrænse og dækningsgrad. De forbedrede lysforhold på dybere vand sammenholdt med et generelt fald i mængden af eutrofieringsbetingede alger skaber gode betingelser for en øget dækningsgrad, men hyppige forekomster af iltsvind på dybere vand kan medvirke til at reducere dybdeudbredelsen.

Der var ingen signifikant udvikling i makroalgesamfundet gennem overvågningsperioden 1989-2001. Der var dog tendens til, at dækningsgraden af eutrofieringsbetingede alger var faldet på helt lavt vand, og der var relativt mange makroalgearter i 2001.

### **8.4 Bundfauna**

Bundfaunaen er en indikator for den generelle eutrofieringstilstand. Hvis der ikke er iltsvind forventes mængden af bunddyr at mindskes i takt med formindskelse af algeproduktionen i de marine områder, hvor bundfaunaen er begrænset af fødemængden.

Iltsvind vil ødelægge denne generelle sammenhæng mellem algeproduktion og biomasse af bunddyr, fordi en del af bunddyrene dør af iltmangel, samtidig med at de opportunistiske og iltsvindstolerante arter klarer sig bedst.

Igennem perioden for NOVA-programmet er der ikke sket nogen generel udvikling i bundfaunaen i de kystnære områder. De tendenser,

der har været til faldende algemængde, kan ikke aflæses på bundfaunaen for perioden 1998-2001 isoleret set. Dette er i overensstemmelse med den generelle forventning om, at faunaens tæthed i de kystnære områder i mindre grad er begrænset af føde, end det er tilfældet i åbne områder. I samme periode er der heller ikke nogen tydelige tendenser i iltførholdene.

### **8.5 Målopfyldelse**

Kvalitetsmålene for de marine områder er generelt ikke formuleret ved præcise, talmæssige kvalitetskrav. Det er derfor heller ikke muligt præcist at fastslå om en målsætning er opfyldt eller ej.

Helt generelt er målsætningerne, at der højst må være en ret svag forureningspåvirkning i de marine områder.

Amterne har fastsat målene for fjorde og kystnære områder. Efter amternes vurdering er målsætningerne kun opfyldt i nogle ganske få kystvande med lille vanddybde og gode opblandingsforhold, der kan mindske virkningen af de forhøjede næringssaltindhold i vandet.

Helt generelt kan tilstanden/målopfyldelse i de danske farvande karakteriseres ved en opdeling i 3 grupper af påvirkning.

#### **Fjorde**

Næringssaltindhold er øget stærkt (ofte mere end fordoblet) som følge af lokale tilførsler. Der er sket en tilsvarende forøgelse i algemængden i vandet og en ret stærk forureningspåvirkning af det øvrige plante- og dyreliv.

#### **Åbne bugter og øvrige kystnære farvande**

Næringssaltindhold og algemængde er kun øget svagt til moderat i forhold til de udenfor liggende åbne havområder. Forureningspåvirkningen fra lokale kilder er generelt betydeligt mindre end i fjordene.

#### **Åbne havområder**

Disse områder omfatter Østersøen øst for Gedser, Kattegat nord for Sjællands Odde, samt Skagerrak og Nordsøen.

Næringssaltindhold og algemængde i disse områder er kun lidt påvirket af tilførslerne alene fra Danmark, men de er alligevel væsentligt højere end i uforurenede tilstand som følge af næringssalttilførsler fra spildevand, landbrug og fra luften i hele oplandet til Østersøen-Nordsøen. I de åbne dele af Skagerrak og Nordsøen er eutrofieringspåvirkningerne formentlig så små, at målsætningerne er opfyldt, mens målsætningen i Østersøen ikke anses for opfyldt.

## 9 Tungmetaller og miljøfremmede stoffer

Overvågningen af tungmetaller, pesticider og andre organiske miljøfremmede stoffer indgår i 2001 i alle programmets delområder, omend i forskelligt omfang.

I søer er der for første gang undersøgt for pesticider og andre organiske miljøfremmede stoffer. Der indgår 8 søer med hver 6 prøvetagningsrunder. Resultaterne af undersøgelserne i søerne giver en indikation på forholdene, men med nogen usikkerhed da der foreløbig kun er tale om ét års målinger. I vandløb og i dræn fra landbrugsarealer er der målt i 2000 og 2001, og der foreligger således 2 års resultater herfra.

Den øvrige overvågning af tungmetaller, pesticider og andre organiske miljøfremmede stoffer er for de fleste stoffer sket gennem en årrække, og der er med disse resultater i højere grad mulighed for at beskrive udviklingstendenser.

### 9.1 Tungmetaller

I 2001 er der målt for tungmetaller i alle delprogrammer (tabel 9.1).

I grundvandsprogrammet indgår der udover de i tabel 9.1 anførte metaller en række metaller og sporstoffer.

Metallerne kan grupperes i stoffer der er:

- toksiske med sundheds- og miljøskadelige effekter i selv små koncentrationer og ikke essentielle. Hertil hører arsen, bly, cadmium og kviksølv
- essentielle i små mængder men skadelige i store mængder. Hertil hører krom, kobber, nikkel og zink.

#### Kilder

Metaller og andre uorganiske sporstoffer er naturligt forekommende i grundvand og overfladevand. I grundvand med lav pH kan der for eksempel opløses meget aluminium.

De fleste forekomster i grundvand af metaller og sporstoffer nær grænseværdierne for drikkevand skyldes menneskelig påvirkning, enten i form af forurening, vandspejlsænkning eller anden påvirkning.

Overfladevand tilføres metaller fra atmosfærisk deposition, fra spildevand, ved udvaskning fra marker og fra grundvand.

Tilførslen af tungmetaller til indre danske farvande via atmosfærisk deposition er af nogenlunde samme størrelsesorden eller mindre end den estimerede tilførsel fra landbaserede punktkilder og via vandløb (tabel 9.2). Bly adskiller sig idet den atmosfæriske deposition er endog væsentlig større end tilførslen med udledningerne.

#### Tilstand

##### Grundvand og fersk overfladevand

Det overfladenære grundvand (i LOOP) har betydeligt højere metalindhold end det dybereliggende grundvand (GRUMO og vandværker) (figur 9.1). Det eneste metal, der adskiller sig herfra er arsen. Grundvandets arsenindhold er ca. 10 gange højere under reducerede forhold end under de iltede betingelser, som hovedsageligt findes i det overfladenære grundvand. Dette skyldes, at arsen under de reducerede forhold findes på en mere vandopløselig form end under iltede forhold.

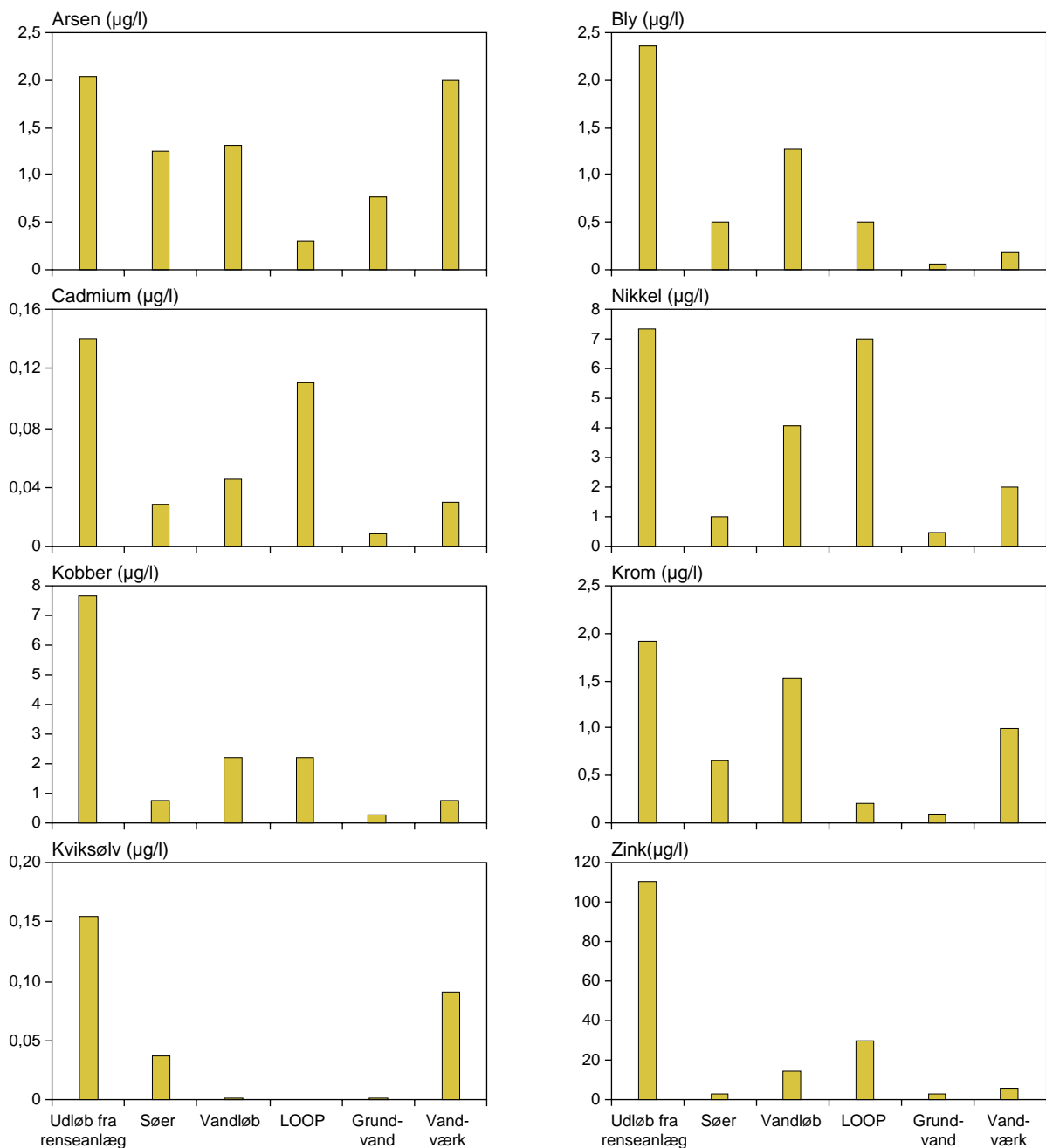
Tabel 9.1 Oversigt over omfanget af overvågning af tungmetaller i 2001 (Ellermann et al, 2002, Miljøstyrelsen, 2002, GEUS, 2002, Bøgestrand (red), 2002, Jensen et al, 2002 & Ærtebjerg (red), 2002).

	Atmosfærisk deposition	Punktkilder	Grundvand (LOOP)	Grundvand (GRUMO og vandværker)	Vandløb	Søer	Marine områder
Arsen	x	x	x	x	x	x	
Bly	x	x	x	x	x	x	x
Cadmium	x	x	x	x	x	x	x
Kobber	x	x	x	x	x	x	x
Krom	x	x	x	x	x	x	
Kviksølv		x		x	x	x	x
Nikkel	x	x	x	x	x	x	x
Zink	x	x	x	x	x	x	x



Tabel 9.2 Estimerede tilførsler af tungmetaller til de indre danske farvande via atmosfærisk deposition og via vandløb (Ellermann et al, 2002, Bøgestrand (red), 2002).

Estimeret tilførsel til de indre danske farvande (31.500 km <sup>2</sup> )		Krom	Nikkel	Kobber	Zink	Arsen	Cadmium	Bly
Atmosfærisk deposition	t/år	3	6	23	261	4	1,4	27
Med vandløb	t/år	34	67	27	236	20	0,8	7



Figur 9.1 Metalindhold bestemt som median eller middelværdi i udløb fra renseanlæg, søer, vandløb og grundvand i GRUMO (dybereliggende grundvand), LOOP (overfladenært grundvand) og vandværkernes boringskontrol (Miljøstyrelsen, 2002, GEUS, 2002, Jensen et al, 2002, Bøgestrand (red), 2002 & Grant et al, 2002).

Metalindholdet i det overfladenære grundvand (LOOP) er for flere metaller på niveau med eller højere end indholdet i vandløb (cadmium, nikkel, kobber og zink) (figur 9.1).

I vandløbene findes zink, nikkel og kobber i de højeste koncentrationer. For nogle metaller er der markante forskelle på koncentrationerne i vandløb i landbrugsområder og et vandløb i byområde (København). Indholdet af zink og nikkel er ca. dobbelt så højt i byområdet som i landområder og blyindholdet ca. 10 gange højere i byområdet end landområderne.

I søvand er der generelt lavere metalindhold end i vandløbene, kviksølv er det eneste metal der adskiller sig herfra. En forklaring herpå kan være frigivelse af kviksølv fra en pulje i mudderbunden fra tidligere tiders spildevandsudledninger i sedimentet i søerne. Zink, nikkel og arsen er de metaller, der findes i de højeste koncentrationer.

#### *Muslinger i marine områder*

I marine områder er koncentrationerne af tungmetaller i muslinger i 2001 på et niveau svarende til 'ubetydeligt til moderat forurennet' ifølge Statens Forurensningstilsyns (SFT Norge) vejledende klassificering. Muslinger i Vadehavet har dog forhøjet kviksølvindhold og i Køge Bugt nær en spildevandsudledning ses der forhøjet cadmiumindhold. De markant højeste koncentrationer af nikkel og kobber findes i sandmuslinger i Ringkøbing Fjord, hvilket kan skyldes forskellene i muslingearternes levevis, idet sandmuslingerne lever nedgravet i sandet, mens blåmuslingerne ligger ovenpå. Generelt er kobberindholdet i de undersøgte marine områder lige over grænsen for moderat forurening.

#### **Udvikling**

Depositionen og det atmosfæriske koncentrationsniveau af tungmetaller har for perioden 1990 til 2001 været stadig faldende (figur 9.2). Nedgangen i tungmetalniveauerne har været mellem en faktor to og en faktor tre, størst nedgang er målt for stofferne Pb og Cd.

Udviklingstendenserne følger ændringerne i emissionerne af tungmetallerne. I både Danmark og mange andre Europæiske lande er der sket betydelige reduktioner i emissionerne. For enkelte tungmetaller er der dog ikke sket nævneværdige ændringer i danske udledninger, og de observerede ændringer skyldes derfor ændringer i emissionerne i navnlig den nordlige del af det europæiske kontinent.

Der ses ikke en tilsvarende udvikling i udledning af tungmetaller fra renselanlæg. Koncentrationerne ligger i 1998-2001 indenfor samme størrelsesorden som i 1994-1996, dog med stor spredning

afhængig af hvilke industrier der er tilsluttet de enkelte renselanlæg.

I søerne er koncentrationen af tungmetaller i 2001 på samme niveau som i 1999, hvor der sidst blev målt. Blandt de marine områder der indgår i overvågningen er der i 2001 flere områder, der er påvirkede af kobber og zink end 2000. Målingerne i 2001 af tungmetaller i vandløbene kan ikke umiddelbart sammenlignes med målingerne de foregående år da forudsætningerne er ændrede.

#### **Vurdering i forhold til grænseværdier**

Grundvandets indhold af tungmetaller overskrider i perioden 1990-2001 grænseværdierne for arsen, nikkel, zink og aluminium i drikkevand (*Miljø- og Energiministeriet, 2001*) i et antal tilfælde i et mindre antal indtag.

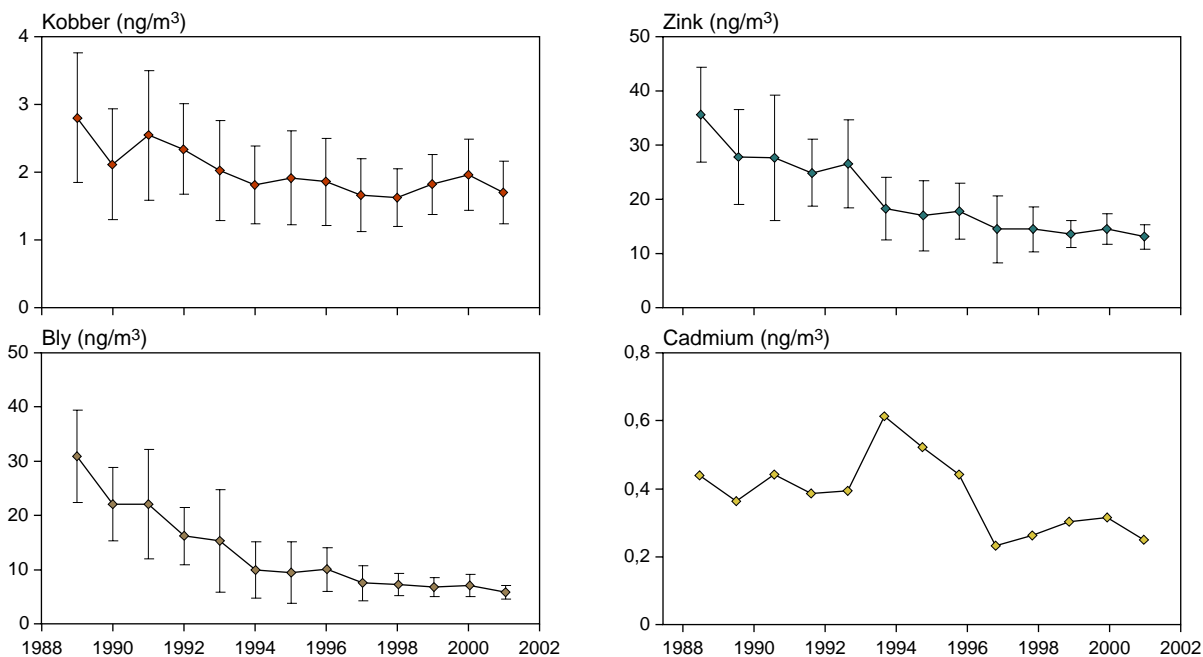
Derudover er stofferne antimon, barium, bly, bor, cyanid, cadmium, kobber, molybdæn og selen i enkelte tilfælde fundet i grundvandsovervågningen i koncentrationer over grænseværdierne for drikkevand. Tilsvarende er der enkelte fund af bly, bor og kviksølv over grænseværdien i vandværkernes boringskontrol.

Grænseværdien for arsen i drikkevand er blevet skærpet fra tidligere 50 µg/l til 5 µg/l (*Miljøstyrelsen, 2001*). Da de høje arsenkoncentrationer primært findes i dybtliggende grundvand, betyder det at arsenindholdet kan blive begrænsende for, hvor dybt der kan hentes grundvand, som skal anvendes til drikkevand.

Grundvand med et indhold af tungmetaller over grænseværdien for drikkevand kan ikke umiddelbart anvendes til drikkevand, f.eks. i forbindelse med enkeltforsyninger og små fælles vandforsyninger uden vandbehandling. I større vandværker med vandbehandling vil metaller og sporstoffer i nogen grad tilbageholdes i okkerslammet i vandværkernes sandfiltre. Således fjernes gennemsnitligt op mod halvdelen af grundvandets arsenindhold.

Kvalitetskravene til overfladevand er for flere metaller lavere end kvalitetskravene for drikkevand; eksempelvis for aluminium, arsen og kobber (*Miljøstyrelsen, 1996*). Man finder derfor i grundvand hyppigere overskridelser af kvalitetskravene for overfladevand end af grænseværdierne for drikkevand. Overskridelserne af kvalitetskravene kan have indflydelse på flora og fauna i vandløb og søer som er grundvandsfødte.

Den hyppigste overskridelse af kvalitetskravene ses i vandløbene for bly (tabel 9.4). Bly hører ligeledes til blandt de hyppigst fundne metaller i det terrænnære grundvand (LOOP). I de undersøgte søer er metalkoncentrationerne i alle tilfælde væsentligt lavere end kravværdierne.



Figur 9.2 Tidsudvikling i væddepåsat over en 11-årig periode af zink (Zn), bly (Pb), cadmium (Cd) og kobber (Cu) (Ellermann et al, 2002).

Tabel 9.3 Hyppighed i % af indtag med overskridelse af grænseværdien for drikkevand (GEUS, 2002).

	Grænseværdi	GRUMO	LOOP	Vandværker
	ug/l	%	%	%
Arsen	5	16	14	19
Bly	5	1,4	34	2
Cadmium	2	<1	6	-
Chrom	20	0	-	2
Kobber	100	<1	-	-
Kviksølv	1	0	-	-
Nikkel	20	6	51	4
Zink	100	6	49	5
Aluminium	100	15	43	12

Tabel 9.4 Hyppighed i % af indtag/boringer med overskridelse af økotoxikologiske kvalitetskriterier for overfladevand (Miljøstyrelsen, 1996, GEUS, 2002, Bøgestrand (red), 2002, & Grant et al, 2002).

	Kvalitetskrav	GRUMO	LOOP	Vandværker	Vandløb
	ug/l	%	%	%	%
Arsen	4	19	17	23	5
Bly	3,2	3	37	3	12
Cadmium	5	<1	6	<1	0
Chrom	10	<1	0	2	1,7
Kobber	12	3	31	1	1,7
Kviksølv	1	0	-	-	0
Nikkel	160	<1	14	<1	0
Zink	110	6	46	3	0
Aluminium	2,6	72	71	44	-

## 9.2 Pesticider

De pesticider, der undersøges for i grundvand, drænvand, vandløb og søer, er primært pesticider med landbrugsmæssig anvendelse. Der er undersøgt for enkelte af disse pesticider i udledninger fra industri. Nogle af pesticiderne må fortsat anvendes, andre må ikke længere anvendes, men de har været tilladt og anvendt indenfor de seneste 10-20 år.

I spildevand og slam samt i fisk og muslinger fra marine områder er der undersøgt for enkelte af de såkaldte gamle klorerede tungtnedbrydelige pesticider (f.eks. DDT og lindan). Disse har været forbudt i en årrække i Danmark, men kan fortsat findes i miljøet.

I Pesticidhandlingsplanen fra 1987 er kravet, at salget af aktiv stoffer halveres inden 1997 i forhold til referenceperioden 1981-85. Dette reduktionsmål er på landsplan nået i 1999. I Pesticidhandlingsplanen fra 2000 er der sat det mål, at behandlings-

hyppigheden skal reduceres til under 2,0 inden 2002. Dette mål blev på landsplan omtrent opnået allerede i 2000 (her beregnet efter den gamle beregningsmetode).

### Kilder

Ved undersøgelse af drænvand fra fire landbrugsarealer er der fundet fem pesticider eller pesticidnedbrydningsprodukter, som alle er godkendte til anvendelse i dag. Desuden er der fundet otte, som ikke længere må anvendes i Danmark. Der er undersøgt for i alt 47 – 50 stoffer. Isoproturon, som blev forbudt i 1999, blev i 2000 fundet med en maks. koncentration på 23 µg/l, koncentrationen er væsentlig lavere i 2001 hvor den maksimale koncentration er 0,082 µg/l.

Koncentrationen af pesticider, der bliver fundet i udledningen fra særskilte industrielle udledere, er på et væsentligt højere niveau end de andre steder, hvor der undersøges for de samme pesticider (drænvand, grundvand, søvand og vandløb). Men da der er tale om enkelte spredte industrier vil deres bidrag til den samlede tilførsel til vandmiljøet være af mindre betydning.

I udløb fra renseanlæg bliver der i enkelte tilfælde fundet nogle af de gamle klorerede pesticider.

### Tilstand

Det er i vid udstrækning de samme pesticider, der findes hyppigst i de undersøgte vandløb, søer og dræn og i grundvand (tabel 9.5). Der er undersøgt for i alt 45-50 forskellige pesticider og nedbrydningsprodukter af pesticider. BAM, nedbrydningsprodukter af triaziner samt glyphosat og dets nedbrydningsprodukt AMPA er de stoffer, der samlet set er dominerende.

I vandløb er der enkelte pesticider, som findes med stor hyppighed og i undertiden høje koncentrationer, mens der er en lang række pesticider, som findes med lav hyppighed og i meget varierende oftest lave koncentrationer. I de undersøgte søer findes de fleste pesticider med samme høje hyppighed men i væsentlig lavere koncentrationer end i vandløbene, oftest i koncentrationer tæt på detektionsgrænsen (figur 9.3).

I ca. en fjerdedel af de grundvandsindtag der har været undersøgt siden 1990 er der fundet pesticider. Langt hovedparten af det pesticidpåkvikkede grundvand er fra perioden efter 1945 hvilket også er det mest terrænnære grundvand. Det yngste vand findes fortrinsvis i intervallet 0-10 meter under terræn, hvor antallet af indtag med fund er mere end 50% (figur 9.4). Den relative andel af indtag med fund af pesticider over grænseværdien falder med stigende alder af grundvandet.

### Udvikling

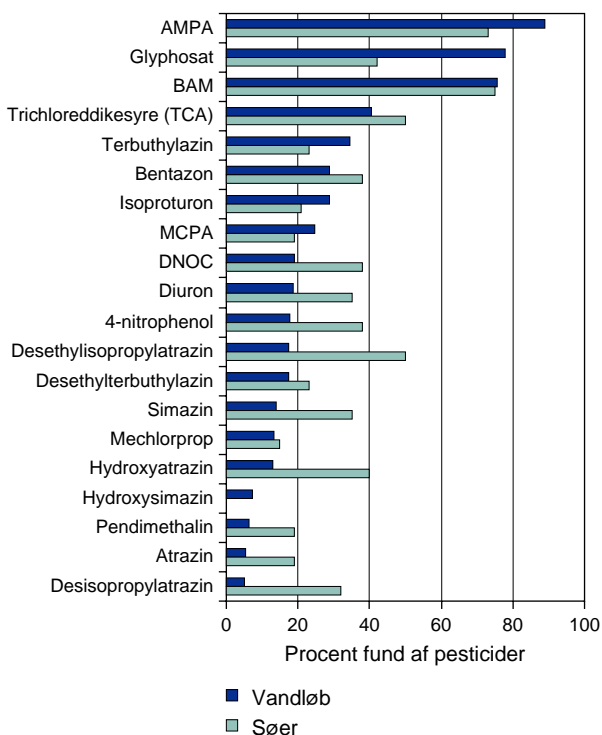
Hyppigheden hvormed der er fundet pesticider i grundvandsovervågningen, har været stigende i perioden 1990-1998, hvorefter niveauet har været nogenlunde stabilt med en faldende tendens fra 1998-2000 (figur 9.5). En væsentlig årsag til, at hyppigheden af pesticidfund var stigende i perioden 1990-1998, var at analyserne i denne periode kom til at omfatte flere og flere stoffer, bl.a. havde inddragelsen af BAM og nedbrydningsprodukterne af triaziner stor betydning.

Hyppigheden af indtag med pesticidfund er i 2001 steget til 27% fra 21% i 2000. Denne stigning tilskrives hyppigere fund af mange stoffer, der er således ikke et enkelt pesticid, der er årsag til stigningen.

Der ses ikke en tilsvarende stigning i fundhyppigheden i vandværkernes indvindingsboringer. Her har fundhyppigheden siden 1997 været på ca. 30%.

### Vurdering i forhold til kravværdier

Der er fastsat danske kvalitetskrav til overfladevand for enkelte af de pesticider der indgår i overvågningen af overfladevand eller spildevand. Som supplement hertil kan der skeles til hollandske kvalitetskrav i det omfang, der ikke er fastsat danske (tabel 9.6).



Figur 9.3 Fundprocent af pesticider i vandløb og søer. Fundprocenten er opgjørt som antallet af prøver med indhold over detektionsgrænsen af det samlede antal analyserede prøver (Bøgestrand (red), 2002 & Jensen et al 2002).

Tabel 9.5 De hyppigst fundne pesticider listet i rækkefølge i forhold til fundhyppigheden med de hyppigst fundne øverst (Bøgestrand (red), 2002, Jensen et al, 2002, GEUS 2002 & Grant et al, 2002).

Vandløb	Søer	GRUMO	Vandværker	Drænvand
AMPA	BAM	BAM	BAM	Deethyldeisopropylatrazin
Glyphosat	AMPA	Deethylisopropylatrazin	Atrazin	Glyphosat
BAM	Maleinhydrazid	Deisopropylin	Desethylatrazin	AMPA
Trichloreddikesyre (TCA)	Trichloreddikesyre (TCA)	Deethylatrazin	Desisopropylatrazin	Isoproturon
Terbuthylazin	Desethylisopropylatrazin	Atrazin	Mechlorprop	Hydroxyatrazin
Bentazon	Glyphosat	4-nitrophenol	Desisopropylatrazin	Desethylatrazin

Kravværdierne bliver hyppigst overskredet i vandløbene, hvilket hænger sammen med de varierende koncentrationer, hvori pesticiderne findes i vandløbene. I søerne ses der kun enkeltstående små overskridelser af kravværdierne.

I grundvandsovervågningen har der været overskridelse af grænseværdien for pesticider i drikkevand i af størrelsesordenen 6-8% af de analyserede indtag siden 1996 (figur 9.5). Fra 2002 til 2001 har der været en stigning fra 6,8% til 8,5%.

I de marine områder er der fundet indhold af DDT og HCH på niveauer, som svarer til den norske klassificering for ubetydelig til moderat forurennet.

### 9.3 Andre organiske miljøfremmede stoffer

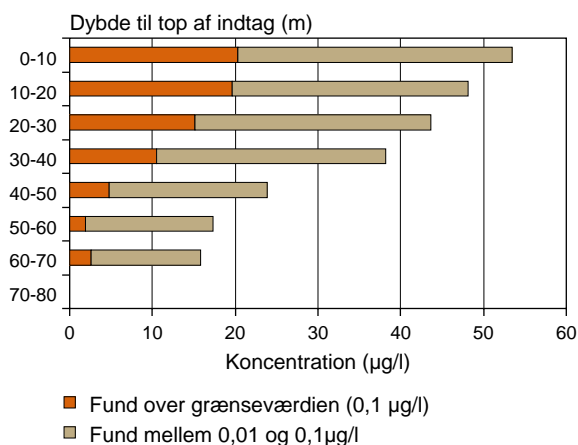
Gruppen af andre organiske miljøfremmede stoffer end pesticider (i det følgende omtalt som miljøfremmede stoffer) indeholder mange forskellige stoffer med forskellige fysiske og kemiske egenskaber. Stoffernes anvendelse og egenskaber har afgørende betydning for, hvor stofferne kan findes i miljøet. De tungt nedbrydelige, bioakkumulerbare stoffer vil kunne findes i eksempelvis sediment og

biota mens de vandopløselige vil kunne findes i eksempelvis grundvandet. Programmet er tilrettelagt under hensyntagen hertil, og det er derfor typisk ikke de samme stoffer fra de enkelte stofgrupper, der undersøges for i alle dele af miljøet.

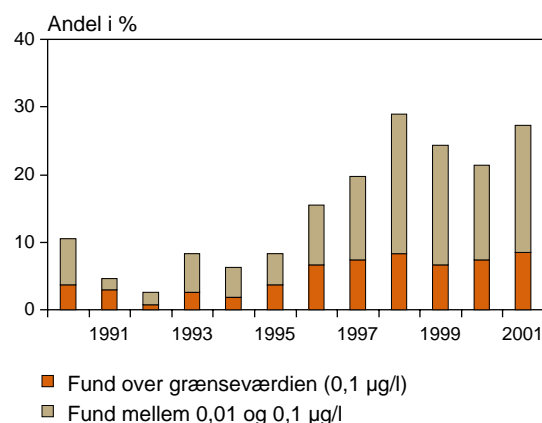
#### Kilder

Overvågningen ved renseanlæg er det delprogram, der omfatter flest miljøfremmede stoffer. I indløb til renseanlæggene bliver der fundet stort set alle de stoffer, der undersøges for. Stofferne bliver på renseanlæggene i vid omfang nedbrudt eller bundet i slammet, hvilket betyder at der kun findes få stoffer i udløb fra renseanlæggene.

Stofferne DEHP, nonylphenoler, bisphenol A hører til blandt de hyppigst fundne i udløbsprøver (i henholdsvis 68, 65 og 90% af de analyserede prøver). Alle tre hører til gruppen af stoffer, som har hormonlignende effekt. Derudover er fosfortriesterne, TCPP og tributyl phosphater samt phenol blandt de stoffer, som findes hyppigt (henholdsvis 100, 82 og 85%). Fosfortriesterne anvendes bl.a. som brandhæmmere og har stigende anvendelse. Følgende stofgrupper findes hyppigt i spildevandsslam: blødgørerne DEHP og diisonylphthalat, PCB, PAH samt dioxiner og furaner.



Figur 9.4 Fund af pesticider og nedbrydningsprodukter i grundvandsovervågningen fra forskellige dybdeintervaller for perioden 1990-2001, opgjort som indtag med fund og indtag med fund over grænseværdien for drikkevand på 0,1 µg/l (GEUS, 2002).



Figur 9.5 Indtag med fund af pesticider og nedbrydningsprodukter fra grundvandsovervågningen 1990 i forhold til antal undersøgte indtag (GEUS, 2002).

**Tabel 9.6** Maks. værdier for pesticider i vandløb, søer og udløb fra særskilte industrielle udledere samt de tilhørende danske eller hollandske kravværdier (*Miljø- og Energiministeriet, 1996 & Crommentuijin et al., 1997*). Tabellen omfatter de pesticider hvor der er fundet overskrivelse af kravværdierne (*Bøgestrand (red), 2002, Jensen et al, 2002 & Miljøstyrelsen, 2002*).

	Vandløb			Søer		Udløb fra særskilte industrielle udledere	
	Kravværdier (ug/l)	Max værdier (ug/l)	Antal fund over kvavværdier <sup>1)</sup>	Max værdier (ug/l)	Antal fund over kvavværdier <sup>2)</sup>	Max værdier (ug/l)	Antal fund over kvavværdier
MCPA	1,7 (NL)	5,1	3	0,15		0,7	
Dinoseb	0,025 (NL)	0,093	2	0,03	?	-	
Simazin	1 (DK)	2,5	1	0,032		0,04	
Aldrin	0,01 (DK)	0,03	1			-	
Fenitrothion	0,01 (DK)	0,034	1			-	
Glyphosat	12 (NL)	300	1	0,11		-	
Isoproturon	0,3 (NL)	0,63	9	0,062		-	
Pirimicarb	0,09 (NL)	0,13	1	0,02		-	
Propiconazol	0,02 (NL)	0,24	8	0,04	?	-	
Trifluralin	0,037 (NL)	0,69	2	0,01		-	

1) ud af i alt 60 analyser fordelt på 5 vandløb

2) ud af i alt 48 analyser fordelt på 8 søer

## Tilstand

### Grundvand

I grundvandsovervågningen er der i perioden 1993-2001 mindst en gang fundet ét eller flere miljøfremmede stoffer i 89% af indtagene. Tilsvarende er der ved vandværkernes boringskontrol påvist mindst et miljøfremmed stof i godt 1/3 af indtagene, og i det terrænnære grundvand i landovervågningsoplandene er der påvisninger i 55% af indtagene.

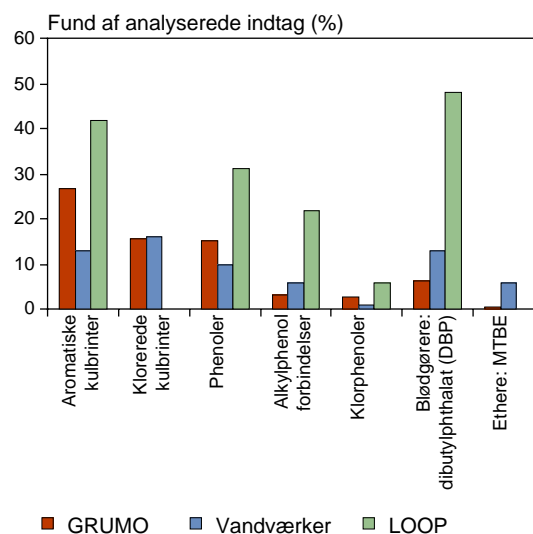
De hyppigst fundne stofgrupper i GRUMO og ved vandværkerne er klorerede kulbrinter, aromatiske kulbrinter og phenoler (figur 9.6). Det terrænnære grundvand i LOOP adskiller sig fra det dybereliggende grundvand i GRUMO og ved vandværkerne ved, at der her relativt hyppigt findes nonylphenoler (alkylphenolforbindelser) og blødgøreren DBP.

### Søer og vandløb

I søerne er nonylphenoler den hyppigst fundne stofgruppe blandt de miljøfremmede stoffer, der er undersøgt for i søerne. Nonylphenoler er fundet i 46% af de undersøgte prøver, fundene er gjort i 4 af de 8 søer, der indgår i overvågningen. DEHP er ligeledes fundet hyppigt, stoffet er fundet i 26% af de analyserede prøver fordelt i 2 af de 8 undersøgte søer.

Damhusåen, som går gennem København, er et af de vandløb, hvor der er undersøgt for miljøfremmede stoffer. Damhusåen er blandt de un-

dersøgte vandløb dominerende med hensyn til forekomst af miljøfremmede stoffer. I de øvrige vandløb er der kun gjort ganske få fund i lave koncentrationer. Nonylphenoler er blandt de stoffer der er fundet i Damhusåen.



**Figur 9.6** Fund af miljøfremmede stoffer over og under grænseværdien i % af analyserede indtag (GEUS, 2002).

### Biota i marine områder

Målinger i muslinger og fisk indsamlet i de danske fjorde og indre farvande viser, at disse områder er forurenet med så høje koncentrationer af tributyltin (TBT) og polyaromatiske hydrocarboner (PAH), at der må forventes at forekomme effekter heraf. Generelt er koncentrationerne af polyklorerede biphenyler (PCB) og de øvrige klørede forbindelser mindre bekymrende, men dog stadig på niveauer hvor det ikke kan udelukkes, at de kan medføre effekter på miljøet.

Imposex og intersex (påvirkning af kønsorganerne) induceret af tributyltin (TBT) er stadig udbredt i de fire undersøgte arter af havsnegle. Først og fremmest i kystnære områder, hvor TBT niveauet forventeligt er højest, men i de følsomme arter er der også effekter i åbne farvande, selv i den åbne Nordsø (figur 9.7).

### Udvikling

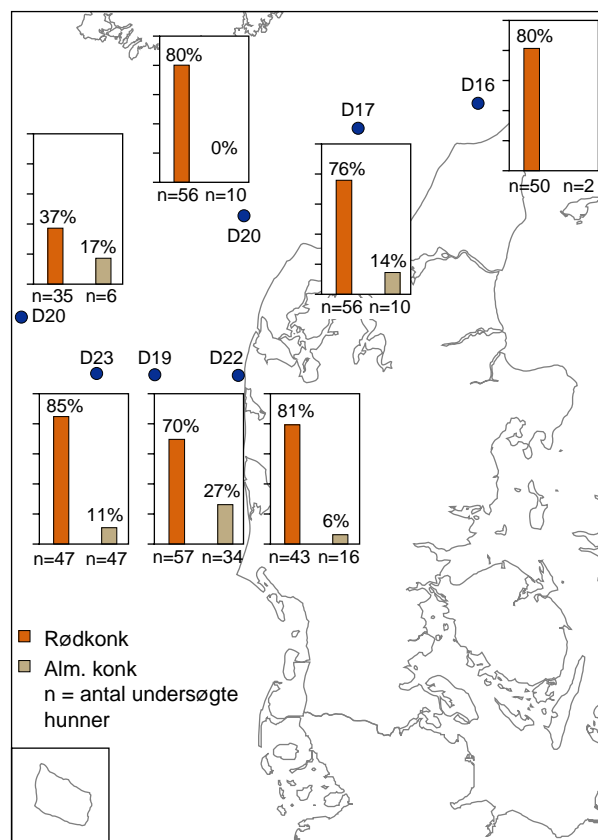
Der kan ikke ses nogen udvikling i indholdet af miljøfremmede stoffer i indløbene til rensesanlæggene og i udløbene fra rensesanlæggene. Indholdet er i perioden 1998 – 2001 af samme størrelsesorden som ved undersøgelser i 1994 og 1996.

### Vurdering i forhold til grænseværdier

Langt de fleste fund af miljøfremmede stoffer i grundvandet er under grænseværdierne for drikkevand. Den hyppigste overskridelse af grænseværdien ses for blødgøreren dibutylphthalat (DBP). I det dybereliggende grundvand i GRUMO overskrides grænseværdien i 3,9% af de undersøgte indtag (28 ud af 725 undtag), mens den i det terrænnære grundvand i LOOP overskrides i 22% af de undersøgte indtag (5 ud af 23 indtag).

I udløbene fra rensesanlæggene og i vandløbene er der ikke fundet overskridelse af gældende eller forslag til kvalitetskrav.

I søerne er der fundet væsentlige overskridelser af et forslag til kvalitetskriterium for DEHP på 0,1 µg/l (Miljøstyrelsen, 1995).



Figur 9.7 Andelen af rødkonk og alm. konk med imposex (i %) fra stationerne D16-D23 i Skagerrak og Nordsøen 2001. Ved D19, D22 og D23, henholdsvis 3, 50 og 80 km fra Thorsminde, har der ikke tidligere været indsamlet snegle (Ærtebjerg (red), 2002).

## 10 Referencer

- *Bøgestrand, J. (red.) (2002): Vandløb 2001. NOVA 2003. Danmarks Miljøundersøgelser. - Faglig rapport fra DMU nr. 422 (elektronisk).*
- *Cappelen, J. & Jørgensen, B.V. (2002): Danmarks Klima 2001 med tillæg om Færøerne og Grønland. Danmarks Meteorologiske Institut. – Teknisk rapport 02-01. 84 pp.*
- *Crommentuijin et al (1997) i Statens Forureningstilsyn (SFT) (2002): Jordforsk rapport nr. 6/02. Rapport nr. TA-1857/2002.*
- *Ellermann, T., Hertel, O., Kemp, K. & Monies, C. (2002): Atmosfærisk deposition 2001. NOVA 2003. Danmarks Miljøundersøgelser. – Faglig rapport fra DMU nr. 418 (elektronisk).*
- *GEUS (2002): Grundvandsovervågning 2002 (elektronisk).*
- *Grant, R., Blicher-Mathiesen, G., Andersen, H.E., Jensen, P.G., Pedersen, M. & Rasmussen, P. (2002): Landovervågningsoplande 2001. NOVA 2003. Danmarks Miljøundersøgelser. - Faglig rapport fra DMU nr. 420 (elektronisk).*
- *Kronvang, B. (red.) (2001): Fosfor i jord og vand. 90 s. Faglig rapport fra DMU nr. 380.*
- *Jensen, J.P., Søndergaard, M., Bjerring, R., Lauridsen, T.L., Jeppesen, E., Sortkjær, L. & Poulsen, A.M. (2002): Søer 2001. NOVA 2003. Danmarks Miljøundersøgelser - Faglig rapport fra DMU nr. 421 (elektronisk).*
- *Ovesen, N.B., Iversen, H.L., Larsen, S.E. Müller-Wohlfeil, D.-I. & Svendsen, L.M., Blicher, A.S. og Jensen, P.M. (2000): Afstrømningsforhold i danske vandløb. Danmarks Miljøundersøgelser. 238 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 340.*
- *OSPAR (1998): Report of the Third OSPAR Workshop on Ecotoxicological Assessment Criteria (EAC), The Hague: 25-29 November 1996, Oslo and Paris Commissions, 1998.*
- *Miljøministeriet (2001): Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg nr. 871 af 21. september 2001.*
- *Miljø- og Energiministeriet (1996): Bekendtgørelse om vandkvalitetskrav for vandområder og krav til udledning af visse farlige stoffer til vandløb, søer eller havet nr. 921 af 8. oktober 1996.*
- *Miljøstyrelsen (1995): Water Quality Criteria for Selected Priority Substances. Working Report No. 44, 1995.*
- *Miljøstyrelsen (2000): NOVA-2003 Programbeskrivelse for det nationale program for overvågning af vandmiljøet 1998-2003. 397 s. Redegørelse fra Miljøstyrelsen nr. 1.*
- *Miljøstyrelsen (2002): Punktkilder 2001. Orientering fra miljøstyrelsen, 2002 (primo december) (elektronisk).*
- *Statens Forureningstilsyn (SFT) (1997): Klassificering av miljøkvalitet i fjorde og kyst farvann. Oslo, Norge. Vejledning nr. 97:03.*
- *Ærtebjerg, G. (red) (2002): Marine områder 2001 – Miljøtilstand og udvikling. NOVA 2003. Danmarks Miljøundersøgelser. – Faglig rapport fra DMU nr. 419 (elektronisk).*



# Danmarks Miljøundersøgelser

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

Henvendelser kan rettes til:

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

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

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

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

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

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

*Afd. for Landskabsøkologi*  
*Afd. for Kystzoneøkologi*

## Publikationer:

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

I årsberetningen findes en oversigt over det pågældende års publikationer.

# Faglige rapporter fra DMU/NERI Technical Reports

## 2001

- Nr. 383: Pesticider 2 i overfladevand. Metodaoprøvning. Af Nyeland, B. & Kvamm, B. 45 s. + Annex 1, 75,00 kr.  
Nr. 384: Natural Resources in the Nanortalik Area. An Interview Study on Fishing, Hunting and Tourism in the Area around the Nalunaq Gold Project. By Glahder, C.M. 81 pp., 125,00 kr.  
Nr. 385: Natur og Miljø 2001. Påvirkninger og tilstand. Af Bach, H., Christensen, N. & Kristensen, P. 368 s., 200,00 kr.  
Nr. 386: Pesticider 3 i overfladevand. Metodeoprøvning. Af Nyeland, B. & Kvamm, B. 94 s., 75,00 kr.  
Nr. 387: Improving Fuel Statistics for Danish Aviation. By Winther, M. 56 pp., 75,00 DKK.

## 2002

- Nr. 388: Microorganisms as Indicators of Soil Health. By Nielsen, M.N. & Winding, A. 82 pp., 90,00 DKK.  
Nr. 389: Naturnær skovrejsning – et bæredygtigt alternativ? Af Aude, E. et al. 47 s. (elektronisk)  
Nr. 390: Metoder til at vurdere referencetilstanden i kystvande – eksempel fra Randers Fjord. Vandrammedirektiv-projekt. Fase II. Af Nielsen, K. et al. 43 s. (elektronisk)  
Nr. 391: Biologiske effekter af råstofvindning på epifauna. Af Lisbjerg, D. et al. 54 s. (elektronisk)  
Nr. 392: Næringssaltbegrænsning af makroalger i danske kystområder. Et samarbejdsprojekt mellem Ringkøbing Amt, Nordjyllands Amt, Viborg Amt, Århus Amt, Ribe Amt, Sønderjyllands Amt, Fyns Amt, Roskilde Universitetscenter og Danmarks Miljøundersøgelser. Af Krause-Jensen, D. et al. 112 s. (elektronisk)  
Nr. 393: Vildtudbyttet i Danmark i jagtsæsonen 2000/2001. Af Asferg, T. 34 s., 40,00 kr.  
Nr. 394: Søerne i De Østlige Vejler. Af Jeppesen, E. et al. 90 s., 100,00 kr.  
Nr. 395: Menneskelig færdsels effekt på rastende vandfugle i saltvandssøen. Af Laursen, K. & Rasmussen, L.M. 36 s., 50,00 kr.  
Nr. 396: Miljøundersøgelser ved Maarmorilik 1999-2000. Af Møller, P. et al. 53 s. (elektronisk).  
Nr. 397: Effekt af lystfiskeri på overvintrende troldeænder i Store Kattinge Sø. Af Madsen, J. 23 s. (elektronisk)  
Nr. 398: Danske duehøges populationsøkologi og forvandling. Af Drachmann, J. & Nielsen, J.T. 51 s., 75,00 kr.  
Nr. 399: NEXT 1998-2003, Pesticider 1 i drikkevand. Samlet rapport over 3 præstationsprøvningsrunder. Af Nyeland, B. & Kvamm, B.L. 43 s. (elektronisk)  
Nr. 400: Population Structure of West Greenland Narwhals. A Multidisciplinary Approach. By Riget, F. et al. 53 pp. (electronic)  
Nr. 401: Dansk tilpasning til et ændret klima. Af Fenger, J. & Frich, P. 36 s. (elektronisk)  
Nr. 402: Persistent Organic Pollutants in Soil, Sludge and Sediment. A Multianalytical Field Study of Selected Organic Chlorinated and Brominated Compounds. By Vikelsøe et al. 96 pp. (electronic)  
Nr. 403: Vingeindsamling fra jagtsæsonen 2001/02 i Danmark. Wing Survey from the 2001/02 hunting season in Denmark. Af Clausager, I. 62 s., 50,00 kr.  
Nr. 404: Analytical Chemical Control of Phthalates in Toys. Analytical Chemical Control of Chemical Substances and Products. By Rastogi, S.C., Jensen, G.H. & Worsøe, I.M. 25 pp. (electronic)  
Nr. 405: Indikatorer for Bæredygtig Transport – oplæg til indhold og strategi. Af Gudmundsen, H. 112 s., 100,00 kr.  
Nr. 408: Blykontaminering af havfugle i Grønland fra jagt med blyhagl. Af Johansen, P., Asmund, G. & Riget, F. 31 s. (elektronisk)  
Nr. 409: The State of the Environment in Denmark 2001. Bach, H., Christensen, N. & Kristensen, P. (eds). 368 pp., 200,00 DKK.  
Nr. 411: Satellite Tracking of Humpback Whales in West Greenland. Dietz, R. et al. 38 pp. (electronic)  
Nr. 412: Control of Pesticides 2001. Chemical Substances and Chemical Preparations. By Krongaard, T. Petersen, K.K. & Christoffersen, C. 28 pp. (electronic)  
Nr. 413: Vegetation i farvandet omkring Fyn 2001. Af Rasmussen, M.B. 138 s. (elektronisk)  
Nr. 418: Atmosfærisk deposition 2001. NOVA 2003. Af Ellermann, T. (primo december) (elektronisk)  
Nr. 419: Marine områder 2001 - Miljøtilstand og udvikling. NOVA 2003. Af Ærtebjerg, G. (red.) (primo december) (elektronisk)  
Nr. 420: Landovervågningsoplande 2001. NOVA 2003. Af Grant, R. (primo december) (elektronisk)  
Nr. 421: Søer 2001. NOVA 2003. Af Jensen, J.P. (primo december) (elektronisk)  
Nr. 422: Vandløb og kilder 2001. NOVA 2003. Af Bøgestrand, J. (primo december) (elektronisk)  
Nr. 423: Vandmiljø 2002. Tilstand og udvikling - faglig sammenfatning. Af Andersen, J.M. et al. 56 s., 100,00 kr.

“Vandmiljø 2002. Tilstand og udvikling – faglig sammenfatning.”  
indeholder resultater fra 2001 af det nationale program for  
overvågning af vandmiljøet 1998-2003, NOVA 2003.

Rapporten indeholder de faglige konklusioner på status for  
påvirkning af og tilstanden i grundvand, vandløb, søer, atmosfæren,  
fjorde og havområder. Grundlaget for rapporten er de årlige  
rapporter, som de enkelte fagdatacentre udarbejder for hvert  
delområde. Disse rapporter er baseret på data, som er indsamlet af  
amterne og i de fleste tilfælde også rapporteret af amterne.”

Danmarks Miljøundersøgelser  
Miljøministeriet

ISBN 87-7772-705-3  
ISSN 1600-0048