

Vandmiljøplanens
Overvågningsprogram 1996

Ferske vandområder

Vandløb og kilder
Faglig rapport fra DMU, nr. 214

Jørgen Windolf
Lars M. Svendsen
Brian Kronvang
Jens Skriver
Niels Bering Ovesen
Søren Erik Larsen
Annette Baattrup-Pedersen
Hans Legard Iversen
Jytte Erfurt
Afdeling for Vandløbsøkologi
Dirk-Ingmar Müller Wohlfeil
Jens Peder Jensen
Afdeling for Sø- og Fjordøkologi

Miljø- og Energiministeriet
Danmarks Miljøundersøgelser
December 1997

Datablad

Titel: Ferske vandområder - vandløb og kilder

Undertitel: Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1996

Redaktør: Jørgen Windolf

Afdelingsnavn: Afdeling for Vandløbsøkologi

Serietitel og nummer: Faglig rapport fra DMU nr. 214

Udgiver: Miljø- og Energiministeriet
Danmarks Miljøundersøgelser ©

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

Udgivelsestidspunkt: December 1997

Tegninger: Kathe Møgelvang & Juana Jacobsen
ETB: Anne-Dorthe Matharu
EDB: Jytte Erfurt

Bedes citeret: Windolf, J., Svendsen, L.M., Kronvang, B., Skriver, J., Ovesen, N.B., Larsen, S.E., Baattrup-Pedersen, A., Iversen, H.L., Erfurt, J., Müller-Wohlfeil, D. og Jensen, J.P. (1997): Ferske Vandområder - Vandløb og kilder. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1996. Danmarks Miljøundersøgelser. 112s. - Faglig rapport fra DMU nr. 214

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse.

Redaktionen afsluttet: November 1997

ISBN: 87-7772-358-9
ISSN: 0905-815x
Papirkvalitet: Cyclus Print
Tryk: Silkeborg Bogtryk
Oplag: 450
Sideantal: 112

Pris: kr. 150,- (inkl. moms, ekskl. forsendelse)

Købes i boghandelen
eller hos:

Danmarks Miljøundersøgelser	Miljøbutikken
Vejlsøvej 25	Information & Bøger
Postboks 314	Læderstræde 1
8600 Silkeborg	1201 København K
Tlf. 89 20 14 00	Tlf. 33 37 92 92
Fax 89 20 14 14	Fax 33 92 76 90

Indhold

Forord

Resumé 7

1 Indledning 11

Jørgen Windolf

- 1.1 De væsentligste miljøproblemer i vandløb 11
- 1.2 Vandkvalitetsplaner - nationalt og regionalt 11
- 1.3 Vandmiljøovervågning - nationalt og regionalt 12
- 1.4 Generelt om årets Temarapport 13

2 Vandløb, overvågningsprogram og oplandskarakteristik 15

Jørgen Windolf & Lars M. Svendsen

- 2.1 Vandløb 15
- 2.2 Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 15
- 2.3 Arealanvendelse 15
- 2.4 Stoftilførsel til marine områder 17

3 Det hydrologiske kredsløb 19

Niels B. Ovesen, Dirk-Ingemar Müller-Wohlfeil & Lars M. Svendsen

- 3.1 Indledning 19
- 3.2 Det hydrologiske kredsløb i Danmark 19
- 3.3 Nedbør 20
- 3.4 Temperatur 22
- 3.5 Afstrømning 22
- 3.6 Fordampning 25
- 3.7 Menneskelig påvirkning af det hydrologiske kredsløb 26
- 3.8 Konklusion 26

4 Vandløbenes miljøtilstand 29

Jens Skriver, Annette Baattrup-Pedersen & Søren E. Larsen

- 4.1 Overordnede sammenhænge, tilsynsstrategi og bedømmelsesmetoder 29
- 4.2 Biologiske bedømmelsesmetoder 29
- 4.3 Vandløbenes tilstand 30
- 4.4 Udvikling i vandløbenes miljøtilstand 32
- 4.5 Udvikling i udvalgte arters forekomst og udbredelse 34
- 4.6 Målsætninger for vandløb - er de opfyldt? 36
- 4.7 Sammenhænge mellem påvirkninger og miljøkvaliteten i vandløb 39
- 4.8 Forbedring af miljøtilstanden: Fremtidig indsats 41
- 4.9 Trådalger i vandløb 43
- 4.10 Konklusion 45

5 Fosfor i vandløb og kilder 47

*Brian Kronvang, Søren E. Larsen, Hans L. Iversen,
Jørgen Windolf & Dirk-Ingemar Müller-Wohlfeil*

- 5.1 Mange faktorer påvirker forekomsten af fosfor i vandløb og kilder 47
- 5.2 Fosforindholdet er generelt faldet i de danske vandløb 51
- 5.3 Fosforindholdet er stadigvæk højt i mange danske vandløb og kilder 56
- 5.4 De diffuse kilders betydning 59
- 5.5 Fosforudledningen fra landbrugsarealer er af stigende betydning 60
- 5.6 Hvordan kan fosforindholdet i vandløb reduceres? 62
- 5.7 Konklusion 64

6 Kvælstof i vandløb og kilder 67

*Brian Kronvang, Søren E. Larsen, Hans L. Iversen,
Jørgen Windolf & Dirk-Ingemar Müller-Wohlfeil*

- 6.1 Mange faktorer påvirker forekomsten af kvælstof i vandløb og kilder 67
- 6.2 Kvælstofindholdet er faldet i en del danske vandløb 72
- 6.3 Kvælstofindholdet er stadigvæk højt i mange danske vandløb og kilder 81
- 6.4 De diffuse kilders betydning 82
- 6.5 Kvælstofudvaskning fra landbrugsarealer til vandløb 83
- 6.6 Hvordan kan kvælstofindholdet i vandløb reduceres? 85
- 6.7 Konklusion 88

7 Stoffilførsel til marine kystafsnit 89

Lars M. Svendsen, Søren E. Larsen & Jens P. Jensen

- 7.1 Indledning 89
- 7.2 Stoffilførsler til de marine kystafsnit i 1996 89
- 7.3 Opgørelse af tilførslerne via vandløb 92
- 7.4 Belastningsforholdene i overvågningsperioden og perioden 1981-88 93
- 7.5 Kilder til kvælstof og fosfor belastning af ferskvand 96
- 7.6 Belastningsforhold for 1. ordens kystafsnit 98
- 7.7 Konklusion 98

8 Sammenfatning af Danmarks Miljøundersøgelses nationale rapporter vedrørende resultaterne af Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1996 101

Referencer 105

Oversigt over amtsrapporter i 1997 109

Danmarks Miljøundersøgelser

Faglige rapporter fra DMU/NERI technical reports

Forord

Denne rapport er udarbejdet af Danmarks Miljøundersøgelser som et led i den landsdækkende rapportering af Vandmiljøplanens overvågningsprogram. Overvågningsprogrammet blev iværksat efteråret 1988.

Hensigten med Vandmiljøplanens overvågningsprogram er at undersøge effekten af de reguleringer og investeringer, som er gennemført i forbindelse med Vandmiljøplanen (1987). Systematisk indsamling af data gør det muligt at opgøre udledninger af kvælstof og fosfor til vandmiljøet samt at registrere de økologiske effekter, der følger af den ændrede belastning af vandmiljøet med næringssalte.

Danmarks Miljøundersøgelser har som sektorforskningsinstitution i Miljø- og Energiministeriet til opgave at forbedre og styrke det faglige grundlag for de miljøpolitiske prioriteringer og beslutninger. En væsentlig del af denne opgave er overvågning af miljø og natur. Det er derfor et naturligt led i Danmarks Miljøundersøgelses opgave at forestå den landsdækkende rapportering af overvågningsprogrammet inden for områderne: Ferske vande, Marine områder, Landovervågning og Atmosfæren.

I overvågningsprogrammet er der en klar arbejdsdeling og ansvarsdeling mellem amtskommunerne og Københavns og Frederiksberg kommuner og de statslige myndigheder.

Rapporterne "Ferske vandområder - vandløb og kilder" og "Ferske vandområder - søer" er således baseret på amtskommunale data og rapporter af overvågningen af de ferske vande.

Rapporten "Marine områder - fjorde, kyster og åbent hav" er baseret på amtskommunale data og rapporter af overvågningen af fjorde og kystvande samt Danmarks Miljøundersøgelses overvågning af de åbne havområder.

Rapporten "Landovervågningsoplande" er baseret på data indberettet af amtskommunerne fra 6 overvågningsoplande, og er udarbejdet i samarbejde med Danmarks Geologiske Undersøgelse.

Endelig er rapporten "Atmosfærisk deposition af kvælstof" baseret på Danmarks Miljøundersøgelses overvågningsindsats. Til denne rapport foreligger tillige en bilagsrapport samt en appendixrapport.

Bagest i denne rapport findes en sammenfatning af resultaterne fra samtlige overvågningsrapporter fra Danmarks Miljøundersøgelser.

[Tom side]

Resumé

Temaet for årets rapportering af Vandmiljøplanens Overvågningsprogram er Ferskvand.

Vandmiljøplanens mål er at mindske udledningerne af kvælstof og fosfor til vandmiljøet. Derfor er der i rapporten lagt specielt vægt på at vurdere udviklingen i vandløbenes koncentration og transport af fosfor og kvælstof og på effekten af eventuelle yderligere tiltag, der kan mindske fosfor- og kvælstofudledningerne til vandløbene.

Vandløbenes biologiske tilstand påvirkes ikke af kvælstof og fosfor, og overvågningen af de biologiske forhold i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram har måske derfor haft et forholdsvis beskedent omfang. Derfor inddrages i rapporten resultater fra amternes generelle vandløbstilsyn og amternes vurdering af i hvor høj grad de politisk vedtagne målsætninger for vandløbenes miljøtilstand er opfyldt. Samt endelig, - hvilke generelle tiltag der vil kunne bedre vandløbenes miljøtilstand.

Vandløbenes miljøtilstand

De væsentligste forudsætninger for en god vandløbskvalitet er rent og tilstrækkeligt vand samt gode fysiske forhold i og omkring vandløbet. Under sådanne forhold er der i vandløbene et varieret plante- og dyreliv.

Vandløbenes miljøtilstand bestemmes således af en række forhold, som dels er naturgivne og dels er menneskeskabte. De naturgivne forhold omfatter faldforhold, jordbund m.m.. De menneskeskabte påvirkninger er talrige, og omfatter f.eks. spildevandsudledning, opdyrkning, udledning af pesticider og okker, vandløbsvedligeholdelse, regulering af vandløb, ændring af afstrømningsmønstret som følge af vandindvinding.

Metoder til vurdering af vandløbenes miljøtilstand

Vandløbenes miljøtilstand kan bedømmes ud fra de insekter, krebsdyr og andre vandløbsdyr der lever i vandløbene, og biologisk indeks for vandløbenes miljøtilstand kan udregnes ud fra artsammensætningen. Indeksverdier på I, I-II og II indebærer, at den biologiske tilstand er upåvirket eller næsten upåvirket, mens der i vandløb med Indeks III, III-IV og IV er en væsentlig og stigende påvirkning af tilstanden.

I Vandmiljøplanens Overvågningsprogram er der siden 1993 anvendt en standardiseret, objektiv metode ved den biologiske overvågning af de 220

stationer, der indgår i programmet. I det generelle tilsyn med vandløbene tilstand anvender langt de fleste amter imidlertid en metode baseret på identifikation af dyrene i felten, og efterfølgende subjektiv fastsættelse af det biologiske indeks. I en række amter har man konstateret et skred i den anvendte subjektive metode. Tendensen er, at der er sket en skærpelse i vurderingen, specielt i afgrænsningen af indeks II og II-III, således at vandløb, der før blev bedømt til II, nu ofte bedømmes som II-III.

Nationale sammenstillinger af vandløbenes biologiske tilstand og vurdering af udviklingen svækkes selvsagt af ovennævnte forhold.

Vandløbenes miljøtilstand

I ca. 38% af de danske vandløb er der en god miljøtilstand og vandløbene er upåvirkede eller næsten upåvirkede (indeks I, I-II og II). I hovedparten af de danske vandløb er den biologiske tilstand dog moderat til væsentligt påvirket. Således er 30-40% af vandløbsstrækningerne moderat påvirkede (II-III), mens de resterende 15-30%, er væsentligt påvirkede (III, III-IV og IV).

Miljøtilstanden i små, 0-2 meter brede vandløb er generelt dårligere end i større vandløb, hvor der kun findes ca. halvt så mange vandløbsstrækninger med forureningsgrad III, III-IV og IV som i de små vandløb.

Udvikling i vandløbenes miljøtilstand

I perioden siden 1970 er antallet af kraftigt forurenede danske vandløb blevet mere end halveret. Forbedringer i miljøtilstanden har siden 1989-90 været mest markant i de større vandløb.

Større udbredelse af visse rentvandskrævende smådyr i en række danske vandløb, samt en generel fremgang for ørred bekræfter den generelle udvikling mod en bedre vandløbstilstand.

Målsætningsopfyldelse i vandløb

På landsplan opfylder kun ca. 45% af vandløbene de politisk vedtagne målsætninger, men der er stor geografisk variation. På Sjælland, Lolland og Falster er målopfyldelsen kun på godt 20%, mens den på Fyn og i Jylland er henholdsvis knapt 40% og ca. 50%.

De væsentligste årsager til, at vandløbene ikke opfylder deres målsætninger er udledninger af spildevand fra spredt bebyggelse, ringe fysisk variation i vandløbenes bundforhold, udledninger af okker og (enkelte steder) dårligt rensset spildevand fra kloakerede områder.

Hovedparten af de mange moderat påvirkede vandløb (indeks II-III) kan forbedres gennem indgreb over for spildevand fra spredt bebyggelse (især mindre vandløb), samt gennem forbedringer af de fysiske forhold (både små og større vandløb). En del af de disse vandløb forventes på denne måde at kunne forbedres til forureningsgrad II, hvorefter målsætningen typisk vil være opfyldt med hensyn til biologisk indeks. Der findes dog en del vandløb, hvor potentialet for at opnå en god fysisk variation ikke er til stede, og hvor miljøtilstanden på sigt ikke kan blive bedre end II-III.

Forbedring af vandløbenes fysiske forhold vil primært kunne ske gennem skånsom vedligeholdelse i vandløbene, således som det i stort omfang sker i de større amtsvandløb. Denne er endnu ikke indført af alle kommuner. Derudover kan der i en række tilfælde foretages fysiske forbedringer ved gennemførelse af en egentlig vandløbsrestaurering.

Fosfor i vandløb

Mange faktorer har betydning for forekomsten af fosfor i vandløb og kilder. Det drejer sig om menneskeskabte (kulturbetingsede) faktorer, som udledninger af fosfor fra punktkilder og dyrkningsrelaterede tab af fosfor fra jord. Hertil kommer indflydelsen fra en række naturgivne forhold, primært klima, jordbund og topografi. I 1996 var fosforkoncentrationerne i vandløb i dyrkede områder typisk $0,13 \text{ mg P l}^{-1}$ og i spildevandsbelastede vandløb $0,23 \text{ mg P l}^{-1}$. I 'natur'-vandløb var koncentrationerne markant lavere, typisk $0,05 \text{ mg P l}^{-1}$.

Udvikling i vandløbs fosforindhold 1978-88

Fra 36 vandløb foreligger data fra amternes regionale tilsyn, som kan belyse udviklingen over en længere periode. I disse vandløb faldt koncentrationen af total fosfor i gennemsnit med 16% i 10-års perioden forud for Vandmiljøplanens vedtagelse. Det skyldes bedre spildevandsrensning.

Udvikling i vandløbs fosforindhold 1989-96

I perioden efter 1989 og frem til 1996 er der sket store reduktioner i fosforkoncentrationen i de danske vandløb. I vandløb, der fortrinsvis er belastet af diffuse fosforudledninger fra det åbne land, faldt koncentrationen af total fosfor med ca. $0,02 \text{ mg P l}^{-1}$ svarende til ca. 10%. Hovedårsagen til dette fald vurderes at være det øgede brug af fosfatfrie vaskemidler, som har reduceret udledningerne af fosfor fra spredt bebyggelse. I vandløb på lerjord er der derfor beregnet et tre gange større fald i (ca. $0,03 \text{ mg P l}^{-1}$) end i vandløb på sandjord. Udledningerne fra spredt bebyggelse når nemlig i større grad, via dræn, direkte frem til vandløb på de lerede jorder.

I de 90 analyserede spildevandsbelastede danske vandløb er der også beregnet et meget stort fald i koncentrationen af total fosfor, typisk svarende til ca. 28%. Her er hovedårsagen den stærkt faldende fosforudledning fra byernes rensningsanlæg. I de 15 målte dambrugsbelastede vandløb er der sket et gennemsnitligt fald i koncentrationen af total fosfor på ca. $0,05 \text{ mg P l}^{-1}$ fordi dambrugene nu udleder mindre fosfor.

I 4 af 5 vandløb i skov- og naturområder er der beregnet en mindre stigning i koncentrationen af total fosfor i perioden. I det sidste naturvandløb er der dog sket et fald i fosforkoncentrationen. I ingen af de 4 er stigningen dog signifikant. Der kan derfor være tale om tilfældigheder, men der er alligevel god grund til at følge denne trend tæt i de kommende år og få årsagerne nærmere klarlagt.

Stofkilder til fosfor i vandløb

Det diffuse tab af fosfor er nu i mange vandløb den største kilde til fosforforureningen. Selv efter den store rensningsindsats ved punktkilderne er koncentrationen af total fosfor i de fleste danske vandløb stadigvæk højere end $0,10 \text{ mg P l}^{-1}$. Data fra 14 vandløb, der måles hver time året rundt viser også, at det diffuse fosfortab er større end hidtil antaget. I gennemsnit udgør fosfortabet fra de diffuse kilder således $0,37 \text{ kg P ha}^{-1}$ i årene 1993-96. I det våde år 1994 var det gennemsnitlige fosfortab fra de 14 vandløbsoplande dog så stort som $0,65 \text{ kg P ha}^{-1}$. Da spredt bebyggelse i maksimalt kan bidrage med ca. $0,12 \text{ kg P ha}^{-1}$ har udledninger af fosfor fra landbrugsarealer, især i våde år, meget stor betydning.

En af grundene hertil er, at der stadig tilføres danske landbrugsjorde mere fosfor end der fraføres med afgrøderne. Denne fosforakkumulering er foregået i de sidste 50 år og har generelt hævet fosforindholdet i landbrugsjorden.

Muligheder for at mindske fosforudledningerne til vandløb

En vurdering af effekterne i vandmiljøet af forbedret spildevandsrensning er gennemført for de tre regioner Jylland, Fyn og Sjælland. En halvering af fosforudledningerne fra rensningsanlæg til de i dag spildevandsbelastede og typisk større vandløb vil generelt kun kunne reducere fosforindholdet i vandløb med ca. $0,01 \text{ mg P l}^{-1}$ på Fyn og i Jylland, imod ca. $0,05 \text{ mg P l}^{-1}$ i de sjællandske vandløb. En halvering af fosforudledningerne fra spredt bebyggelse vil gennemsnitligt kunne reducere fosforindholdet i vandløb med $0,01-0,02 \text{ mg P l}^{-1}$. Lokalt vil der selvsagt kunne opnås større effekt i enkelte stærkt spildevandsbelastede vandløb. Yderligere reduktioner i fosforkoncentrationen i vandløb kan kun ske via nedsættelse af de landbrugsrelaterede fosforudledninger. På sigt forudsætter dette, at jordens fosforindhold, og dermed

udvaskningsrisikoen fra landbrugsjorde, reduceres. Desuden kan omlægninger i jordbearbejdningen og afgrødevalg på særligt erosionstruede marker medvirke til at begrænse jord- og fosfortabet via vanderosion.

Hertil kommer eventuelle tiltag, der lokalt kan medvirke til at begrænse leveringen af jord- og fosfor til vandløb og søer fra vand- og vinderosion. Det er foranstaltninger som udlægning af brede, udyrkede bræmmer langs vandløb og søer, levende hegn til begrænsning af vinderosion, naturgenopretning af ådale, så de tillades at være periodisk oversvømmede om vinteren, og reetablering af egentlige vådområder.

Kvælstof i vandløb

Et for stort indhold af kvælstof i vandløbene har negativ betydning for miljøltilstanden i fjorde, bugter og mere åbne havområder, men påvirker ikke den biologiske tilstand i vandløbene. Dog kan kvælstof på ammoniak-form have giftvirkning overfor vandløbenes fisk.

Udvaskningen af kvælstof fra landbrugsjord er den altdominerende kilde til kvælstoftransporten i vandløb, og udgjorde i perioden 1989-96 således mellem 80 og 90% af kvælstoftransporten i de fleste danske vandløb. I 1996 var kvælstofkoncentrationerne i vandløb i dyrkede områder typisk 7 mg N l⁻¹ og dermed lidt højere end i spildevandsbelastede vandløb, men hele 4-5 gange højere end der typisk måles i 'natur'-vandløb.

Udvikling i vandløbenes kvælstofindhold og -transport

Kvælstoftransporten i danske vandløb er det enkelte år stærkt relateret til vandafstrømningen. Der kan derfor ikke påvises nogen udviklingstendens i de aktuelt målte årlige kvælstoftransporter i vandløb på grund af variationer i den årlige vandafstrømning. Disse variationer har været specielt store de seneste år.

Vurderinger af effekten af de tiltag, der er iværksat for at mindske specielt de dyrkningsbetingede kvælstofudledninger til vandløb, forudsætter derfor, at der kan korrigeres for naturlige år- til år variationer i specielt vandafstrømningen. I de fire år efter 1992/93 viser en sådan analyse af 55 vandløb, hvorfra der foreligger lange tidsserier, at det klimatisk korrigerede transportniveau af kvælstof i alle år har ligget lavere end i de 4-5 foregående år. For vandløb på lerjord er transportniveauet af kvælstof i de seneste fire år således **signifikant** mindre end i den forudgående 15-års periode.

En nærmere analyse af udviklingen i koncentrationen af total kvælstof i enkeltvandløb i naturoplan-

de og dyrkede oplande med og uden betydende spildevandsudledninger, er gennemført for overvågningsperioden 1989-96, under hensyntagen til variationer i vandafstrømningen. Analysen viser;

I 6 vandløb i udyrkede skov- og naturoplande er der typisk (mediantilfældet) beregnet et fald på 0,06 mg N l⁻¹ i perioden, svarende til 3%. Faldet er kun signifikant i ét vandløb.

I 77 vandløb, der fortrinsvis afvander dyrkede oplande er der beregnet et typisk fald på 0,5 mg N l⁻¹ svarende til 9%. Faldet er kun signifikant i 6 af de analyserede vandløb. Faldet er størst i vandløb på lerjord og mindst i vandløb på sandjord.

I 89 spildevandsbelastede vandløb og i 15 dambrugsbelastede vandløb er der beregnet et typisk fald på henholdsvis 18% og 7%.

Det største fald i koncentrationerne er således beregnet i de spildevandsbelastede vandløb, efterfulgt af dambrugsbelastede vandløb og vandløb i dyrkede oplande.

I Vandmiljøplanens Landovervågningsprogram opgøres udvaskningen af kvælstof fra landbrugsjorden i 6 dyrkede oplande. Resultaterne herfra viser, at de gennemførte foranstaltninger i landbruget som følge af Vandmiljøplanen og Handlingsplanen for Bæredygtigt Landbrug har reduceret kvælstofudvaskningen fra rodzonen med ca. 17% i perioden 1989-1996. Reduktionen har været størst i de lerede oplande (ca. 30%) og mindst i de sandede oplande (ca. 9%).

De beregnede reduktioner i kvælstofkoncentrationerne i vandløb har været noget mindre, men med samme tendens til et relativt større fald i vandløb, der afvander lerede oplande. Det skal pointeres, at der er betydelig usikkerhed på størrelsen af det beregnede fald, og at der skal flere års målinger til med en faldende tendens før der kan tales om en statistisk sikker udvikling i de danske vandløb generelt, og før reduktionens størrelse kan bestemmes mere nøjagtigt.

Muligheder for at mindske kvælstofudledninger til vandløb

En yderligere rensningsindsats overfor punktkilder vil generelt ikke kunne medføre nævneværdige reduktioner i kvælstoftransporten i vandløb og dermed i tilførslen til søer, fjorde og havet. Markante ændringer i vandløbenes kvælstofindhold og -transport kan kun opnås ved yderligere at mindske de dyrkningsbetingede tilførsler.

En anden og kompenserende mulighed er gennemførelse af lokale naturgenopretninger af vandløb

og ådale, hvorved naturens egen selvrensning af kvælstof via denitrifikation kan udnyttes.

Vandets kredsløb

Nedbøren er den drivende faktor i det hydrologiske kredsløb. Med nedbøren føres såvel vand som næringstoffer og andre miljøfremmede stoffer til f.eks. grundvand, vandløb og søer. I vandløbene føres vand og stof videre til havet. Endvidere har vandafstrømningen og variationer heri en afgørende rolle for de biologiske forhold i vandløb.

Der er en markant større nettonedbør i det centrale og vestlige Jylland end i resten af Danmark, og tilsvarende er vandløbsafstrømningen mere end dobbelt så stor i Jylland som på Øerne. I en linje ned gennem Jylland er der betydelig forskel mellem nedbørs- og afstrømningsfordelingen, således at noget af det vand der falder vest højderyggen, efter at være sivet ned i jorden, ender med at afstrømme i vandløbene, der afvander mod øst.

De enkelte dele i det hydrologiske kredsløb har som gennemsnit i overvågningsperioden 1989 til 1996 ligget på et niveau lidt under normalen. Nedbørsmængden har været 3% under og afstrømningen 4% under normalen. De senere år har dog været præget af ekstreme udsving med 1994 som det vådeste og 1996 som et af de tørreste år i dette århundrede.

Set over en længere periode, er der sket en forøgelse af både nedbør og afstrømning i Danmark. Siden 1920 er både den årlige nedbørsmængde og den årlige afstrømning steget med ca. 50 mm, hvilket svarer til stigninger på henholdsvis 7 og 13%.

Vandindvinding kan i visse områder have en stor indflydelse på vandbalancen, og vil i nogle vandløb være årsag til stærkt reduceret vandføring eller endog udtørring i dele af året. Det er især omkring de større byer og i områder, hvor markerne kræver vanding i vækstsæsonen, der opstår problemer med påvirkning af vandløbene.

Tilførsel af kvælstof, fosfor og organisk stof til marine områder

Den samlede tilførsel via vandløb og direkte spildevandsudledninger til marine områder af kvælstof, fosfor og BOD5 var i 1996 henholdsvis 48.000 tons N, 1.970 tons fosfor og 28.300 tons BOD. Det er de lavest målte værdier i de otte år med Vandmiljøplanens Overvågningsprogram, og knap det halve af tilførslerne i 1995. Årsagen hertil er først og fremmest den ekstremt lille ferskvandsafstrømning og dermed det relativt lille diffuse stoftab til vandløbene.

Der er siden 1980'erne sket en markant bedre rensning af spildevandet, hvilket har betydet en generel reduktion i de landbaserede fosfortilførsler til de marine områder med ca. 75%. Spildevandet udgjorde i 1993-95 dog stadig ca. 2/3 af den samlede tilførsel. Den bedre spildevandsrensning for kvælstof har haft mindre betydning, men har dog medført et generelt fald i den landbaserede tilførsel på ca. 14% siden 1980'erne.

Tilførslen af kvælstof med vandløb til marine områder har, vurderet ud fra målinger i 4 store vandløb og under hensyntagen til variationer i vandafstrømningen, været stigende fra slutningen af 1960'erne til midten af 1970'erne. Herefter har niveauet været stabilt højt, med tendens til fald de seneste 3 år. De tilsvarende fosfortilførsler har været signifikant faldende siden 1981.

Der kan ikke på baggrund af de beregnede fosfor- og kvælstoftilførsler til marine områder med sikkerhed påvises en reduktion i den andel af stoftilførslen, der kan tilskrives dyrkningsbetingede tilførsler til vandmiljøet.

1 Indledning

1.1 De væsentligste miljøproblemer i vandløb

De væsentligste forudsætninger for en god vandløbskvalitet er rent og tilstrækkeligt vand samt gode fysiske forhold i og omkring vandløbet. Under sådanne forhold vil der i vandløbene kunne være et varieret plante- og dyreliv.

Vandløbenes miljøtilstand bestemmes således af en række forhold, som dels er naturgivne og dels er menneskeskabte. De naturgivne forhold omfatter bl.a. topografi, jordbundsforhold og vandløbsstørrelse. De menneskeskabte påvirkninger er talrige, og omfatter f.eks. spildevandsudledning (organisk stof, ammoniak), udledning af stoffer med giftvirkning (pesticider, okker), regulering af vandløb, ændring af afstrømningsmønsteret som følge af vandindvinding, dræning og udledning fra befæstede arealer, ændring af den vandløbsnære vegetationstype som følge af opdyrkning og afgræsning, samt en række andre større eller mindre indgreb.

Vandløbene fungerer endvidere som transportveje for den del af nedbøren, der ikke fordamper, og for de næringsstoffer, der tabes fra det åbne land eller udledes med spildevand til vandløbene. Udledningerne af fosfor og kvælstof til vandløbene påvirker ikke vandløbskvaliteten, men kan medføre en overgødskning af nedstrøms søer, fjorde og kystnære områder og dermed føre til et forarmet miljø med masseopvækst af alger, iltsvind m.m.

1.2 Vandkvalitetsplaner - nationalt og regionalt

- de regionale planer

Med Miljøbeskyttelseslovens vedtagelse i 1972 blev den primære forvaltning af vandmiljøets tilstand udlagt til amterne, der fik til opgave at kortlægge

forureningstilstanden, udarbejde planer for den ønskede tilstand samt sikre, at der blev gennemført de nødvendige miljøforbedrende tiltag, så den ønskede tilstand kunne opfyldes. Sideløbende hermed blev Vandløbsloven justeret, så der nu i højere grad skulle tages hensyn til de miljømæssige konsekvenser ved amter og kommuners forvaltning af loven, og der blev skabt mulighed for gennemførelse af egentlige vandløbsrestaureringer.

Målsætningerne for vandområdernes ønskede tilstand medtages i amternes Regionplaner, der vedtages for 4-års perioder. Princippet for målsætningen af vandløb er summarisk beskrevet i tabel 1.1:

For A-målsatte vandløb gælder, at de søges friholdt for kulturbetingede påvirkninger, mens der i vandløb med C,D,E,F-målsætning tillades en væsentlig påvirkning. De B-målsatte vandløb tillades påvirket i et vist omfang.

Knap 25.000 km af de i alt 65.000 km danske vandløb er tildelt en specifik målsætning. Overordnet er A-målsætningen gældende for knap 5%, B-målsætningen for 70% og endelig tillades en væsentlig påvirkning af 25% af vandløbene (CDEF), (Tabel 1.1). Hvor kun 15% af vandløbene i Jylland er tildelt en lempet målsætning gælder dette for hele 46% af vandløbene på øerne.

Målsætningsprincippet varierer i nogen grad imellem de enkelte amter. Således har en del amter medtaget en B0-målsætning, gældende for vandløb, hvor der ikke er fiskevandsinteresser (B1-B3), men hvor der alligevel kun tillades en mindre påvirkning. Ligeledes skelner en del amter ikke mellem alle enkeltkategorierne anført i tabel 1.1.

- de nationale planer

Strategien i den danske Miljøbeskyttelseslov inde-

Tabel 1.1 Målsætningskategorier for vandløb (Miljøstyrelsen, 1983). Målsætningsfordeling udarbejdet efter amternes rapportering af Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1996. Udspecificeret målsætning for de enkelte amter og delkategorier fremgår af databind

Målsætning	Note	Øerne	Jylland	Danmark
A	Særligt naturvidenskabeligt interesseområde	302 km 3.6%	816 km 5%	1118 km 4.5%
B1	Gyde- og yngelopvækstområde for laksefisk			
B2	Laksefiskevand	4239 km	12987 km	17226 km
B3	Karpefiskevand	51 %	80%	70%
C	Vandløb, der alene skal anvendes til afledning af vand			
D	Vandløb påvirket af spildevand	3800 km	2426 km	6226 km
E	Vandløb påvirket af grundvandsindvinding	46%	15%	25%
F	Vandløb påvirket af okker			

bærer bl.a., at amterne via Regionplanlægningen skal sikre den fornødne spildevandsrensning, således at spildevandsudledninger ikke er til hinder for, at den ønskede miljøtilstand i vandområderne kan opnås.

Indgreb overfor spildevandsudledninger med krav om bedre rensning for organisk stof, ammoniak o.l., der tidligere medførte betydelige påvirkninger af vandløbenes miljøtilstand samt krav om bedre rensning af fosfor fra renseanlæggene blev således løbende iværksat i løbet af 1970'erne og 1980'erne.

Det blev dog i løbet af 1980'erne erkendt, at der var behov for at indføre ensartede nationale mindstekrav til spildevandsrensning for kvælstof, fosfor og organisk stof. Samtidig blev det tydeligere, at der også var behov for at mindske næringsstoffabene fra landbruget til vandmiljøet. Således var der i starten af 1980'erne gentagne episoder med iltsvind i marine områder relateret til en øget tilførsel af kvælstof fra landbrugsjord. Samtidig erkendtes et stigende nitratindhold i grundvand som følge af udvaskning fra landbrugsjorden. Disse tilførsler kunne ikke reguleres af de regionale myndigheder efter bestemmelserne i Miljøbeskyttelsesloven.

Med baggrund heri blev NPO-handlingsplanen vedtaget i 1985. Planen omfattede harmonikrav til husdyrbrug og krav om stop for ulovlige udledninger fra møddingspladser, øget opbevaringskapacitet fra husdyrgødning m.m.. Allerede to år efter blev Vandmiljøplanen vedtaget. Det overordnede formål var at reducere fosfor- og kvælstofudledningerne til vandmiljøet med henholdsvis 80% og 50% inden 1993. Planen omfattede specifikke krav til reduktioner af spildevandsudledninger fra større renseanlæg og industri med separate udledninger. Kvælstoftabet fra landbruget skulle reduceres via yderligere krav til opbevaringskapacitet af husdyrgødning, der muliggjorde en mere hensigtsmæssig udbringning og dermed en bedre udnyttelse af kvælstoffet i gødningen. Ligeledes blev der stillet krav om mindst 65% 'grønne' marker og om sædskifte- og gødningsplaner.

I 1991 blev Handlingsplan for et bæredygtigt landbrug vedtaget. Målet om reduktion i kvælstofudvaskningen blev fastholdt, men fristen forlænget til år 2000. Planen omfattede specifikke krav til minimumsudnyttelse af kvælstof i husdyrgødning og krav til landmændene om at udfærdige gødningsregnskaber. Udbringningsreglerne for husdyrgødning blev skærpet.

Planen undergik visse stramninger i 1996, specielt med skærpede krav til udnyttelse af husdyrgødning.

Sideløbende hermed blev der i 1989 stillet krav til dambrugene om at mindske forureningen, og der blev mulighed for at afhjælpe miljømæssige problemer som følge af kulturbetingede okkerudledninger til vandløbene.

1.3 Vandmiljøovervågning, - nationalt og regionalt

- det regionale tilsyn

Som led i amternes forvaltning af Miljøbeskyttelsesloven fører amterne tilsyn med miljøtilstanden i vandmiljøet. Vejledende retningslinjer herfor er angivet i nationale vejledninger, (*Miljøstyrelsen, 1983*).

- det nationale tilsyn

Det blev ved vedtagelsen af Vandmiljøplanen i 1987 erkendt, at det eksisterende amtslige tilsyn ikke var tilstrækkelig standardiseret og ej heller målrettet mod at kunne eftervise effekterne af den lange række af tiltag, der med planens vedtagelse blev igangsat for at bedre vandmiljøets tilstand. Det blev derfor besluttet at iværksætte et målrettet og standardiseret nationalt overvågningsprogram. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram blev født.

Programmet omfattede overvågning i alle dele af vandets kredsløb; grundvand, kildebække og vandløb, søer, fjorde og hav samt overvågning af udviklingen i næringsstofftilførslerne med spildevand, fra landbrugsjord og fra atmosfæren til vandmiljøet.

Efter overvågningsprogrammets første periode 1988-92 blev programmet revideret gældende for perioden 1993-97, (*Miljøstyrelsen, 1993*).

Overvågningsprogrammets overordnede formål er at eftervise effekten af de tiltag der blev iværksat med Vandmiljøplanens vedtagelse. Overvågningsprogrammet kan endvidere medvirke til at eftervise effekten af yderligere tiltag til forbedring af vandmiljøet, som er iværksat sideløbende med Vandmiljøplanen. Det gælder i første række initiativer til opfyldelse af målsætningerne i de amtskommunale planer for vandområderne og de vedtagne planer for en bæredygtig landbrugsudvikling. Overvågningsprogrammets resultater vil således bidrage til at skabe et beslutningsgrundlag for, om der skal iværksættes yderligere forureningsbegrænsende foranstaltninger med henblik på opnåelse af de politisk vedtagne målsætninger for kvaliteten af vandmiljøet.

Det specifikke formål med overvågningen af vandløb og kildebække er;

- at opgøre ferskvandsafstrømningen og mængden af kvælstof, fosfor og organisk stof, der tilføres de danske farvandsområder og kystafsnit via vandløb og kilderne hertil
- at få bedre viden om vandkvaliteten og udviklingen heri i de danske vandløb og kilder under hensyntagen til forskelle i de naturgivne og kulturskabte forhold
- at få en bedre viden om de økologiske forhold i danske vandløb, herunder effekten af ændringer i belastningen med kvælstof, fosfor og organisk stof
- at følge langtidsudviklingen i næringsstoftransport og de økologiske forhold i vandløb

1.4 Generelt om årets Tema-rapport

Årets Tema-rapport om vandløb og kildebække tager udgangspunkt i data fra Vandmiljøplanens Overvågningsprogram, der gennem perioden 1989-96 er indsamlet og rapporteret af amterne. Der er dog også inddraget øvrige erfaringer fra andre kilder, - f.eks. Det Strategiske Miljøforskningsprogram - til belysning af generelle sammenhænge m.m.. Det vurderes i hvor høj grad de gennemførte tiltag har medvirket til at reducere næringsstoftransporten i vandløb. Endelig er opstillet scenarier for effekten af eventuelle yderligere tiltag.

Med henblik på at give en bredere vurdering af danske vandløbs miljøtilstand er der udover de forholdsvis få standardiserede undersøgelser af vandløbsbiologiske forhold, der indgår i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram, inddraget resultater fra amternes regionale overvågning af vandløbenes miljøtilstand. Amterne har således indberettet resultater fra det generelle vandløbstilsyn fra omkring 15.000 stationer for perioden 1993-96. For hovedparten af disse stationer har det været muligt at sammenstille data med resultater af tidligere års undersøgelser. Desværre er datagrundlaget ikke tilvejebragt ved ensartede standardiserede metoder i de enkelte amter, hvorfor landsdækkende sammenstillinger heraf skal tages med et vist forbehold. Yderligere er der i en del amter sket et generelt skred i resultaterne af de subjektive bedømmelser af vandløbenes miljøtilstand. Det sidste vanskeliggør selvsagt mulighederne for en sikker analyse af eventuelle udviklingstendenser. Endelig er der, på baggrund af amternes rapporter, forsøgt sammenstillet hvilke yderligere tiltag der vil være nødvendige såfremt de danske vandløb skal kunne opfylde de nugældende målsætninger.

Det er i rapporten forsøgt at præsentere resultaterne på en overskuelig måde, først og fremmest ved grafiske afbildninger, mens en nærmere dokumentation af data kan findes i separat bilagsbind. I præsentationen af de vandkemiske data anvendes

forskellige gennemsnitsberegninger. Hvor intet andet er anført er gennemsnit beregnet som tidsvægtede gennemsnit, således at der ved beregningerne tages højde for varierende prøvetagningsfrekvenser. (F.eks. tages der i en del vandløb dobbelt så mange vandkemiske prøver om vinteren som om sommeren). Der anvendes også såkaldt 'vandføringsvægtede' koncentrationer. Disse beregnes ved i en given periode at dividere den samlede stoftransport med den tilhørende samlede vandafstrømning.

I årets rapport er udviklingen i stofkoncentrationer yderligere belyst under hensyntagen til variationen i vandafstrømningen. Disse koncentrationer betegnes som afstrømningskorrigerede. Tilsvarende analyser er udført for stoftransport. Det metodiske grundlag herfor og de anvendte statistiske metoder er dokumenteret i separat bilagsbind.

De omtalte kapitler er skrevet af:

Kapitel 2. Vandløb, overvågningsprogram og oplandskarakteristik: Jørgen Windolf og Lars M. Svendsen.

Kapitel 3. Det hydrologiske kredsløb: Niels Bering Ovesen, Lars M. Svendsen og Dirk-Ingmar Müller Wohlfeil.

Kapitel 4. Vandløbenes miljøtilstand: Jens Skriver, Søren Erik Larsen og Annette Baattrup-Pedersen.

Kapitel 5. Fosfor i vandløb og kilder: Brian Kronvang, Søren Erik Larsen, Hans Legard Iversen, Jørgen Windolf og Dirk-Ingmar Müller Wohlfeil.

Kapitel 6. Kvælstof i vandløb og kildebække: Brian Kronvang, Søren Erik Larsen, Hans Legard Iversen, Jørgen Windolf og Dirk-Ingmar Müller Wohlfeil.

Kapitel 7. Vand- og stoftilførsel til marine områder: Lars M. Svendsen, Søren Erik Larsen og Jens Peder Jensen.

Redigering, sammenfatning og resumé: Jørgen Windolf.

[Tom side]

2 Vandløb, overvågningsprogram og oplandskarakteristik

2.1 Vandløb

De danske vandløb har en samlet udstrækning på ca. 64.000 km. Heraf udgøres langt hovedparten af små bække og grøfter med en vandløbsbredde mindre end 2,5 meter, (tabel 2.1). Omkring 16.000 km vandløb har dog en vandløbsbredde større end 2,5 meter. Opgørelsen er baseret på Kort- og Matricelstyrelsens Top10DK samt 4-cm kort, (AIS, 1997)

I kortbilag bagest i rapporten er vedlagt kort med de danske vandløb indtegnet.

Tabel 2.1 Danske vandløbs udstrækning. (AIS, 1997)

Vandløbsbredde	0-2,5 meter	2,5-8,0 meter	> 8 meter	Total
Udstrækning, ca.	48.000 km	14.500 km	1.500 km	64.000 km

2.2 Vandmiljøplanens Overvågningsprogram

Vandmiljøplanens Overvågningsprogram i vandløb og kildebække omfatter overvågning, af vandkvalitet, stoftransport og miljøtilstand i ca. 260 vandløb og 58 kilder, (tabel 2.1).

Resultater fra 243 vandløb anvendes til vurdering af hvorledes vandkvalitet og stoftransport udvikler sig i vandløb med forskellige natur- og kulturbetingede påvirkninger (Typevandløb). En del af disse vandløb er kystnære og indgår tillige i det net af i alt 127 vandløb, der anvendes ved beregning af vand- og stofafstrømningen til de marine områder, (Havbelastnings-stationer). Yderligere kan langtid udviklingen i fosfor- og kvælstoftransporten vurderes ud fra resultater fra 36-55 vandløb, hvorfra der foreligger lange tidsserier fra perioden før igangsættelsen af Vandmiljøplanens Overvågningsprogram i 1988.

Endelig belyses miljøtilstanden ud fra sammensætningen af smådyrsfaunaen på 222 vandløbsstationer. Bedømmelsen har siden 1993 været foretaget ud fra en standardiseret, objektiv metode (*Dansk Vandløbsfauna Indeks*). I perioden 1993-96 har der tillige været gennemført overvågning af trådalgers forekomst i ca. 100 vandløb.

En samlet oversigt over stationer/stationstyper er anført i tabel 2.2. Bagest i rapporten findes kortbilag med vandløb og stationsplacering.

Udover det årlige overvågningsprogram er der for driftsåret 1993/94 foretaget en opgørelse af dyrk-

ningpraksis i 45 vandløbsoplande i dyrkede områder bl.a. med henblik på at kunne relatere dyrkningspraksis til stofafstrømningen i vandløb. Og endelig er der tilvejebragt et nyt grundlag til opgørelse af arealanvendelse i samtlige afstrømningsoplande (CORINE) og specielt detaljeret i 100 afstrømningsoplande i dyrkede områder, (CORINE+), (*Windolf et al. 1996*).

De anvendte prøvetagnings- og analysemetoder er beskrevet i en række tekniske anvisninger, (Oversigt herover, se *Miljøstyrelsen, 1996*)

2.3 Arealanvendelse

Arealanvendelsen er opgjort nationalt på baggrund af digitale satellit-data og eksisterende, øvrige data - den såkaldte CORINE-opgørelse. Metoden og dens forudsætninger er nærmere beskrevet i *Windolf (red), 1996*. Ud fra de topografiske afgrænsninger og CORINE-opgørelsen er arealanvendelsen herefter opgjort for oplandene til de enkelte vandløbsstationer, der indgår i Overvågningsprogrammet. Arealanvendelsen for de indgående typeoplande, landet som helhed og større regioner er vist i tabel 2.3.

Oplandenes størrelsesfordeling er vist i tabel 2.4.

Tabel 2.2 Stationstyper i vandløb 1996. I kriterier for opdeling af typeoplande er der i punktkildebidraget ikke medregnet spildevand fra spredt bebyggelse.

Stationstype	Antal
Typeoplande (1996 kategori)	243
Naturoplande	Type 1 9
Vandløb i dyrkede oplande (P) dyrkningsgrad > 15% bebyggelse < 50% punktkildebidrag < 25 g P/ha, 0,5 kg N/ha	Type 2 86
Vandløb i dyrkede oplande (N) dyrkningsgrad > 15 % bebyggelse < 50% punktkildebidrag < 0.5 kg N/ha	Type 3 134
Vandløb med punktkilder	Type 4 90
Vandløb med dambrugsudledninger P fra dambrug > 30% af total transport > 40% af punktkildebidrag	Type 5 14
Vandløb i bebyggede områder > 50% bebyggelse	Type 6 6
Vandløb med lange tidsserier af N og P	36-55
Havbelastningsstationer	127
Smådyrsfauna stationer (DFI)	222
Trådalge-stationer	100

Tabel 2.3 Arealanvendelse i typeoplande i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram, landet som helhed og tre større regioner, (%). Medianværdier (25-75% fraktil).

Opland	Type	Natur %	Skov %	Vådområder %	Ferskvand %	Dyrket %	Bebyggelse %
Natur	1	2,1 (2-6)	82 (63-89)	2 (2-5)	0,7 (0,5-1)	7,7 (5-19)	1,1 (1,0-2,6)
Dyrket	2	2,3 (2-2,7)	6,9 (4-16)	3,1 (2,4-5,3)	0,1 (0,1-0,4)	78 (68-82)	7,6 (6,8-8,4)
Spildevand	4	2,4 (2,1-3)	12 (7-16)	4,0 (3-4,8)	0,3 (0,2-0,8)	70 (64-75)	9,6 (8,2-13)
Dambrug	5	3,8 (2,1-5)	18 (13-22)	5,4 (4,9-5,8)	0,4 (0,2-0,5)	65 (60-67)	7,5 (7,2-8)
Byer	6	3,0 (2,9-3,5)	8,8 (8-11)	4,6 (4,3-5,8)	3,1 (2,1-4,2)	12 (9-15)	65 (55-68)
Jylland		4,6	12,7	6,0	1,1	65,8	9,8
Fyn		2,4	9,6	3,7	0,5	72	11,7
Øst f. Storebælt		2,6	13,1	3,6	1,6	64,2	14,8
Danmark		4,0	12,6	5,2	1,1	69,9	11,1



Figur 2.1 Det samlede afstrømningsopland til de vandløbsstationer, der indgår i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram.

I kortbilag bagest i rapporten er vedlagt Danmarkskort, med udbredelsen af de enkelte arealanvendelses-kategorier.

2.4 Stoffilførsel til marine områder

Ved beregningen af vand- og stoffilførslen til de marineområder anvendes resultater fra 127 stationer i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram. Herved dækkes ca. 50% af landets areal, (figur 2.1). Hertil kommer et variende antal vandløbsstationer, hvor de enkelte amter opgør vand- og stoftransport de enkelte år. Herved øges den arealmæssige dækning til ca. 60%.

Tabel 2.4. Oplandsstørrelser (km²) af de enkelte kategorier af typeplande. Median samt 25 og 75% fraktiler

Opland	Type	25%	Median	75%
Natur	1	1,6	3,4	6,1
Dyrket	2	5	10	28
Dyrket	3	7,3	17	37
Spildvand	4	54	96	238
Dambrug	5	83	129	612
Byer	6	18	34	52

[Tom side]

3 Det hydrologiske kredsløb

3.1 Indledning

Vandets kredsløb i naturen, som kaldes det hydrologiske kredsløb, spiller en afgørende rolle, når næringsstoffer skal føres fra landjorden til havet. Med nedbøren føres partikler og opløst stof til vandløb og grundvand og herfra videre til havet. Nedbøren tilfører også opløst stof og partikler fra atmosfæren til landjorden og havet. Nedbøren leverer således stoffer som kvælstof, fosfor, organisk stof og miljøfremmede stoffer som pesticider og tungmetaller til vandmiljøet. I vandløbene transporteres nedbøren og andre tilledte stoffer ud mod havet. Nedbøren kan falde som sne og vil, hvis temperaturen er under frysepunktet, midlertidigt ophobes på jordoverfladen. I disse tilfælde vil nedbøren først kunne føre partikler og opløst materiale til vandløbene, når det bliver tøvejr. Sker dette samtidigt med at jorden er frosset lidt under overfladen, vil den smeltende nedbør løbe af oven på jorden og på sin vej kunne fjerne mange partikler i de riller, der dannes. Endvidere vil nedbøren løbe så hurtigt til vandløbene, at de ikke kan aflede vandet hurtigt nok, så der opstår oversvømmelser på lavtliggende, vandløbsnære arealer.

Variationer i afstrømningen i vandløbene påvirker også levevilkår for både dyr og planter i disse. De er også afgørende for hvordan tilførslen af f.eks. næringsstoffer til søer varierer i løbet af året.

Årlige variationer og langtidsudvikling i f.eks. nedbør og temperatur vil afspejle sig i vandmiljøet. I nedbørsrige perioder uden for vækstsæsonen vil der som hovedregel tilføres større mængder næringsstoffer til vandmiljøet fra landjorden end i varme, tørre perioder. Det samme gælder, hvis man sammenligner våde og tørre år. Hvis der forekommer gradvise ændringer i afstrømningen over en længere årrække, vil det kunne påvirke næringsstofudvaskningen og dermed også vandkvaliteten. Der er derfor behov for at kende de forskellige dele af det hydrologiske kredsløb som baggrund for at vurdere og tolke resultater af vandmiljøovervågning.

Kapitlet beskriver det hydrologiske kredsløb i Danmark. Der lægges vægt på ferskvandsafstrømningen via vandløb, da hovedparten af næringsstoffer til de kystnære områder tilføres via vandløb. Langtidsudviklingen i nedbør, afstrømning og temperatur belyses og regionale forskelle over kortere og længere perioder vurderes. Perioden 1989 til 1996 sammenlignes med "normalperioden" 1961-90 for at se om overvågningprogrammet har været gennemført i en klimatisk set repræsentativ periode. Resultater og beregningsgrundlag for op-

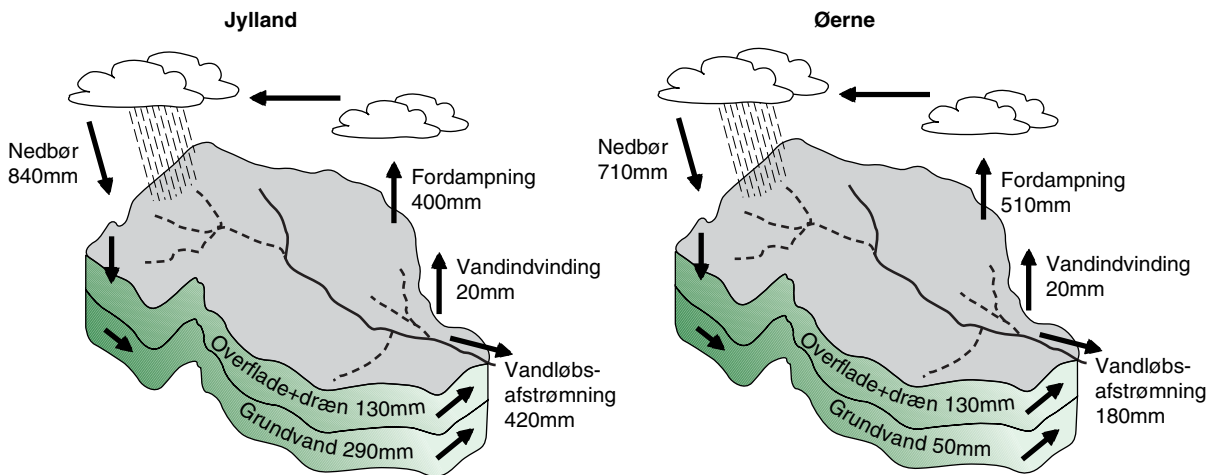
gørelsen af ferskvandstilstrømningen til de danske farvandsområder i 1996 findes i bilagsbindet.

3.2 Det hydrologiske kredsløb i Danmark

Nedbør, fordampning og vandløbsafstrømning udgør de vigtigste dele af det hydrologiske kredsløb. Herudover indgår de vandmængder, der fjernes fra oplandet ved f.eks. vandindvinding til drikkevandsforsyning og markvanding. Vandløbsafstrømningen kan opdeles i indsvivende grundvand samt overflade- og drænvand, der løber til vandløbet. Der er altid en vis forsinkelse i det hydrologiske kredsløb, og når vandbalancen betragtes over kortere perioder, må ændringer i vandindhold i jord- og grundvandsmagasiner tages i betragtning.

Selv i et lille land som Danmark er der en relativ stor forskel på det hydrologiske kredsløb, der kan opstilles for Jylland og for Øerne (figur 3.1). Nedbørsmængden (korrigeret til jordoverfladen jvf. Olesen et al., 1991) i Jylland er således ca. 20 % større end på Øerne, hvorimod fordampningen er ca. 20 % mindre. Dermed bliver nettonedbøren (den andel af nedbøren, der ikke fordampes) mere end dobbelt så stor i Jylland (440 mm) som på Øerne (200 mm). En langt større andel af nedbøren vil derfor sive til grundvandet eller løbe til vandløbene i Jylland, hvor vandløbsafstrømningen også er mere end dobbelt så stor (420 mm) som på Øerne (180 mm). Den højere fordampning på Øerne skyldes at de øverste jordlag på Øerne generelt er mere lerede end i Jylland, og at nedbøren på øerne derfor ikke siver så hurtigt ned til grundvandet. Jorden er således generelt fugtigere på Øerne i sommerperioden, hvilket vil medføre en større fordampning. Samtidig er sommertemperaturen lidt højere og luftfugtigheden lidt lavere på Øerne, hvilket også bidrager til en højere fordampning. Sandede jordlag kan derimod hurtigere opsuge nedbør. Der er alt i alt i Jylland en større andel af nedbøren, der siver igennem de øvre jordlag og når ned i dybereliggende, vandmættede lag og dermed bliver til grundvand. I Jylland bidrager udsvivende grundvand således med knap 70% (290 mm) af det vand, der løber i vandløbene, medens andele på Øerne er knap 28% (50 mm).

Grundvandsindvindingen er 20 mm både i Jylland og på Øerne svarende til henholdsvis 5% og 11% af vandløbsafstrømningen. En del af grundvandsindvindingen vil dog komme tilbage i vandløbene som f.eks. en del af det vand, der anvendes i husholdning, industri og til dels ved markvanding.



Figur 3.1 Det hydrologiske kredsløb opgjort som middel for perioden 1989 til 1996 for henholdsvis Jylland og Øerne. Nedbøren er korrigeret til jordoverfladen.

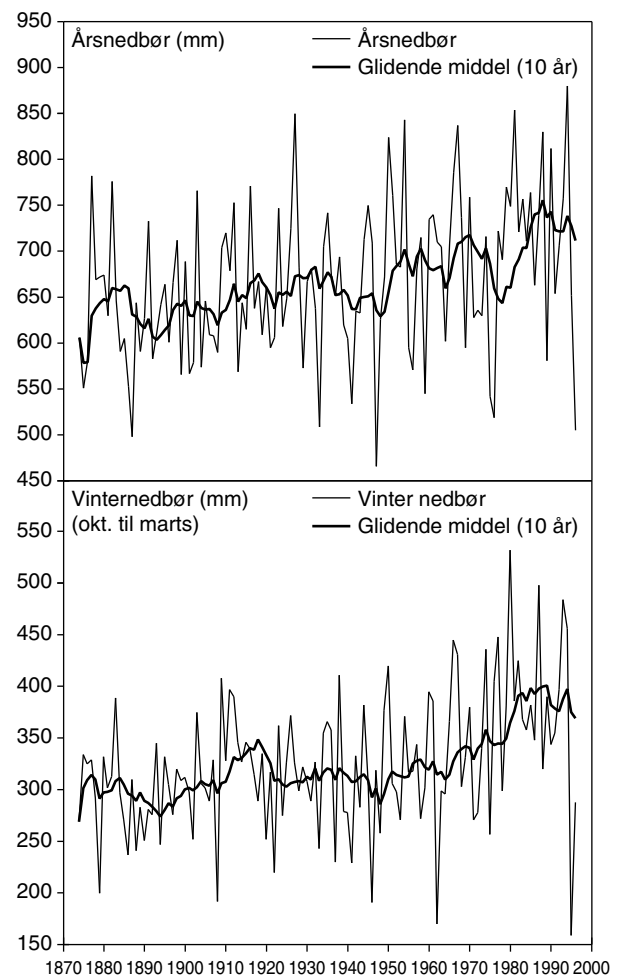
3.3 Nedbør

Langtidstendenser

De nedbørsmængder, der falder i Danmark, synes at variere meget fra år til år. Der har dog alligevel været en klar stigning i nedbørsmængderne siden systematiske målinger startede i 1874 (figur 3.2). I slutningen af sidste århundrede faldt der under 650 mm i middel mod 712 mm pr. år i den seneste normale periode 1961-90 dvs. en stigning på ca. 10%. De 8 overvågningsår (1989-96) har haft en årsmiddelnedbør på 693 mm (tabel 3.1). Den ubetinget tørreste periode er forekommet fra juli 1995 og 21 måneder frem (879 mm) og den vådeste på 1660 mm i perioden juli 1993 og 21 måneder frem. De seneste 15 år har været de mest nedbørsrige siden 1874, hvilket ikke mindst skyldes at nedbøren i vinterhalvåret (oktober til marts) er steget fra ca. 300 mm i sidste århundrede til knap 400 mm i de seneste 10-15 år. Det betyder også, at der har været en væsentlig større nettonedbør i vinterhalvåret, som har kunnet udvaske mere kvælstof og føre større mængder fosfor til grundvand, vandløb og søer end tidligere.

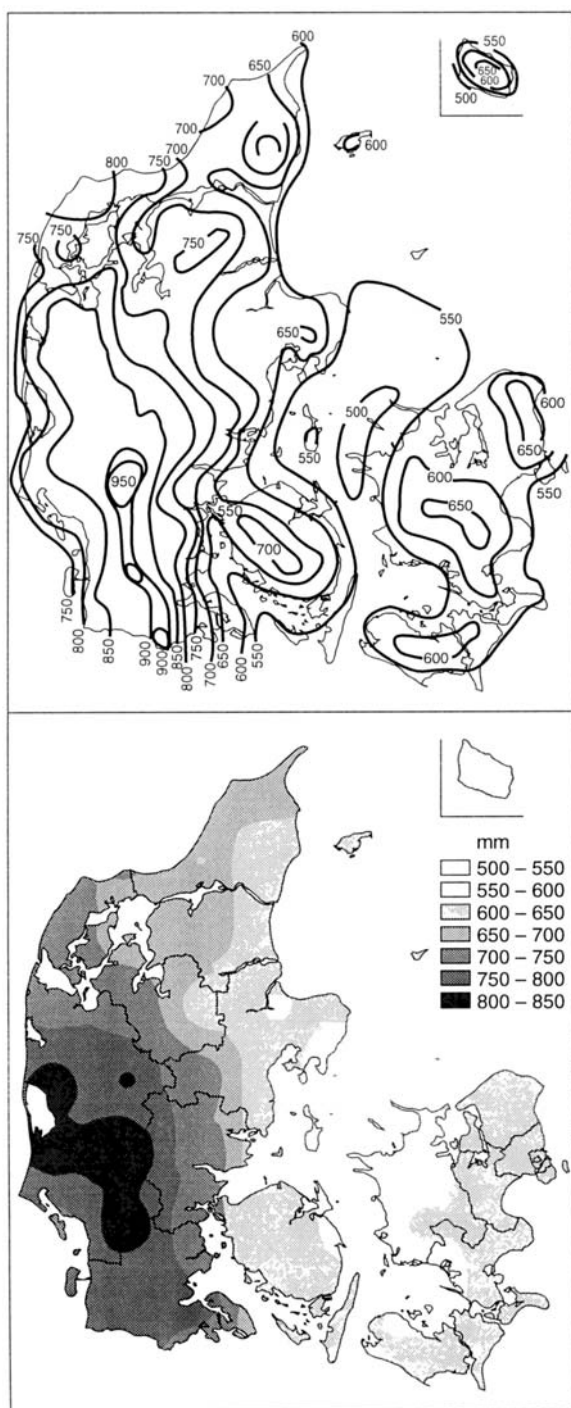
Regionale forskelle

De største målte nedbørsmængder, der i middel er faldet i 30 års perioden 1961-90, er over de centrale dele af Sydjylland med op til 950 mm pr. år (figur 3.3a). Der falder desuden mere nedbør over de centrale dele af Fyn, Sjælland og Bornholm, hvor der terræn er højere end ved kysterne. I Storebæltsområdet og det sydlige Kattegat måles de laveste nedbørsmængder (500 mm). Nedbørsfordelingen afspejler at en stor del af nedbøren falder i forbindelse med frontsystemer, der bevæger sig ind over landet fra vestlige retninger. Nedbørsmængderne øges når de fugtige luftmasser møder modstand i form af landoverfladen, specielt hvor terrænet er lidt højere, som f.eks. på Bornholm. Såvel øget frik-



Figur 3.2 Årsnedbøren (målte) for Danmark i perioden 1874-1996 (øverst) og den årlige vinternedbør defineret som summen af nedbøren i perioden oktober til marts i perioden 1874/75-1996/97 (nederst). På begge figurer er indtegnet 10 års glidende middel med den fede kurve (modificeret efter Cappelen, 1997 og Røsenørn og Lindhardt, 1997).

tion som at de fugtige luftmasser hæves (orografisk effekt), når de bevæger sig ind over land medfører større nedbørsmængder over land end over havet. Endvidere vil et frontsystem, der bevæger sig ind over landet, efterhånden miste noget af den vand-



Figur 3.3 Øverst (a): årsnedbør (målte) i Danmark som middel for perioden 1961 til 1990 (modificeret efter DMI, 1997).

Nederst (b): årsnedbøren (målte) som middel for perioden 1989-96. Denne figur er baseret på 44 kvadranter på 40 km x 40 km (data fra Statens Jordbrugsforskning, Afdeling for Arealdata og DMI). Figur 3.3b findes også som farvekort 3b.

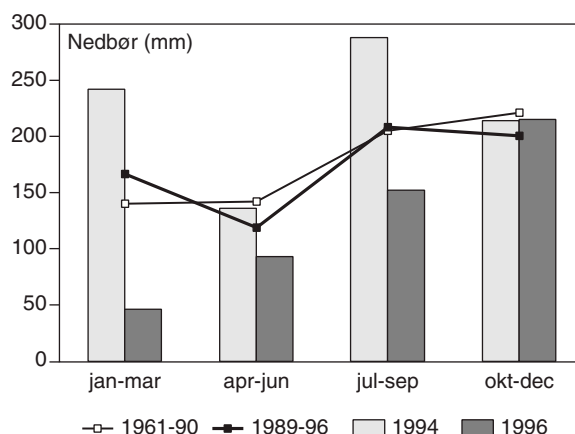
damp, den indeholder, således at nedbørsintensiteten falder mod øst. Der falder desuden specielt i sommerhalvåret en del nedbør i forbindelse med opvarmning af luftmasserne over landjorden (konvektionsnedbør) i form af byger ofte med torden. Det betyder samlet at Storebælt og det sydlige Kattegat får væsentlig mindre nedbør end de omgivende landarealer.

Normalperioden og overvågningsperioden

Nedbørsfordelingen i de 8 overvågningsår (1989-96) er overordnet set identisk med normalperioden (figur 3.3). Der er dog knap så stor forskel i de nedbørsmængder, der er faldet i det centrale dele af Sydjylland og på Øerne som i 1961-90. Der er i gennemsnit målt 25 mm mindre nedbør i overvågningsperioden end normalen (712 mm), hvilket alene skyldes den tørre 1996 med kun 505 mm nedbør (tabel 3.1). Overvågningsperioden har været karakteriseret af to meget tørre år (1989 og 1996) og det vådeste kalenderår nogensinde (1994). Endvidere faldt der i løbet af 9 uger i 1992 (maj-juli) på landsplan kun 1 mm, hvilket er helt exceptionelt på vore breddegrader. Der har endvidere været en rekord tør vinter i 1995/96. Nedbørsforholdene har derfor været helt usædvanligt varierende (se figur 3.2) selv om det i middel har lignet normalperioden 1961-90. Det vanskeliggør f.eks. tolkninger af udvaskning af kvælstof og tilførsel af fosfor til vandløb, da tilførslerne er stærkt relateret til afstrømning og dermed til nedbør. Med meget store variationer fra år til år i nedbøren må det forventes, at der skiftevis sker større ophobninger og kraftige reduktioner i puljen af kvælstof og fosfor, der med nedbøren kan føres til vandmiljøet.

Årstidsvariationer

Under normale betingelser vil 3. og 4. kvartal være de mest nedbørsrige og 2. kvartal den nedbørsfattigste (figur 3.4). Det har også som middel været tilfældet i overvågningsperioden (1989-96). Det dækker igen over store år til år variationer, hvor 1994 var ekstrem våd i 1., 3. og 4. kvartal og 1996 ekstrem tør specielt udpræget i det første halvår. I 1994 har der derfor kunnet forventes en meget stor udvaskning af kvælstof, medens den må antages at være usædvanlig lav i 1996. Der vil således ligge en pulje af kvælstof klar til at blive udvasket, når der næste gang kommer et vådt vinterhalvår.



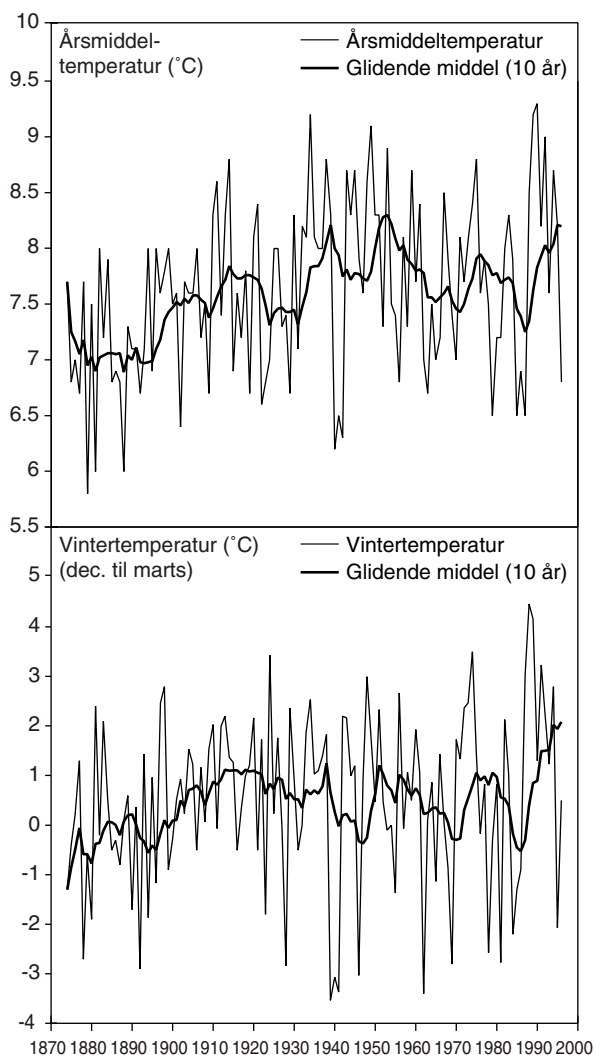
Figur 3.4 Nedbøren (målte) i Danmark opgjort kvartalsvist baseret på data fra DMI (f.eks. Cappelen, 1997).

3.4 Temperatur

Langtidstendenser og overvågningsperioden

Årsmiddeltemperaturen i Danmark er steget med ca. 0,7°C fra 1880'erne frem til i dag (figur 3.5). Temperaturstigningen, som har været observeret på det meste af den nordlige halvkugle, var kraftigst frem til 1930'erne, hvorefter der har været en stagnation med svagt faldende middeltemperatur i 1960'erne og 1980'erne. Til gengæld har overvågningsårene i middel været varme 8,4°C mod normalen 7,7°C (tabel 3.1). Globalt set har alle år siden 1989 været blandt de ti varmeste, der nogensinde er målt, hvor 1989 og 1990 har været de absolut varmeste også i Danmark.

Temperaturstigningen er ikke mindst sket i vinterperioden (figur 3.5), selv om også sommertemperaturene har været højere end normalen i overvågningsårene. Vintertemperaturen (middel af decem-

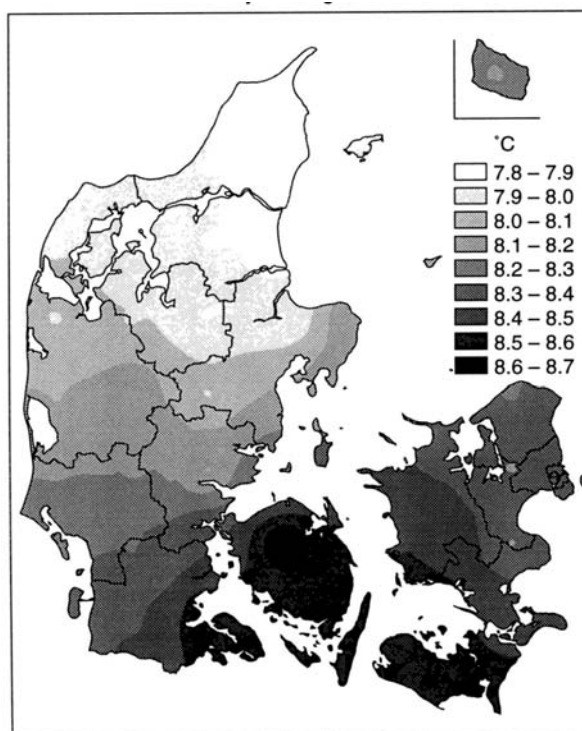


Figur 3.5 Årsmiddeltemperaturen for Danmark i perioden 1874-1996 (øverst) og den årlige vintertemperatur defineret som midlen af temperaturen i perioden december til og med februar i perioden 1874/75-1996/97 (nederst). På begge figurer er indtegnet 10 års glidende middel som fed kurve (modificeret efter Cappelen, 1997 og Rosenørn og Lindhardt, 1997).

ber til februar) har netop i overvågningsperioden været den højest registrerede i perioden 1874-1996. Der har blandt andet kun været en isvinter i de 8 overvågningsår. Højere vintertemperaturer betyder, at der kan foregå en øget omsætning af det organisk bundne kvælstof (mineralisering) i pløjelaget, således af kvælstoffet kan udvaskes som nitrat. Da nedbøren i vinterhalvåret samtidig har været høj, har mange af overvågningsårene haft gunstige betingelser for høj udvaskning af nitrat til grundvand og vandløb. I de mildeste af vintrene er dette dog til en vis grad modvirket af et vis planteoptag af kvælstof.

Regionale forskelle

De regionale temperaturforskelle er ikke så udprægede som de tilsvarende nedbørsforskelle. Det er generelt køligst i det nordlige og vestlige Danmark og lunest mod syd og øst med et lokalt maksimum på Fyn i overvågningsårene (figur 3.6). De regionale temperaturforskelle har mest betydning for fordampningen, men spiller i øvrigt en mindre betydende rolle for det hydrologiske kredsløb



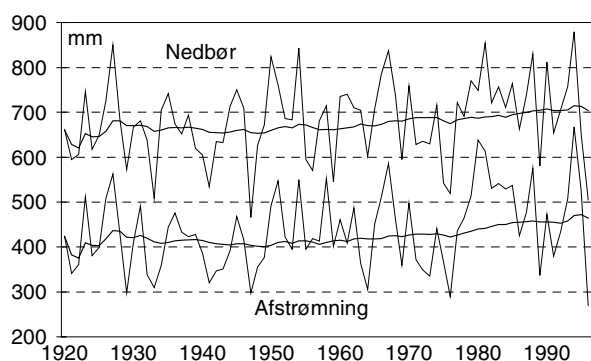
Figur 3.6 Årsmiddeltemperatur for perioden 1989-96. Denne figur er baseret på 44 kvadranter på 40 km x 40 km (data fra Statens Jordbrugsforskning, Afdeling for Arealdata og DMI). Figuren findes også som farvekort 3a.

3.5 Afstrømning

Langtidstendenser

Set over en længere årrække er der sket en forøgelse af både nedbør og afstrømning i Danmark. Den årlige nedbørsmængde er steget med ca. 50 mm i

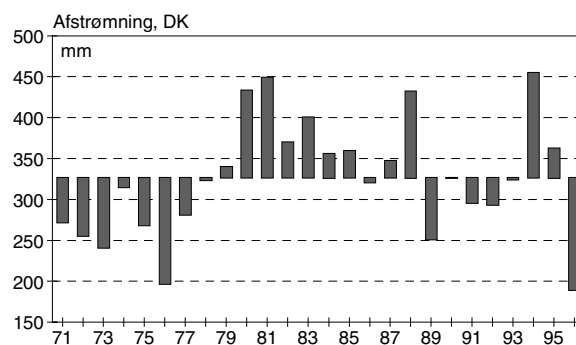
perioden 1920 til 1996, hvilket svarer til ca. 7 %, og årsafstrømningen i Guden Å er også steget med ca. 50 mm, svarende til en stigning på ca. 13 % (figur 3.7). Afstrømningen i Danmark er steget signifikant i perioden 1920 til 1990 (Hisdal *et al.*, 1995). Der er regionale forskelle i afstrømningsudviklingen, og stigningen har været størst i det vestlige Jylland, mens der i de centrale og østlige dele af landet ikke har været nogen udvikling, eller kun er sket en mindre stigning. Denne udvikle afspejler en tilsvarende for nedbøren i perioden fra 1931-60 til 1961-90. Tendensen i udviklingen i Guden Å antages at være repræsentativ for hele landet, dog ikke for vandløb, der er påvirket af vandindvinding. Den generelle stigning i nedbør og afstrømning i perioden 1920 til 1990 er sket siden 1950. År til år variationerne i nedbør og afstrømning kan være op til 10 gange så store som den gennemsnitlige ændring siden 1920.



Figur 3.7 Middelnedbør (målte) i Danmark samt afstrømning i Guden Å for perioden 1920 til 1996. Endvidere er angivet 30-års glidende middel.

Normalperioden og overvågningsperioden

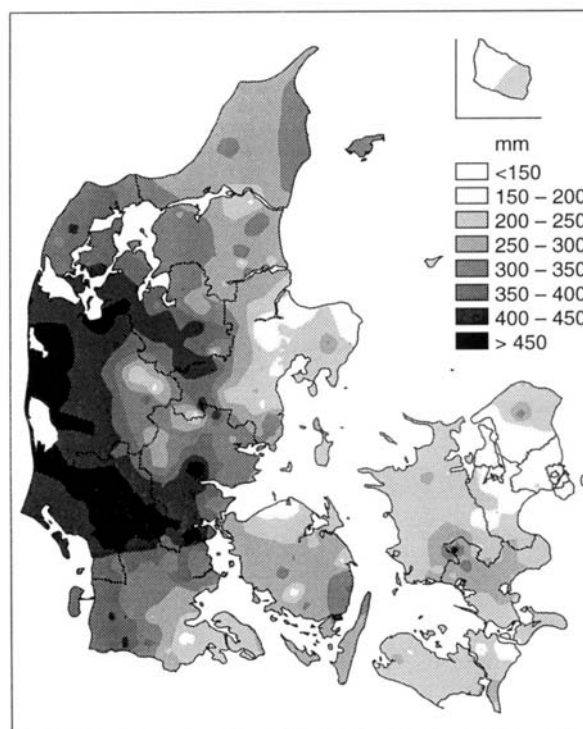
Den årlige vandløbsafstrømning fra Danmark har i løbet af perioden 1971 til 1996 varieret mellem ca. 200 og ca. 450 mm (figur 3.8) med en årsmiddelfafstrømning for normalperioden 1971 til 1990 på 326 mm (tabel 3.1). Årsnedbøren (målte) har i samme periode varieret mellem ca. 500 og ca. 900 mm. Gennemsnittet af henholdsvis nedbør og afstrømning for perioden 1989 til 1996 er begge lidt lavere end for normalperioderne (tabel 3.1). De seneste år har været præget af ekstreme vandbalanceforhold. I 1994 blev der registreret 880 mm nedbør og vandløbsafstrømningen blev beregnet til 455 mm. I 1996 blev der registreret 505 mm nedbør og en afstrømning på 190 mm. Årene 1994 og 1996 er henholdsvis det vådeste og et af de tørreste i dette århundrede. Afstrømningen var i efteråret 1994 så stor, at mange vandløb gik over deres bredder og en del afgrøder blev ødelagt. Omvendt var der i sommeren 1996 mange mindre vandløb med meget lav eller ingen afstrømning, hvilket kraftigt påvirker floraen og faunaen i disse. Fyns Amt (1997) angiver således at i ca. 25 % af de vandøbsstationer,



Figur 3.8 Årlig ferskvandsafstrømning fra Danmark i perioden 1971 til 1996 angivet i forhold til normalen for perioden 1971-90 på 326 mm.

der indgår i Fyns Amts overvågningsprogram, var der udtørring i en del af sommerperioden i 1996.

Afstrømningen vil reagere med en vis forsinkelse på nedbøren. I 1995 var nedbøren således ca. 10 % under normalen, men afstrømningen var ca. 10 % over normalen, som resultat af den rekordvåde år 1994. Det svarer til, at der er i løbet af 1995 blev tæret ca. 110 mm på vandmagasinerne. Afstrømningens størrelse er endvidere afhængig af nedbørens fordeling over året. I år med gunstige fordampningsbetingelser og hvor en stor del af nedbøren falder i sommerperioden, vil den aktuelle fordampning være større, og dermed afstrømningen mindre, end i et tilsvarende år, hvor en større andel af nedbøren falder om vinteren.



Figur 3.9 Årlig middelfafstrømning for perioden 1989 til 1996. Figuren findes også som farvekort 3d.

Regionale forskelle

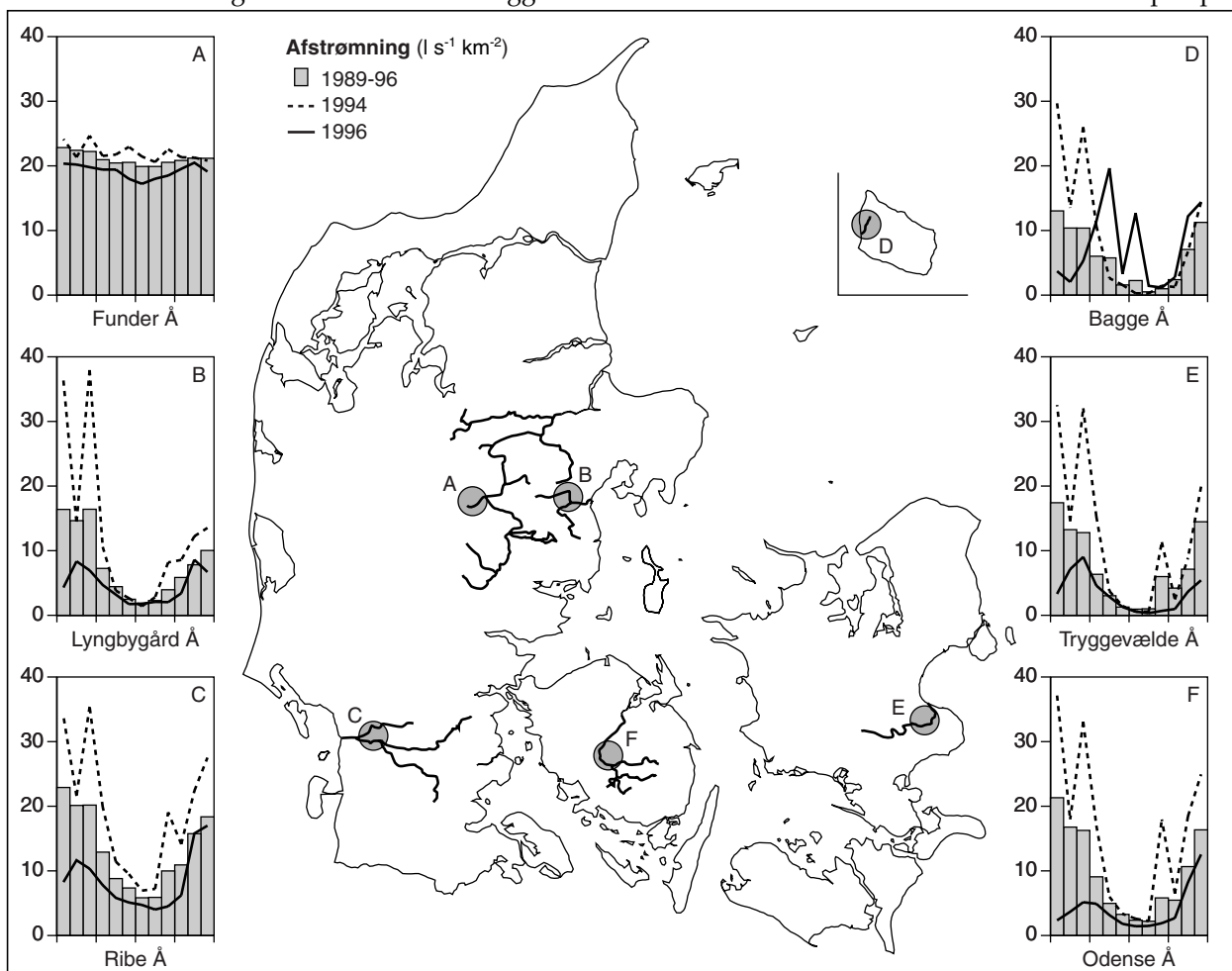
Afstrømningsfordelingen for Danmark baseret på 240 vandløbsmålestationer, der dækker ca. 60% af landets areal, afspejler i store træk nedbørsfordelingen (figur 3.9 og 3.3.b). Der er dog en markant afvigelse mellem fordelingen af nedbør og afstrømning i det centrale Jylland. Afstrømningen har der et lokalt minimum med værdier, der er mere end 100 mm mindre end i de omkringliggende områder et forhold der ikke kan erkendes på nedbørsfordelingen. Afvigelsen skyldes, at der er betydelig forskel på grundvandsoplande og topografiske oplande omkring grænsen for isens udbredelse under sidste istid (hovedtilstandslinien). De øverste grene af de vandløb, der løber mod øst, får en forøget specifik afstrømning, fordi deres grundvandsopland er større end deres topografiske opland. Det modsatte forhold er gældende for de vandløb, der løber mod vest, og det er den relativt lave afstrømning fra de øvre dele af disse vandløbssystemer, der kan erkendes på afstrømningskortet. Populært formuleret vil en del af den nedbør, som er faldet vest for vandskellet i Midtjylland sive ned til grundvandet og løbe til vandløb, der dræner mod øst.

De fleste vandføringsmålestationer er beliggende

inde i landet, så afstrømningen ikke måles i de kystnære områder. Dette medfører, at usikkerheden på fastsættelsen af afstrømningsfordelingen vil være størst i de kystnære områder. Der er en generel grundvandsbevægelse mod kysterne, som betinger, at den arealspecifikke afstrømning typisk er større i de kystnære områder end længere inde i landet. Omvendt falder der typisk mindre nedbør ved kysterne (figur 3.3). Tidligere undersøgelser (Høybye, 1991) konkluderer, at der ikke er en væsentlig anderledes afstrømning i de kystnære områder, og ved opgørelse af totalafstrømning til farvandsområderne antages det at være forsvarligt at anvende arealproportionering fra målte oplande ved beregning af bidrag fra umålte oplande.

Årstidsvariationer

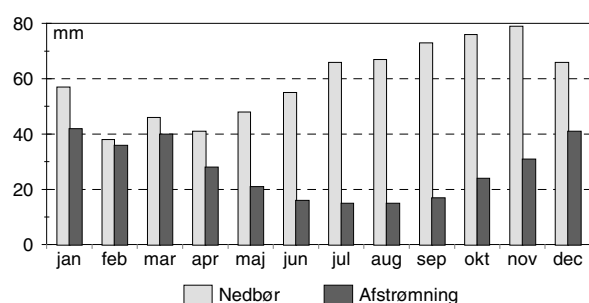
Afstrømningens variation over året er ikke ens i de forskellige dele af landet, og der kan være betydelig forskel på variationsmønstret selv i vandløb, der ligger tæt på hinanden. Grundvandsmagasinernes egenskaber og deres kontakt med vandløb er den afgørende faktor. Jo større grundvandsdelen udgør af den samlede afstrømning i vandløb, desto mere konstant bliver afstrømningen over året. Dette er Funder Å et klassisk eksempel på



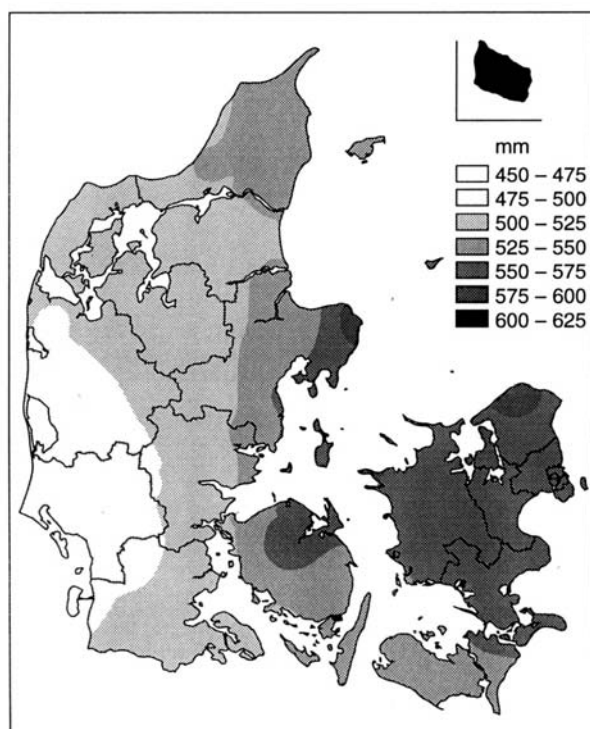
Figur 3.10 Månedsmiddelfafstrømning for udvalgte vandløb i Danmark for perioden 1989 til 1996. (der vil blive tilføjet månedsmiddelfafstrømningen for 1994 (eksempel på meget høj afstrømning) og 1996 (eksempel på meget lav afstrømning) som et mål for, hvor meget månedsmiddelfafstrømningen kan variere over tid.

(figur 3.10). Overordnet er afstrømningen mest stabil i det centrale og vestlige Jylland og mest varierende på Øerne. Den større fordampning på Øerne er med til at forstærke dette mønster.

Nedbørs- og afstrømningsvariationerne forløber ikke ens hen over året (figur 3.11). Nedbørsmængderne er større fra juni og har maksimum i november på knap 80 mm. Afstrømningen aftager i løbet af sommeren og har minimum i perioden juli-august. Den ulige fordeling skyldes, at fordampning næsten udelukkende sker i sommerperioden, samt at der er en forsinkelse mellem nedbørs- og afstrømningsmaksimum på grund af transporttider og magasin effekter i jorden og eventuelt i et sne-dække



Figur 3.11 Månedsmiddelfordampning for normalperioden 1971-90 og månedsmiddelnedbør (målte) for normalperioden 1961-90.



Figur 3.12 Den årlige potentielle fordampning i perioden 1989-96. Data fra Statens Jordbrugsforskning, Afdeling for Arealdata. Den potentielle fordampning er beregnet efter metode beskrevet i Mikkelsen og Olesen (1991). Figuren findes også som farvekort 3c.

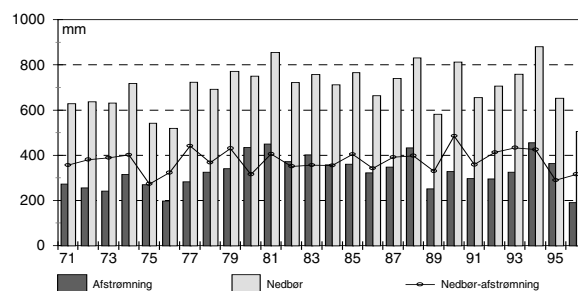
3.6 Fordampning

Fordampning

Den potentielle fordampning (evapotranspiration) er et mål for hvor meget vand, der kan fordampe fra jordoverfladen og via planternes respiration (ånding), når der er vand nok til stede. Den potentielle fordampning er i vinterhalvåret ca. lig med den aktuelle fordampning, men vil typisk være 10-15 % højere om sommeren end denne, da ikke mindst sandede jorde kan udtørre. Den potentielle fordampning i Danmark er faldet med 6% fra 1920 til slutningen af 1980'erne (Clark, 1992). Dette hænger sammen med at antallet af solskinstimer i samme periode er faldet med 3-4 %, og at der har været en kraftig dræningsaktivitet, der har afvandet mange vandlidende jorde. Det har medført at fordampninger er mindsket, og da grundvandstanden er sænket at også planternes respiration er mindsket i disse områder.

Den potentielle fordampning er størst i det østlige Jylland og på Øerne, hvor temperaturen er lidt højere, luftfugtigheden lidt lavere og hvor jorden generelt er bedre til at holde på fugtigheden end i Vestjylland (figur 3.12).

Nedbør korrigeret til jordoverfladen minus afstrømningen kan betegnes som vandbalancen og er et samlet mål for fordampningen og ændringer i jordlagenes grundvandsmagasiner (figur 3.13). Da der ikke har været generelle udviklingsendelser i fordampningen i denne periode viser figuren at i nedbørsfattige år eller i år med længere tørkeperioder som i 1975, 1989, 1995 og 1996 mindskes grundvandsmagasinerne. Disse år har en lille vandbalancen og ofte en stor potentiel fordampning (afhænger blandt af antal solskinstimer og temperaturen). I våde år er vandbalancen større, og den potentiel fordampning ofte mindre som f.eks. i 1977, 1990 og 1994. I disse år opbygges grundvandsmagasinerne.



Figur 3.13 Årlig ferskvandsafstrømning og nedbør i Danmark i perioden 1971-96 og forskellen mellem disse som et mål for summen af fordampning og årlig ændring i vandmagasinerne.

3.7 Menneskelig påvirkning af det hydrologiske kredsløb

Det hydrologiske kredsløb i Danmark påvirkes bl.a. af vandindvinding, dræning, kloakering og vandløbsreguleringer. Vandindvindingen, der umiddelbart er den vigtigste faktor, kan opdeles i indvinding til markvanding og til vandforsyning til husholdning og industri. I følge figur 3.1 er den oppumpede vandmængde af samme størrelse i Jylland og på Øerne (data fra GEUS, 1995 og 1997). Der er dog den forskel, at i Jylland er andelen til markvanding den største, og på Øerne er indvinding til almindelig vandforsyning langt den største. Desuden udgør vandindvindingen i Jylland kun 5% af vandløbsafstrømningen mod 11% på Øerne.

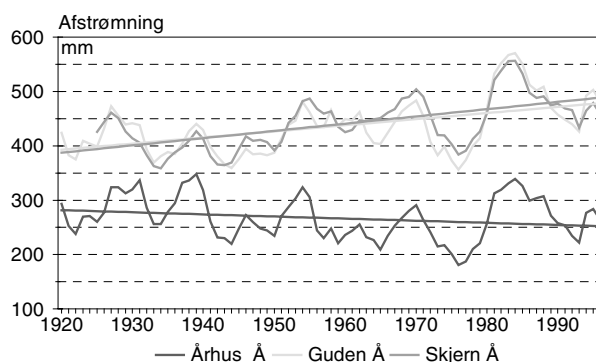
Den geografiske fordeling af vandindvindingen er ujævn med oppumpning til vandforsyning koncentreret omkring de større byer, og indvinding til markvanding overvejende koncentreret i det Midt- og Vestjyske område, hvor jorden er let og kun er i stand til at tilbageholde vand i kort tid i vækstperioden.

Geologien i det enkelte opland er af stor betydning for, hvordan vandindvindingen kan påvirke vandløbsafstrømningen. Hvis indvindingen sker fra dybtliggende, artesiske (spændte) grundvandsmagasiner, vil påvirkningen fordele sig jævnt over året, også selv om indvindingen er til markvanding og primært sker i sommerperioden. Hvis indvindingen derimod sker fra overfladenære grundvandsmagasiner med frit vandspejl, kan responsen i vandløbet ske meget hurtigt i løbet af få dage eller uger, også selvom borerne er placeret et godt stykke fra vandløbet.

Den ujævne fordeling af vandindvindingen medfører, at et stor del af de danske vandløb ikke er nævneværdigt påvirkede, hvorimod nogle er særdeles kraftigt påvirkede og evt. tørrer ud om sommeren. Roskilde Amt anslår at medianminimumvandføringen i de vandløb, der løber til Køge Bugt, generelt er reduceret med mellem 50 og 90 % (Roskilde Amt, 1997).

Århus Å er et eksempel på vandindvindingens påvirkning af vandløbsafstrømningen (figur 3.14). I oplandet til Århus Å sker der en betydelig indvinding af vand til vandforsyning af Århus By. Indvindingsmængden er steget gradvis gennem det 20. århundrede, og afstrømningen er faldet betydeligt. Det er tidligere omtalt at nedbør og afstrømning er steget gennem de seneste 80 år. Såfremt udviklingen i afstrømningen i Århus Å havde fulgt samme mønster som Guden Å og Skjern Å (figur 3.14), der er relativt upåvirkede af vandindvinding viser en overslagsberegning, at der i gennemsnit

“mangler” ca. 40 mm svarende til $4\frac{1}{2}$ million m^3 vand pr. år. Denne mængde svarer til, hvad der i følge Århus Amt skønsmæssigt er indvundet fra oplandet. Regionale forskelle i nedbørs- og afstrømningsudviklingen medfører, at resultaterne i ovennævnte eksempel er forbundet med nogen usikkerhed, og afstrømningen i Århus Å kan være påvirket af andre forhold end vandindvinding.



Figur 3.14 Afstrømning i Guden Å, Skjern Å og Århus Å i perioden 1920 til 1996 vist som 5-års glidende middel samt en ret linie (regressionslinie), der viser udviklingstendensen i afstrømningen.

Dræning og tilledning af vand fra befæstede arealer, samt udretning af vandløb har medført at vand i f.eks. byområder hurtigt ledes til vandløb. Dette resulterer i mere ekstreme afstrømningsforhold med både meget høje og meget lave vandføringer, som kan stresser dyr og planter i vandløbene. For Skjern Å viser en analyse af afstrømningens respons på nedbør, at åen efter udretninger og dræning af vandløbsnære arealer op til midten af 1960'ere nu reagerer en dag hurtigere end før (Svendson og Hansen, 1997). Det samme gælder også skovvandløb, hvor der i mange kulturskove er sket en grøftning.

Udretning af vandløb og hårdhændet vedligeholdelse har ligeledes betydet, at den bufferkapacitet vores ådale har ikke udnyttes, idet regulerede vandløb sjældent oversvømmer de vandløbsnære arealer. Dette er også med til at give mere ekstreme afstrømningsforhold end i naturlige vandløb.

3.8 Konklusion

Nedbøren er den afgørende, drivende faktor i det hydrologiske kredsløb. Med nedbøren føres såvel vand som næringsstoffer og andre miljøfremmede stoffer til f.eks. grundvand, vandløb og søer. I vandløbene føres vand og stof videre til havet. Hermed har vandmængder og variationer heri en afgørende rolle for de fysiske og kemiske forhold i vandløb, søer og kystnære havområder og for påvirkning af de biologiske forhold heri.

Geologien og jordbundsforholdene er på mange måder styrende for, hvordan det hydrologiske

Tabel 3.1. Årsmiddelværdier for temperatur, solskinstimer, nedbør, beregnede potentiel vandbalance (korrigeret nedbør - beregnet fordampning) samt den opgjorte ferskvandsafstrømning fra Danmark i de 8 overvågningsår. Midlen for 1989-95 og normalen 1961-90 er desuden angivet.

Periode	Temperatur	Solskinstimer	Nedbør	Potentiel	Afstrømning	
	EC	timer	(målt) mm	vandbalance mm	mm	10 ⁶ m ³
1989	9,2	1885	581	142	252	10800
1990	9,3	1790	812	433	327	14000
1991	8,2	1752	654	239	296	12700
1992	9,0	1777	706	244	294	12600
1993	7,6	1630	758	354	325	14000
1994	8,7	1732	880	487	455	19600
1995	8,2	1888	652	212	363	15600
1996	6,8	1700	505	100	190	8200
1989-96	8,4	1769	693	276	313	13400
1961-90	7,7	653	712	300 ¹⁾	327 ²⁾	14000 ²⁾

¹⁾ Fordampningen for 1961-90 er beregnet efter en anden metode end for perioden 1989-93 (Mikkelsen og Olsen, 1991)

²⁾ Midlen for perioden 1971-90.

kredsløb varierer i de forskellige dele af landet. Der er en markant større nettonedbør i det centrale og vestlige Jylland end i resten af Danmark, og tilsvarende er den specifikke vandløbsafstrømning mere end dobbelt så stor i Jylland som på Øerne. Forskelle mellem oplande til grundvand og overfladevand medfører, at der i det centrale Jylland er betydelig forskel mellem nedbørs- og afstrømningsfordelingen, således at noget af det vand, der falder vest for vandskellet, efter at være sivet ned i jorden, ender med at afstrømme i vandløbene, der afvander mod øst.

De enkelte dele i det hydrologiske kredsløb har som gennemsnit i overvågningsperioden 1989 til 1996 ligget på et niveau lidt under normalen (tabel 3.1). Nedbørsmængden har været 3 % under og afstrømningen 4 % under normalen. De senere år har dog været præget af ekstreme udsving med 1994 som det vådeste og 1996 som det tredje tørreste år siden 1874, hvilket har givet sig udslag i først en opbygning og senere end udtømmning af grundvandsmagasinerne. Samtidigt har vinterhalvåret (oktober til marts) været vådere og sommerhalvåret tørrere end normalen. De 8 overvågningsår har desuden været 0,7 °C varmere end normalen (tabel 3.1), hvor ikke mindst vintrene (december til februar) generelt har været usædvanligt milde.

Kombinationen af høje nedbørsmængder i vinterhalvåret (oktober til marts) og de meget milde vintre har betinget at udvaskning af kvælstof og tilførslen af fosfor til vandmiljøet rent klimatisk har været favoriseret i forhold til perioden før Vandmiljøplanen. Samtidig har variationer i nedbøren været så ekstreme, at det hydrologiske kredsløb og de afledte processer heraf må forventes at have haft meget atypiske betingelser, hvilket vanskeliggør en modellering af de klimatiske effekter for f.eks. kvælstofudvaskningen og vurdering af udviklingstendenser.

Set over en længere periode, er der sket en forøgelse af både nedbør og afstrømning i Danmark. Siden 1920 er både den årlige nedbørsmængde og den årlige afstrømning steget med ca. 50 mm, hvilket svarer til stigninger på henholdsvis 7 og 13 %. Siden 1870'erne er nedbøren steget 10%. Stigningen er specielt forekommet i vinterhalvåret (steget fra 300 mm til 400 mm på 120 år).

I perioden fra 1931-60 til 1961-90 er den aktuelle fordampning faldet ca. 6%. Det kan dels forklares med at antallet af solskinstimer samtidig er faldet med 3%, men også at der grundet intensiv dræningsaktivitet har man afvandet fugtige jorde og generelt sænket grundvandsspejlet på de dræned arealer. Årsmiddeltemperaturen er steget i løbet af 120 år steget med ca. 0,7 °C.

Vandindvinding kan i visse områder have en stor indflydelse på vandbalancen, og vil i nogle vandløb være årsag til stærkt reduceret vandføring eller endog udtørring i dele af året. Vandindvinding på Øerne udgør således i gennemsnit 11% af vandløbsafstrømningen mod kun 5% i Jylland. Det er især omkring de større byer og i områder, hvor markerne kræver vanding i vækstsæsonen, der opstår problemer med påvirkning af vandløbene.

[Tom side]

4 Vandløbenes miljøtilstand

Vandløbenes miljøtilstand bestemmes af en række forhold, som dels er naturgivne og dels er menneskeskabte. De naturgivne forhold omfatter bl.a. topografi, jordbundsforhold og vandløbsstørrelse. De menneskeskabte påvirkninger er talrige, og omfatter f.eks. spildevandsudledning, udledning af stoffer med giftvirkning, regulering af vandløb, ændring af afstrømningsmønsteret som følge af dræning og udledning fra befæstede arealer, ændring af den vandløbsnære vegetationstype som følge af opdyrkning og afgræsning, samt en række andre større eller mindre indgreb.

Der er i dette kapitel en præsentation og vurdering af de data, der er indsamlet i forbindelse med Vandmiljøplanens Overvågningsprogram til belysning af vandløbenes biologiske tilstand. Der er derudover anvendt en række data fra amternes regionale miljøtilsyn, for herved at give et bedre landsdækkende billede af tilstanden, udviklingen heri og årsager hertil. Der er i forlængelse heraf præsenteret, hvorvidt de regionale målsætninger er opfyldt, samt angivet hvilke årsager der er til at målsætningerne ikke er opfyldt i mange vandløb.

4.1 Overordnede sammenhænge, tilsynsstrategi og bedømmelsesmetoder

Faktorer der påvirker miljøtilstanden i vandløb

Sammenhængen mellem vandløbenes dyreliv (forureningstilstand) og vandets indhold af organisk stof (BI5) er vist af *Andersen og Jensen (1981)*, som beskrev denne sammenhæng under danske forhold, bl.a. med henblik på at kunne forudsige effekten af spildevandsudledninger til vandløb. Spildevandsrensning foretages i dag ved næsten alle bysamfund eller spildevandet er afskåret til mere effektive renseanlæg i andre afstrømningsområder. Samtidigt er praktisk taget alle udledninger af ajle- og mødingsvand bragt til ophør (*Fyns Amt, 1997; Vejle Amt 1997 m.fl.*). Det har samlet bevirket, at vandløbenes indhold af letomsætteligt organisk stof (BI5) er faldet, og specielt de stærkt forurenede vandløbsstrækninger er nedbragt betydeligt i omfang.

I takt med at der er foretaget indgreb over for de større forureningskilder, er det blevet mere åbent, at udledninger fra enkeltliggende ejendomme også har betydning for vandløbenes miljøtilstand. Men det er derudover blevet tydeliggjort, at vandløbenes fysiske forhold også spiller en nøglerolle for et varieret dyre- og planteliv. De fysiske forhold påvirkes af en række forhold såsom vandløbsregulering, vedligeholdelse, opstemninger, vandindvinding m.m.

Lovgivning og tilsyn med vandløbene

Amterne fører tilsyn med vandløbenes miljøtilstand i henhold til Miljøbeskyttelsesloven. Med henblik på at vurdere om den observerede tilstand er tilfredsstillende foretages en sammenligning med den målsatte tilstand (jvf. amternes regionplaner (se afsnit 1.2)). Omfanget af tilsynet varierer i mellem de enkelte amter. Typisk besigtiges vandløbene hvert år ved udledninger fra alle større spildevandskilder i form af rensningsanlæg og dambrug. Nogle amter foretager derudover et årligt tilsyn, hvor alle vandløbsstrækninger besigtiges. Andre amter har en 2, 3 eller 4-årig turnus. Der er stor forskel mellem amterne på hvor omfattende og tæt stationsnettet er.

Biologisk vandløbsbedømmelse

Den biologiske vandløbsbedømmelse blev indført i forbindelse med, at amterne i 1970'erne påbegyndte tilsynet med forureningstilstanden i vandløb og blev udført efter retningslinjer i Landbrugsministeriets vejledning (*Landbrugsministeriet, 1970*). Målet var at udpege de særligt forurenede vandløbsstrækninger, og herefter at bringe forureningerne til ophør. Landbrugsministeriets vejledning er et tilstrækkeligt værktøj til at identificere de værste forureninger, men vejledningen er ikke tilstrækkelig detaljeret og objektiv til at kunne adskille forureningsgraderne i skalaens gode ende. Dette har betydet, at det har været op til de enkelte amter selvstændigt at fortolke Landbrugsministeriets vejledning, og vandløbsbedømmelse er derfor ikke foretaget ensartet på landsplan. I Vandmiljøplanens Overvågningsprogram anvendes dog en standardiseret bedømmelsesmetode (*Kierkegaard et al., 1992*).

Der er i afsnit 4.2 "Biologiske bedømmelsesmetoder" givet en oversigt over biologisk vandløbsbedømmelse i Danmark i perioden fra 1970 og frem til i dag.

4.2 Biologiske bedømmelsesmetoder

Tilsynet med vandløbenes biologiske forhold foretages primært som undersøgelser af dyrelivet i form af insekter, krebsdyr, fladorme, børsteorme, snegle m.m, idet artssammensætningen tydeligt afspejler de generelt herskende forhold, herunder bl.a. tilstedeværelsen af en organisk forurening. I forbindelse med at vandløbenes værste forureninger skulle lokaliseres og bringes til ophør, blev der udarbejdet en vejledning i biologisk vandløbsbedømmelse (*Landbrugsministeriet, 1970*). I 1983 udsendte Miljøministeriet en vejledning for amternes generelle tilsyn med vandløb og søer (*Miljøstyrelsen, 1983*). Det blev heri forudsat, at Landbrugsmi-

nisteriets vejledning (*Landbrugsministeriet, 1970*) skulle anvendes ved amternes tilsyn med vandløbenes biologiske tilstand. Vejledningen i biologisk vandløbsbedømmelse er imidlertid meget kortfattet og uden præcise afgrænsninger af de enkelte forureningsgrader. En enkelt fortolkning af vejledningen (*Jensen, 1972*) har dog i de fleste amter dannet udgangspunktet for anvendelsen af den biologiske vandløbsbedømmelse.

Biologisk vandløbsbedømmelse er i de danske amter helt overvejende blevet udført som feltundersøgelser. I 1970'erne blev undersøgelserne de fleste steder foretaget af personer uden biologisk baggrund. Men efterfølgende er der ansat biologisk uddannet personale til at varetage vurderingen af den miljømæssige tilstand i vandløb. Den oprindelige mangelfulde vejledning, samt varierende forudsætninger hos det personale, der udførte vandløbsbedømmelserne, medførte at disse blev udført forskelligt fra amt til amt (*Mortensen et al., 1978*). Som en konsekvens heraf blev der derfor udarbejdet et system til objektiv fastsættelse af forureningsgraden (*Andersen et al., 1982, Andersen et al., 1984*). Systemet blev i sin oprindelige form kaldt for "Viborg indekset", men senere mindre justeringer har ændret dette til "Dansk Fauna Indeks" som siden 1993 er blevet anvendt i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram (*Kirkegaard et al., 1992*).

"Viborg indekset" og "Dansk Fauna Indeks" er derudover blevet anvendt i visse amter, men har endvidere, i en række af de øvrige amter, bidraget til en vis revurdering af afgrænsningen mellem forureningsgraderne i skalaens gode ende. Især opfattelsen af forureningsgraderne II og II-III har ændret sig, således at en faunaliste med mange individer af krebsdyret *Gammarus* og døgnfluen *Baetis*, men uden forekomst af egentlige rentvandskrævende arter i 1970'erne og begyndelsen af 1980'erne typisk blev bedømt som forureningsgrad II. Inspirationen fra de nye objektive faunaindices medførte, at der op gennem 1980'erne efterhånden blev stillet krav til forekomst af egentlige rentvandskrævende arter for at forureningsgrad II kom i anvendelse. I modsat fald blev ovennævnte faunasammensætning vurderet til forureningsgrad II-III.

Denne udvikling kan beskrives som et skred i bedømmelsesmetoden, og betyder altså, at én og samme artsliste i 1980 vurderes som forureningsgrad II, mens den typisk i 1990 vurderes som forureningsgrad II-III. Af denne grund er det vanskeligt at foretage tidsanalyser selv inden for det samme amt, idet en ændring i forureningsgraden fra II til II-III tilsyneladende viser, at tilstanden er forværret på trods af at faunasammensætningen ofte er uændret. På samme måde kan forureningsgrad II i 1980 og forureningsgrad II i 1990 tolkes

som at der ingen udvikling er sket. Men på grund af skærpede krav ved forureningsfastsættelsen vil eksemplet i de fleste amter i realiteten betyde, at faunasammensætningen har undergået ændringer mod forekomst af flere rentvandsformer, d.v.s. at der reelt er sket en forbedring i tilstanden.

Et sådant skred i amternes bedømmelsesmetode skyldes at denne er subjektiv, d.v.s. baseret på en vurdering, og ændringen i opfattelse kan bedst forklares som at ny viden og flere erfaringer efterhånden har medført den nye erkendelse af forureningsgraderne.

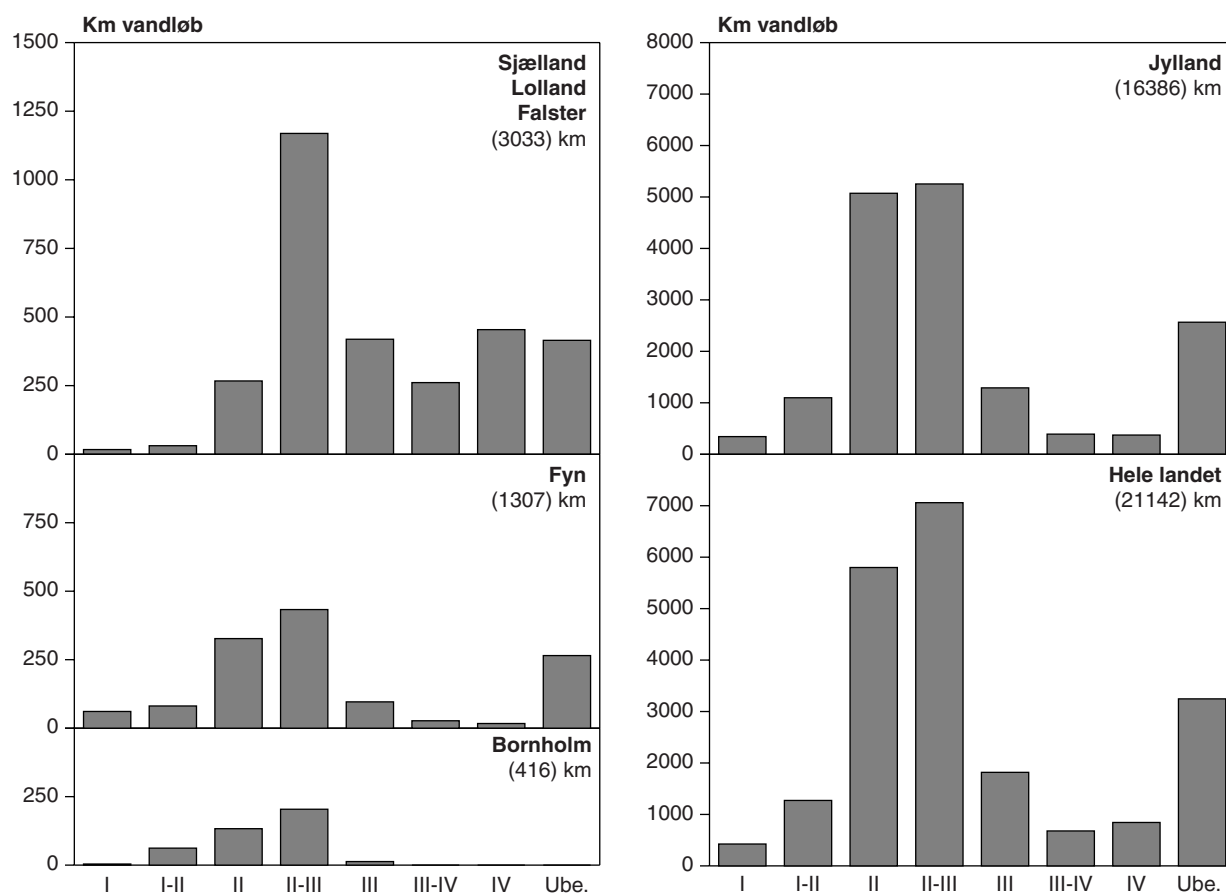
Et skred i bedømmelsesmetoden er nok typisk sket omkring 1985-90, og er beskrevet af Vejle Amt (1997), Århus Amt (1996 og 1997), Fyns Amt (1997) og Sønderjyllands Amt (1997). Med henblik på en mere sikker beskrivelse af udviklingstendenser har flere amter derfor revurderet store dele af de ældre faunalister. Resultaterne er imidlertid ikke fremtidssikrede mod et eventuelt fremtidigt skred i bedømmelsesgrundlaget.

De analyser og sammenstillinger, der er foretaget i nærværende rapport, skal derfor tages med en række forbehold, idet både landsdækkende sammenstillinger, såvel som udviklingsmæssige tendenser vanskeliggøres på grund af de metodiske forskelle i bedømmelsesgrundlaget.

På nationalt plan er det kun indenfor Vandmiljøplanens Overvågningsprogram, at der siden 1993 er foretaget årlige standardiserede bedømmelser. Stationerne i dette program er dog få, og vandløbenes størrelsesfordeling ikke repræsentativ for danske vandløb som helhed. Det er derfor på trods af de metodiske problemer valgt, at inddrage resultater fra amternes generelle tilsyn i denne rapport. Dette er gjort både med henblik på at give et bedre landsdækkende overblik, samt for at forsøge at beskrive udvikling i miljøtilstanden over en længere tidsperiode.

4.3 Vandløbenes tilstand

Amternes regionale tilsynsdata, der er anvendt i den følgende sammenskrivning, er som det tidligere er beskrevet, af varierende karakter. Således oplyser enkelte amter, at den biologiske vandløbsbedømmelse er baseret på en modifikation af Saprobietmetoden (*Nordjyllands Amt, 1997*), mens andre oplyser, at Viborg indekset eller Dansk Fauna Indeks anvendes på alle, eller på en væsentlig del af vandløbsstationerne (Københavns Amt, Roskilde Amt m.fl.). Endelig anvendes i en del amter en feltmetode, der udføres med udgangspunkt i Dansk Fauna Indeks (Sønderjyllands Amt, Vejle Amt, Århus Amt m.fl.). I det regionale tilsyn er



Figur 4.1 Forureningsgrad og/eller faunaklasse fra danske vandløbsstrækninger i 1993-96. Der er anvendt forskellige metoder i amterne. Klasserne I,... til IV er beskrevet i *Landbrugsministeriet (1970)* og *Kierkegaard et. al (1992)*. Ubedømmelig er anvendt i vandløb, hvor forureningsgraden efter amtets vurdering ikke har kunnet fastsættes som følge af okker, udtørring, forgiftning m.m.

stationerne desuden placeret med varierende tæthed således som tidligere omtalt.

Trods det forskelligartede baggrundsmateriale, udgør amternes regionale tilsyn den altdominerende del af de oplysninger, der forefindes om tilstanden i danske vandløb. Der er i det følgende foretaget en vurdering af tilstanden i danske vandløb i 1993-96. Derudover er der foretaget en vurdering af eventuelle udviklingstendenser i tilstanden. Dette er gjort dels ved at se på amternes oplysninger om perioden før 1989. Og dels ved at sammenligne stationsrelaterede data for perioderne 1989-92 og 1993-96. Endelig er der foretaget en vurdering af udviklingstendenser i udbredelsen af visse rentvandskrævende smådyr, samt for ørred.

Vandløbenes aktuelle miljøtilstand - vurderet ud fra det regionale tilsyn i perioden 1993-96

Amterne har indrapporteret oplysninger om miljøtilstanden for perioden 1993-96. På landsplan er der i alt ført tilsyn med ca. 21100 km vandløb i perioden, svarende til at ca. 15400 stationer er blevet undersøgt.

Tilstanden i landet som helhed, samt i de forskellige dele af landet er vist i figur 4.1. De to kategorier

forureningsgrad II og II-III er klart dominerende, og udgør ca. 61% af de samlede vandløbsstrækninger i Danmark (km betragtning). Strækninger, der har et dyreliv der er upåvirket eller næsten upåvirket (I og I-II), udgør 8% af strækningerne, mens strækninger med en dårlig eller meget dårlig tilstand (III, III-IV og IV) udgør ca. 16%. En del vandløbsstrækninger har ikke fået tildelt nogen forureningsgrad/faunaklasse af amterne, og betegnes som "ubedømmelige". Disse strækninger udgør ca. 15% og består overvejende af vandløb som er påvirkede af okker, udtørring, giftudledning, søpåvirkede (plankton) eller påvirkede af saltvandsindtrængning.

Der er betydelige forskelle i miljøtilstanden mellem de enkelte landsdele. På Sjælland, Lolland og Falster findes kun få helt upåvirkede vandløb, idet forureningsgrad I og I-II tilsammen kun udgør mindre end 2% af vandløbsstrækningerne. Derimod er der mange kraftigt påvirkede vandløb, idet forureningsgrad III, III-IV og IV tilsammen udgør godt 37%. Fyn og Jylland udviser nogenlunde identiske mønstre, og har klar overvægt af vandløb med forureningsgrad II og II-III. De upåvirkede vandløb (forureningsgrad I og I-II) er her langt mere fremtrædende end i landets østligste del, og

udgør i landets vestlige del omkring 9-11% af de samlede vandløbsstrækninger.

De kraftigt påvirkede strækninger (III, III-IV og IV) er ikke nær så talrige på Fyn og i Jylland sammenlignet med Sjælland, Lolland og Falster, og udgør i på Fyn og i Jylland kun 11-13%.

Bornholm skiller sig noget ud ved næsten helt at mangle kraftigt påvirkede vandløb (ca. 3 %).

De forskelle der her er konstateret mellem landets østlige og vestlige del, er også tidligere konstateret på overvågningsstationerne (*Skriver og Friberg, 1996*).

Det er endvidere muligt at belyse, hvorvidt der er forskel i miljøtilstanden i små (0-2 meter) og store (>2 meter) vandløb. Seks amter har foretaget en skelnen imellem tilstanden i henholdsvis små og større vandløb. Samlet set udgør vandløbene i disse 6 amter halvdelen af de danske vandløbsstrækninger. Der er en markant forskel mellem små og store vandløb, idet små vandløb har langt flere strækninger med en dårlig miljøtilstand. Således har over 20% af de små vandløb forureningsgrad III, III-IV og IV, mens en tilsvarende dårlig tilstand kun er fundet på ca. 10% af strækningerne i de større vandløb.

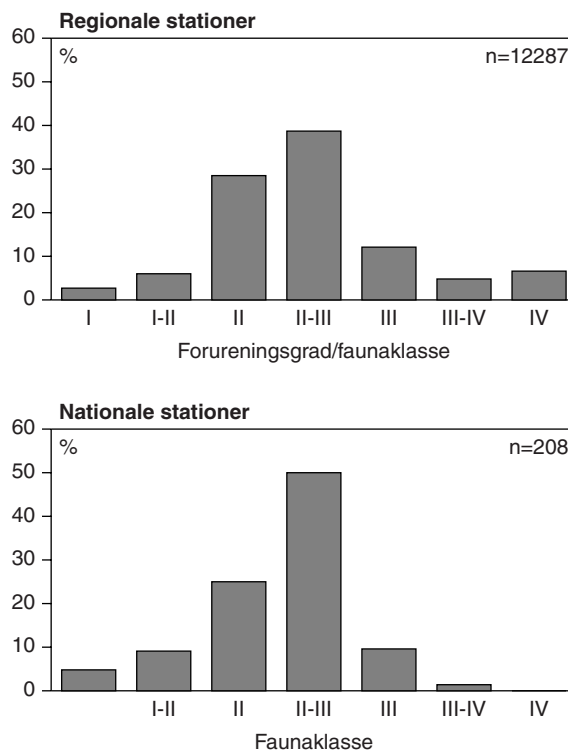
Vandløbenes aktuelle tilstand - nationale overvågningsstationer i 1993-96

Stationerne i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram udgøres generelt af større vandløb. Således har 41% af overvågningsvandløbene en bredde på 2-5 meter, mens 31% har en bredde større end 5 meter. Vurderet ud fra amternes regionale tilsynsdata udgør vandløb på 2-5 meters bredde på landsplan kun 19%, mens vandløb bredere end 5 meter kun udgør 6% af registreringerne. Ud fra en størrelsesmæssig betragtning kan de nationale overvågningsstationer derfor ikke betragtes som repræsentative for danske vandløb i almindelighed.

Tilstanden på de nationale stationer er siden 1993 belyst ud fra Dansk Fauna Indeks (*Kirkegaard et al., 1992*). Faunaklassernes fordeling i 1996 ses i figur 4.2. På samme måde som de tidligere år er der klar overvægt af stationer med faunaklasse II-III, som udgør tilstanden på halvdelen af stationerne. Der er i perioden ikke sket nogen signifikant ændring i tilstanden på de 178 stationer, der er undersøgt alle år.

En sådan ændring havde heller ikke været at forventet, idet stationernes belastning med iltforbrugende organisk stof (BI5) har været stabil i hele perioden 1993-96. Stationernes fysiske forhold er ikke blevet specielt undersøgt, men de fysiske forhold i de større vandløb (amtsvandløb), som do-

minerer blandt overvågningsstationerne, formodes ikke at være ændret væsentligt i perioden, idet ændringer i fysiske forhold som følge af ændret vandløbsvedligeholdelse i disse vandløb, må antages at være slået igennem allerede inden 1993.



Figur 4.2. Miljøtilstanden fra det regionale tilsyn (forureningsgrad/faunaklasse) og fra det nationale stationsnet (faunaklasse). Stationerne i det regionale tilsyn er fordelt med varierende tæthed i amterne, mens stationerne i det nationale stationsnet overvejende repræsenterer større vandløb.

Sammenligning mellem nationale og regionale stationer

Der er signifikant forskel på fordelingen af faunaklasserne fra de nationale overvågningsstationer og fordelingen af forureningsgrader/faunaklasser fra det regionale tilsyn. Således er faunaklasse II-III klart mere hyppig på de nationale stationer, mens faunaklasserne III, III-IV og IV tilsvarende kun er halvt så hyppige (figur 4.2).

Det er uvist, om en del af forskellen mellem det regionale og nationale net kan tillægges, at der anvendes forskellige bedømmelsesmetoder. Men en væsentlig del af årsagen kan sandsynligvis tilskrives det faktum, at overvågningsstationerne generelt udgøres af større vandløb.

4.4 Udvikling i vandløbenes miljøtilstand

Regionale tilsynsdata: Perioden før 1989.

Miljøtilstanden i de danske vandløb i perioden 1970-89 er blevet undersøgt dels ved hjælp af den oprindeligt beskrevne metode (*Landbrugsmini-*

steriet, 1970), og dels ved hjælp af Viborg indekset. Uanset den anvendte metode tegner der sig et generelt billede, hvor antallet af stærkt forurenede vandløbsstrækninger typisk er halveret over hele landet.

Regionale tilsynsdata: Sammenligning af tilstanden i 1989-92 med tilstanden i 1993-96

Der er i det følgende foretaget en sammenligning af de regionale tilsynsdata for de to perioder 1989-92 og 1993-96. For at få den størst mulige tidsmæssige spredning er der i den første periode overvejende anvendt data fra 1989-90, mens der i den anden periode overvejende er valgt data fra 1995-96. I alt indgår 7152 stationer på landsplan i sammenligningen, idet kun stationer med data fra begge perioder er medtaget. Data fra Bornholm indgår ikke, fordi der ikke findes data fra 1989-92. Det skal pointeres, at forskelle i fordelingerne af forureningsgrader mellem de to perioder dels kan afspejle reelle ændringer i den miljømæssige tilstand. Men derudover kan forskelle i fordelingerne mellem de to perioder desuden afspejle ændringer i selve metoden, d.v.s. ændringer i opfattelsen af afgrænsningen af de enkelte forureningsgrader.

Der er i perioden 1989-96 sket en meget svag, men signifikant, ændring i fordelingen hen mod en bedre tilstand. Ændringen består i, at der er sket en reduktion fra 31 % til 24 % i antallet af stationer med forureningsgrad/faunaklasse III, III-IV og IV. Der er tilsvarende sket en forøgelse i antallet af stationer med forureningsgrad/faunaklasse II-III. Det samlede antal af stationer med I, I-II og II er praktisk taget uændret i perioden.

Vurderet separat for de enkelte regioner, er der på samme måde i alle tre hovedområder fundet en signifikant ændring hen imod en bedre tilstand (Øerne øst for Storebælt, Fyn og Jylland). Der er endvidere foretaget en sammenligning inden for hvert amt i de to perioder. I de tolv amter, hvor der er data til rådighed, er der alle steder sket en ændring af fordelingerne hen mod en bedre tilstand. Ændringen er dog kun signifikant i syv af amterne.

Vurderet på landsplan ser det således ud til, at der også inden for de sidste 6-7 år er sket visse mindre forbedringer i miljøtilstanden. Tendensen i alle amterne hen imod en ændring (forbedring) af fordelingerne af forureningsgrader /faunaklasser, tyder på at der er tale om en reel forbedring i miljøtilstanden. At ændringen er reel, bestyrkes af at amterne øst for Storebælt (på nær Vestsjællands Amt) har anvendt objektive metoder i perioden siden midten af 1980'erne. I de øvrige amter, hvor der overvejende anvendes forskellige subjektive metoder ses på tilsvarende måde en forbedring i fordelingen af forureningsgrader. Fire af disse amter har oplyst, at der er sket et "skred" i meto-

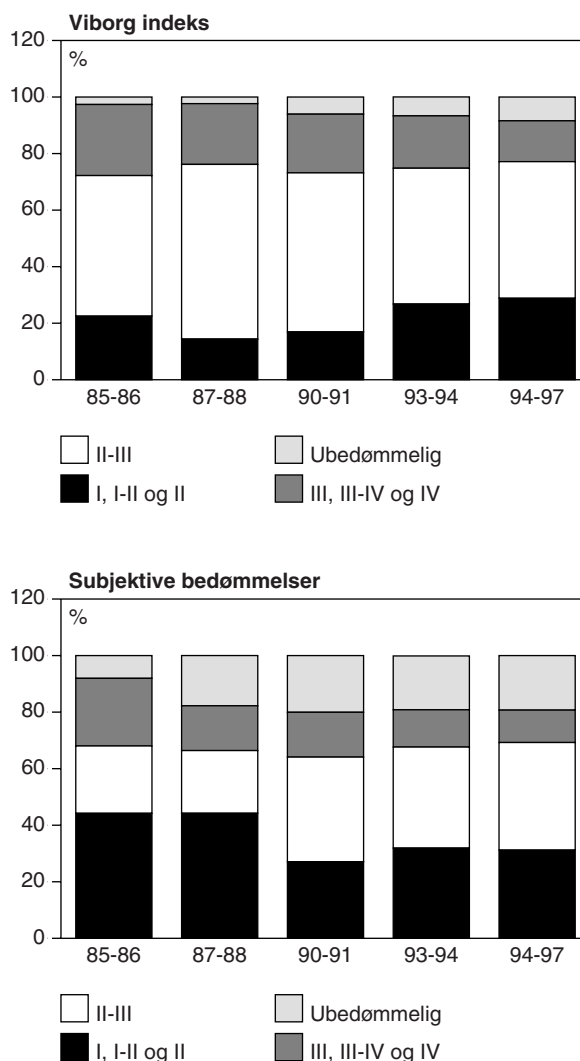
den. Men ændringen i opfattelse af forureningsgraderne har været en skærpelse af bedømmelserne, og den observerede forbedring i perioden fra 1989-92 til 1993-96 vurderes derfor at være reel og måske endda større end det umiddelbart kan ses af tallene.

Tendensen mod forbedring af miljøtilstanden må forventes at fortsætte, idet der også fremover vil ske en reduktion i spildevandspåvirkningerne. Derudover må den fortsatte gradvise forbedring af vandløbenes fysiske forhold ligeledes forventes at bidrage til miljømæssige forbedringer i de kommende år.

Sønderjyllands Amt, 1985-97: "Skred" i den anvendte bedømmelsesmetode

Sønderjyllands Amt har for perioden 1985-97 foretaget en vurdering af eventuelle ændringer i miljøtilstanden i amtets vandløb ud fra den hidtil anvendte subjektive metode.

På baggrund heraf kunne der konstateres en svag ændring mod gradvist færre stationer med forure-



Figur 4.3. Miljøtilstanden i vandløb i Sønderjyllands Amt i perioden 1985-97. Tilstanden er udtrykt dels ved anvendelse af Viborg Index på feltdata, og dels ved anvendelse af en subjektiv bedømmelse af feltdata.

ningsgrad III, III-IV og IV, men der var ingen tendens til flere stationer med forureningsgrad I, I-II og II (figur 4.3).

Sønderjyllands Amt foretog herefter en beregning af Viborg indekset på det samme datagrundlag. Der kunne her konstateres et fald i antallet af stationer med faunaklasse III, III-IV og IV, d.v.s. et nogenlunde tilsvarende fald som konstateret med den subjektive metode.

Men i modsætning til den subjektive metode, kunne der tillige konstateres en markant stigning i antallet af stationer i den gode ende, d.v.s. i stationer med faunaklasserne I, I-II og II. På baggrund heraf har Sønderjyllands Amt konkluderet, at der er sket et skred i den subjektive metode, og at dette skred har bevirket, at amtet gennem en periode fejlagtigt har konkluderet, at der ikke er sket forbedringer af miljøtilstanden i de vandløb, der er moderat eller svagt påvirkede.

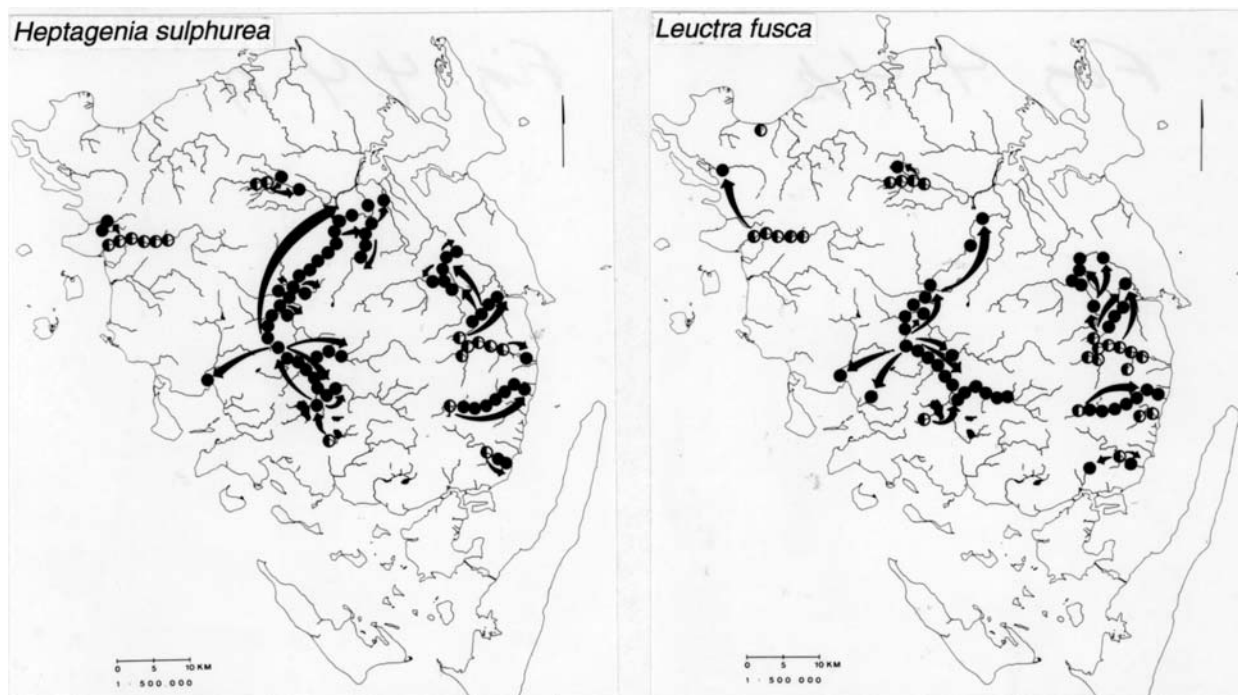
4.5 Udvikling i udvalgte arters forekomst og udbredelse

Som det er omtalt tidligere er både nationale overvågningsdata og regionale data kun i et vist omfang anvendelige ved vurdering af om der er sket en ændring i vandløbenes miljøtilstand. I stedet for forureningsgrader og faunaklasser kan forekomsten af visse "miljøindikatorer" anvendes som et udtryk for en ændring af miljøtilstanden. En øget udbredelse af rentvandskrævende "indikatorarter" falder typisk sammen med en reduktion i vandets indhold af forurenende stoffer (især B15), samt

forbedringer i vandløbenes fysiske forhold m.m.. I en række tilfælde er miljømæssige forbedringer slået igennem i den registrerede forureningsgrad - primært i de større vandløb (Fyns Amt, 1997). Mange steder er der dog ikke påvist forbedringer i forureningsgraden, formentlig som følge af det "skred" der en række steder er sket i opfattelsen af forureningsgraderne (Sønderjyllands Amt, 1997 m.fl.). Udbredelsen af arter, der er rentvandskrævende, og som stiller krav til gode fysiske forhold, kan give et fingerpeg om, hvorvidt den generelle miljøtilstand er forbedret på trods af, at dette ikke umiddelbart kan opgøres som en forbedring i forureningsgraden. I det følgende vil der blive givet et par eksempler fra amternes regionale tilsyn på øget udbredelse af udvalgte insekter, samt et eksempel på øget udbredelse af ørred.

Udbredelse af døgnfluen *Heptagenia sulphurea* og slørvingen *Leuctra fusca* på Fyn

På Fyn har den rentvandskrævende døgnflue *Heptagenia sulphurea* bredt sig kraftigt (Wiberg-Larsen et al., 1994; Fyns Amt, 1997). Den fandtes i 1980 kun i 7 vandløb på en samlet længde af ca. 20 km. Op gennem 1980'erne har arten herefter spredt sig (figur 4.4). Inden for de oprindelige 7 vandløb har *Heptagenia*, især i Odense Å og Stokkebæk, spredt sig fra små afgrænsede forekomster i vandløbenes øvre dele, således at arten nu er udbredt i vandløbenes fulde længde. *Heptagenia* har derudover koloniseret et antal nye vandløb. Dette er sket dels gennem opstrøms flugt af voksne insekter til vandløbsstrækninger, hvor arten ikke tidligere fandtes. Men også ved at voksne insekter er fløjet til nye vandløbssystemer, hvor arten ikke tidligere



Figur 4.4. Udvikling i udbredelsen af døgnfluen *Heptagenia sulphurea* og slørvingen *Leuctra fusca* fra fynske vandløb. Halvt fyldte cirkler viser fund før og typisk også efter 1980. Helt fyldte cirkler viser fund efter 1980. Pile angiver, hvilken vej dyrene har spredt sig (efter Fyns Amt, 1997).

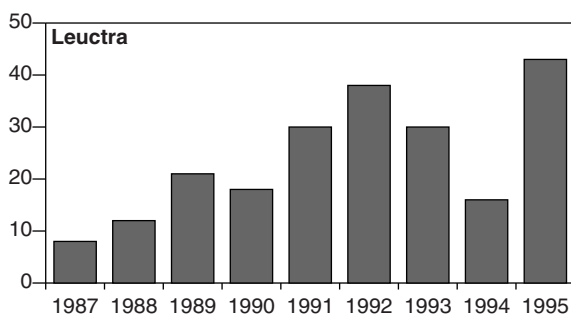
var kendt. Døgnfluen *Heptagenia* er i 1996 registreret fra i alt ca. 120 km vandløbsstrækning.

Slørvingen *Leuctra fusca* har på Fyn haft en tilsvarende øgning i sin udbredelse, og arten er nu udbredt på stort set de samme vandløbsstrækninger som *Heptagenia* (figur 4.4).

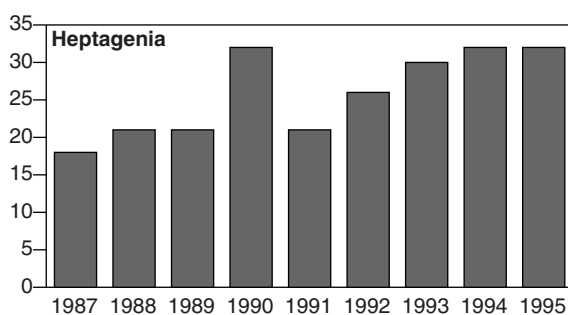
Samlet set underbygger udviklingen i disse arters udbredelse derfor det generelle billede, nemlig at der er sket betydelige forbedringer i den biologiske tilstand i de større fynske vandløb (*Fyns Amt, 1997*).

Udbredelse af døgnfluen *Heptagenia* og slørvingen *Leuctra* i Ribe Amt.

I Ribe Amt er der siden 1987 foretaget årlig indsamling og detaljeret bearbejdning af faunaprøver på 52-66 stationer placeret i de større vandløb (*Ribe Amt, 1997*). De fleste rentvandskrævende arter havde den mindste forekomst i prøverne fra 1987-88, mens der herefter ikke er nogen tydelig tendens i udbredelsesmønstret. For døgnfluer af slægten *Heptagenia* (to arter: *H. sulphurea* og *H. fuscogrisea*), samt slørvinger af slægten *Leuctra* (tre arter: *L. digitata*, *L. fusca* og *L. hippopus*), er der imidlertid en vis tendens til at udbredelsen er øget hen gennem hele perioden (figurerne 4.5 og 4.6). Døgnflueslægten *Heptagenia* blev i 1987-88 registreret på 17-21% af de undersøgte stationer, men på 32% af stationerne i 1994-95.



Figur 4.5. Hyppighed af slørvingeslægten *Leuctra* i de større vandløb i Ribe Amt. Der indgår 36-62 stationer bortset fra 1987 og 1990, hvor en del stationer er udeladt på grund af prøvetagningstidspunktet (efter Ribe Amt, 1997).



Figur 4.6. Hyppighed af døgnflueslægten *Heptagenia* i de større vandløb i Ribe Amt. Der indgår 52-66 stationer gennem hele perioden (efter Ribe Amt, 1997).

De tilsvarende værdier for forekomsten af slørvingeslægten *Leuctra* var 8-12% i 1987-88 og 16-44% i 1994-95.

På trods af at Ribe Amts intensive indsamling og bearbejdning først er igangsat i 1987, og perioden derfor kun strækker sig over 9 år, og til trods for at der er visse årlige svingninger i udbredelsen af de enkelte grupper af rentvandsdyr, tegner der sig alligevel et generelt billede af en øget forekomst af rentvandsdyr i amtets vandløb.

Udbredelse af slørvingen *Isoptena serricornis* i Ringkjøbing Amt

Ringkjøbing Amt har foretaget en analyse af udviklingen i udbredelsen af tre udvalgte rentvandskrævende smådyrarter. Analysen er foretaget som en sammenligning af den kendte udbredelse i amtet i de to perioder 1988-92 og 1993-96 (*Ringkjøbing Amt, 1997*). Her skal omtales ændringer i udbredelsen af slørvingen *Isoptena serricornis*. Denne slørvinge er knyttet til sandbund i store uforurenede vandløb, og arten har primært sin udbredelse i det vestlige Jylland i Skjern Å, Stor Å og Karup Å systemerne. Denne slørvinge blev indtil slutningen af 1970'erne kun fundet meget sporadisk, og der kunne gå flere år mellem de enkelte registreringer (*Jensen, 1995*). I de senere år er arten imidlertid blevet registreret stadigt hyppigere. På de stationer, hvor amtet har registreret arten, og hvor der er foretaget indsamling i begge ovennævnte perioder, er *Isoptena* således blevet fundet 10 gange i 1988-92, men 50 gange i perioden 1993-96. Antallet af dyr pr. prøve er på tilsvarende vis steget fra 2,7 til 3,5, og det konkluderes, at *Isoptena* generelt er blevet langt mere hyppig i både Skjern Å, Stor Å og Karup Å-systemerne. Udover amtets registreringer er *Isoptena* i perioden 1988-92 kendt fra yderligere et antal lokaliteter inden for alle tre vandløbssystemer (*Aagaard, 1994; Jensen, 1995; Viborg Amt, 1990*).

Udbredelse af slørvingen *Perlodes microcephala* i Ringkjøbing Amt

Et andet eksempel fra Ringkjøbing Amt, på at en rentvandskrævende art har øget sin forekomst, er slørvingen *Perlodes microcephala*. Arten har i begyndelsen af dette århundrede formentlig været vidt udbredt i det meste af Storåens forløb, samt eventuelt i enkelte af tilløbene til Storåen (*Aagaard, 1994*). Forurening med spildevand fra bla. Holstebro og Herning, samt udledning af store mængder okkerforbindelser som følge af afvanding og regulering, betød at rentvandsfaunaen i Storåens hovedløb blev begrænset til en strækning opstrøms Vandkraftsøen ved Holstebro. Nedstrøms for Holstebro var Storåen i 1970-71 kraftigt forurenede (forureningsgrad III) på hele strækningen ud til Vemb - en strækning på i alt ca. 15-20 km (*Aagaard og Bolet, 1997*). På dette tidspunkt var kun den forureningstolerante slørvinge *Nemoura cinerea* alminde-

lig på strækningen nedstrøms for Holstebro, og kun sporadisk kunne der findes enkelte individer af den lidt mere krævende *Taeniopteryx nebulosa*.

Siden midten af 1980'erne og frem til 1995 er belastningen af Storåen med iltforbrugende organiske stoffer (BI5) fra renseanlæg blevet reduceret med 93%. I den tilsvarende periode er slørvingefaunaen i Storåen nedstrøms for Holstebro blevet mere artsrig, idet arter fra tilløbene er indvandret, og nu igen har fundet passende livsbetingelser i Storåens hovedløb. I 1988 blev der således registreret 5 slørvingearter i Storåen, heriblandt begge de rentvandskrævende arter af slægten *Isoperla*. Siden 1991 er yderligere to slørvingearter blevet fundet i hovedløbet. Specielt genindvandringen af den meget rentvandskrævende art *Perlodes microcephala*, fra strækningen umiddelbart opstrøms for Holstebro, viser at gode miljømæssige forhold nu igen er ved at være retableret. *Perlodes* blev i foråret 1997 observeret på hele strækningen fra Holstebro til udløbet i Feldsted Kog (*Aagaard, pers medd.*). Amtet vurderer, at forureningsgraden på denne strækning af Storå, i 1996 er forureningsgrad II. Men det forventes at faunaen yderligere vil kunne ændres svarende til forureningsgrad I-II (*Aagaard og Bolet, 1997*).

Udbredelse af slørvingen *Leuctra* i Århus Amt

I Århus Amt er den generelle udvikling i forureningstilstanden illustreret gennem forekomsten af arter af den rentvandskrævende slørvingeslægt *Leuctra* (4 arter). Forekomsten af *Leuctra* er baseret på undersøgelser af alle vandløbsstørrelser og alle målsætningskategorier. Ud af de 12 undersøgte afstrømningsområder er *Leuctra* blevet mere talrig i 8 områder, hvorimod den kun er gået tilbage i 2 områder. Klart den største ændring er sket i afstrømningsområderne "Guden Å-nord" og "Guden Å-syd", hvor *Leuctra* begge steder er gået markant frem, og nu forekommer på 20-30% af lokaliteterne.

Ovenstående eksempler fra Fyn, Ribe, Ringkjøbing og Århus amter underbygger det billede der tidligere er dannet ud fra de generelle oplysninger om forureningstilstanden i danske vandløb. Det vurderes, at tendensen i disse 4 amter er repræsentativ for Fyn og Jylland som helhed. Og det vurderes, at rentvandsfaunaen inden for dette område generelt synes i fremgang. Der er ikke indrapporteret tilsvarende eksempler fra den øvrige del af landet.

Udvikling i sjældne og truede vandløbsarter

Skov- og Naturstyrelsen foretager med jævne mellemrum revision af den gældende rødliste over sjældne og truede arter i Danmark. En række af de rentvandskrævende arter indenfor døgnfluer, slørvinger og vårfluer er omfattet af Skov- og Naturstyrelsens registrering. I forbindelse med den sidste

revision af listen (Rødliste 97), har mange arter ændret status. Specielt indenfor døgnfluer og slørvinger, men også i en vis udstrækning indenfor vårfluer, har dette betydet, at en del arter er fjernet fra listen. Disse arter anses nemlig nu for at være så almindelige, at der ikke længere er nogen grund til at opretholde arternes specielle status. Det kan dog ikke, for alle arterne der er fjernet fra rødlisten, afgøres om de reelt er blevet mere almindelige, eller om det blot er de sidste 10-15 års målrettede tilsyn med vandløbene som efterhånden har fremskaffet en langt større viden om vandløbsfaunaen i Danmark.

Udvikling i ørredbestanden i danske vandløb

På samme måde som for de rentvandskrævende smådyrarter kan ørreden også anvendes som en indikator for vandløbsmiljøet. Det er her muligt dels at lave en oversigt der er landsdækkende, og dels at sammenligne forskellige perioder, og derved få et indtryk af eventuelle udviklingstendenser i miljøtilstanden. Med udgangspunkt i udsætningsplanerne som udarbejdes af Danmarks Fiskeri Undersøgelser (DFU) har *Nielsen (1996)* foretaget en sammenligning af ørredbestandene i danske vandløb i perioderne 1982-87 og 1988-94. Sammenligningen er foretaget på 768 vandløbsstrækninger i højt målsatte vandløb (A, B1 og B2) over hele landet. I en del af disse vandløb foretages udsætning af ørred, men der er ikke foretaget udsætninger i de år, hvor der er foretaget undersøgelser af DFU, og i de øvrige år har udsætningerne været sammenlignelige i de to perioder.

Det samlede antal af ørred, såvel som antallet af yngel er gået signifikant frem fra 1982-87 til 1988-94. Dette gælder for landet som helhed, hvor der i 1982-87 kun blev fundet ørredyngel på 42% af de undersøgte strækninger, mens der i 1988-94 blev fundet ørredyngel på 60% af strækningerne.

Ørredbestandene i de enkelte landsdele er næsten alle steder gået frem, og kun i den nordvestlige del af Jylland har det ikke været muligt at eftervise nogen udvikling i ørredbestanden. Fremgangen i ørredbestandene for Danmark som helhed må ses som en klar indikation af at vandkvaliteten såvel som vandløbskvaliteten generelt er forbedret i de A- og B-målsatte vandløb.

4.6 Målsætninger for vandløb - er de opfyldt?

Status og udvikling

I Danmark findes i alt 24570 km målsatte vandløb.

Vurdering af om vandløbene opfylder den fastsatte målsætning, er i det følgende foretaget ud fra kravet til forureningsgrad/faunaklasse og baseret på amternes regionale temarapportering i 1997.

På landsplan blev der i perioden 1993-96 foretaget undersøgelse af 21233 km vandløb. Heraf havde 9463 km vandløb målsætningen opfyldt (44.6%). Der var imidlertid betydelig forskel mellem de enkelte dele af landet, idet der på Sjælland, Lolland og Falster var mindre end en fjerdedel af vandløbene der havde målsætningen opfyldt (22.6%), mens målsætningerne i Jylland var opfyldt i ca. halvdelen af vandløbene (49.3%). På Fyn var 36.9% af målsætningerne opfyldt. Der var tilsyneladende en større del af vandløbene med opfyldt målsætning på Bornholm (80%). Forklaringen skal til dels søges i, at der på Bornholm kun er ført tilsyn med de højt målsatte vandløb (A-og B-målsatte). Men en medvirkende årsag til den høje grad af målopfyldelse er dog også, at vandløbene på Bornholm generelt har meget fine fysiske forhold, samtidigt med at der ikke udledes spildevand fra bymæssige bebyggelser.

Fordelelingen i opfyldelse af vandløbenes målsætninger afspejler vandløbenes generelle miljøtilstand som beskrevet i Kapitel 4.2. Selvom der er væsentligt flere vandløb på Sjælland, Lolland og Falster med lempede målsætninger med lavere krav til forureningstilstanden, er målopfyldelsen væsentligt lavere i den østligste del af landet (tabel 4.1).

Målopfyldelsen varierer i vandløb mindre og større end 2 meter. For seks amter, hvorfra denne skellen er mulig, var målopfyldelsen 37% i de små vandløb, mens den var 47% i de større vandløb. Forskellen i målopfyldelse mellem små og større vandløb afspejler den tidligere beskrevne forskel mellem forureningstilstanden i små og større vandløb.

Årsager til at målsætninger ikke er opfyldt

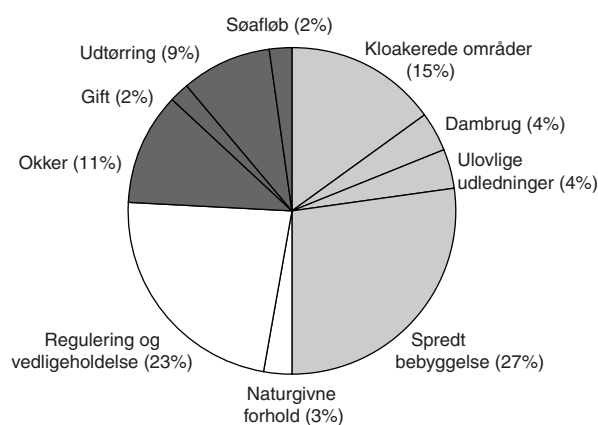
De enkelte amter har i forbindelse med Temarapporteringen vurderet årsager til manglende opfyldelse af målsætningerne.

Tabel 4.1. Målsætninger og målsætningsopfyldelse (km vandløb). Den procentvise andel som opfylder målsætningerne i de enkelte regioner er vist. Kun 10 amter samt Københavns Kommune indgår i sammenstillingen. 1) Københavns Kommune, Roskilde Amt, Vestsjællands Amt og Storstrøms Amt. 2) Sønderjyllands Amt, Ribe Amt, Århus Amt, Ringkjøbing Amt og Viborg Amt. 3) Udeladt på grund af meget begrænset tilsyn med vandløbsstrækninger med lempet målsætning. 4) Bornholm udeladt af det samlede gennemsnit - se 3).

Målsætninger og målsætningsopfyldelse, 1993 - 96.						
Region	Skærpet målsætning (A)		Basis målsætning (B)		Lempet målsætning (C, D, E og F)	
	km vandløb	% opfyldt	km vandløb	% opfyldt	km vandløb	% opfyldt
Sjælland, Lolland og Falster 1)	215	59	2241	21	2745	6
Bornholm	3	100	248	68	815	- 3)
Fyn	60	85	1140	36	97	21
Jylland 2)	645	70	8769	44	1683	53
Hele landet (10 amter)	923	69	12398	40	5340	20 4)

delse af målsætninger. Opgørelsen er landsdækkende, bortset fra Nordjyllands Amt, der ikke har kvantificeret årsagerne til manglende målopfyldelse. Amterne har fagligt vurderet, "hovedårsagen" til manglende målopfyldelse. Flere amter har dog gjort opmærksom på, at i langt de fleste tilfælde, er der tale om en kombination af flere årsager. Især i forbindelse med "dårlige fysiske forhold", kan det være vanskeligt at afgøre om hovedårsagen er en tidligere regulering eller om det er en nuværende hårdhændet vedligeholdelse der fastholder vandløbet i en fysisk dårlig tilstand.

Årsagerne til at målsætningerne ikke er opfyldt i 10691 km vandløb i 1993-96 er vist i figur 4.7. De primære årsager angives af amterne som spildevand (49%), dårlige fysiske forhold (27%), mens øvrige årsager tilsammen udgør 24%.



Figur 4.7. Årsager til manglende målopfyldelse i danske vandløb i 1993-96. Der er ingen oplysninger fra Nordjyllands Amt. Mørk grå signatur angiver den del af vandløbene som ikke har målsætningen opfyldt på grund af spildevand. Lys grå signatur angiver tilsvarende den del, hvor de fysiske forhold er årsagen, mens sort angiver andre årsager til manglende målopfyldelse.

Spildevandets betydning

Spildevand angives i 9 amter som den primære årsag til manglende målopfyldelse. På landsplan er det 5244 km vandløb (49%) som ikke opfylder målsætningen af denne årsag. Trods den generelle tendens er der visse geografiske forskelle, idet spildevand på Sjælland, Lolland og Falster samlet vurderes at være årsagen i 72% af vandløbene, mens spildevand på Fyn og i Jylland kun vurderes at være den primære årsag på 43% af vandløbsstrækningerne. På Bornholm vurderes spildevand kun som et problem i 4% af de højt målsatte vandløb.

Spildevand fra spredt bebyggelse vurderes på landsplan at være den væsentligste årsag til manglende målopfyldelse i ca. 27% af vandløbene. Spildevand fra kloakerede områder, dambrug og ulovlige udledninger udgør tilsvarende 15%, 3,5% og 3,5% af årsagerne til manglende målopfyldelse.

Der er betydelige geografiske forskelle i betydningen af de enkelte spildevandstyper. Således vurderes spildevand fra kloakerede områder fortsat at være det væsentligste spildevandsmæssige problem i de fleste Sjællandske amter, samt i Viborg Amt. I modsætning hertil betragtes spildevand fra spredt bebyggelse som det væsentligste spildevandsmæssige problem i Storstrøms Amt, på Fyn, samt i 5 ud af de 6 jyske amter der har lavet en vurdering. Spildevand fra dambrug forekommer kun i Jylland, men betragtes især i Ribe og Ringkjøbing amter som et kvantitativt større problem end i de øvrige amter, idet andelen med manglende målopfyldelse som følge af dambrug her udgør ca. 13%. Ulovlige udledninger betragtes på landsplan ikke som noget større miljømæssigt problem. I Viborg Amt betragtes ulovlige udledninger dog som den væsentligste spildevandsmæssige årsag, og vurderes her at være mere betydende end udledninger fra kloakerede områder og spredt bebyggelse tilsammen.

Dårlige fysiske forhold

Dårlige fysiske forhold vurderes på landsplan, at være den primære årsag til manglende målopfyldelse i ca. 2860 km vandløb (27%). I 4 amter vurderes dårlige fysiske forhold således som den dominerende årsag til ringe miljømæssige forhold i vandløbene (Roskilde, Bornholm, Vejle og Viborg amter). Men også i hovedparten af de øvrige amter vurderes dårlige fysiske forhold at have væsentlig betydning.

Set på landsplan betragtes vandløbsregulering og hårdhændet vandløbsvedligeholdelse som de to væsentligste årsager til dårlige fysiske forhold. Det kan være vanskeligt at adskille, i hvilken udstrækning en tidligere regulering eller en nuværende hårdhændet vedligeholdelse er den primære årsag til nuværende dårlige fysiske forhold i et vandløb. Flere amter har derfor ikke ønsket at skelne mellem

disse to alternativer, men har blot oplyst, at en bestemt del af vandløbene har dårlige fysiske forhold. De øvrige amter vurderer samlet, at vandløbsregulering og hårdhændet vedligeholdelse er nogenlunde lige betydende elementer. Men amterne foretager tilsyneladende vurderingen ret forskelligt. I Vejle og Århus amter tillægges betydningen af tidligere regulering og nuværende vandløbsvedligeholdelse således meget forskellig betydning (bilag 4.9). Det må dog umiddelbart forventes, at problemerne er sammenlignelige i disse to amter.

Der skal derfor ikke yderligere forsøges at skelne mellem regulering og vedligeholdelse. Men det skal pointeres, at amterne samlet vurderer, at årsagen til manglende målopfyldelse i godt en fjerdedel af vandløbene skyldes dårlige fysiske forhold.

Andre årsager

Andre årsager til at vandløbene ikke opfylder målsætningerne er fundet på 2575 km vandløb (24%). De væsentligste enkeltårsager er okker (11%) og udtørring (9%). Okker betragtes stort set ikke som et miljømæssigt problem på Sjælland, Lolland, Falster og Fyn, men er i det vestlige Jylland en væsentlig årsag til at vandløbene ikke kan opfylde målsætningerne. Okkerproblemerne er især store i Sønderjyllands Amt, Ribe Amt, Ringkjøbing Amt og Viborg Amt. I disse 4 amter er det okker som forårsager, at 8-18% af vandløbene ikke kan opfylde de fastsatte målsætninger.

Udtørring som årsag til manglende målopfyldelse tilskrives noget forskellig betydning i de enkelte amter. Forklaringen skal nok søges i, at amterne dels har anvendt data fra forskellige år i perioden 1993-96. Men derudover er tætheden af stationsnettet i de øverste vandløbsspidser nok noget varierende i amterne. Dette medfører, at udtørring som årsag til manglende målopfyldelse utvivlsomt vurderes noget forskelligt i de enkelte amter. Det generelle billede er dog, at udtørring især betragtes som et problem i vandløbene i de østdanske vandløb (overvejende lerjorde), mens udtørring næsten ikke registreres i vestjyske vandløb (overvejende sandjorde).

Forgiftninger (især insekt- og ukrudtbekæmpelsesmidler) betragtes af amterne ikke som noget væsentligt miljømæssigt problem for vandløb i Danmark. Eneste undtagelse er dog Fyns Amt, hvor forgiftninger vurderes at forekomme i ca. 15% af vandløbsstrækningerne. Denne forskel kan være reel, idet Fyn som helhed har intensiv landbrugsdrift, og specielt har den største koncentration af gartnerier i Danmark. Problemet omfang kan dog være overset i de øvrige amter, hvor tilsynet foretages med 2-4 års intervaller.

Påvirkning af miljøtilstanden som følge af udskylning af planktonalger (søeffekt) udgør også kun en meget begrænset årsag til at vandløbene ikke opfylder deres målsætning. Til gengæld er der i disse tilfælde ofte tale om store vandløb, og f.eks. er lange strækninger af Gudenåens hovedløb påvirket af planktonalger, specielt på strækningen fra Silkeborg til Randers.

4.7 Sammenhæng mellem påvirkninger og miljøkvaliteten i vandløb

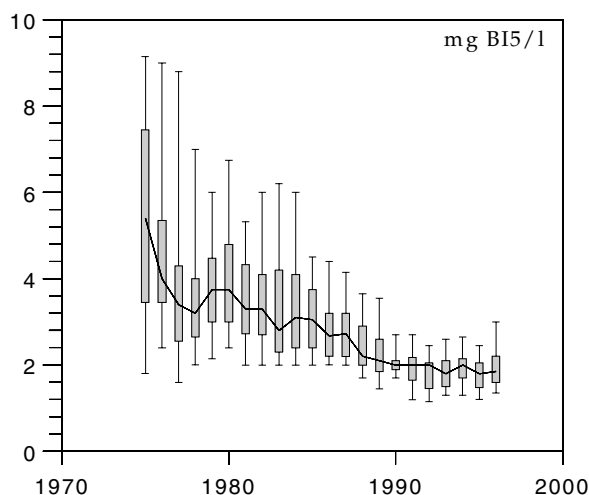
Der gives i det følgende en sammenstilling af de væsentligste sammenhænge mellem påvirkning og tilstand i miljøkvaliteten, samt udvikling i de enkelte påvirkende faktorer.

Organisk stof (BI5) - effekt samt udvikling i udledninger til vandløb

Sammenhæng mellem koncentrationen af letomsætteligt organisk stof og forureningsgraden i vandløb er beskrevet af *Andersen & Jensen (1981)*, der fandt, at indholdet af organisk stof havde afgørende betydning for smådyrfaunaens arts- og individualsammensætning, og dermed også for forureningsgraden i vandløb. Mængden af letomsætteligt organisk stof virker dels gennem et øget iltforbrug som følge af bakteriel omsætning. Men derudover også ved at det organiske stof ændrer substratet, bl.a. gennem aflejring af slam og dannelse af fedtede belægninger af bakterier og andre mikroorganismer.

Udbygningen af renselanlæg har gradvist nedbragt belastningen med BI5 til vandløb. I de sidste 10 år er udledningen fra punktkilder til ferskvand således reduceret betydeligt, og udgør i 1996 typisk 20-25% af niveauet i midten af 1980'erne. I den samme periode er BI5-indholdet faldet markant i vandløbene (figur 4.8). Vandløb med lange tidsserier af BI₅-målinger er overvejende større vandløb, hvoraf langt de fleste er placeret i Fyns- og Århus amter. De er ikke nødvendigvis repræsentative for danske vandløb, for så vidt angår det absolutte BI5-niveau, men niveauet og udviklingstendensen er dog næsten identiske når vandløbene på Fyn og i Århus Amt betragtes hver for sig. Vurderet på landsplan er tendensen i BI5-indholdets udvikling utvivlsomt repræsentativ for danske vandløb.

Indholdet af BI5 i mange af de større vandløb, er i dag så lavt, at der kun i begrænset omfang kan opnås yderligere reduktioner. Derimod må der fortsat kunne forventes begrænsninger i BI5-indholdet i en del af de mindre vandløb. Dette vil primært kunne ske gennem indsats over for spildevandet fra den spredte bebyggelse. En forbedring i miljøtilstanden i de små vandløb kan derfor forventes i takt med ovennævnte indsats.



Figur 4.8. Udvikling i BI5-indholdet i større danske vandløb. De fleste vandløb er placeret i Århus og Fyns amter. Der er derudover enkelte vandløb fra Vejle, Ringkjøbing og Storstrøms amter. Der indgår data fra 41-63 vandløb hen gennem perioden. I 1975 blev der dog kun målt i 20 vandløb.

Vandløbets fysiske forhold - betydningen af varierede bundforhold

Danske vandløb er helt frem i nyere tid blevet reguleret og rørlagt. Dette er sket i takt med at landskabet har ændret karakter hen mod den nuværende intensive landbrugsform, hvor jorden næsten overalt er meget veldrænet. Ud af de målsatte vandløb, som på landsplan udgør ca. 24.600 km, har kun ganske få procent undgået fysiske indgreb. De fleste af disse vandløb er beliggende i skov- eller naturområder uden afvandingsmæssige interesser.

Ud over egentlige reguleringsindgreb er der tillige blevet foretaget omfattende fjernelse af vandløbets grøde for at sikre de afvandingsmæssige forhold. Grødeskæringen var frem til begyndelsen og midten af 1980'erne meget omfattende, hvor det var normalt at fjerne al grøde fra vandløbets bund, samt klippe vegetationen på brinkerne. I mange vandløb blev der endvidere periodisk foretaget opgravning af uønskede slam- og sandforekomster, men mange steder er også grus- og stenforekomster blevet fjernet.

Disse indgrebs effekt på de biologiske forhold i vandløbsmiljøet har længe været kendt, og der er gennem de sidste 10-15 år foretaget en række tiltag for at forbedre det fysiske vandløbsmiljø. Sådanne restaureringsprojekter er foretaget mange steder primært med henblik på at forbedre forholdene lokalt, f.eks. ved etablering af stryg i stedet for styrt, ved udlægning af sten og grus, eller ved opgravning af rørlagte vandløbsstrækninger (tabel 4.2). Andre steder foretages noget mere omfattende restaureringer.

ger, idet lange udrettede vandløbsstrækninger får sine snoninger tilbage. De største af denne type projekter er foretaget i Sønderjyllands Amt. Ud over opgørelsen i tabel 4.2 er der også i en del kommuner foretaget mindre restaureringsprojekter.

Efter vedtagelse af den nye Vandløbslov skal vandløbsvedligeholdelsen fremover både tilgodese afvanding såvel som miljømæssige forhold. Dette har medført, at vedligeholdelsen for en stor del er blevet ændret. Frem til midten af 1980'erne blev denne oftest foretaget hårdhændet i amtsvandløbene (større vandløb), men vedligeholdelsen er nu ændret, således at skånsom vedligeholdelse nu foretages de fleste steder (tabel 4.3). Hårdhændet vedligeholdelse opretholdes kun så vidt der ikke er andre alternativer. Det typiske amtsvandløb er derfor i løbet af ca. 10 år ændret fra et langsomtløbende "overbredt" vandløb med bunden domineret af ustabil sand, til et noget smallere vandløb med undervandsvegetation, strømrende og et mere varieret og stabilt bundsubstrat.

Tabel 4.2. Antallet af restaureringsprojekter i større danske vandløb 1982-1996. Data fra Hansen & Kronvang (1997).

Restaureringstype	Antal Projekter
Forbedring af fysiske forhold på kortere vandløbsstrækninger (f.eks. udlægning af gydegrus)	181
Genskabelse af forbindelse mellem vandløbsstrækninger (typisk etablering af stryg)	740
Integreret restaurering af vandløb og ådal.	15
I alt	936

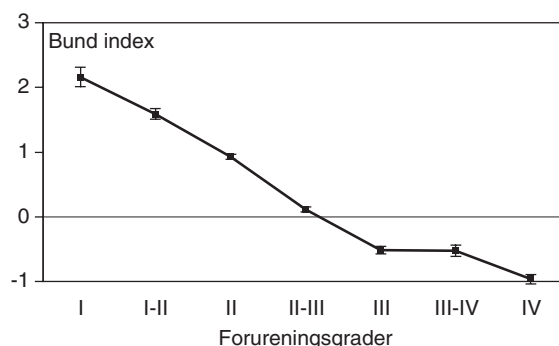
Tabel 4.3. Udvikling i vedligeholdelsespraksis (%) i større vandløb (amtsvandløb) i perioden 1985-96. Vedligeholdelsestypen er opdelt i 4 typer afhængigt af omfanget af fjernelsen af bund- og kantvegetation. Data fra Baattrup-Pedersen (1997).

Vedligeholdelsespraksis	1985	1990	1996
Hård: Vedligeholdes efter skikkelses-princippet ved fjernelse af en mindre del af bund- og kantvegetation.	50	14	7
Almindelig: Vedligeholdes efter strøm-rendeprincippet ved fjernelse af en væsentlig del af bund- og kantvegetation.	24	35	41
Skånsom: Vedligeholdes efter strømrendeprincippet ved fjernelse af en mindre del af bund- og kantvegetation.	21	45	45
Ingen: Vandløb som friholdes for (regelmæssig) grødeskæring.	5	6	7

Vedligeholdelsen i de kommunale vandløb (mindre vandløb) er også lagt om, men ændringen er dog de fleste steder foretaget senere end i amtsvandløbene, og der er fortsat en del kommuner som kun i begrænset omfang har ændret vedligeholdelsen.

Den generelle ændring i vedligeholdelse har skabt bedre forhold, ikke kun for planterne, men også for smådyr og fisk. Trods de umiddelbart synlige ændringer i vandløbene, er der kun i meget begrænset omfang foretaget undersøgelser, der har haft til hensigt at dokumentere effekterne af den ændrede vedligeholdelse. Langt hovedparten af de steder, hvor amterne har konstateret forbedringer i de biologiske forhold, er der således både sket betydelige forbedringer i de spildevandsmæssige forhold, såvel som ændringer hen imod et mere fysisk varieret vandløbsmiljø. En enkelt undersøgelse konkluderer dog, at antallet af ørred i de større fynske vandløb er gået frem som følge af bedre fysiske forhold efter indførelse af skånsom vandløbsvedligeholdelse (Wiberg-Larsen et al., 1994). Smådyrarter knyttet til forekomst af sten og grus, f.eks. en del af de egentlige rentvandsdyr, bliver dog også mere hyppige i takt med at ustabil sandbund ændres til stabile forekomster af grus og sten (Århus Amt, 1994).

Betydningen af varierede fysiske forhold kan illustreres ud fra de oplysninger amterne indsamler i forbindelse med de biologiske vandløbsbedømmelse. Informationen om de fysiske forhold er sammenstillet i et indeks (Friberg & Græsbøll, in prep.), således at vandløb med varierede bundforhold får en høj score, mens vandløb med ensartede bundforhold får en lav score. Sammenhængen mellem bundforhold og forureningsgrad er vist på data fra amternes regionale tilsyn i perioden 1989-92 (figur 4.9). Det ses, at der er en klar tendens til, at en tilfredsstillende miljøtilstand (forureningsgrad I, I-II og II) er koblet til vandløb med varierede fysiske forhold.



Figur 4.9. Sammenhæng mellem fysisk indeks (bundindeks) og forureningsgraden i mindre vandløb (0-2 meters bredde). En høj værdi af det fysiske indeks illustrerer at vandløbet har varierede bundforhold med både grus og sten (DMU, in prep.).

I Århus Amt er der på tilsvarende vis opstillet et indeks, hvorefter vandløbet tildeles en pointscore (*Århus Amt, 1997*), mens der i Vejle Amt anvendes en subjektiv klassifikation for vandløbets fysiske forhold (*Vejle Amt, 1997*). I både Århus- og Vejle amter anvendes de kondenserede fysiske beskrivelser som et led i det administrative arbejde med vandløbene.

Det må konkluderes, at der på nuværende tidspunkt er tilstrækkeligt med dokumentation, der peger på, at vandløbenes fysiske variation er af stor betydning for både smådyrlivet (forureningsgraden) og for tætheden af ørred.

Såfremt spildevand og dårlige fysiske forhold fungerer i kombination, kan årsagen til en dårlig miljøtilstand på nuværende tidspunkt imidlertid kun fastsættes ud fra en rent faglig (subjektiv) vurdering.

Okker

Okker i vandløb forekommer primært i områder, hvor dræning har forårsaget iltning og senere udvaskning fra jernholdige forbindelser (især pyrit), som inden sænkningen af grundvandstanden var bundet i jorden.

Faunaen i stærkt okkerpåvirkede vandløb er meget individ- og artsfattig. Okker påvirker formentlig faunaen på flere måder. Dels som en direkte påvirkning fra ferro-jern (Fe^{2+}), og det er konstateret, at hovedparten af slørvinge- og døgnfluearterne, samt en lang række af de øvrige smådyrarter forsvinder ved stigende indhold af ferro-jern (*Rasmussen & Lindgaard, 1988*). Men derudover virker okkerforbindelser også ved en generel ødelæggelse af de substratmæssige forhold. På alle faste substrater udfældes okker som en rødbrun belægning, og på steder med strømlæ udsedimenteres okkerslam. Som følge heraf ændres livsbetingelserne for mange af vandløbets planter og dyr.

Okker er især et problem i de vestlige dele af Jylland, hvor f.eks. 18% af vandløbene i Ribe Amt er så okkerbelastede, at faunaen er væsentligt forarmet.

Der er foretaget forskellige indgreb for at begrænse udledningen af okkerforbindelser til vandløb. For det første er antallet af dræninger i okkerpotentielle områder næsten ophørt. Årsagen er dels at der ikke længere ydes offentlige tilskud til dræning, og dels at amterne i en række tilfælde har nedlagt forbud mod nye dræninger. Okkerudvaskningen fra de drænedede områder fortsætter imidlertid i en årrække, og der er derfor en del steder foretaget okkerbegrænsende foranstaltninger inden drænvandet løber til vandløb, mens der

andre steder foretages okkerbekæmpelse i selve vandløbet.

Forsuring

Amterne betragter generelt ikke forsuring som noget problem i danske vandløb. I visse specielle situationer kan lavt pH dog give anledning til en forarmning af faunaen. Dette gælder f.eks. i forbindelse med udledning af vand fra brunkulslejer, samt ved dræning af lavalkaliske jorder bl.a. visse mose- og okkerpotentielle områder. Derudover kan forsuring også forekomme i nåleskovsvandløb på sandjord. Faunaen vil i disse vandløb i visse tilfælde være begrænset til forekomst af ganske få smådyrarter, bl.a. visse forsuringstålende slørvinger.

Udtørring

Mange små vandløbsspidser udtørres helt eller delvist i sommerperioden, og udtørring har for landet som helhed været årsagen i 9% af de tilfælde, hvor målsætningen ikke er opfyldt. Faunaen i disse vandløb er typisk meget artsfattig, og minder meget om den fauna, der ses i vandløb som har været udsat for forgiftning. Vandløb der jævnligt udtørres, kan derfor kun i særlige tilfælde have en fauna, som opfylder kravet til en A-(skærpet) eller B-(basis) målsætning, idet kravet her som minimum vil være forureningsgrad II. Undtagelsen ses i rene skovvandløb, hvor der findes smådyrarter - specielt visse rentvandskrævende arter af slørvinger - som er tilpasset til periodisk udtørring.

Gift

Forgiftning af vandløb reducerer faunaen, og kan i visse tilfælde udrydde hele smådyrfaunaen, samt bestanden af fisk. Afhængigt af den udledte type af gift kan effekten være meget specifik, og ved udledning af insekticider ses således typisk en elimination af insekter og krebsdyr, mens igler og snegle ikke påvirkes. Genindvandringen af tidligere eliminerede arter kan tage meget lang tid, og er i høj grad afhængig af lokalt betingede forhold. Faunasammensætningen kan derfor være ændret for en årrække selv om forgiftningen for længst er ophørt (*Fyns Amt, 1997*).

Det er på nuværende tidspunkt vanskeligt at afgøre omfanget og udviklingstendensen af forgiftninger i vandløb. Kun på Fyn vurderer amtet, at forgiftninger udgør et væsentligt problem. Men mange steder kan en halvdårlig faunatilstand være forårsaget af tidligere forgiftninger.

4.8 Forbedring af miljøtilstanden i vandløb: Fremtidig indsats

Til trods for de forbedringer der allerede er sket i danske vandløb, er der fortsat lang vej til at alle målsætninger er opfyldt. Således er målsætningen i

ca. 55% af alle vandløbsstrækninger endnu ikke opfyldt. En meget stor del af vandløbene er imidlertid tæt på de fastsatte krav, idet over 7000 km vandløb har forureningsgrad/faunaklasse II-III. En målrettet indsats vil derfor medføre, at målsætningen, inden for en overskuelig periode, vil kunne opfyldes i mange danske vandløb.

På det spildevandsmæssige område er det især udledninger fra spredt bebyggelse, der betragtes som hovedårsagen til at mange vandløbsmålsætninger ikke kan opfyldes. På landsplan vurderes udledning af spildevand fra spredt bebyggelse således at være årsagen til manglende målopfyldelse i ca. 2500 km vandløb. Især i mindre vandløb kan udledning fra spredt bebyggelse medføre at miljøtilstanden er utilfredsstillende. Rensning af spildevandet fra spredt bebyggelse forventes især i mange mindre vandløb at medføre, at tilstanden vil forbedres i en sådan grad, at målsætningen i fremtiden vil kunne opfyldes.

Trods en omfattende indsats med rensning af spildevandet fra kloakerede områder, er udledning herfra dog fortsat mange steder et væsentligt problem. Det drejer sig her specielt om udledning af fortyndet spildevand via overløbsbygværker i forbindelse med nedbør. Selv om disse udledninger kun er af periodisk karakter, kan miljøtilstanden i vandløb være påvirket i betydeligt omfang. Derudover vil forbedret spildevandsrensning på eksisterende anlæg, samt afskæring af spildevandet fra små dårligt fungerende anlæg til større velfungerende anlæg ofte kunne forbedre miljøtilstanden i vandløb.

Rensning af spildevandet fra dambrug er forbedret betydeligt i de senere år, og udledning fra dambrug vurderes af amterne kun at være årsagen til manglende målopfyldelse i ca. 5% af de jyske vandløb. På lokalt plan er dambrug dog visse steder en betydende faktor, og udgør i en række vandløb den eneste forureningskilde af betydning. Opfyldelse af målsætningen kan i disse vandløb betyde, at det er nødvendigt at stille skærpede krav til dambrugene i forhold til kravene i den hidtidige bekendtgørelse. Dette kan ske i forbindelse med udarbejdelse af nye miljøgodkendelser til de enkelte dambrug.

Ulovlige udledninger af møddingsvand, gylle og ensilagesaft er næsten bragt til ophør som følge af den intensive indsats, der er foretaget af kommuner og amter over hele landet. Udledning af gylle forekommer dog fortsat, men primært som følge af uheld og utilsigtede hændelser i forbindelse med overpumpning af gylle fra gyllebeholder til gyllevogn. Disse begivenheder medfører imidlertid ofte betydelig skade som følge af, at der typisk undslipper mange tons gylle i et begrænset tidsrum.

Det er derfor vigtigt, at det sikres, at opbevaring og håndtering af husdyrgødningen foregår med mindst mulig risiko for miljøet.

Dårlige fysiske forhold vurderes af amterne som den næsthyppigste årsag til manglende målopfyldelse, idet godt 2000 km vandløb er væsentligt påvirket som følge af tidligere regulering og/eller nuværende hårdhændet vedligeholdelse.

Ændret vandløbsvedligeholdelse har allerede forbedret de fysiske forhold i en stor del af de større vandløb. I de mindre vandløb kan de fysiske forhold imidlertid mange steder forbedres betydeligt. Især fordi mange kommuner kun i begrænset omfang er påbegyndt den skånsomme vandløbsvedligeholdelse.

Udlægning af gydegrus og sten kan lokalt forbedre de fysiske forhold i vandløbene, og bl.a. skabe mulighed for gydning af ørred. Disse tiltag bør primært anvendes i tilfælde, hvor forholdene ikke af sig selv kan ændres efter indførelse af skånsom vandløbsvedligeholdelse.

Egentlige restaureringer af vandløb, hvor det fysiske forløb genskabes over længere strækninger, er meget omkostningskrævende, og antallet af sådanne projekter har indtil videre været relativt begrænset. En generel forbedring af de fysiske forhold i danske vandløb skal derfor ikke forventes ud fra restaureringsprojekter. Men restaurering kan i visse tilfælde være eneste mulighed for genetablering af vandløbenes meandrerende forløb i ådalen, og restaureringsindgreb skal derfor vurderes ud fra en mere helhedsorienteret betragtning, hvor der desuden lægges vægt på den rent æstetiske side.

Fjernelse af spærringer har længe haft høj prioritet i amterne, og har i løbet af de sidste 10-15 år øget de tilgængelige vandløbsstrækninger for vandløbsfaunaen. Der er dog stadig mange vandløb med hel eller delvis faunaspærring, og arbejdet med fjernelse af disse bør fortsat have høj prioritet.

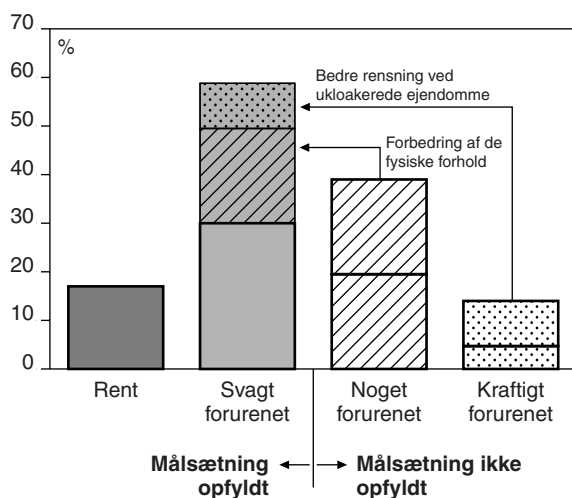
Marginalisering af landbrugsjord kan på længere sigt også give mulighed for forbedring af vandløbenes miljømæssige forhold. Dette kan bl.a. ske gennem udlægning af bredere dyrkningsfri bræmmer langs vandløb. Det kan herved sikres, at både vandkvalitet og fysiske forhold forbedres, idet både forurenende stoffer samt jord- og sandpartikler fra overfladisk afstrømning vil fjernes inden udløb til vandløbet. Derudover vil gift fra sprøjtning af afgrøder i betydeligt omfang kunne hindres i at nå frem til vandløb. Udlægning af bredere bræmmer bør foretages ud fra en konkret vurdering af det enkelte vandløb, og bør prioriteres ud fra en samlet vurdering af ovenstående risici.

Ved marginalisering af okkerpotentielle områder kan der opnås en forbedring af vandkvaliteten. Dette kan ske ved hævnning af grundvandstanden, hvorved udledning af okkerforbindelser vil blive betydeligt reduceret.

Egentlig naturgenopretning, hvor vandløbet får mulighed for at genvinde sin naturlige dynamik, bør især prioriteres i de større vandløb. Der vil her være mulighed for at vandløbene kan oversvømme de omgivende arealer. Herved kan der således periodisk foregå en betydelig sedimentation af uorganisk og organisk materiale.

På nuværende tidspunkt har ca. 45% af de danske vandløbsstrækninger så god en vandkvalitet, samt så gode fysiske forhold, at målsætningen er opfyldt.

Spørgsmålet er hvor store forbedringer der kan forventes i vandløbene, såfremt der foretages yderligere tiltag som beskrevet i det foregående, herunder forbedret spildevandsrensning fra spredt bebyggelse og kloakerede områder, samt ved yderligere forbedring af vandløbenes fysiske forhold. Vejle Amt (1997) har foretaget en vurdering af effekten af ovenstående tiltag, og fandt at tilstanden på sigt kan forbedres, således at målsætningen kan opfyldes i ca. 75% af amtets vandløb (figur 4.10).



Figur 4.10. Vandløbenes nuværende miljøtilstand i Vejle Amt. Forventede forbedringer i miljøtilstanden er angivet dels ved bedre spildevandsrensning af ukloakerede ejendomme, og dels efter forbedring af vandløbenes fysiske forhold (fra Vejle Amt, 1997).

I store træk kan figuren anvendes som illustration af de mulige ændringer på landsplan. Der kan således forudses betydelige forbedringer i målopfyldelsen som følge af, at vandløb med tilstanden II-III ændres til II. På den anden side illustrerer figuren ligeledes, at mange vandløb ikke forventes at kunne forbedres mere end til forureningsgrad II-III (målsætning ikke opfyldt). Årsagen hertil er

primært, at disse vandløb ikke forventes at kunne opnå varierede fysiske forhold med sten- og grusbund, og vandløbene er som følge heraf ofte B3-målsat. På trods heraf opretholder de fleste amter krav om forureningsgrad II i B3-målsatte vandløb. Årsagen hertil er, at der i Miljøstyrelsen (1983) er fastsat en vejledende værdi på forureningsgrad II. Såfremt denne vejledende værdi fastholdes i de B3-målsatte vandløb betyder dette, at disse vandløb heller ikke på sigt kan forventes at komme til at opfylde deres målsætninger.

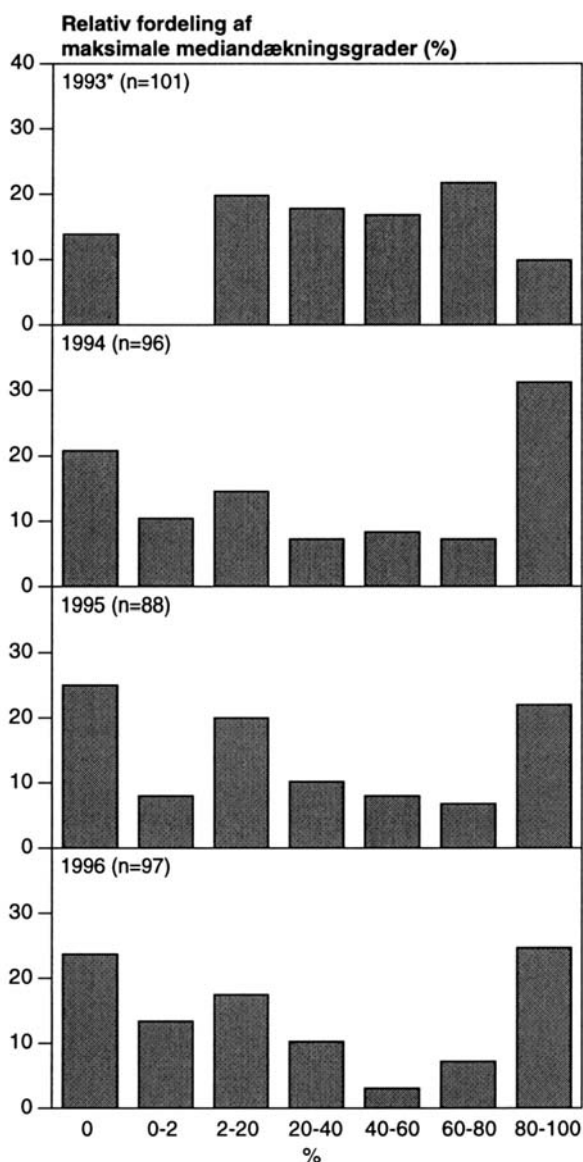
I forbindelse med den fremtidige tilsynsstrategi skal det endvidere pointeres, at det er vigtigt, at der anvendes en objektiv ensartet metode til biologisk vandløbsbedømmelse. Det vil dels være langt mere sikkert at foretage landsdækkende oversigter. Men også inden for det enkelte amt vil vurdering af udviklingstendenser kunne tillægges større troværdighed, såfremt der anvendes en objektiv metode. Det skal i denne sammenhæng pointeres, at en entydig adskillelse af forureningsgraderne II og II-III er af afgørende betydning for at vurdere om der i de kommende år sker den ønskede forbedring i tilstand og målsætningsopfyldelse i de danske vandløb. Netop denne adskillelse har vist sig at ændres gennem årene i en del af de amter, der har anvendt en subjektiv metode. Eksemplet fra Sønderjyllands Amt på hvorledes forskellige vurderinger af udviklingen i miljøtilstanden kan forekomme ud fra dels en subjektiv og dels en objektiv metode, understreger behovet for at anvende en entydig metode til fastsættelse af tilstanden ud fra en given faunasammensætning.

4.9 Trådalger i vandløb

I mange danske vandløb opblomstrer trådalger i sommerhalvåret, og kan periodevis udgøre den største del af vandløbenes vandplanter. Masseforekomster af trådalger vil kunne forarme både det fysiske vandløbsmiljø og den biologiske struktur i vandløbet. Trådalger vil, når de forekommer i stor mængde, skygge andre vandplanter væk, og de voldsomme iltsvingninger som trådalgeopblomstring bevirker, kan have negative konsekvenser for vandløbets faunasammensætning.

Trådalgevekst er fulgt på cirka 100 vandløbsstrækninger i Danmark i perioden 1993 til 1996 som en del af Vandmiljøplanens Overvågningsprogram for vandløb.

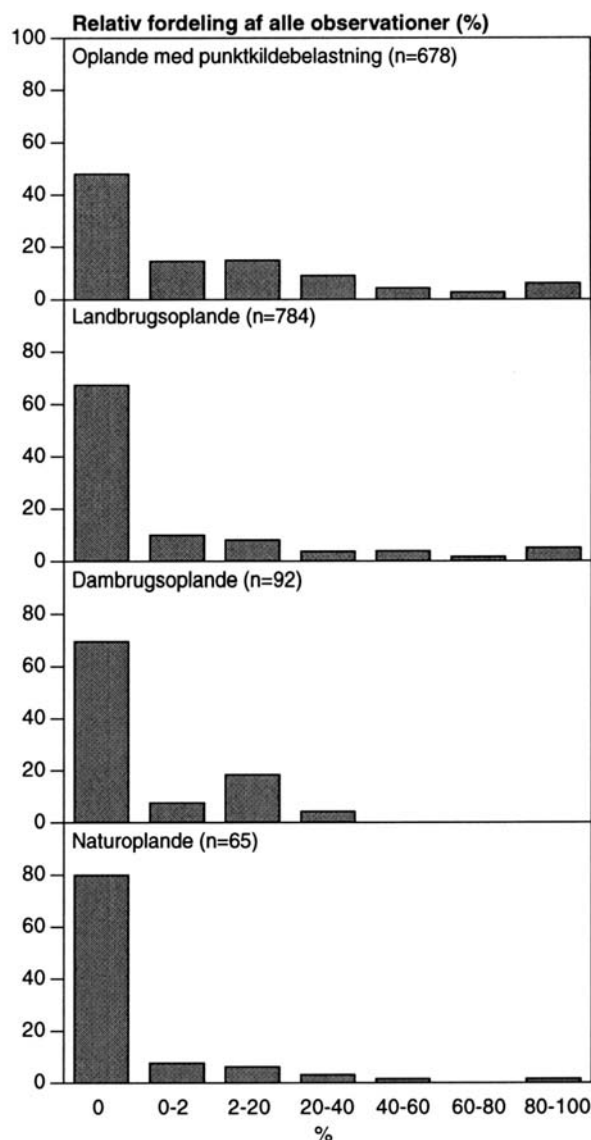
Formålet med trådalgeovervågningen er, på et stort antal vandløbsstrækninger, at klarlægge og følge trådalgers udbredelse i danske vandløb, samt eventuelt at skabe grundlag for at vurdere hvilke faktorer der har betydning for opblomstring af trådalger i danske vandløb.



Figur 4.11. Relativ fordeling af maksimal trådalge-dækningsgrad i 1993, 1994, 1995 og 1996 i overvågningsvandløbene. * I 1993 blev trådalgers dækningsgrad udtrykt som gennemsnitlige dækningsgrader, og dækningsgradsgruppen 0-2% var ikke med i den anvendte skala. I 1994, 1995 og 1996 blev trådalgers dækningsgrad udtrykt som median dækningsgrader. Antallet af observationer er vist i parentes.

Trådalger i vandløbene

Trådalgers maksimale dækningsgrader i overvågningsvandløbene er ikke ændret markant fra 1993 til 1996 (figur 4.11). I 1994, 1995 og 1996 er trådalgerne maksimale dækningsgrad udtrykt som mediane dækningsgrader, mens den maksimale dækningsgrad er udtrykt som en gennemsnitlig dækningsgrad i 1993. Derfor kan data fra 1993 kun med forsigtighed sammenlignes med data fra 1994, 1995 og 1996.



Figur 4.12. Relativ fordeling af trådalge-dækningsgrader i overvågningsvandløbene i forskellige oplandstyper. Antallet af observationer er vist i parentes.

I 1994, 1995 og 1996 findes der ikke trådalger i 20%-25% af vandløbene, mens trådalgerne maksimale dækningsgrad er større end 80% i 20%-30% af vandløbene. I de resterende dækningsgradsgrupper er der også kun sket minimale ændringer i de sidste tre år.

Overvågningsvandløbene er formodentlig ikke repræsentative for danske vandløb. Kriterierne ved udvælgelsen af vandløbene i 1992 var at de indgik i de overvågningsvandløb, hvor der i forvejen blev målt stoftransport, samt at det skulle tilstræbes, at trådalgestationerne var lysåbne og med relativ grov bund. Vandløbene er derfor ikke udvalgt med henblik på at skulle være repræsentative for danske vandløb.

Trådalger forekommer med forskellig hyppighed i forskellige typer vandløbsoplande (figur 4.12). Generelt forekommer trådalger hyppigst i vandløb beliggende i spildevands- og landbrugsoplande. Høje trådalgedækningsgrader (>20%) forekommer i 22% af de vandløb, der ligger i oplande med punktkildebelastning, i 15% af de vandløb, der ligger i landbrugsoplande, i 6% af de vandløb, der ligger i naturoplande og i 4% af de vandløb, der ligger i dambrugsoplande.

Trådalge-opblomstring i vandløbene

Opblomstring af trådalger er relateret til en række fysisk-kemiske og biologiske forhold i vandløbene. Internationale undersøgelser viser, at det ofte vil være en kombination af flere forhold, der kan være afgørende for trådalgers opblomstring (se bl.a. *Dodds, 1992* og referencer citeret heri).

I det følgende er valgt at analysere trådalgedata fra 1996 numerisk (*PCA-ordinationsanalyse; Principal Coordinates Analysis, Chatfield & Collins, 1980*). De tidligere år er data analyseret univariat v.h.j.a. forskellige regressionsmodeller i forsøget på at vurdere betydningen af forskellige fysisk-kemiske parametre for trådalgeopblomstring (*Græsbøll et al., 1994; Larsen et al., 1995; Baattrup-Pedersen, 1996*). Problemet med disse metoder er blot, at der kun kan undersøges for betydningen af én given variabel af gangen. Den numeriske analyse er en multivariat metode (se i øvrigt *Kent & Coker, 1992*), og udmærker sig ved at kunne vise betydningen af flere samtidigt virkende fysiske-kemiske faktorer for en given datagruppering samt deres relative betydning. Følgende fysisk-kemiske variable blev anvendt i analysen:

- Stensubstrat
- Grussubstrat
- Sandsubstrat
- Blød bund
- Beskygning
- Base-Flow Indeks (BFI)
- Strømhastighed (stillestående, ringe, jævn, god, frisk)
- N-total (tidsvægtet årsgennemsnit)
- P-total (tidsvægtet årsgennemsnit)

I alt indgik 68 vandløbsstrækninger i analysen. Resten blev frasorteret pga. mangelfulde oplysninger. For at overskueliggøre om opblomstringen direkte kan relateres til en eller flere af ovennævnte variable blev vandløbsstrækningerne inddelt i følgende to grupper: <20% (ingen opblomstring) og >20% (opblomstring). Resultatet af analyserne ses afbildet i bilag 4.11.

Der var dog ingen entydig gruppering af trådalgestationer i forhold til de fysisk-kemiske forhold,

hvilket klart understreger at flere af de medtagne variable har betydning for om trådalger opblomster i et givent vandløb. Primært substrat- og strømforhold ser ud til at have betydning, mens koncentrationerne af næringssaltene fosfor og kvælstof ser ud til at have langt mindre betydning. Risikoen for trådalgeopblomstring i overvågningsvandløbene ser således ud til at være størst i vandløb med store forekomster af sten og ringe strømhastighed.

4.10 Konklusion

Vandløbenes nuværende miljøtilstand

Miljøtilstanden i danske vandløb er belyst ud fra dels det nationale stationsnet (VMP-stationer) og dels det regionale miljøtilsyn. Andelen af upåvirkede eller svagt påvirkede vandløb (forureningsgrad I, I-II og II) udgør 37-39% af vandløbene. Den dominerende tilstand er vandløbsstrækninger med forureningsgrad II-III (moderat påvirkede), som på landsplan udgør ca. 39% af vandløbsstrækningerne. De kraftigt forurenede vandløb (forureningsgrad III, III-IV og IV) udgør ca. 23%.

Amterne anvender forskellige metoder i det regionale tilsyn med vandløbenes miljøtilstand. De fleste amter anvender en metode baseret på identifikation af dyrene i felten, og efterfølgende subjektiv fastsættelse af forureningsgraden. I en række af amterne har man konstateret et skred i den anvendte subjektive metode. Tendensen er at der er sket en skærpelse i vurderingen, specielt i afgrænsningen af forureningsgraderne II og II-III.

Tilstanden i det nationale stationsnet og tilstanden fra det regionale tilsyn er ikke helt overensstemmende. Årsagen hertil er primært, at stationerne i det nationale stationsnet ikke er repræsentative for danske vandløb, idet stationerne overvejende er placeret i større vandløb (bredere end 2 meter).

Miljøtilstanden i de små vandløb (0-2 meters bredde) er generelt dårligere end i større vandløb, hvor der kun findes ca. halvt så mange vandløbsstrækninger med forureningsgrad III, III-IV og IV.

Udvikling i vandløbenes miljøtilstand

- Vurdering af en eventuel udvikling i miljøtilstanden vanskeliggøres af anvendelsen af forskellige metoder på landsplan såvel som gennem årene. På trods heraf vurderes det, at der sker en generel udvikling mod en bedre miljøtilstand i hele landet. I perioden siden 1970 er antallet af kraftigt forurenede vandløb blevet mere end halveret. Forbedringer i miljøtilstanden har siden 1989-90 været mest markant i de større vandløb.

- Større udbredelse af visse rentvandskrævende smådyr, samt generel fremgang for ørred bekræfter forbedringer vurderet ud fra forureningsgrader.
- Udviklingen i de kommende år må i høj grad tilstræbes at blive forbedring i de ca. 7000 km vandløb, hvor tilstanden på nuværende tidspunkt er forureningsgrad II-III. Der bør i hele landet anvendes en ensartet objektiv metode til biologisk vandløbsbedømmelse.
- I 1994, 1995 og 1996 fandtes der ikke trådalger i 20-25% af overvågningsvandløbene, mens trådalgernes maksimale dækningsgrad var større end 80% i 20-30% af overvågningsvandløbene.
- Høje trådalgedækningsgrader (>20%) forekom i 22% af de vandløb, som ligger i oplande med punktkildebelastning, i 15% af de vandløb som ligger i landbrugsoplande, i 6% af de vandløb som ligger i naturoplande og i 4% af de vandløb som ligger i dambrugsoplande.

Målsætningsopfyldelse

- På landsplan er det kun ca. 45% af vandløbene der opfylder deres målsætning. Der er imidlertid stor geografisk variation. På Sjælland, Lolland og Falster er målopfyldelsen kun på godt 20%, mens den på Fyn og i Jylland er henholdsvis knapt 40% og ca. 50%.
- De væsentligste årsager til at vandløbene ikke opfylder deres målsætninger er spildevand fra spredt bebyggelse, udledning af dårligt rensat spildevand fra kloakerede områder, samt ringe fysisk variation i vandløbenes bundforhold.
- Hovedparten af de mange moderat forurenede vandløb (forureningsgrad II-III) kan forbedres gennem indgreb over for spildevand fra spredt bebyggelse (især mindre vandløb), samt gennem forbedringer af de fysiske forhold (både små og større vandløb). En stor del af de tidligere moderat forurenede vandløb forventes på denne måde at kunne forbedres til forureningsgrad II, hvorefter målsætningen typisk vil være opfyldt med hensyn til forureningsgraden. Der findes derudover en del vandløb (B3-målsætning), hvor det naturgivne potentiale for at opnå en god fysisk variation ikke er til stede, og hvor miljøtilstanden på sigt ikke kan blive bedre end forureningsgrad II-III. Disse vandløb kommer således ikke til at opfylde deres målsætning såfremt kravet hertil er forureningsgrad II.
- Forbedring af vandløbenes fysiske forhold vil primært kunne ske gennem skånsom vedligeholdelse. Denne er endnu ikke indført af alle kommuner. Derudover kan der i en række tilfælde foretages fysiske forbedringer ved gennemførelse af en egentlig vandløbsrestaurering, samt ved lokalt at udlægge bredere bræmmer og eventuelt helt at ophøre med intensiv landbrugsdrift på de vandløbsnære arealer.

En multivariat analyse af trådalgedata understreger at flere forhold har betydning for trådalgeopblomstring på overvågningsstationerne, men at risikoen for trådalgeopblomstring er størst i vandløb med store forekomster af sten og ringe strømhastighed.

Trådalger

- Trådalgers maksimale dækningsgrader i overvågningsvandløbene er ikke ændret markant fra 1993 til 1996.

5 Fosfor i vandløb og kilder

I vandmiljøet er fosfor sammen med kvælstof det vigtigste makronæringsstof for vækst af planktonalger, mikrobentiske alger, trådalger og højere planter. Et for stort indhold af fosfor i vandmiljøet har negativ betydning for miljøtilstanden i form af en stor vækst af især planktonalger i søer og om foråret i visse fjorde (Kristensen *et al.*, 1990; Borum *et al.*, 1990), men også af mikrobentiske alger i vandløb (Thyssen *et al.*, 1990).

I Vandmiljøplanens Overvågningsprogram måles koncentrationen af total fosfor og opløst fosfat hvert år med nærmere fastlagte mellemrum i omkring 260 vandløb, samt 58 kilder og kildebække, (se databind til denne rapport, kapitel 5).

Målingerne af fosfor i de mange vandløb og kilder gennemføres for at tilgodes flere formål:

- Opgøre fosfortilførslen til fjorde og åbne havområder.
- Opgøre fosfortilførslen til søer.
- Følge udviklingen i fosforindholdet i vandløb hvortil der udledes spildevand fra byer, industrier og dambrug.
- Følge udviklingen i fosforudledninger til vandløb og kilder fra det åbne land, herunder især udledningen fra spredt bebyggelse landbrugsarealer og naturarealer.

I dette temakapitel om fosfor gennemgås resultaterne af den landsdækkende overvågningsindsats i perioden 1989-96 med hovedvægten lagt på at beskrive udviklingen i fosforkoncentration og fosfortransport i danske vandløb og kilder. Årsagerne til den konstaterede udvikling analyseres nærmere, og der redegøres for den øjeblikkelige status for fosforkoncentrationen og -transporten i vandløb og kilder ud fra det seneste års målinger i 1996. Hovedkilderne til fosfors forekomst i vandløb og kilder opgøres og der lægges speciel vægt på en be-

skrivelse af fosforudledningerne fra det åbne land, specielt relateret til problematikken om fosfortab fra landbrugsjord. Afsluttende præsenteres de mulige effekter af at foretage forskellige tiltag overfor hovedkilderne til fosfor i vandløb i form af forskellige tænkte scenarier.

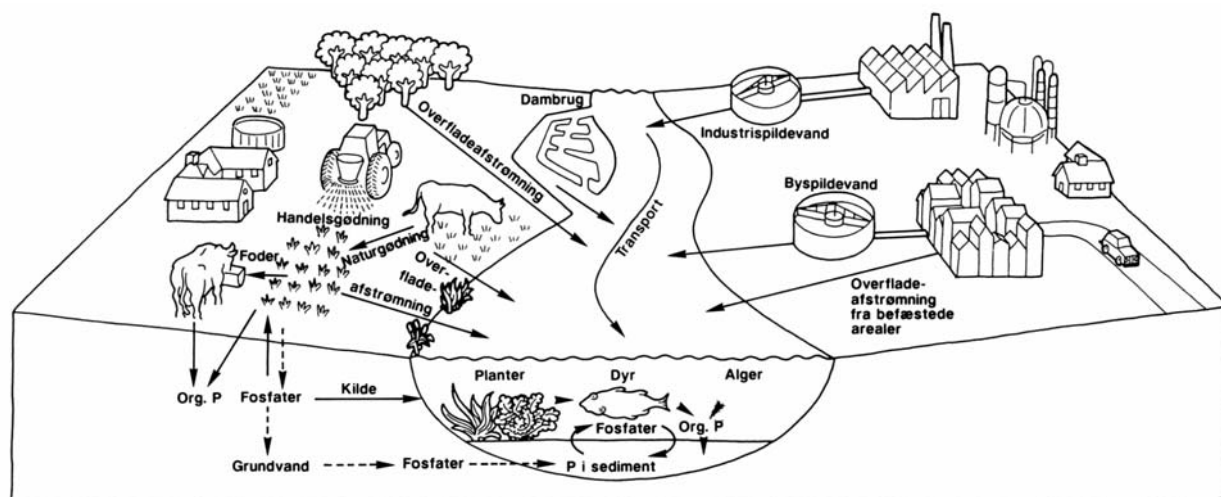
5.1 Mange faktorer påvirker forekomsten af fosfor i vandløb og kilder

Mange faktorer har betydning for forekomsten af fosfor i vandløb og kilder. Det drejer sig om menneskeskabte (kulturbetingede) faktorer, som udledninger af fosfor fra punktkilder og dyrkningsrelaterede tab af fosfor fra jord. Hertil kommer indflydelsen fra en række naturgivne forhold, primært klima, jordbund og topografi, som kan være af stor betydning for fosfortilførslen til vandløb.

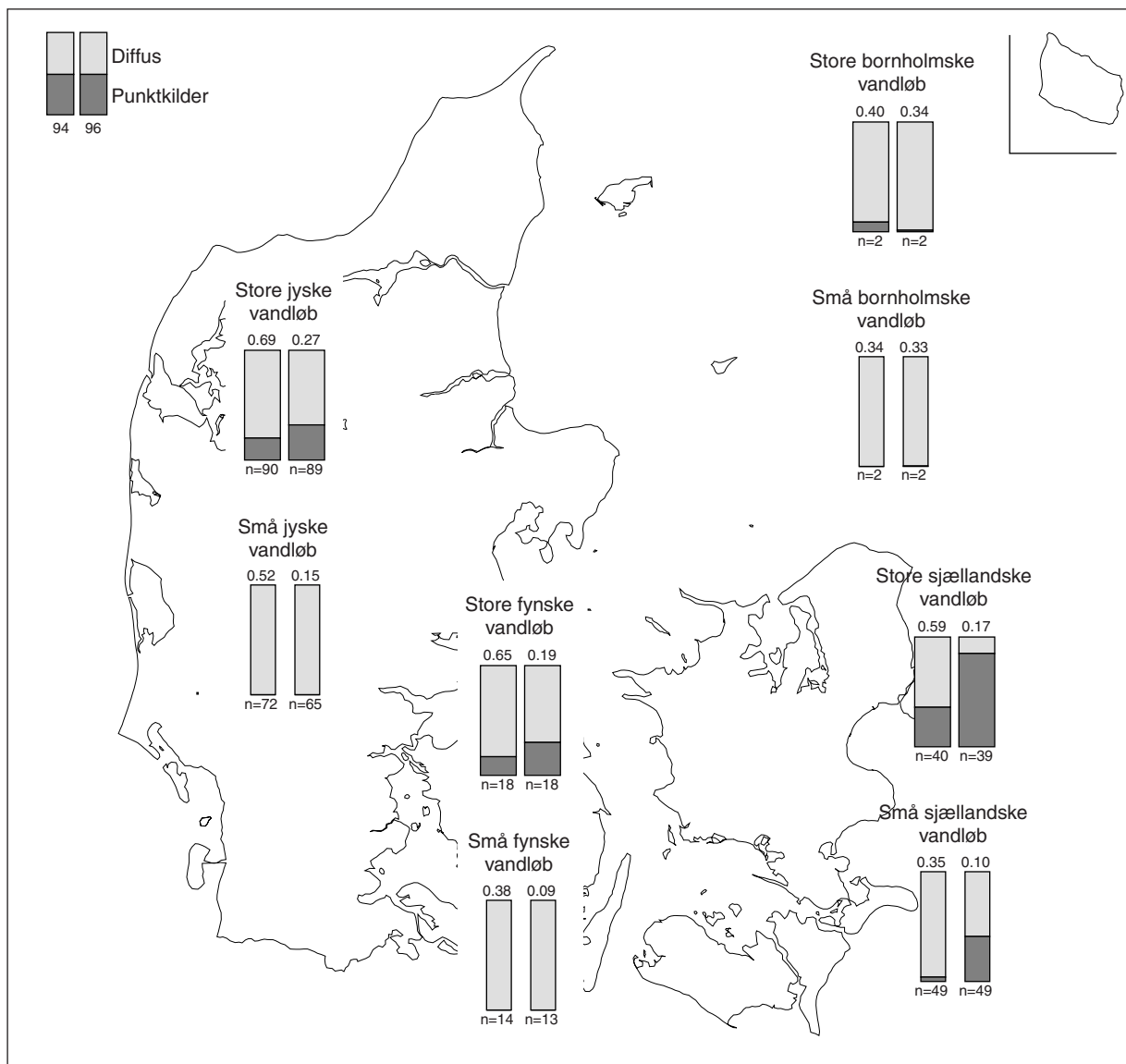
Hovedkilder til fosfor i vandløb

Kilderne til fosfor i vandløb er mangfoldige og deres betydning varierer fra vandløb til vandløb (figur 5.1). Helt overordnet kan kilderne til fosfor opdeles i to typer:

1. Punktkilder, bestående af fosforudledninger fra rensningsanlæg, industrier, dambrug og regnvandsbetingede udløb. Udledninger af fosfor fra spredt bebyggelse er også at betragte som en punktkilde idet foranstaltninger mod udledningernes omfang kan iværksættes ved selve kilden. Da fosforudledninger fra spredt bebyggelse ikke kan opgøres med samme nøjagtighed som de øvrige punktkilder henregnes den i det følgende til de diffuse kilder.
2. Diffuse kilder, der hovedsageligt består af fosforudledninger fra det åbne land, som spredt bebyggelse og landbrugsarealer, samt et 'naturligt' fosfortab fra udyrkede skov- og naturarealer, også kaldet baggrundsbidraget.



Figur 5.1. Kilder til fosfor i vandmiljøet. (Efter Svendsen og Kronvang, 1991).



Figur 5.2 Punktkildernes, eksklusive spredt bebyggelse, andel af den typiske (median) totale transport af fosfor i danske vandløb, opdelt på større og mindre vandløb (kriterium: 30 km² vandløbsopland) og vist henholdsvis for vandløb i Jylland, Fyn, Sjælland og Bornholm i henholdsvis 1994 (venstre søjle) og 1996 (højre søjle). Tallene over søjlerne er det typiske oplandstab af fosfor, mens tallet under søjlen er antallet af vandløb.

Punktkilders betydning

Udledninger af fosfor fra punktkilder kan måles og tiltag til reduktioner i udledningerne iværksættes ved selve kilden. Typiske tiltag til reduktion af fosforudledningerne fra punktkilder er iværksættelse af rensningsforanstaltninger i form af bygning af nye rensningsanlæg, udbygning af eksisterende anlæg, iværksættelse af bedre renseforanstaltninger i form af kemisk fældning af fosfor og etablering af regnvandsbassiner. Fosforudledninger fra spredt bebyggelse kan også reduceres ved kilden i form af introduktion af forskellige rensningsforanstaltninger, som etablering af nedsvivningsanlæg, jævnlig tømning af septiktanke og kemisk rensning. Endelig kan udledningerne reduceres ved at mindske fosforindholdet i det producerede spildevand, f.eks. ved overgang til fosfatfri vaskemidler.

I 1996 var punktkilderne, uden spredt bebyggelse, den dominerende kilde til fosfortransporten i de sjællandske vandløb og i mindre omfang i de større jyske og fynske vandløb (figur 5.2). I de mindre jyske og fynske vandløb, samt i de bornholmske vandløb var det derimod fosforudledninger fra diffuse kilder som dominerede (figur 5.2). Nedbørsmæssigt var 1996 et meget tørt år (se kapitel 3) hvilket betød at der var en meget lille vandafstrømning i vandløbene. Det var især udpræget i de sjællandske vandløb, hvor vandafstrømningen i 1996 lå langt under gennemsnittet for overvågningsperioden 1989-96. Den lille nedbørsmængde betød, at fosforudledningerne fra de diffuse kilder var meget små i 1996 hvilket forøgede betydningen af fosforudledninger fra punktkilder. Det gælder specielt i de sjællandske vandløb.

I det våde år 1994 var de diffuse kilder generelt mere betydende for fosfortransporten i de danske vandløb. De geografiske forskelle i punktkildernes betydning viser dog det samme billede i 1994 og 1996 med en generel større betydning af punktkilder i de tættere befolkede egne af landet (Sjælland), end i resten af landet.

Betydning af diffuse kilder

Fosforudledninger fra landbrugsarealer varierer betydeligt, både i tid og i rum. Hertil kommer, at opløst og partikelbundet fosfor kan transporteres af forskellige veje fra landbrugsjord til vandmiljøet. De vigtigste transportveje for fosfor fra jord til vand er:

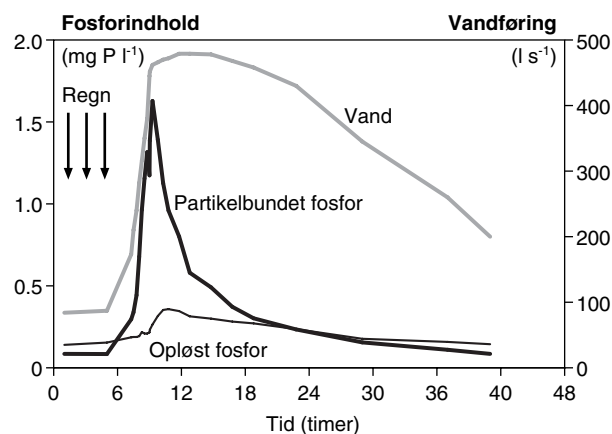
- Nedvaskning af opløst og partikelbundet fosfor fra topjorden til grundvand og dræn
- Vanderosion af jorden og overfladeafstrømning til vandløb og søer
- Vinderosion af jorden og drift til overfladevand
- Naturlig og kulturbetinget erosion i vandløbenes bund og brinker

De mange transportveje for fosfor fra jord til vandmiljøet gør det svært at opgøre fosforudledningen til vandløb fra landbrugsarealer, både når det drejer sig om de aktuelle fosformængder og betydningen af de enkelte transportveje. Hertil kommer at lokale forskelle i de naturbetingede forhold, som klima, jordtype og topografiske forhold, har stor betydning for hvor meget fosfor der udledes fra landbrugsarealer til vandmiljøet.

Et eksempel på nedbørens betydning er vist i figur 5.3. Når nedbør falder over et vandløbsopland løber en del af overskudsnedbøren, dvs. den del der er tilbage efter fordampning, videre ud i vandløbet via afstrømning på jordoverfladen, via drænvand eller via grundvand (se kapitel 3). Vandføringen i vandløbet øges derfor meget hurtigt (figur 5.3). Hvor meget af overskudsnedbøren, der umiddelbart strømmer af til vandløb, afhænger primært af to faktorer: (1) Jordens vandindhold på det pågældende tidspunkt; (2) Jordbunden og underjordens sammensætning.

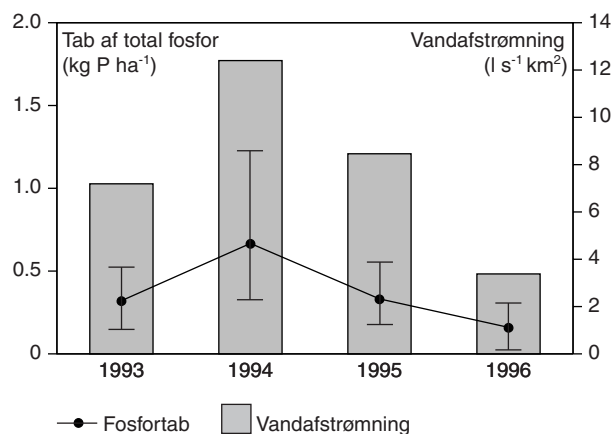
Om sommeren er jorden ofte i vandunderskud hvorfor en stor del af nedbøren går til at fylde jordens vandindhold op. Om vinteren vil en stor del af nedbøren strømme til vandløb. Vandet, der strømmer af fra vandløbsoplandet, indeholder fosfor fra jorden, enten i form af fosfor bundet i små jordpartikler, eller fosfor opløst i vandet. Desuden kan vandet optage fosfor fra vandløbets bund og brinker. Dermed øges koncentrationen af fosfor i vandløbet betydeligt i kortere eller længere tidsrum (figur 5.3). Jo mindre vandløbet, og dermed oplandet er, jo kortere tidsrum vil fosforkoncen-

trationen være forøget. De meget store og kortvarige stigninger i fosforudledningen og -transporten i mindre vandløb viser, at der skal måles meget hyppigt, for at opnå et godt kendskab til betydningen af de diffuse kilder.



Figur 5.3 Koncentrationen af fosfor, både partikelbundet og opløst fosfor, forøges betydeligt i korte perioder under og umiddelbart efter at det har regnet meget i et vandløbsopland.

En lang række dyrkningsrelaterede faktorer har også betydning for hvor meget fosfor, der udledes til vandmiljøet fra landbrugsarealer. Det drejer sig primært om ophobningen af fosfor i topjorden på grund af nettotilførslen af fosfor med handelsgødning, husdyrgødning og spildevandsslam, samt faktorer som jordens dræningstilstand, afgrødesammensætning på marken, jordbearbejdning mv.



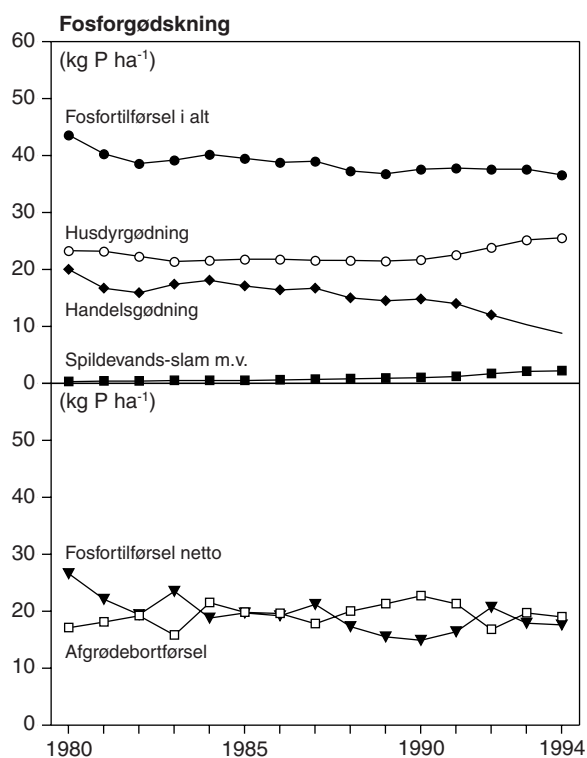
Figur 5.4 Den årlige fosforudledning fra diffuse kilder og vandafstrømningen i vandløb opgjort ud fra meget intensive målinger i 14 små vandløb i årene 1993-96. I figuren er vist gennemsnittet (fuldt optrukket linie) og 25 og 75% kvartilerne.

De diffuse kilders betydning for fosfortransporten i vandløb er meget nøjagtigt opgjort på baggrund af en intensiv overvågning i 14 mindre vandløb, som afvander små dyrkede oplande (figur 5.4). Fosforudledningen fra de diffuse kilder ses at variere betydeligt fra år til år. År til år variationerne følger

nogenlunde variationerne i den vandmængde, der strømmer af i vandløbene. I gennemsnit udgjorde fosforudledningen fra de diffuse kilder 0.37 kg P ha⁻¹ i perioden 1993-96.

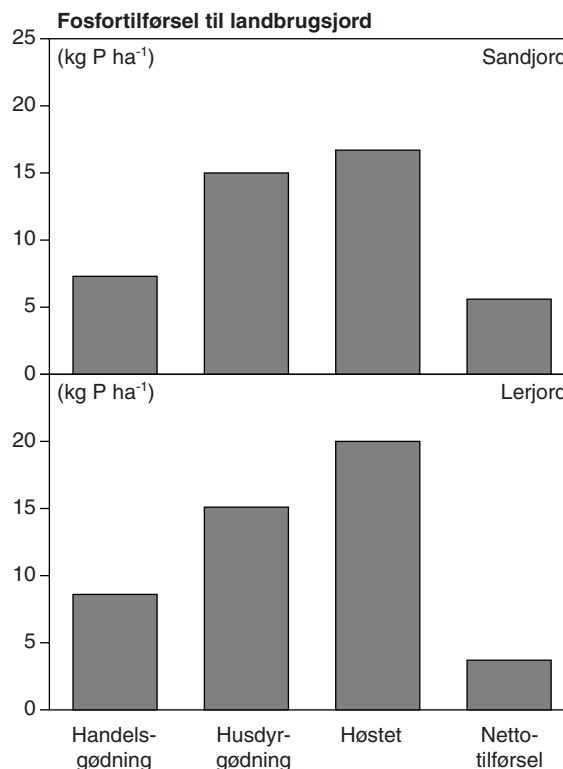
Fosfor i jord

Danske landbrugsjorde indeholder på grund af fosforgødsningen generelt en stor mængde fosfor. Indholdet i pløjelaget (øverste 20 cm) er normalt på 1000-2000 kg fosfor pr. hektar, hvilket svarer til 400-800 mg P/kg jord (Borggaard *et al.*, 1991). Til sammenligning er det naturlige fosforindhold anslået til 100 mg P/kg i sandjord og 300-400 mg P/kg i lerjord (Borggaard *et al.*, 1991). I jorden findes fosfor som organisk fosfor, bundet i dødt organisk materiale og den levende biomasse, samt som uorganisk fosfor, bundet til de fine ler- og siltpartikler (Sibbesen, 1995).



Figur 5.5. Tilførsel, fraførsel med afgrøder og nettotilførsel af fosfor til dansk landbrugsjord 1980-94. Fosfor i husdyrgødning opgjørt som forskel mellem årligt tilført fosfor i foderet og bortført i animalske produkter (1980-90) og efter produktionen af animalske produkter (1990-94) (efter Munkholm og Sibbesen, 1997).

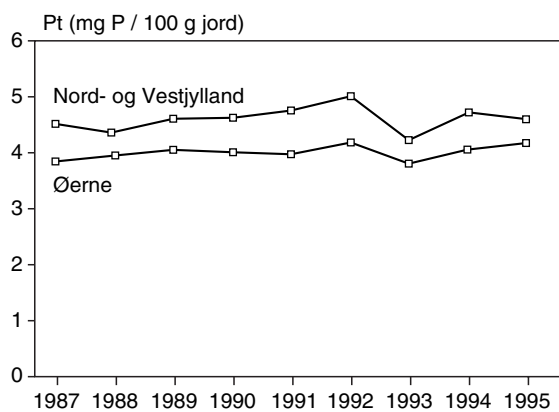
Ophobningen af fosfor i dansk landbrugsjord er foregået siden 2. verdenskrig i form af en større tilførsel af fosfor med især handels- og husdyrgødning, end der fraføres med de høstede afgrøder (Figur 5.5). Fosforophobningens omfang er på grund af usikkerhed om beregningsmetoder ikke entydigt bestemt i dag. Den årlige ophobning er i gennemsnit for Danmark på 6-20 kg P pr. hektar landbrugsjord (Munkholm og Sibbesen, 1997).



Figur 5.6 Gennemsnitlig tilførsel af fosfor i handels- og husdyrgødning og bortførsel med afgrøderne for 21 vandløbsoplande på lerjord og 19 vandløbsoplande på sandjord for driftåret 1993/94. Tilført fosfor i husdyrgødning er opgjørt efter enkeltdyrsmetoden, dvs. efter normaltal for fosforindholdet i forskellige kategorier af husdyr.

Ophobningen af fosfor i landbrugsjorden er størst i de husdyrintensive egne af landet. Med de fra 1993 gældende regler for antal dyreenheder pr. hektar landbrugsareal må der på den enkelte bedrift maksimalt udbringes husdyrgødning fra 1,7 DE pr. hektar for svinebrug og 2,3 DE pr. hektar fra kvægbrug. Det svarer til en tilførsel af maksimalt ca. 41 kg P pr. hektar for svinebrug og ca. 33 kg P pr. hektar fra kvægbrug (Sibbesen og Runge-Metzger, 1995).

En opgørelse over fosforgødsningen i 40 små vandløbsoplande i driftåret 1993/94 viser, at der er relativt små forskelle i de totale mængder af fosfor, der tilføres med handels- og husdyrgødningen på henholdsvis sandede og lerede landbrugsjorde, når mængderne opgøres set for landet som helhed (figur 5.6). Nettotilførslen af fosfor til sandjord er dog større end til lerjord, og til sandjord i Jylland er den yderligere større end for landet som helhed, nemlig i gennemsnit omkring 12 kg fosfor pr. hektar landbrugsjord (Grant *et al.*, 1997). Det skyldes alene det store husdyrhold og dermed den store mængde husdyrgødning i disse egne af landet. Ophobningen af fosfor i landbrugsjorden afspejler sig i et stigende indhold af letopløseligt fosfor i jorden (figur 5.7). Et stigende indhold af letopløseligt fosfor og total fosfor i jorden vil alt andet lige



Figur 5.7. Udviklingen i landbrugsjordens indhold af letopløseligt fosfor (fosfortal, Pt) på Øerne og i Jylland i perioden 1987 til 1995. (Efter Grant et al., 1997).

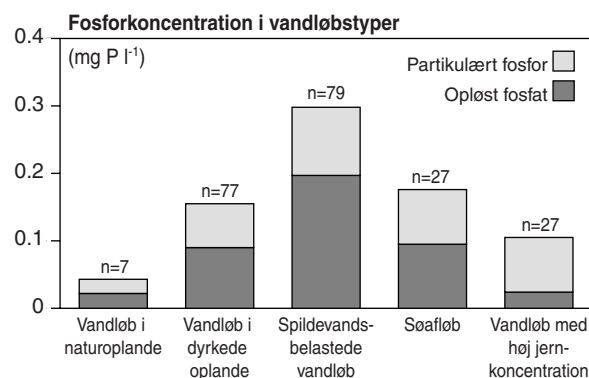
forøge risikoen for fosforudledninger til vandmiljøet, via de ovenfor nævnte transportveje. En sådan forøget fosforudledning vil kun kunne måles i vandmiljøet over længere tidsrum. Det skyldes de mange forskellige kulturskabte og naturgivne faktorer, som influerer på udledningen af fosfor fra landbrugsjord, samt en forventet langsom stigning i udledningen. I afsnit 5.5 vil betydningen heraf nærmere blive beskrevet.

Fosfor i vandløb

Fosfor i vandløb og kildebække findes både på opløst form (hovedsageligt som uorganisk fosfat) og bundet til organisk stof og uorganiske partikler. De to hovedgrupper af fosfor (opløst og partikelbundet) udledes i større eller mindre omfang fra mange forskellige kilder. Således vil indholdet af opløst fosfat ofte være højt og dominere i vandløb, hvortil der udledes spildevand (figur 5.8). Derimod udgør partikelbundet fosfor en større andel af total fosfor i vandløb, hvortil der udledes store fosformængder fra landbrugsarealer (figur 5.8). I vandløb der afvander skov- og naturoplande er fosforkoncentrationen lav og der er lige meget opløst- og partikelbundet fosfor (figur 5.8).

I det enkelte vandløb har andre faktorer, som forekomsten af søer i oplandet og indholdet af jern i vandløb også stor betydning for på hvilken form fosfor findes. I de meget jernbelastede vandløb, som alle ligger i Jylland, er koncentrationen af opløst fosfat meget lille (figur 5.8). Her dominerer forekomsten af partikulært fosfor. Det skyldes at fosfor bindes til jern (hydroxider) når opløst jern, som udledes fra jorden, ilttes i vandløbet og udfældes som okker på bunden.

I sø afløb er der næsten samme forhold mellem opløst og partikelbundet fosfor som i vandløb, der afvander dyrkede oplande (figur 5.8). De søer der indgår i analysen ligger for hovedpartens vedkommende (> 50%) i oplande med større punktkilder. Søerne er derfor med til at ændre på forholdet



Figur 5.8. Typisk (median) fordeling mellem opløst fosfat og partikelbundet fosfor i forskellige vandløbstyper. Forekomsten af opløst og partikelbundet fosfor er vist for vandløb i skov- og naturoplande, spildevandsbelastede vandløb, vandløb i dyrkede oplande, sø afløb og vandløb med et højt jernindhold (> 1,5 mg total Fe l⁻¹). n er antallet af vandløb i analysen.

mellem opløst- og partikelbundet fosfor. Det skyldes primært optaget af fosfor i algebiomassen og eksporten heraf fra søerne.

Hovedparten af det opløste fosfor er umiddelbart tilgængeligt for algevækst i vandmiljøet, mens partikelbundet fosfor først bliver tilgængeligt efter mineralisering af organisk stof eller frigivelse af fosfor fra jern- og aluminiumhydroxider under iltfrie forhold, f.eks. fra sedimentet på bunden af søer eller fjorde.

5.2. Fosforindholdet er generelt faldet i de danske vandløb

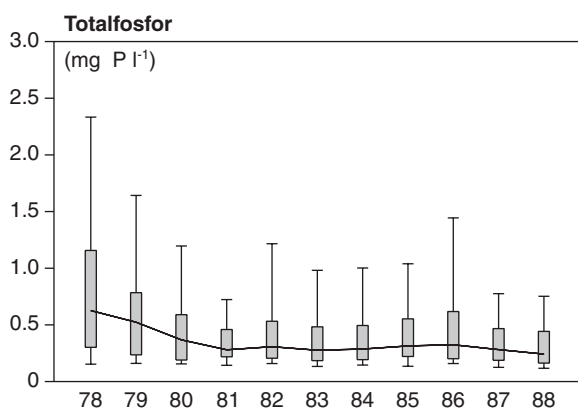
Miljøeffekterne af de forskellige iværksatte tiltag til begrænsning af fosforudledninger til vandmiljøet kan bestemmes, ved at analysere udviklingen i koncentrationen af fosfor målt i vandløb over længere tidsrum. Til denne analyse er anvendt en statistisk analyse kaldet 'Seasonal Mann-Kendall test' hvor der bedst muligt er forsøgt korrigeret for variationer i fosforkoncentrationen der skyldes vandafstrømningen (en nærmere beskrivelse af metoden findes i databindet, kapitel 5 og i Larsen (1996)).

Analyse af udviklingen i perioden før Vandmiljøplanens Overvågningsprogram (1978-88)

I perioden forud for Vandmiljøplanens Overvågningsprogram er koncentrationen af fosfor regelmæssigt blevet målt i enkelte danske vandløb i forbindelse med amternes tilsynsprogrammer. Der findes således tidsserier af fosforkoncentrationer fra omkring 50 vandløb i perioden 1978-88. Af disse 50 vandløb har kun 36 en ubrudt tidsserie for alle årene. Selv om prøvetagningsfrekvensen før 1989 var noget mindre end i perioden med Vandmiljøplanens Overvågningsprogram bedømmes resultaterne fra vandløbsstationerne fra før 1989 dog som egnede til at give en vurdering af den

generelle udvikling i koncentrationen af fosfor i vandløb i perioden 1978-88. De 36 analyserede vandløb fordeler sig med 18 i Jylland, 16 på Fyn og 2 på Sjælland.

Fra et højt koncentrationsniveau af total fosfor på omkring $0,650 \text{ mg P l}^{-1}$ i 1978-79 falder mediankoncentrationen af total fosfor i de 36 vandløb gennem perioden. I 1980 og 1981 sker der et markant fald i mediankoncentrationen af fosfor, specielt sker der i 1981 en stor indsnævring af koncentrationsintervallet målt i de 36 vandløb. Dette forhold kan delvist forklares ved, at nedbørsmængden og dermed vandafstrømningen var meget stor i netop disse år (se kapitel 3). Ekstra meget vand i vandløbene vil nemlig medføre en fortynding af det fosfor, der udledes fra punktkilder. Dermed vil der i våde år blive målt lavere koncentrationer af fosfor i vandløb end i tørre år.



Figur 5.9. Udviklingen i de målte årlige koncentrationer af total fosfor i 36 vandløb i årene 1978-88. I figuren er udviklingen i de 36 vandløb vist deskriptivt ved en præsentation af årlige medianværdier (fuldt optrukket linie), øvre og nedre kvartil (boks) og 90 og 10% percentiler.

I knap halvdelen af de 36 vandløb har der i perioden 1978-88 været et signifikant fald i koncentrationen af total fosfor. Det drejer sig om 8 af de jyske vandløb (44%) og 7 af de fynske vandløb (44%). I de 8 jyske vandløb lå faldet på mellem 12% og 51%, mens det var på mellem 15% og 36% i de 7 fynske vandløb. Ingen af de to sjællandske vandløb viste et signifikant fald i fosforkoncentrationen.

Det gennemsnitlige fald i koncentrationen af total fosfor i alle de 36 vandløb var på 16% i 11 årsperioden 1978-88. Beregnes faldet alene for de 15 vandløb, hvor der blev konstateret et signifikant fald, var faldet på 26%. Det gennemsnitlige årlige fald i koncentrationen af total fosfor er for alle 36 vandløb beregnet til $0,014 \text{ mg P l}^{-1}$, svarende til et samlet fald på $0,140 \text{ mg P l}^{-1}$ over hele perioden.

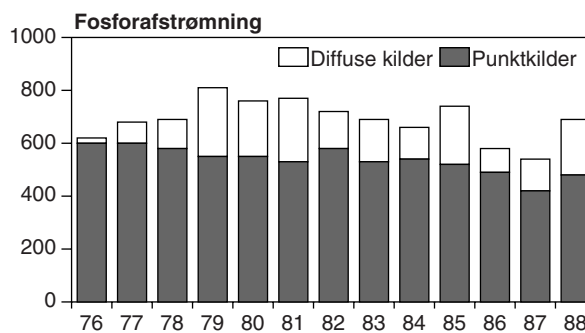
I perioden fra 1978 til 1988 er der således sket markante reduktioner i fosforudledningen til mange danske vandløb. Reduktionerne skyldes hovedsa-

geligt den bedre spildevandsrensning på de kommunale rensningsanlæg. Amternes pålæg om rensningsforanstaltninger i regionplanerne har således haft en markant effekt i vandløbenes fosforindhold i perioden forud for Vandmiljøplanen.

I en del af de analyserede vandløb kan beliggenheden af søer i oplandet have indflydelse på hvor meget og hvor hurtigt fosforkoncentrationen i vandløb vil falde ved reduceret punktkildeudledning. Det skyldes, at der ofte sker en intern frigivelse af ophobet spildevandsfosfor fra søbunden i takt med at fosforbelastningen til søerne nedsættes. Betydningen af den interne fosforfrigivelse i søer er dokumenteret i flere undersøgelser og i overvågningen af de danske søers tilstand (se f.eks. *Kristensen et al., 1990* og *Jensen et al., 1996*). Fosforfrigivelse fra søbunden er derfor med til at forsinke effekten af rensningstiltag i oplandet til søer, både når det drejer sig om miljø- og naturtilstanden i selve søen, men også i nedstrøms liggende vandsystemer.

Koncentrationen af fosfor er både faldet i store og små vandløb. Faldet i de store vandløb skyldes at det især er til de store vandløb, der udledes mest spildevand fra byernes rensningsanlæg, dambrug og industrier. At fosforkoncentrationen alligevel er faldet i mange små vandløb i perioden 1978-88 skyldes flere forhold: 1) Krav om forbedret rensning for organisk stof, hvorved der som sekundær effekt også sker en reduktion i fosforudledningen. 2) Afskæring af spildevand fra mindre bysamfund til større anlæg med bedre spildevandsrensning. 3) Fald i ulovlige udledninger af fosfor fra gårde, møddingpladser, mv.

Udviklingen i punktkildebelastningen af vandmiljøet i perioden før Vandmiljøplanen kan også påvises fra større områder. Således er der et tydeligt fald (37%) i den samlede udledning af fosfor til det fynske vandmiljø i perioden 1976-88 (figur 5.10) (*Fyns amt, 1990*). Faldet skyldes hovedsageligt to forhold: (1) Den store kloakeringsindsats, som de fynske kommuner har ydet i perioden i 1970'erne



Figur 5.10. Udviklingen i fosfortransporten fra Fyn til vandmiljøet i perioden 1976-88 opdelt på bidrag fra punktkilder og bidrag fra diffuse kilder (efter *Fyns amt, 1990*).

og 1980'erne med etablering af afskærende ledningsanlæg og kloakeringer af bysamfund, som tidligere var uden kloaksystem. (2) Centraliseringen af spildevandsrensningen på færre anlæg med bedre rensning, typisk et skift fra urenset/mekanisk rensning til biologisk rensning og i enkelte tilfælde til anlæg med fosforfjernelse (*Fyns amt, 1990*).

Analyse af udviklingen i perioden under Vandmiljøplanens Overvågningsprogram (1989-96)

En analyse af udviklingen i koncentrationen af total fosfor i vandløb efter igangsætning af Vandmiljøplanens Overvågningsprogram er gennemført for fire grupper af vandløb (figur 5.11). I analysen er der søgt korrigeret for år-til-år variationer i vandføring. De analyserede vandløb omfatter vandløb, der afvander oplande, hvor fosforudledningen (1991) hovedsageligt stammede fra:

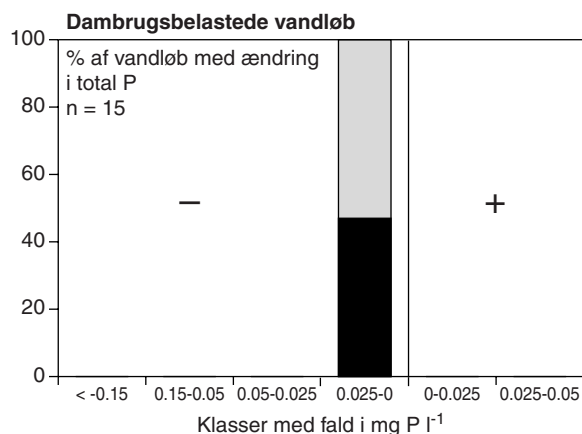
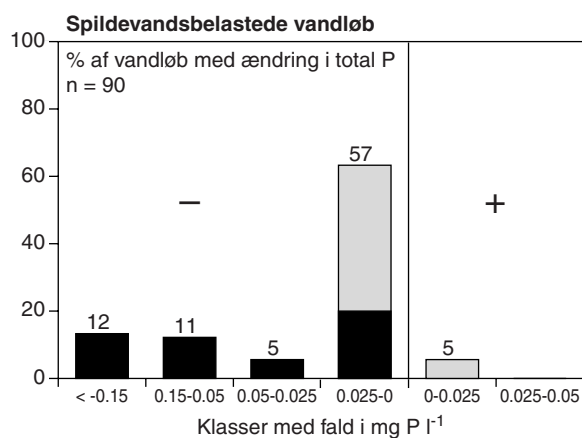
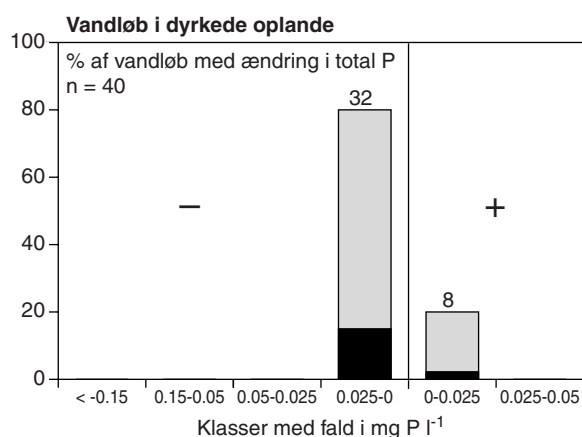
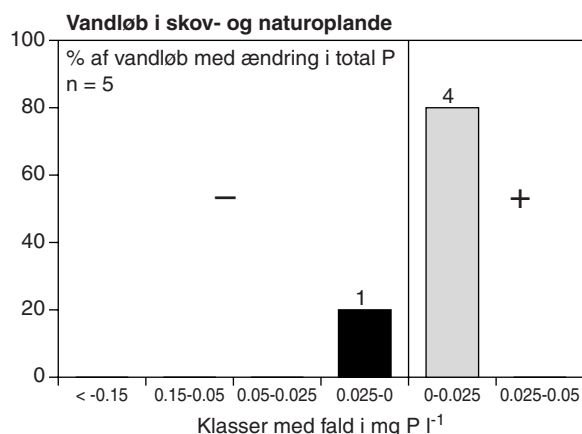
- Udyrkede skov- og naturarealer
- Landbrugsarealer og spredt bebyggelse
- Kommunale rensningsanlæg
- Dambrug

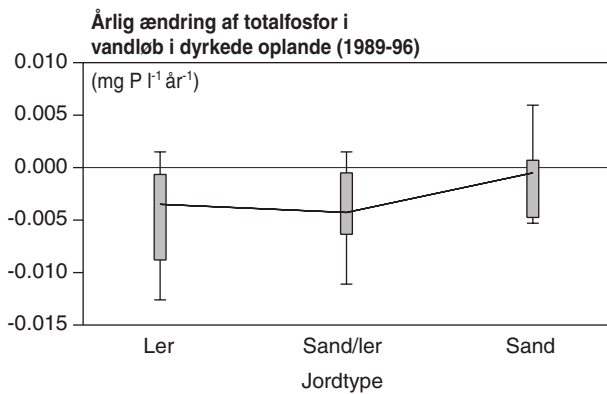
I oplande med fosforudledninger fra kommunale rensningsanlæg og dambrug forekommer der selvfølgelig også fosforudledninger fra landbrugarealer, spredt bebyggelse, regnvandsbetingede udløb og udyrkede arealer.

Vandløb i skov- og naturoplande (1989-96)

I et af de vandløb, der afvander udyrkede oplande, er der sket et lille ($0,025 \text{ mg P l}^{-1}$), men dog signifikant fald i koncentrationen af total fosfor i perioden 1989-96 (figur 5.11). I de fire andre naturvandløb er der sket en svag stigning, som dog i ingen af tilfældene er signifikant på 5% niveauet. Stigningen er i gennemsnit for de 4 vandløb på $0,010 \text{ mg P l}^{-1}$ i perioden 1989-96. Det var ikke forventet, at der skulle kunne registreres signifikante ændringer i fosforkoncentrationen i naturvandløb, da der i oplandene ikke er nævneværdige kulturbetingede fosforudledninger. Det signifikante fald, der er konstateret i det ene naturvandløb, kan måske tilskrives et fald i udledninger af fosfor fra spredt bebyggelse i oplandet.

Figur 5.11. Den årlige ændring i koncentrationen af total fosfor i danske vandløb i perioden 1989-96 vist for vandløb, der afvander fire forskellige typer af oplande med hensyn til fosforbelastning. Udyrkede, skov- og naturoplande, dyrkede oplande uden større punktkilder, oplande med fosforudledninger fra rensningsanlæg og oplande med store fosforudledninger fra dambrug. Ændringerne er vist indenfor forskellige klasser med fald (-) og stigning (+). Desuden er angivet samlet antal analyserede vandløb (n), antal vandløb i hver klasse (over søjlen) og hvor en stor del af vandløbene hvor udviklingen er signifikant på 5% niveau (sort).





Figur 5.12. Det absolutte årlige fald i koncentrationen af total fosfor over hele overvågnings-perioden (1989-96) for 18 vandløb på lerjord, 15 vandløb på sandjord og 6 vandløb på blandet sand- og lerjord. Alle de analyserede vandløb afvander dyrkede oplande uden større fosforudledninger fra punktkilder. I figuren er udviklingen vist deskriptivt ved en præsentation af årlige medianværdier (fuldt optrukket linie), øvre og nedre kvartil (bokse) og 90 og 10% percentiler.

Vandløb i dyrkede oplande (1989-96)

I 40 vandløb, der afvander dyrkede oplande uden større punktkildeudledninger af fosfor, er der sket et gennemsnitligt fald i koncentrationen af total fosfor på 0,023 mg P l⁻¹ svarende til 10% i overvågningsperioden 1989-96. Kun i 6 af de 40 vandløb er faldet dog signifikant på 5% niveau, mens der i et af vandløbene er konstateret en signifikant stigning i koncentrationen af total fosfor (figur 5.11).

Det gennemsnitlige fald i fosforkoncentrationen i disse vandløb kan for en stor dels vedkommende forklares ved en faldende fosforudledning fra spredt bebyggelse, som følge af et øget brug af fosfatfrie vaskemidler.

Den potentielle fosforudledning fra spredt bebyggelse er nemlig faldet med ca. 30% siden slutningen af 1980'erne, som følge af et formindsket brug af fosfat i vaske- og rengøringsmidler (*Miljøstyrelsen, 1994*). Fosforudledningen fra spredt bebyggelse til disse vandløb udgør i dag i gennemsnit omkring 25% af den totale årlige fosforbelastning af vandløbene. Reduktionen i fosforudledningerne fra spredt bebyggelse kan derfor beregnes til at skulle have reduceret koncentrationen af total fosfor i vandløbene med i størrelsesordenen 0,015 mg P l⁻¹. Altså en reduktion der er lidt mindre, men i samme størrelsesorden, som det beregnede fald i koncentrationen af total fosfor i de 40 vandløb.

En nærmere analyse viser, at fosforkoncentrationen i perioden 1989-96 er faldet mere i vandløb, der afvander lerede oplande (0,034 mg P l⁻¹), end i vandløb på sandjord (0,010 mg P l⁻¹) (figur 5.12). Faldet er også større i vandløb, der afvander blandede sand- og lerjorder, end i vandløb på de rene sandjorder (figur 5.12). Det gennemsnitlige pro-

centiske fald i fosforkoncentrationen er over hele perioden således 12% i vandløb på lerjord og 5% i vandløb på sandjord.

Den konstaterede forskel mellem udviklingen i vandløb på lerjord og sandjord kan formentlig tilskrives det forhold, at fosfor fra spredt bebyggelse i højere grad når frem til vandløb på lerjord, end på sandjord, fordi lerjorde ofte er drænedede og septiktanke kan være tilkøbet disse dræn.

Den konstaterede faldende udledning af fosfor fra spredt bebyggelse vil derfor slå mere igennem i vandløb på lerjord, end i vandløb på sandjord. Andre faktorer, som stoppet for de ulovlige udledninger fra gårde og møddingpladser har givet også haft betydning for det konstaterede koncentrationsfald i enkelte af de analyserede vandløb, både dem på lerjord og dem på sandjord.

Spildevandsbelastede vandløb (1989-96)

I næsten alle de 90 spildevandsbelastede vandløb er der beregnet et fald i fosforkoncentrationen (figur 5.11). I godt halvdelen er faldet signifikant. Det gennemsnitlige fald i koncentrationen af total fosfor er for alle 90 vandløb på 0,429 mg P l⁻¹. Det typiske fald udtrykt ved medianværdien, er dog kun på 0,077 mg P l⁻¹. Det gennemsnitlige fald dækker således over store variationer fra vandløb til vandløb. Tolv vandløb har udvist meget store fald (> 0,05 mg P l⁻¹ pr. år), mens flertallet af vandløb (52) har udvist et fald, der ligner udviklingen i vandløb i dyrkede oplande (figur 5.11). Hovedparten af disse vandløb har haft en relativ lille spildevandsbelastning. I de 90 vandløb er det gennemsnitlige procentiske fald i koncentrationen af total fosfor over hele perioden på 31% (median=28%). Det er dermed omtrent tre gange større end i vandløb i dyrkede oplande.

Udledningerne af fosfor fra punktkilderne i de 90 oplande er i den samme periode (1989-96) også faldet betydeligt (figur 5.13). I figuren er fosforudledningernes indflydelse på koncentrationen af fosfor i vandløb vist ved den øgning i den vandføringsvægtede koncentration, som fosforudledningerne fra punktkilder teoretisk er årsag til. For at vise eventuelle ændringer i fosforudledningerne fra punktkilder er den gennemsnitlige årlige vandafstrømning i perioden 1989-96 i hvert enkelt vandløb benyttet ved beregningerne. Det største fald i fosforudledningerne fra punktkilder til de 90 vandløb fandt generelt sted i perioden 1989-92. Derefter er der stadig sket en vis reduktion i fosforudledningen. Som forventet dog kun i de vandløb, hvor der stadig var tale om store fosforudledninger, i figuren vist ved den stadige indsnævring af 90% percentilen.

Det gennemsnitlige fald i punktkildeudledningernes bidrag til fosforindholdet i de 90 vandløb er på 0,277 mg P l⁻¹ i perioden 1989-96, mens det typiske fald, udtrykt ved medianværdien, er på 0,102 mg P l⁻¹. Der er således en rimelig overensstemmelse mellem faldet i fosforudledninger fra punktkilder og det beregnede koncentrationsfald i vandløbene.

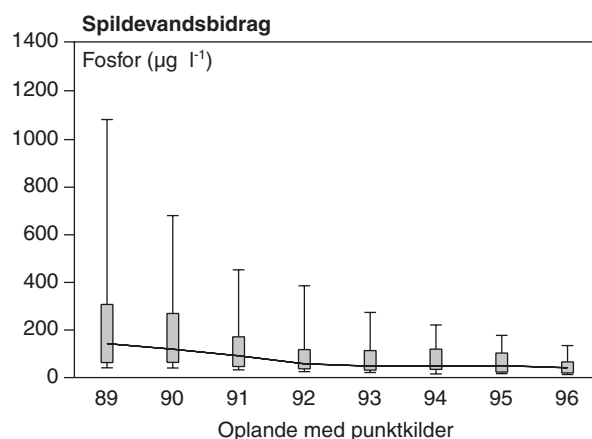
Der er derfor ingen tvivl om, at den forbedrede rensning af spildevand efter Vandmiljøplanens vedtagelse har haft en meget stor effekt på koncentrationen af total fosfor i vandløb. Der foreligger ikke umiddelbart oplysninger, der muliggør en vurdering af, i hvor høj grad Vandmiljøplanens mindstekrav til spildevandsrensning har været hovedårsagen til den mindre spildevandsudledning. I flere amter (f.eks. Århus Amt) har fosforudledningerne med spildevand til vandløb dog hovedsageligt været bestemt af regionale skærpede krav til rensning.

Det er især i de mest forurenede vandløb, hvor der er sket de største reduktioner i spildevandsudledning af fosfor og dermed af fosforkoncentrationen i vandløb. I de punktkildebelastede vandløb må det selvfølgelig også forventes, at der er sket en reduktion i fosforudledningerne fra spredt bebyggelse, gårde mv. Af figur 5.11 ses det da også, at der er en meget stor gruppe af de spildevandsbelastede vandløb, som udviser samme reduktion i fosforkoncentrationen, som det blev fundet i vandløb i dyrkede oplande.

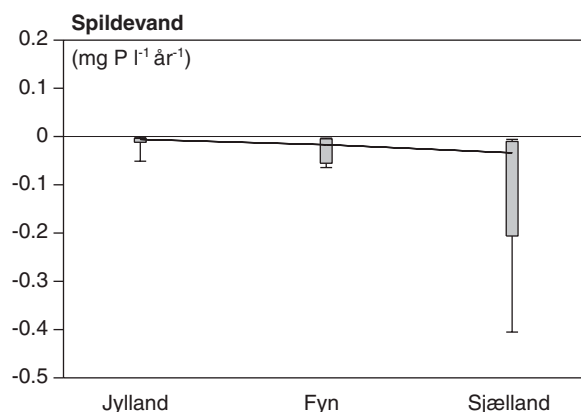
Koncentrationen af total fosfor er faldet mest i de sjællandske vandløb (figur 5.14). Det typiske fald i fosforkoncentrationen i de 34 analyserede sjællandske vandløb er på 0,238 mg P l⁻¹, imod 0,119 mg P l⁻¹ i 11 fynske vandløb og 0,047 mg P l⁻¹ i 45 jyske vandløb. Forklaringen herpå er, at vandløbene på Sjælland generelt var mere belastet med fosforudledninger fra punktkilder i 1989, end det var tilfældet i de fynske og jyske vandløb. Det skyldes formentlig en kombination af større befolkningstæthed på Sjælland (287 indbyggere pr. km²), end på Fyn (132 indbyggere pr. km²) og i Jylland (80 indbyggere pr. km²), samt en tidligere indsats for udbygning af spildevandsanlæg i flere jyske og fynske vandområder end på Sjælland.

Dambrugsbelastede vandløb (1989-96)

I de 15 vandløb, hvor en stor del af fosforudledningen fra punktkilder stammer fra dambrug (alle ligger i Jylland), kan der konstateres et gennemsnitligt fald i koncentrationen af total fosfor på 0,048 mg P l⁻¹ i perioden 1989-96. Det typiske fald er nøjagtigt af samme størrelse. I alle de 15 vandløb er der sket et fald, som dog kun er signifikant for knap halvdelen af vandløbene (figur 5.11). Den konstaterede reduktion i fosforkoncentrationen er dobbelt så stor, som i vandløb i dyrkede oplande.



Figur 5.13. Fosforudledningerne fra punktkilder til de 90 spildevandsbelastede vandløb vist som punktkildernes bidrag til vandføringsvægtet koncentration i vandløbene ved den gennemsnitlige vandafstrømning i perioden 1989-96. I figuren er udviklingen vist deskriptivt ved en præsentation af årlige medianværdier (fuldt optrukket linie), øvre og nedre kvartil (bokse) og 90 og 10% percentiler.



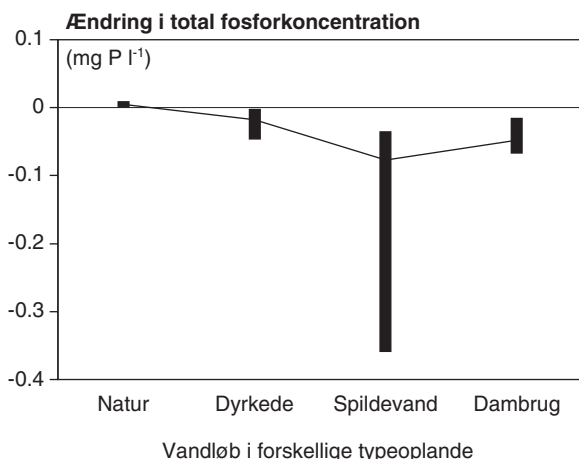
Figur 5.14. Årligt fald i koncentrationen af total fosfor i de spildevandsbelastede vandløb i Jylland, på Fyn og på Sjælland i perioden 1989-96. I figuren er udviklingen vist deskriptivt ved en præsentation af årlige medianværdier (fuldt optrukket linie), øvre og nedre kvartil (bokse) og 90 og 10% percentiler.

En nærmere analyse af udviklingen i fosforudledningerne fra dambrug i de 15 vandløbsoplande viser, at dambrugernes beregnede bidrag til fosforkoncentrationerne i vandløb i gennemsnit er faldet 0,054 mg P l⁻¹ i perioden 1989-96. Reduktionen i fosforudledningerne fra dambrug i oplandene modsvarer altså meget nøjagtigt den konstaterede reduktion i fosforkoncentrationen i vandløbene.

Sammenstilling (1989-96)

En sammenstilling af den typiske udvikling (medianværdien) i fosforkoncentrationen i forskellige typer af danske vandløb igennem perioden 1989-96 er vist i figur 5.15. Det største fald er tydeligvis sket i de spildevandsbelastede vandløb, efterfulgt af de dambrugsbelastede vandløb og vandløb i dyrkede oplande. I vandløb i naturområder er der derimod

ikke generelt sket nogen signifikant ændring i fosforkoncentrationen.



Figur 5.15. Reduktion i koncentrationen af total fosfor i forskellige danske vandløbstyper igennem hele perioden 1989-96. I figuren er udviklingen vist deskriptivt ved en præsentation af årlige medianværdier (fuldt optrukket linie) og 25 og 75% percentiler.

5.3. Fosforindholdet er stadigvæk højt i mange danske vandløb og kilder

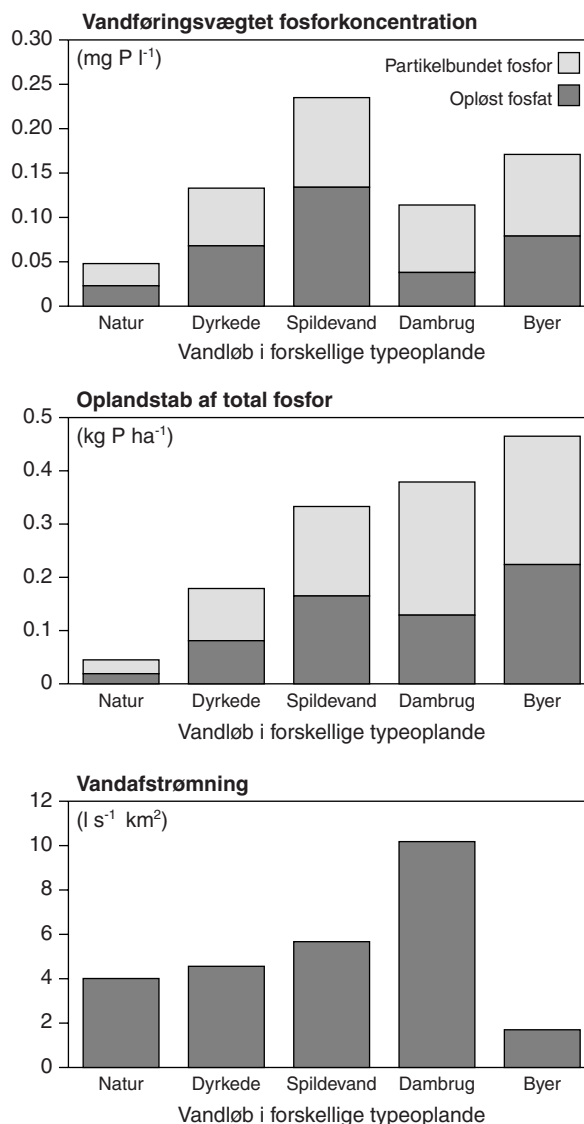
Koncentrationen af total fosfor i 1996 i omkring 300 danske vandløb er vist i figur 5.16. I samme figur er koncentrationen af total fosfor vist for tre forskellige typer af danske vandløb. Det fremgår tydeligt, at fosforkoncentrationen er over 0,1 mg P l⁻¹ i de fleste danske vandløb. Kun i vandløb i skov- og naturområder og i enkelte jyske vandløb i dyrkede områder findes fosforkoncentrationer under 0,1 mg P l⁻¹. Fosforkoncentrationen er generelt meget højere i vandløbene på Sjælland end i de fynske og jyske vandløb. Det skyldes et samspil af to faktorer. De sjællandske vandløb har både af naturlige grunde (lille nedbørsmængde) og på grund af store oppumpninger af drikkevand, en mindre vandafstrømning end vandløb på Fyn og i Jylland. Dermed er der en mindre fortynding af spildevandet i de sjællandske vandløb.

Oplandstabet af total fosfor vist for omkring 300 danske vandløb i 1996 er vist i figur 5.17. Da 1996 var et meget tørt år med lille vandafstrømning i vandløbene var oplandstabet generelt mindre end i tidligere år. Det skyldes en meget lille fosforudledning fra diffuse kilder og en stor tilbageholdelse af fosfor på bunden af vandløb og søer. Der er ikke nogen tydelig forskel mellem regionerne i Danmark hvad angår oplandstabet af fosfor i 1996. Det skyldes netop det unormalt tørre år i 1996, hvor der specielt på Øerne var en meget lille vandafstrømning i vandløbene.

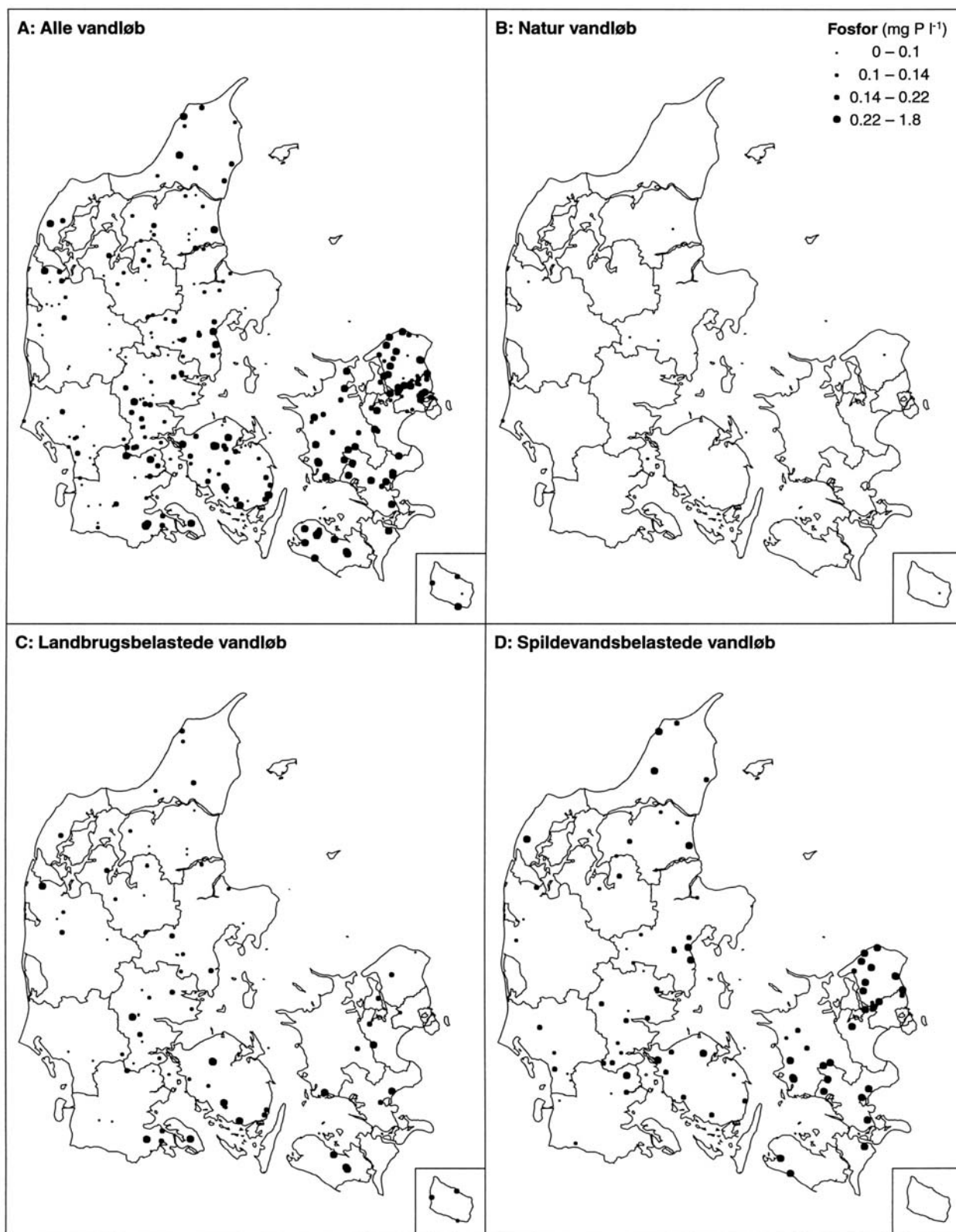
Den laveste fosforkoncentration og det mindste oplandstap af fosfor findes tydeligvis i vandløb i skov- og naturområder (figur 5.17 og 5.18). Både den vandføringsvægtede koncentration og oplandstabet af total fosfor og opløst fosfat er omkring 3-4 gange højere i vandløb i dyrkede oplande og 6-8 gange højere i de spildevandspåvirkede oplande, end i vandløb i skov- og naturområder (figur 5.18).

I de dambrugsbelastede vandløb er koncentrationen af fosfor lavere end i vandløb i dyrkede oplande. Det hænger sammen med den meget store vandafstrømning i disse vestjyske vandløb, som giver en stor fortynding af de udledte fosformængder (figur 5.18).

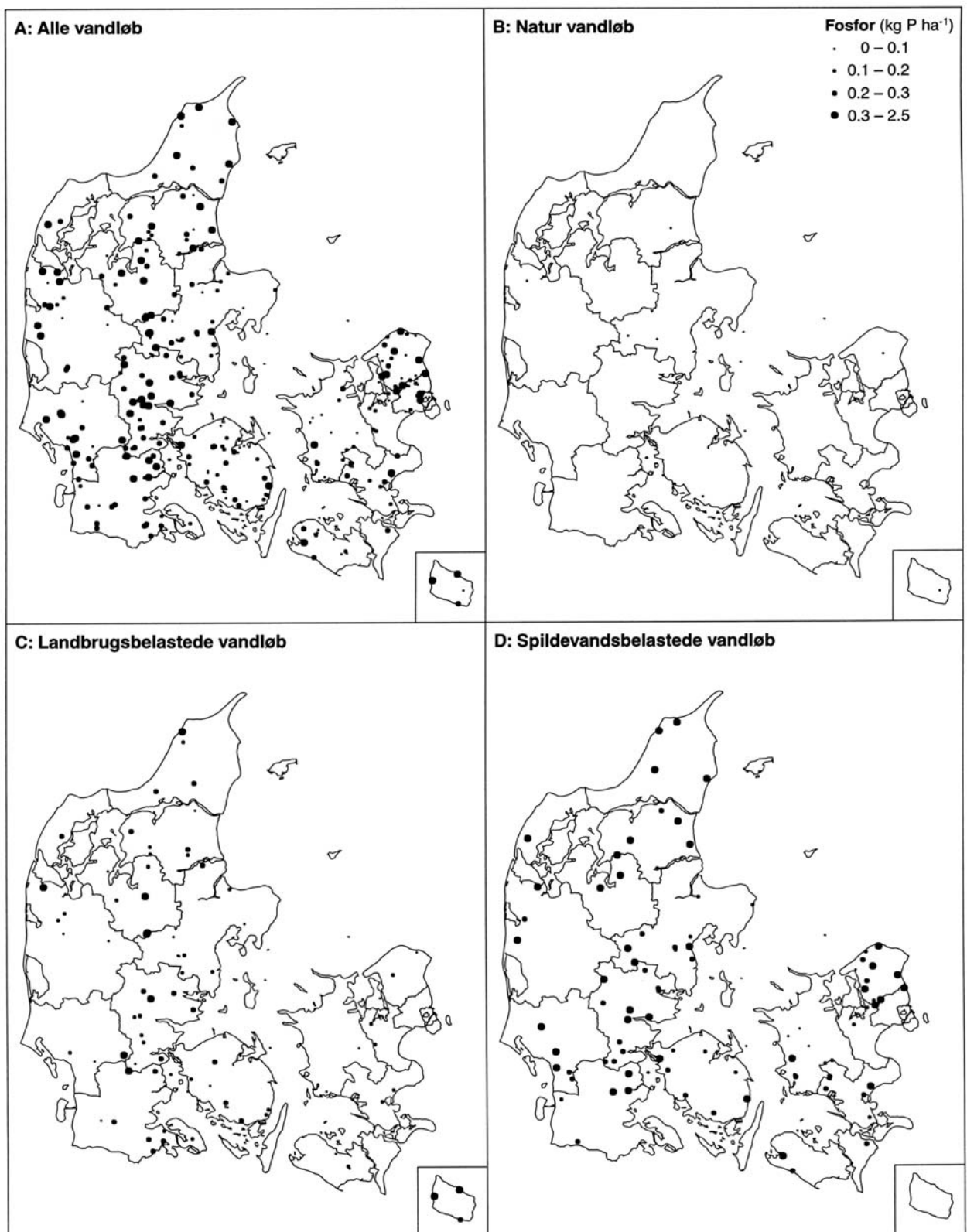
Det viser sig da også at oplandstabet af fosfor i de dambrugsbelastede vandløb er på niveau med oplandstabet i de spildevandsbelastede vandløb. En speciel gruppe vandløb er dem der overvejende afvander befæstede arealer.



Figur 5.18. Gennemsnitlig vandføringsvægtet koncentration og oplandstap af total fosfor og opløst fosfat, samt vandafstrømning fra 5 typer af vandløb i 1996.



Figur 5.16. Kort visende gennemsnitskoncentration af total fosfor i omkring 300 danske vandløb i 1996. Fosforkoncentrationen er også vist for forskellige typer af danske vandløb, dvs. naturvandløb, vandløb i dyrkede oplande og spildevandsbelastede vandløb.

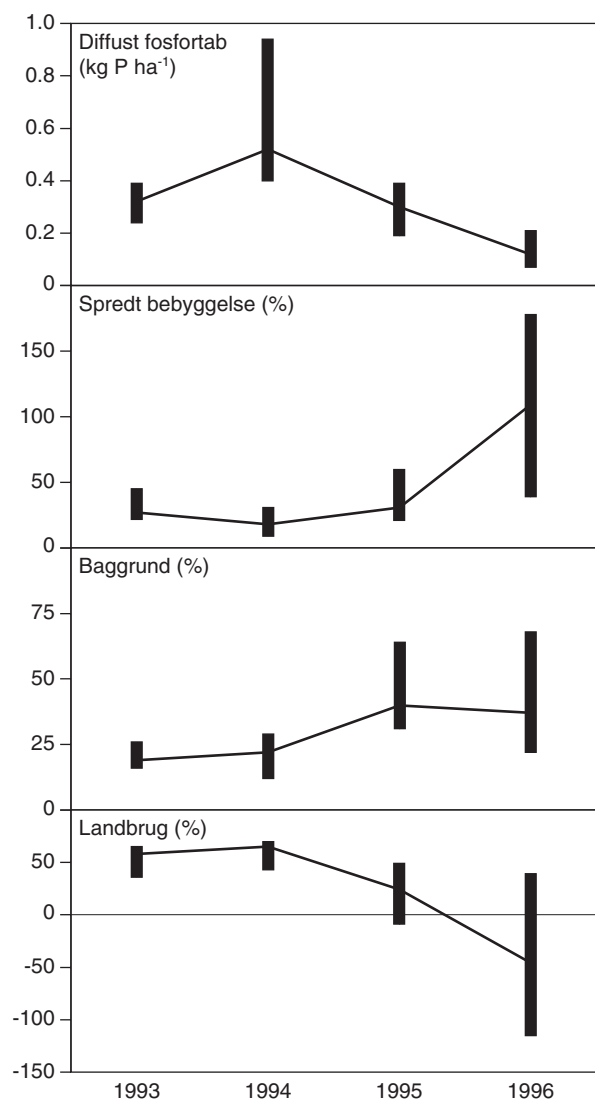


Figur 5.17. Kort visende oplandstabet af total fosfor i omkring 300 danske vandløb i 1996. Oplandstabet af fosfor er også vist for forskellige typer af danske vandløb, dvs. naturvandløb, vandløb i dyrkede oplande og spildevandsbelastede vandløb.

I disse vandløb er fosforkoncentrationen og oplandstabet af fosfor lige så stort som i de spildevandsbelastede vandløb. Det skyldes selvfølgelig at der i vandløb i stærkt befæstede områder er store fosforudledninger med spildevand og regnvandsbetingede udledninger. Vandløbene i stærkt befæstede områder er dog specielt sårbare overfor punktkildetilførelser på grund af deres generelt mindre grundvandstilstrømning og deraf følgende manglende fortyndingsevne af spildevand.

5.4 De diffuse kilders betydning

De diffuse kilders betydning kan vises ud fra en opsplitning af fosforudledningerne fra spredt bebyggelse, landbrug og naturarealer til omkring 14 mindre vandløb uden udledninger fra større punktkilder i perioden 1994-1996. De 14 vandløb er



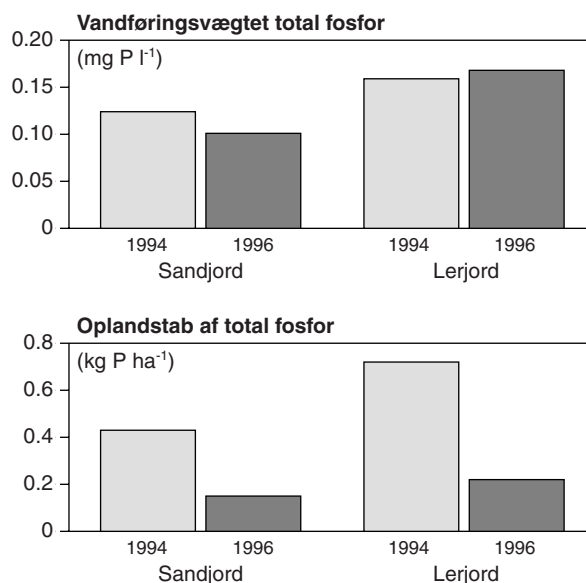
Figur 5.19. Det årlige diffuse fosfortab og betydningen af fosforudledninger fra landbrugsarealer, spredt bebyggelse og udyrkede arealer (baggrund) vist for 14 vandløb med intensive fosformålinger i perioden 1993-96. I figuren er medianværdien vist (fuldt optrukket linie) og 25 og 75% kvartilerne

siden 1993 målt meget intensivt for at kunne opgøre fosfortransporten i vandløb så nøjagtigt som muligt. Fosforudledningerne fra diffuse kilder varierer betydeligt fra år til år. De er således størst i våde år (1994) og mindst i tørre år (1996) (figur 5.9).

I normale og våde år (1993 og 1994) udgør fosforudledningerne fra landbrug typisk mere end halvdelen af det diffuse fosfortab til vandløb fra oplandet. I sådanne år udgør fosforudledninger fra spredt bebyggelse omkring 25% og baggrundsbidraget omkring 20% af det diffuse fosfortab.

I tørre år falder betydningen af fosfortabet fra landbrugsarealer dramatisk, i 1995 typisk til 25% og i 1996 bliver det endda negativt. Samtidig stiger betydningen af især fosforudledningerne fra spredt bebyggelse og baggrundsbidraget (figur 5.19). Det negative fosfortab fra landbrugsarealer i 1996 er selvfølgelig ikke reelt. Det skyldes, at landbrugsbidraget beregnes som et restled efter fratrækning af fosforudledninger fra spredt bebyggelse og baggrundsbidrag. I 1995, og især i 1996, er det således tvivlsomt om der overhovedet er tilført vandløbene fosfor fra udledninger fra spredt bebyggelse. Fosforudledningen fra spredt bebyggelse til vandløb sker især via drænvand og i 1996 var mange dræn tørre hele året. Fosfor fra spredt bebyggelse er derfor ikke nået frem til vandløb.

Tilsvarende var der i 1995 og især i 1996 en meget lille vandafstrømning i vandløbene. Det har betydning, at meget fosfor er ophobet på vandløbsbunden og derfor endnu ikke transporteret ud fra oplandet. Både i det våde år 1994 og det tørre år 1996 var den vandføringsvægtede koncentration og oplandstabet



Figur 5.20. Gennemsnitlig vandføringsvægtet koncentration og oplandstab af total fosfor fra danske vandløb i fortrinsvis dyrkede områder, der afvander henholdsvis sandjorde og lerjorde. Resultater er vist både for det våde år 1994 og det tørre år 1996

bet af total fosfor større i vandløb på lerjord end i vandløb på sandjord (figur 5.20). Den store forskel mellem fosforudledningerne fra dyrkede oplande med henholdsvis sandjord og lerjord skyldes to faktorer:

1. En større del af den potentielle fosformængde der produceres og ikke renses for i spredt bebyggelse når frem til vandløbene i lerjordsområder på grund af koblingen til dræn. Dette bidrag udgjorde i 1996 i gennemsnit maksimalt $0,12 \text{ kg P ha}^{-1}$ for de lerede oplande og $0,06 \text{ kg P ha}^{-1}$ for de sandede oplande. De potentielle større udledningmængder fra spredt bebyggelse i lerjordsoplandene kan altså ikke forklare hele forskellen mellem det observerede oplandstab fra sandjord og lerjord i 1994, der var på $0,29 \text{ kg P ha}^{-1}$.
2. Specielt i våde år må der derfor være et større diffust fosfortab fra landbrugsarealer i lerede oplande end i sandede oplande. Det må især tilskrives fosforudledninger fra jord med drænvand og et større erosionsbidrag på de mere bakkede landskabstyper og måske også en større brinkerrosion (se afsnit 5.5).

Betydningen af landbrugets arealanvendelse for fosforudledningerne til vandløb er forsøgt illustreret i figur 5.21. Således stiger fosforudledningerne fra diffuse kilder tydeligt med stigende andel dyrket land i vandløbsoplandene. Såfremt disse sammenhænge kan udvikles yderligere, således at der også tages højde for betydningen af faktorer som nedbørsforhold, afstrømningsmønster, jordtype, fosforstatus og husdyrhold vil det bedre mulighederne for at vurdere miljøeffekter af forskellige tiltage mode fosforudledninger til vandmiljøet.

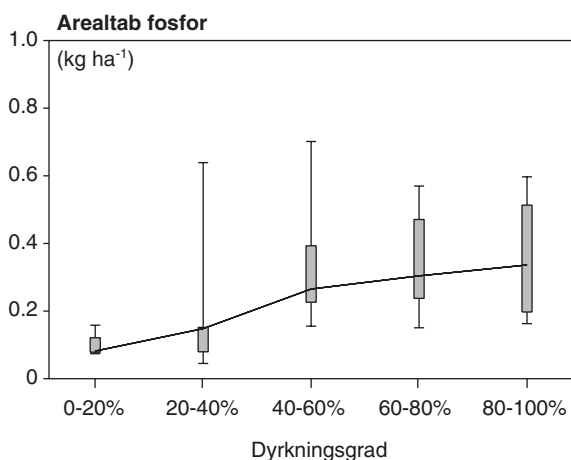
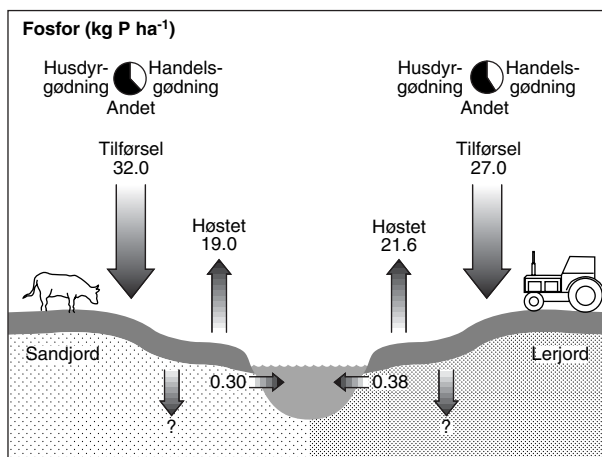


Fig. 5.21. Der er en sammenhæng mellem fosforudledningen til vandløb i dyrkede oplande og andelen af dyrket areal i vandløbsoplande. Gennemsnit for årene 1994-96.

5.5. Fosforudledningen fra landbrugsarealer er af stigende betydning

Fosforbalancen for seks små dyrkede oplande opgøres hvert år i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram (figur 5.22).



Figur 5.22. Fosforbalancen for 3 vandløbsoplande på sandjord i Jylland og 3 vandløbsoplande på lerjord (Østjylland, Fyn og Sydsjælland) i perioden 1989-95 (delvist efter Grant et al., 1997).

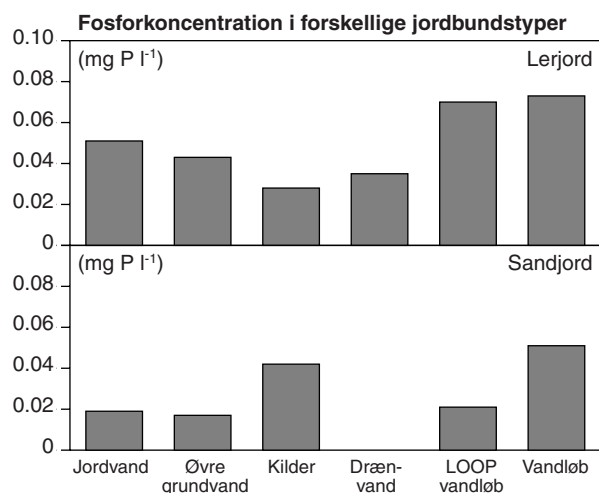
Der tildeles mere fosfor til landbrugsjorden i de sandede oplande i Jylland end i de tre lerede oplande, der både ligger i Jylland, på Fyn og på Sjælland. Den store tilførsel af fosfor til sandjordene skyldes det store husdyrhold i den vestlige dele af Danmark. Oplandstabet af fosfor til vandløb er næsten lige stort på sandjord og lerjord i de 6 undersøgte oplande. På lerjord udledes en del af fosfor fra marken via drænrør, som skitseret i figur 5.22.

I figur 5.23 er koncentrationen af opløst fosfat i jordvand, øvre grundvand, kilder, drænvand og vandløb sammenlignet.

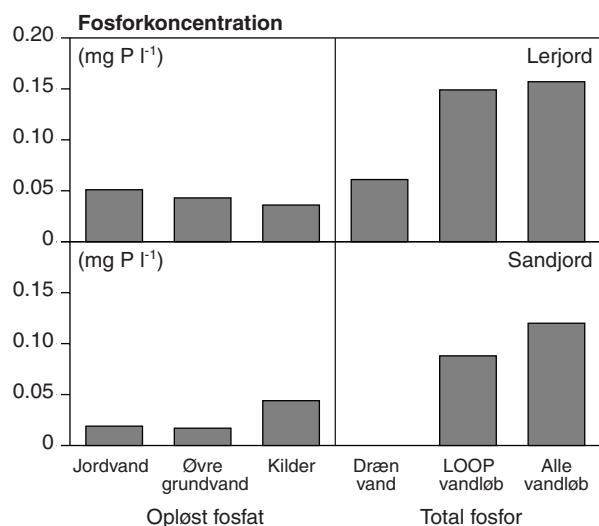
Koncentrationen af opløst fosfat er i alle medier højere på lerjord end på sandjord. Eneste undtagelse er kilderne, hvor det omvendte er tilfældet. Kilderne kan antages i vidt omfang at repræsentere dybere grundvand, der strømmer frem til vandløb. Det højere indhold af opløst fosfat i jordvand og øvre grundvand på lerjord, end på sandjord, kan formentlig forklares både ud fra dyrkningsbetingede og ud fra geologiske forskelle. I grundvand er der således fundet de højeste koncentrationer af opløst fosfat i fintkornede kvartære bjergarter (smeltevandssilt/ler og moræneler/silt) (Jacobsen, 1995). Disse aflejringer indeholder bl.a. marine interglaciale aflejringer og postglaciale aflejringer, som generelt indeholder store fosformængder.

På lerjord falder koncentrationen af opløst fosfat lidt fra indholdet i jordvand, til øvre grundvand, kilder og dræn. Faldet kan skyldes en adsorption af opløst fosfor til jorden ved vandets passage. I

vandløb på lerjord er koncentrationen af opløst fosfat noget højere end i alle de andre vandige medier (figur 5.23). Det skyldes formentlig hovedsageligt, at der udledes opløst fosfat til vandløb fra f.eks. spredt bebyggelse.



Figur 5.23. Sammenligning mellem koncentrationen af opløst fosfat i jordvand, øvre grundvand, kilder, drænvand og vandløb for sandjord og lerjord. De viste resultater er gennemsnit for perioden 1989-95 for alle målestationer indenfor de 2x3 vandløbsoplande i Landovervågningsprogrammet og alle vandløb i dyrkede oplande (delvist efter Grant *et al.*, 1997).



Figur 5.24. Sammenligning mellem gennemsnitlig årlig koncentration af opløst fosfat i jordvand, øvre grundvand og kilder og total fosfor i drænvand og vandløb på lerjord og sandjord. Tallene er gennemsnit for hele overvågningsperioden (delvist efter Grant *et al.*, 1997).

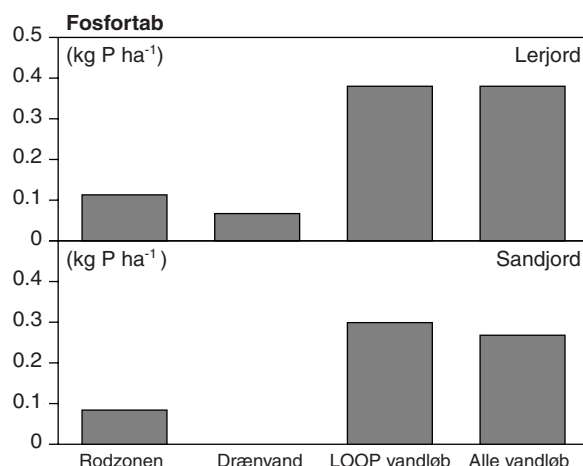
På sandjord falder koncentrationen af opløst fosfat også lidt fra jordvand til øvre grundvand. Den meget høje gennemsnitlige koncentration af opløst fosfat i kilderne på sandjord kan skyldes naturbetingede forhold, som tilstedeværelsen af specielle fosforrige lag i undergrunden, eller at fosfor frigi-

ves og holdes på opløst form ved iltingen af pyrit med nitrat i grundvandets redoxzone. I de tre vandløb i landovervågningsoplandene er den gennemsnitlige koncentration af opløst fosfat meget lav og under halvdelen af, hvad der er tilfældet i alle de overvågede vandløb i dyrkede oplande på sandjord. Dette forhold skyldes, at 2 af de 3 vandløb i landovervågningsoplandene er meget jernbelastede, hvorfor opløst fosfat adsorberes til okkerpartikler i vandløbet. Generelt har vandløb på sandjord dog også en højere koncentration af opløst fosfat end i jordvand og øvre grundvand. Der må således også tilføres opløst fosfat fra andre kilder, igen formentlig bl.a. fra spredt bebyggelse.

Sammenlignes koncentrationen af opløst fosfat i jordvand, øvre grundvand og kilder med indholdet af total fosfor i drænvand og vandløb ses der at være meget store forskelle (figur 5.24).

Der er således meget højere koncentrationer af total fosfor i vandløb end i de andre medier. Det skyldes altovervejende de erosionsbetingede tilførsler af partikelbundet fosfor til vandløb. Kilderne hertil kan både være jordpartikler tilført med overfladisk afstrømning i oplandet (f.eks. ved snesmeltning), erosion i vandløbets bund og brinker, nedvaskning af partikler gennem jorden og partikler tilført med vinden.

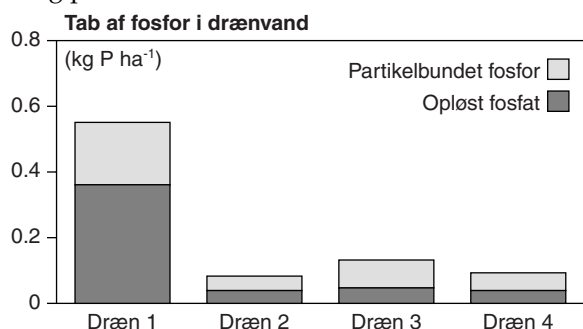
Det gennemsnitlige tab af opløst fosfat via udvaskning fra rodzonen, er sammen med tabet af total fosfor til drænvand og vandløb er vist i figur 5.25. Der er et meget større tab af total fosfor via vandløb, både på sandjord og lerjord, end der kan forklares ved udvaskning af opløst fosfat fra rodzonen eller ved tabet af total fosfor via drænvand på lerjord. Forklaringen på det store tab af total fosfor til vandløb fra oplandet



Figur 5.25. Sammenligning mellem gennemsnitlig årlig udvaskning af opløst fosfat fra rodzonen på lerjord og sandjord og gennemsnitligt årligt tab af total fosfor via drænvand og fra vandløbsoplande på lerjord og sandjord. Tallene er gennemsnit for hele overvågningsperioden (delvist efter Grant *et al.*, 1997).

skal findes i en kombination af udledninger fra spredt bebyggelse og erosionsbetingede tilførsler til vandløbene både på lerjord og på sandjord.

Intensive målinger af fosfor i drænvand på lerjord har vist, at drænvand under nogle omstændigheder kan bidrage med store udledninger af både opløst og partikelbundet fosfor til vandløb (Grant *et al.*, 1996). Det er der vist et eksempel på i figur 5.26. Af fire undersøgte dræne blev der især i et af drænene målt et meget stort årligt tab af både opløst og partikelbundet fosfor.



Figur 5.26. Eksempler på årligt tab af opløst fosfat og partikelbundet fosfor fra fire dræne på lerjord som gennemsnit for perioden maj 1993 til april 1995 (efter Grant *et al.*, 1997).

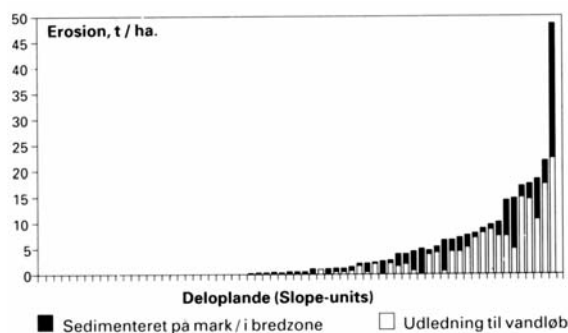
Resultaterne viser således, at der fra drænet lerjord kan udledes store mængder både opløst og partikelbundet fosfor til vandløb. Især tabet af partikelbundet fosfor kan kun opgøres ved meget intensive målinger, som ikke hidtil er anvendt i drænvandsovervågningen. Dræn 1, som har det største fosfortab, afvander et ca. 13 hektar stort landbrugsareal, hvoraf de ca. 11 hektar er i sædskifte og de sidste 2 hektar er græsningseng. Det store tab af opløst fosfat i dræn 1 skyldes givetvis en kombination af stor tilførsel af husdyrgødning, høj fosforstatus i jorden og høj grundvandsstand på dele af græsningsengen. Det store tab af partikelbundet fosfor i dræn 1 og delvist i dræn 3 skyldes en nedvaskning af små ler- og humuspartikler fra pløjelaget til dræn gennem sprækker, ormegange og andre hulrum. Der er således en direkte transportvej for partikler fra pløjelaget til vandløb.

En anden betydende diffus fosforkilde i vandløbsoplande er leveringen af fosfor med overfladisk afstrømmende vand. Ved jorderosion på skrånende marker kan især de fine og fosforrige jordpartikler transporteres langt med det overfladisk afstrømmende vand. Støder markerne op til grøfter, vandløb eller søer kan vandet med dets indhold af partikelbundet fosfor let blive transporteret ud til vandområdet. I vandet er der hovedsageligt partikelbundet fosfor, men koncentrationen af opløst fosfat kan også være høj pga. frigivelse af fosfor fra planter og jord. Det er selvfølgelig svært at opgøre betydningen af denne fosforkilde ved direkte målinger pga. den meget spredte forekomst af jorde-

rosion og overfladisk afstrømning. Generelt vil denne diffuse kilde være af større betydning i kolde snerige år end i milde vintre uden sne. At jorderosion og leveringen af fosfor med overfladisk afstrømmende vand er en potentiel stor kilde kan ses af figur 5.27. I denne figur er jorderosionens omfang i form af dannelse af riller på 67 marker rundt omkring i Danmark opgjort igennem vinteren 1993/94 (Sibbesen *et al.*, 1994). På enkelte marker (slope units) er der eroderet op til 50 tons jord pr. ha jord. Når bare en brøkdel af dette volumen frem til tilstødende grøfter, vandløb og søer vil det medføre et meget stort fosforbidrag.

Tilsvarende kan erosion i vandløbenes brinker og sammenskrivning af brinker pga. kreaturer, menneskers og maskiners færdsel tilføre meget jord og fosfor til vandmiljøet. I et lille landbrugsopland blev brinkerosion således fundet at være den dominerende kilde til transporten af partikulært stof og partikelbundet fosfor (Kronvang *et al.*, 1997). Brinkerosionens betydning som fosforkilde til vandløb betydning vil variere meget fra vandløbsopland til vandløbsopland afhængig af de lokale vandløbsfysiske forhold og udefrakommende faktorer som vandløbsvedligeholdelse, kreaturvandingssteder, udyrket bræmmebredde langs vandløb, færdsel langs vandløb, mv.

Vinderosion kan i visse år flytte meget store jordmængder hvoraf en del aflejres i form af driver langs hegn, grøfter, mv. De fine jordpartikler med det høje fosforindhold kan transporteres langt væk og aflejres over åbne vandarealer. Betydningen af denne kilde for fosfortilførsel til vandmiljøet er ikke kendt i Danmark.



Figur 5.27. Eksempel på jordtab fra skrånende, dyrkede marker i vinteren 1993/94 forskellige steder i Danmark. (Efter Sibbesen, 1994).

5.6. Hvordan kan fosforindholdet i vandløb reduceres?

Der kan principielt gennemføres flere overordnede former for tiltag, der kan reducere fosforindholdet i vandmiljøet:

Spildevand

Bedre spildevandsrensning

Mindre fosforindhold i spildevand, der renses dårligt (som f.eks. spredt bebyggelse)

Det diffuse fosfortab

Reduktion i dyrkningsbetinget diffust fosfortab

Reducere fosforindholdet på landbrugsjord

Reduktion i fosforbidraget fra erosion i vandløbsbrinker og vandløbsbund

Fosfortilbageholdelse

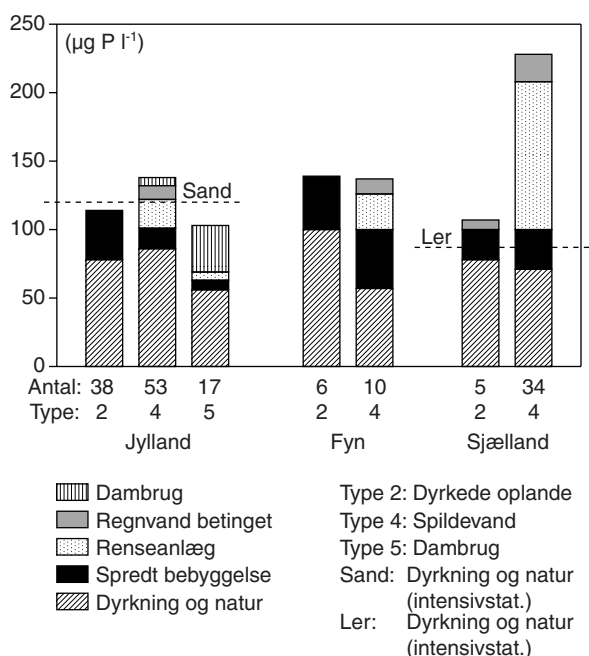
Større fosfortilbageholdelse på vandløbsnære arealer (temporære oversvømmelser)

Større permanent tilbageholdelse af fosfor i søernes bundsediment

Spildevand

Den vigtigste foranstaltning er reduktion i fosforudledningen ved kilden, f.eks. ved bedre spildevandsrensning eller, som det har været tilfældet med udledningerne fra den spredte bebyggelse, ved et mindre indhold af fosfor i spildevand. Med udgangspunkt i den nuværende udledning fra punktkilder (1995), kan effekten af eventuelle yderligere tiltag overfor rensning af spildevand analyseres.

De forskellige fosforkilders bidrag til fosforkoncentrationerne i vandløb i 1995 i Jylland, på Fyn og Sjælland er vist i figur 5.28. Til 49 af vandløbene udledtes der ikke betydelige mængder spildevand



Figur 5.28. Bidrag fra forskellige fosforkilder til fosforkoncentration i vandløb i 1995 i dyrkede oplande og oplande med spildevandsudledninger i Jylland og på Fyn og Sjælland. Der er indlagt fosforniveauet fra 14 intensive stoftransportstationer i 1995 (ekskl. udledninger fra spredt bebyggelse).

fra egentlige punktkilder (vandløbstype 2). 97 af vandløbene var i 1995 påvirket i større eller mindre grad af udledninger fra punktkilder (vandløbstype 4), og til yderligere 17 vandløb i Jylland udledtes spildevand fra dambrug (vandløbstype 5).

En halvering af udledningerne fra spredt bebyggelse vurderes ud fra figuren at kunne medføre en gennemsnitlig reduktion i fosforindholdet på 0,01-0,02 mg P l⁻¹ i vandløbstype 2 og 4. I de dambrugsbelastede vandløb vil der kun kunne opnås en mindre gennemsnitlig reduktion, fordi disse vandløb som oftest har en større vandføring og dermed en større fortynding af det udledte spildevand.

En halvering af fosforudledningerne fra rensningsanlæg til de spildevandsbelastede vandløb vil som gennemsnit kunne reducere fosforkoncentrationerne med ca. 0,01 mg P l⁻¹ på Fyn og i Jylland, mens der på Sjælland er et stort potentiale for yderligere reduktion i vandløbenes fosforindhold. Her vil en halvering af udledningerne fra rensningsanlæg kunne medføre en gennemsnitlig fosforreduktion på 0,05 mg P l⁻¹. Det større potentiale her er bl.a. relateret til en større spildevandsproduktion og til en mindre ferskvandsafstrømning og dermed mindre fortynding af det udledte spildevand, end tilfældet er på Fyn og i Jylland.

Regnvandsbetingede udledninger af fosforholdigt spildevand via overløb fra renselanlæg og fra befæstede arealer bidrager i betydeligt omfang til fosforindholdet i de spildevandsbelastede vandløb på Sjælland, og en halvering heraf vil i gennemsnit kunne reducere fosforniveauet med 0,01 mg P l⁻¹ i disse vandløb.

Endelig vil der i de dambrugsbelastede vandløb i Jylland kunne opnås en gennemsnitlig reduktion på 0,02 mg P l⁻¹ ved en halvering af udledningerne.

Vurderingen af effekten af eventuelle reduktioner i de spildevandsbetingede fosforudledninger til vandløb kompliceres af, at den målte, aktuelle fosfortransport og -koncentration i specielt mindre vandløb generelt er underestimeret ved den anvendte prøvetagningsmetode. Resultater fra 1995 fra de 14 vandløb, hvor fosforkoncentrationer og stoftransport baseres på intensiv, kontinuert prøvetagning er vist i figur 5.30. Bidraget fra dyrkningsbetinget tab samt det naturlige baggrundsbidrag til disse vandløb var i 1995 0,12 mg P l⁻¹ på sandjord og 0,09 mg P l⁻¹ på lerjord typisk for de øst-danske vandløb eller noget højere end de niveauer der er afbildet for de mange vandløb (0,06-0,10 mg P l⁻¹).

Endelig er de anførte vurderinger af effekten af eventuelle yderligere reduktioner i spildevands-

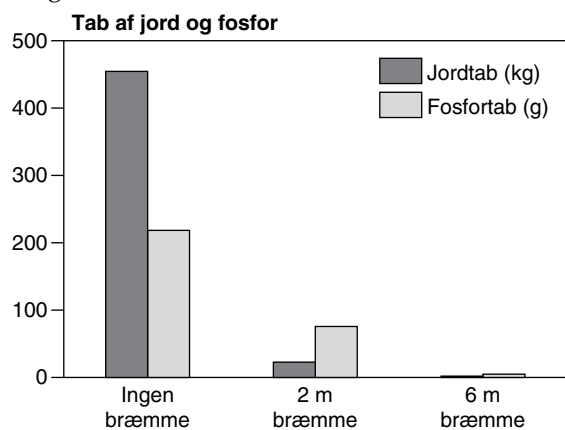
udledninger baseret på gennemsnitsbetragtninger. Der vil således være en række enkeltvandløb, hvor reduktion i spildevandsudledninger vil kunne have en betydeligt større effekt.

Der er dog ingen tvivl om, at en markant og generel yderligere reduktion i de danske vandløbs fosforindhold også forudsætter en reduktion i de dyrkningsbetingede fosforudledninger.

Det diffuse fosfortab

Mulighederne for at reducere de diffuse fosforudledninger fra landbrugsarealer ligger både ved at begrænse udslippet ved kilden, i form af at reducere fosforgødsningen af landbrugsarealerne og ændre landbrugspraksis, samt ved at indskyde bufferzoner i landskabet til opsamling af overskydende fosfor under dets transport fra jord til vandmiljø eller gennem vandmiljøet.

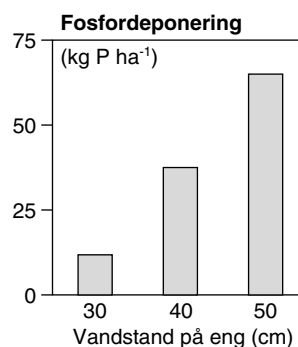
Bufferzoner i landskabet er f.eks. brede bræmmer langs vandløb og søer og fjorde, der kan opfange jord og fosfor fra bagvedliggende marker og forhindre kørsel med tunge landbrugsmaskiner tæt på vandløb. I dag skal der langs alle naturlige danske vandløb være en 2 meter udyrket bræmme. Brede bræmmer vil nogen steder i landskabet være mere effektive til at tilbageholde fosfor. Især ved foden af stejlt skrånende marker, hvor der er meget jorderosion. Et eksempel på effekten af bræmmer for tilbageholdelse af jord og fosfor er vist i figur 5.29.



Figur 5.29. Eksempel på vandløbsbræmmeres effekt på jord- og fosfortab med overfladisk afstrømmende vand (efter Rebsdorf et al., 1994).

I de nedre dele af vandsystemerne, i de brede ådale, er der et stort potentiale for tilbageholdelse af jord og fosfor (figur 5.30). Det sker når vandløbene en gang imellem går over sine bredder og oversvømmer ådalen. Naturgenopretning af sådanne vandløb og ådale kan derfor medvirke til på en naturlig måde at tilbageholde store mængder udledt fosfor. Det samme kan ske i reetablerede vådområder og søer, der naturligt tilbageholder en del af det fosfor der tilføres i plantebiomassen og i sedimentet.

Bræmmer langs vandløb vil uden tvivl også hjælpe til med at reducere omfanget af brinkerosionen og dermed mindske udledningerne af jord og fosfor. Det kræver dog at vandløbsvedligeholdelsen fortsat gennemføres meget skånsomt og at oprensninger af bund og sider begrænses mest muligt.



Figur 5.30. Eksempler på tilbageholdelse af fosfor på midlertidigt oversvømmede enge i vinterperioder (Falkum et al., 1997).

5.7 Konklusion

Koncentrationen af total fosfor i de danske vandløb faldt i gennemsnit med 0,140 mg P l⁻¹ svarende til 16% i 10-års perioden forud for iværksættelsen af Vandmiljøplanens overvågningsprogram.

I perioden efter 1989 og frem til 1996 er der også sket store reduktioner i fosforkoncentrationen i de danske vandløb.

I vandløb, der fortrinsvis er belastet af diffuse fosforudledninger fra det åbne land, faldt koncentrationen af total fosfor i denne periode med 0,023 mg P l⁻¹ svarende til 10%. I vandløb på lerjord er der beregnet det største fald i perioden 1989-96 (0,034 mg P l⁻¹), imod kun 0,010 mg P l⁻¹ i vandløb på sandjord.

I 90 analyserede spildevandsbelastede danske vandløb er der i perioden konstateret et meget stort fald i koncentrationen af total fosfor (medianværdi 0,077 mg P l⁻¹ svarende til et fald på 28%).

I 15 målte dambrugsbelastede vandløb er der sket et gennemsnitligt fald i koncentrationen af total fosfor på 0,048 mg P l⁻¹ i perioden 1989-96.

I et af de 5 analyserede vandløb i skov- og naturområder er der konstateret et fald i koncentrationen af total fosfor i perioden 1989-96. I ingen af de øvrige 4 naturvandløb er der konstateret nogen signifikant udvikling.

Det diffuse tab af fosfor er nu i mange vandløb den største kilde til fosforforureningen. Selv efter den store rensningsindsats ved punktkilderne er kon-

centrationen af total fosfor i de fleste danske vandløb stadigvæk højere end $0,1 \text{ mg P l}^{-1}$. Data fra 14 vandløb, der måles hver time året rundt viser også, at det diffuse fosfortab er større end hidtil antaget. I gennemsnit udgør fosfortabet fra de diffuse kilder således $0,37 \text{ kg P ha}^{-1}$ i årene 1993-96. I det våde år 1994 var det gennemsnitlige fosfortab fra de 14 vandløbsoplande dog så stort som $0,65 \text{ kg P ha}^{-1}$. Da spredt bebyggelse i potentielle udledningsmængder maksimalt kan bidrage med ca. $0,12 \text{ kg P ha}^{-1}$ har udledninger af fosfor fra landbrugsarealer især i våde år meget stor betydning for at fastholde fosforkoncentrationen i vandløb og søer på et højt niveau.

En vurdering af effekterne i vandmiljøet af forbedret spildevandsrensning er gennemført for de tre regioner Jylland, Fyn og Sjælland. En halvering af fosforudledningerne fra rensningsanlæg til de i dag spildevandsbelastede og typisk større vandløb vil generelt kun kunne reducere fosforindholdet i vandløb med ca. $0,01 \text{ mg P l}^{-1}$ på Fyn og i Jylland, imod $0,05 \text{ mg P l}^{-1}$ i de sjællandske vandløb. En halvering af fosforudledningerne fra spredt bebyggelse vil gennemsnitligt kunne reducere fosforindholdet i vandløb med $0,01\text{-}0,02 \text{ mg P l}^{-1}$.

Yderligere reduktioner i fosforkoncentrationen i vandløb kan kun ske via nedsættelse af de landbrugsrelaterede fosforudledninger. På sigt forudsætter dette, at udvaskningsrisikoen fra landbrugsjorde reduceres ved at gødske med mindre fosfor, end der bortføres fra marken med afgrøderne. Desuden kan omlægninger i jordbearbejdningen og afgrødevalg på særligt erosionstruede marker medvirke til at begrænse jord- og fosfortabet via vanderosion.

Hertil kommer eventuelle tiltag, der lokalt kan medvirke til at begrænse leveringen af jord- og fosfor til vandløb og søer fra vand- og vinderosion. Det er foranstaltninger som udlægning af brede, udyrkede bræmmer langs vandløb og søer, levende hegn til begrænsning af vinderosion, naturgenopretning af ådale, så de tillades at være periodisk oversvømmede om vinteren, og reetablering af egentlige vådområder.

[Tom side]

6 Kvælstof i vandløb og kilder

I vandmiljøet er kvælstof sammen med fosfor det vigtigste makronæringsstof for vækst af planktonalger, mikrobentiske alger, trådalger og højere planter. Et for stort indhold af kvælstof i vandmiljøet har negativ betydning for miljøtilstanden i form af en stor vækst af især planktonalger i fjorde, bugter og mere åbne havområder (Borum *et al.*, 1990; Kronvang *et al.*, 1993; Paaby og Møhlenberg, 1996).

I Vandmiljøplanens Overvågningsprogram måles koncentrationen af total kvælstof, nitrat og ammonium hvert år med nærmere fastlagte mellemrum i omkring 260 vandløb, samt 68 kilder og kildebække, (se databind til denne rapport, kapitel 6).

Målingerne af kvælstof i de mange vandløb og kilder gennemføres for at tilgodese flere formål:

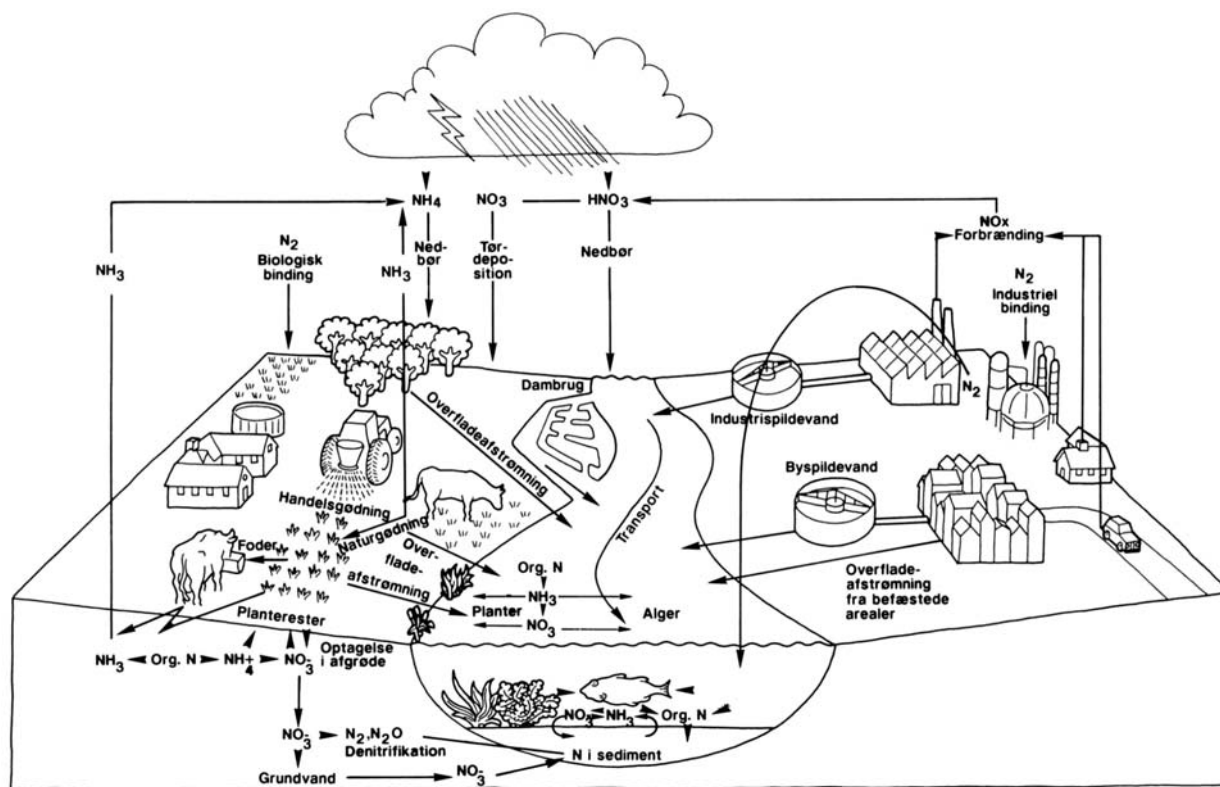
- Opgøre kvælstoftilførslen til fjorde og åbne havområder.
- Opgøre kvælstoftilførslen til søer.
- Følge udviklingen i kvælstofindholdet i vandløb hvortil der udledes spildevand fra byer, industrier og dambrug.
- Følge udviklingen i kvælstofudledninger til vandløb og kilder fra det åbne land, herunder især udledningen fra landbrugsarealer og naturarealer.

I dette kapitel om kvælstof gennemgås resultaterne af den landsdækkende overvågningsindsats i perioden 1989-96 med hovedvægten lagt på de miljømæssige effekter, der kan konstateres, i form af udviklingen i kvælstofkoncentration og -transport i danske vandløb og kilder. Årsagerne til den konstaterede udvikling analyseres nærmere, og der redegøres for den øjeblikkelige status for kvælstofs forekomst og transporten i vandløb og kilder ud fra det seneste års målinger i 1996.

Hovedkilderne til kvælstofs forekomst i vandløb og kilder opgøres, og der lægges speciel vægt på en beskrivelse af kvælstofudledningerne fra det åbne land, specielt relateret til problematikken om tabet fra landbrugsjord. Afsluttende præsenteres de mulige effekter af at foretage forskellige tiltag overfor hovedkilderne til kvælstof i vandløb i form af forskellige scenarier over tiltag ved punktkilder og i landbrug.

6.1. Mange faktorer påvirker forekomsten af kvælstof i vandløb og kilder

Mange faktorer har betydning for forekomsten af kvælstof i vandløb og kilder. Det drejer sig både om menneskeskabte (kulturbetingede) faktorer, som udledninger af kvælstof fra punktkilder og dyrkningsrelaterede tab af kvælstof fra jord. Hertil



Figur 6.1 Kilder til kvælstof i vandmiljøet. (Efter Miljøstyrelsen, 1990).

kommer indflydelsen fra en række naturgivne forhold, primært klima og jordbund, som begge kan være af stor betydning for kvælstoftilførslen til vandløb.

Hovedkilder til kvælstof i vandløb

Der er mange kilder til kvælstof i vandløb (figur 6.1). Dermed også være sagt, at der kan være stor forskel fra vandløb til vandløb i betydningen af de enkelte kilder. Helt overordnet kan kilderne til kvælstof opdeles i to typer:

1. Punktkilder, bestående af kvælstofudledninger fra rensningsanlæg, industrier, dambrug og regnvandsbetingede udløb. Udledninger af kvælstof fra spredt bebyggelse er også at betragte som en punktkilde, idet foranstaltninger mod udledningernes omfang kan iværksættes ved selve kilden. Da kvælstofudledninger fra spredt bebyggelse ikke kan opgøres med samme nøjagtighed som de øvrige punktkilder, henregnes den i det følgende til de diffuse kilder.
2. Diffuse kilder, der hovedsageligt består af kvælstofudledninger fra det åbne land, som spredt bebyggelse og landbrugsarealer, samt et 'naturligt' kvælstofab fra udyrkede skov- og naturarealer, også kaldet baggrundsbidraget.

Punktkilders betydning

Udledninger af kvælstof fra punktkilder kan måles og tiltag til reduktioner i udledningerne iværksættes ved selve kilden i form af spildevandsrensning. I modsætning til hvad er tilfældet for fosfor, betyder kvælstofudledninger fra spredt bebyggelse ikke ret meget i den samlede kvælstofbelastning af overfladevand (se afsnit 6.3).

Kvælstofudledninger fra punktkilder er heller ikke så betydningsfuld en kilde. I et år med meget nedbør og stor kvælstofudvaskning fra jorden og dermed stor kvælstoftransport i vandløb udgør punktkildernes andel i alle regioner typisk mindre end 6% af kvælstoftransporten (figur 6.2). Det gælder både i små og store vandløb. Der kan dog erkendes en vis punktkildeudledning af kvælstof til store vandløb, mens den er uden betydning i de små vandløb (figur 6.2). Kvælstofudledningerne fra det åbne land er derfor generelt langt den største kilde til kvælstof i ferskvand i våde år.

Derimod stiger punktkildernes betydning for kvælstofindholdet og kvælstoftransporten i vandløb i et tørt år, hvor kvælstofudvaskningen fra jorden er lille på grund af meget lidt overskuds-nedbør og den deraf følgende lille vandmængde som passerer gennem jorden og ud i vandløb. 1996 var et sådant meget tørt år (se kapitel 3) med meget lille vandafstrømning i vandløbene (figur 6.2). Det

var især udpræget i de sjællandske vandløb, hvor vandafstrømningen i 1996 lå langt under gennemsnittet for overvågningsperioden 1989-96.

Den lille nedbørmængde betød, at kvælstofudledningerne fra de diffuse kilder var meget små i 1996 hvilket forøgede betydningen af kvælstofudledninger fra punktkilder. Kvælstofudledningerne fra punktkilder udgjorde i 1996 derfor typisk en større andel af kvælstoftransporten i vandløb, end det var tilfældet i 1994 (figur 6.2). Det var især udpræget i de store sjællandske vandløb, hvor punktkilderne typisk udgjorde mere end 25% af kvælstoftransporten. De geografiske forskelle i punktkildernes betydning viser dog det samme billede i 1994 og 1996 med en generel større betydning af punktkilder i de tættere befolkede egne af landet (Sjælland), end i resten af landet.

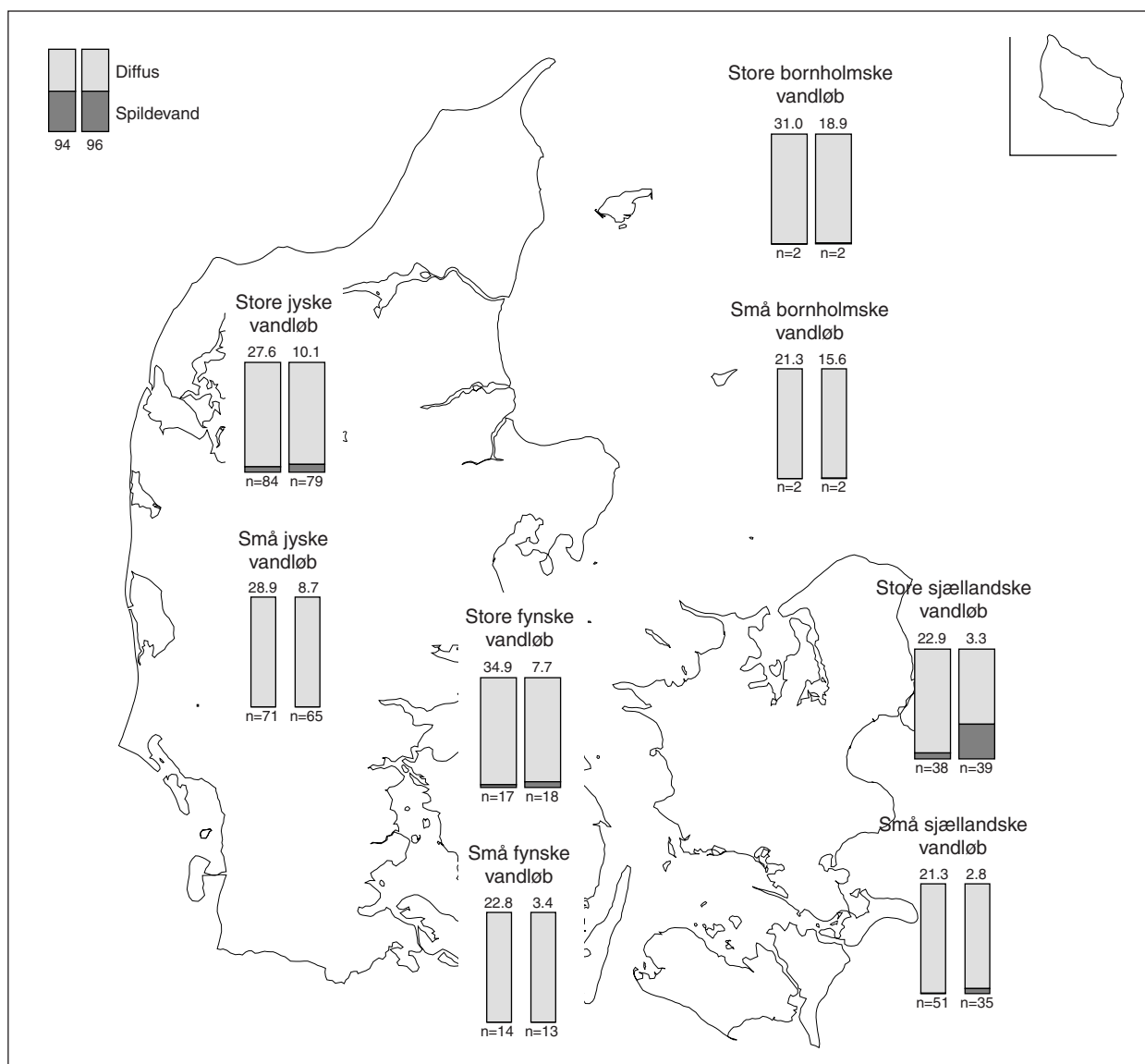
Betydning af diffuse kilder

Iværksættelse af tiltag til reduktion af kvælstofudledninger til vandmiljøet kræver foranstaltninger til begrænsning af især de diffuse kilder. Det drejer sig primært om kvælstofudledninger fra landbrugsarealer. I de diffuse kilder indgår også udledninger fra den spredte bebyggelse i det åbne land og baggrundsbidraget fra skov- og naturarealer.

Kvælstofledninger fra især landbrugsarealer og delvist skov- og naturarealer varierer betydeligt, både set over tid og i et rumligt perspektiv. Kvælstof udvaskes hovedsageligt som uorganiske forbindelser fra overjorden (rodzonen) og kan herfra transporteres af forskellige veje til overfladevand. Desuden bliver en del kvælstof til luftformige forbindelser i forbindelse med afbrænding af fossile brændstoffer og fra opbevaringen af husdyrgødning. Dette kvælstof afsættes igen på jord- eller vandoverflader i forbindelse med nedbøren eller som tørdeposition med partikler. De vigtigste transportveje for kvælstof fra jord til overfladevand er:

- Udvasning af kvælstofforbindelser fra rodzonen til dybere grundvandsmagasiner, der efter kortere eller længere tid strømmer til overfladevand
- Udvasning af kvælstofforbindelser fra rodzonen til øvre grundvandsmagasiner, der efter kortere tid strømmer til overfladevand eventuelt via dræn.
- Udvasning af kvælstofforbindelser fra rodzonen til umættet zone, der via interflow eller dræn strømmer til overfladevand
- Atmosfærisk deposition af kvælstofforbindelser på overfladevand

I modsætning til hvad der er gældende for f.eks. fosfor, har vanderosion og overfladeafstrømning, vinderosion af jord, samt naturlig og kulturbetinget



Figur 6.2. Punktkildernes andel af den totale transport af kvælstof i danske vandløb, opdelt på større og mindre vandløb (kriterium: 30 km² vandløbsopland) og vist henholdsvis for vandløb i Jylland, Fyn, Sjælland og Bornholm i 1994

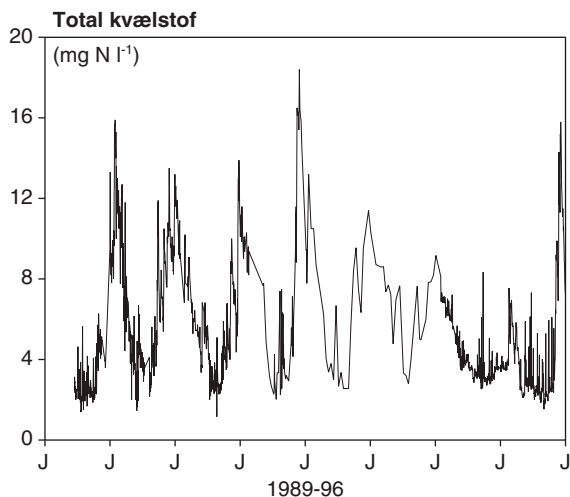
erosion i vandløbenes bund og brinker ringe betydning for kvælstoftransporten i danske vandløb.

Da langt størstedelen af de diffuse kvælstofudledninger til vandløb sker via udvaskning fra overjorden til forskellige vandmagasiner, er det lettere at opgøre den landbrugsrelaterede kvælstofudledning, både når det drejer sig om de aktuelle kvælstofmængder og betydningen af de enkelte transportveje, end når der f.eks. er tale om fosfor. Lokale forskelle i de naturbetingede forhold i vandløbsoplande, som klima, jordtype og hydrogeologiske forhold har dog indvirkning på hvor meget kvælstof, der udledes fra landbrugsarealer til vandmiljøet.

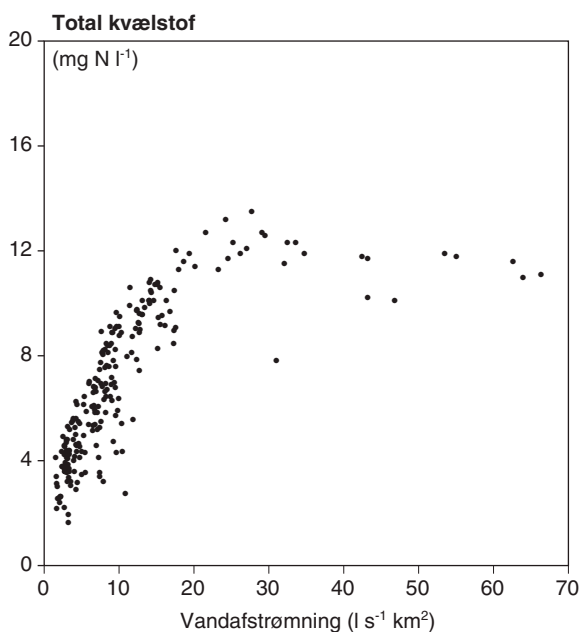
Da hovedparten af kvælstof i vandløb findes på opløst uorganisk form og strømmer til vandløb via de forskellige vandmagasiner i jorden, er det forholdsvist let at kortlægge koncentrationsforløbet gennem året. Kvælstofkoncentrationen i vandløb

udviser oftest en sæsonvariation med høje koncentrationer i den nedbørsrige vinterperiode og lave koncentrationer i sommerperioden (figur 6.3).

Der er således ofte en god sammenhæng mellem kvælstofkoncentrationen i vandløb og vandføringen på tidspunktet for prøvetagningen (figur 6.4). I det viste eksempel fra Odense Å stiger koncentrationen af total kvælstof med stigende vandafstrømning op til et niveau på ca. 30 l s⁻¹ km⁻². Stigningen i kvælstofkoncentrationen er ikke lineær men krum hvilket enten viser, at kvælstofpuljen i jorden langsomt udtømmes eller, at der ved stigende vandafstrømning er andre vandmagasiner i jorden som leverer vand til vandløbet. I sidstnævnte tilfælde er der tale om en stigning i vandmængden, der strømmer af gennem makroporer i jorden uden kontakt til jordmatrixen eller egentlig overfladisk afstrømning. Der er formentlig tale om et samspil af de to processer.



Figur 6.3. Typisk sæsonvariation i koncentrationen af total kvælstof i et større dansk vandløb, Odense Å, opstrøms Ejby Mølle på Fyn (opland på ca. 500 km²). Bemærk at der i visse af årene er udtaget daglige vandprøver til analyse af kvælstofkoncentrationen. (opland på ca. 500 km²).



Figur 6.4. Typisk sammenhæng mellem koncentrationen af total kvælstof og vandføringen i et større dansk vandløb, Odense Å, opstrøms Ejby Mølle på Fyn (opland på ca. 500 km²).

Ved meget store og kortvarige vandafstrømninger ($> 30 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$) viser figur 6.4, at der sker et svagt fald i kvælstofkoncentrationen. Det bratte stop i stigningen i kvælstofkoncentrationen over dette afstrømningsniveau påpeger, at der her er tale om at nedbøren fra hurtigt responderende magasiner, som strømning i makroporer, sprækker og overfladisk afstrømning, der leverer vand til vandløbet med et meget lavt kvælstofindhold.

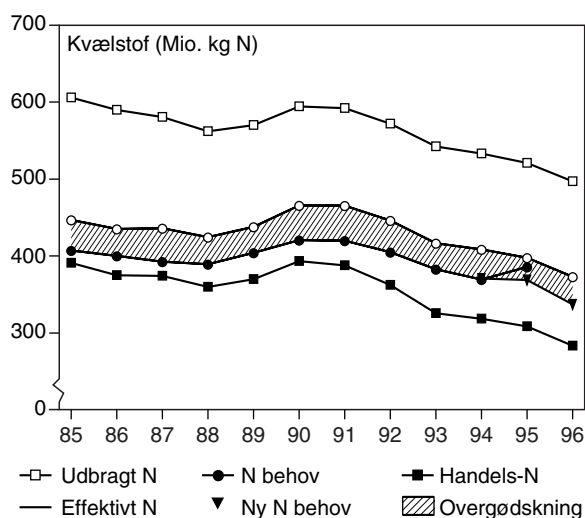
En række dyrkningsrelaterede faktorer har betydning for hvor meget kvælstof, der udledes til vandmiljøet fra landbrugsarealer. Det drejer sig primært om mængderne af kvælstof der udbringes med handels- og husdyrgødning, udbringningstidspunkter, afgrødesammensætningen, sædskiftet, høstudbyttet, jordens dræningstilstand, mv.

Kvælstof i jord

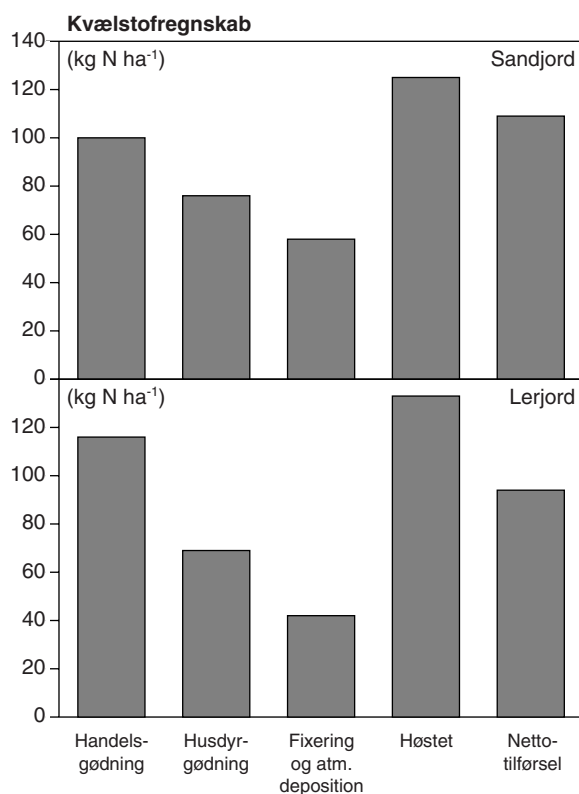
Danske landbrugsjorde indeholder en stor mængde kvælstof. Almindelig landbrugsjord indeholder mellem 6.000 og 12.000 kg kvælstof pr. hektar i rodzonen (Landbrugsministeriet, 1991). Til sammenligning findes der på sandede naturarealer mellem 1.600 og 6.000 kg kvælstof pr. hektar (Christensen et al., 1990). Langt den største del er til stede som organisk bundet kvælstof. Det organiske kvælstof skal først nedbrydes til uorganisk kvælstof ved mineralisering før det kan udnyttes af planterne. Mineraliseringen finder sted ved temperaturer over 2-3 °C. Jordens indhold af uorganisk kvælstof er til stede som nitrat og ammonium.

Hvert år tilføres landbrugsjorden kvælstof primært via udbringning af handels- og husdyrgødning, samt ved biologisk kvælstofbinding og atmosfærisk deposition. En del af det udbragte kvælstof optages af afgrøderne, en del omsættes ved denitrifikationsprocesser i jorden og en anden del udvaskes til overfladevand. I figur 6.5 er vist en opgørelse for udviklingen i tildelt kvælstof, kvælstofbehov og fraført kvælstof med afgrøderne for hele landet i perioden 1985-1996. I figuren er den årlige overgødsning vist, som forskellen mellem effektivt tildelte kvælstofmængder til landbrugsjorden og afgrødernes beregnede kvælstofbehov (Grant et al., 1997). Overgødsningen har svinget mellem 26 og 45 millioner kg effektivt udbragt kvælstof til jorden i perioden 1985-96 med en svag tendens til et fald gennem 1990'erne (Grant et al., 1997).

En opgørelse over kvælstofgødsningen i 40 små vandløbsoplande er gennemført for driftsåret 1993/94. Tallene viser, at der er relativt små forskelle i mængderne af kvælstof, der tilføres med handels- og husdyrgødningen, på henholdsvis sandede og lerede landbrugsjorde (figur 6.6). Det gælder når tallene opgøres som gennemsnit for hele landet. Laves opgørelsen for Jylland og Øerne, afslører tallene, at der især hvad angår brugen af kvælstof i husdyrgødning er meget store regionale forskelle. Den største tilførsel af kvælstof i husdyrgødning pr. hektar landbrugsjord sker i Jylland (88 kg N ha^{-1}), imod 47 kg N ha^{-1} på Øerne. Nettotilførslen af kvælstof pr. hektar landbrugsjord, dvs. tilført kvælstof, minus kvælstof fraført med afgrøderne, er ligeledes større i Jylland (122 kg N ha^{-1}) end på Øerne (67 kg N ha^{-1}).



Figur 6.5. Tildelt kvælstof, afgrødernes kvælstofbehov og fraført kvælstof med afgrøderne for hele landet i perioden 1985-1996. Overgødsningen er vist som det skraverede areal, beregnet som forskellen mellem effektivt tilførte kvælstofmængder og afgrødernes beregnede kvælstofbehov (Efter Grant *et al.*, 1997).



Figur 6.6. Gennemsnitlig tilførsel af kvælstof i handelsgødning, husdyrgødning, N-fixering og atmosfærisk deposition, samt bortførsel med afgrøderne og nettotilførslen for 19 sandede og 21 lerede vandløbsoplande for driftåret 1993/94.

Der findes ingen sikre langtidsanalyser af hvad der sker med den meget store kvælstofpulje i jorden. Det er derfor umuligt at sige om puljen er konstant eller om den ændrer sig. Den meget store kvælstofpulje i jorden overstiger jo langt de årlige til-

førsler med handels- og husdyrgødning. Det er derfor vigtigt at få styr på eventuelle tidlige variationer i denne pulje. Mineralisering af organisk stof og efterfølgende frigivelse af uorganisk kvælstof kan i særlige tilfælde, som f.eks. ved dræning, betyde at meget store mængder uorganisk kvælstof bliver udvasket.

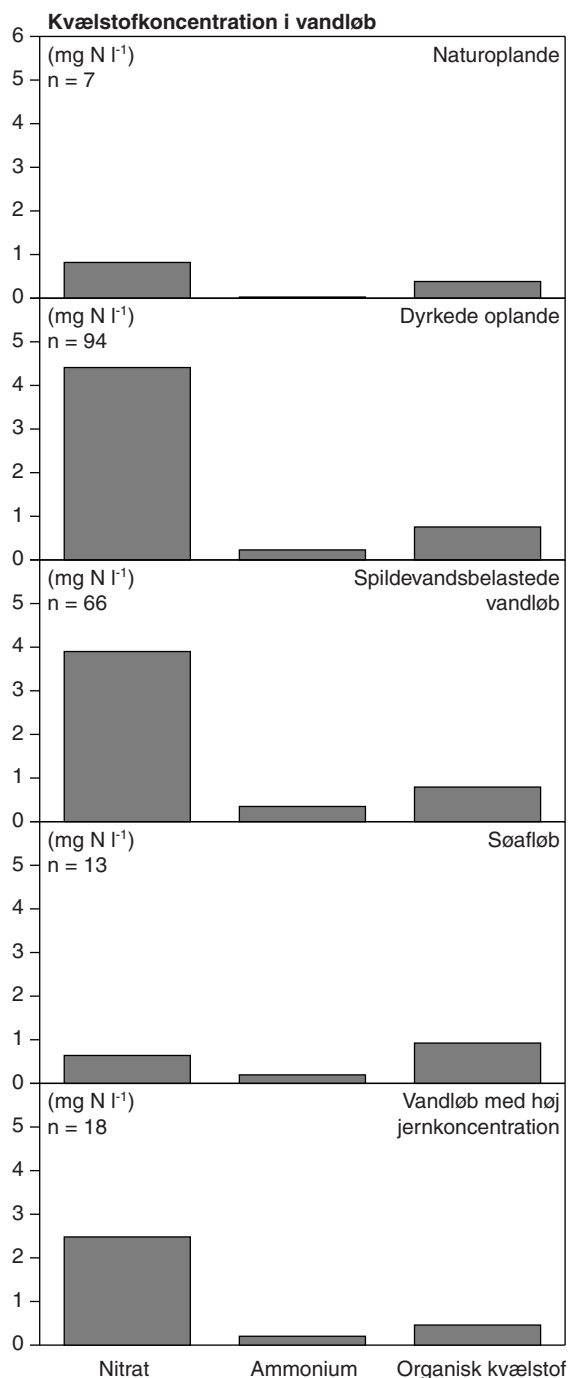
Kvælstof i vand

Kvælstof i vandløb og kildebække findes både på opløst form (hovedsageligt som nitrat og ammonium) og bundet til organisk stof. Der findes dog også mindre andele af nitrit og ammoniak i vandløb. Indholdet af disse to sidste uorganiske kvælstofformer er meget afhængig af forhold som temperatur, pH og iltforhold. De enkelte former af kvælstof udledes i større eller mindre omfang fra de forskellige punkt- og diffuse kilder. Nitrat er den altdominerende uorganiske kvælstofform i langt de fleste vandløb uanset kilderne til kvælstofbelastningen (figur 6.7). Nitrat udgør i gennemsnit omkring 80% af total kvælstof og tilsammen er typisk omkring 85% af total kvælstof på uorganisk form.

Der er næsten ingen forskel på forekomsten af kvælstofformer i vandløb i dyrkede områder uden spildevandsbelastning og de spildevandsbelastede vandløb, som for hovedpartens vedkommende også ligger i dyrkede områder. Kun i sø afløb og vandløb nedstrøms herfor dominerer organisk bundet kvælstof. Det skyldes dels den store mængde af kvælstof der bindes i algerne, dels en stor fjernelse af nitrat ved denitrifikation i søerne. I vandløb i skov- og naturoplande er indholdet af kvælstof meget lavt og der findes, i modsætning til i de dyrkningspåvirkede vandløb, næsten lige meget nitrat og organisk bundet kvælstof (figur 6.7).

I de meget jernbelastede vandløb, som ligger i Jylland, er koncentrationen af især nitrat meget lave, end i tilsvarende ikke jernbelastede vandløb, dvs. vandløb i dyrkede områder (figur 6.7). Det skyldes, at en del af det udvaskede nitrat fra landbrugsarealerne er blevet omsat (via kemisk denitrifikation) i jorden, pga. forekomsten af pyrit. Under reducerende forhold i jorden vil nitrat nemlig indgå som iltningmiddel overfor pyrit under dannelsen af frit kvælstof, ferrojern og sulfat. Ferrojern og sulfat kan derefter blive udvasket fra jordene og tilført vandløb via med grundvandet.

De uorganiske kvælstofforbindelser er umiddelbart tilgængeligt for algevækst i vandmiljøet, mens organisk bundet kvælstof først bliver tilgængeligt efter mineraliseringen af organisk stof på bunden af vandløb, søer eller fjorde.



Figur 6.7. Gennemsnitskoncentrationen af uorganiske kvælstofforbindelser og organisk bundet kvælstof i forskellige vandløbstyper. Forekomsten er vist som gennemsnit for vandløb i skov- og naturoplande, dyrkede oplande, spildevandsbelastede vandløb, vandløb i dyrkede oplande, søafløb og vandløb med et stort jernindhold (> 1,5 mg total Fe l⁻¹) i 1996. N angiver antallet af vandløb i analysen.

6.2. Kvælstofindholdet er faldet i en del danske vandløb

Miljøeffekterne af de forskellige iværksatte tiltag til begrænsning af kvælstofudledninger til vandmiljøet kan bestemmes, ved at analysere udviklingen i

koncentrationen af kvælstof målt i vandløb over længere tidsrum. Til denne analyse er anvendt to forskellige statistiske analyser, hvor den ene er en parametriske test og den anden en ikke parametriske test kaldet 'Seasonal Mann-Kendall test'. I begge de anvendte statistiske testmetoder er der bedst muligt forsøgt korrigeret for de klimatiske betingede variationer i kvælstofkoncentrationen ved hjælp af vandafstrømningen. En nærmere beskrivelse af de to metoder findes i databindet, samt i *Bruhm og Kronvang (1991)* og *Larsen (1996a)*.

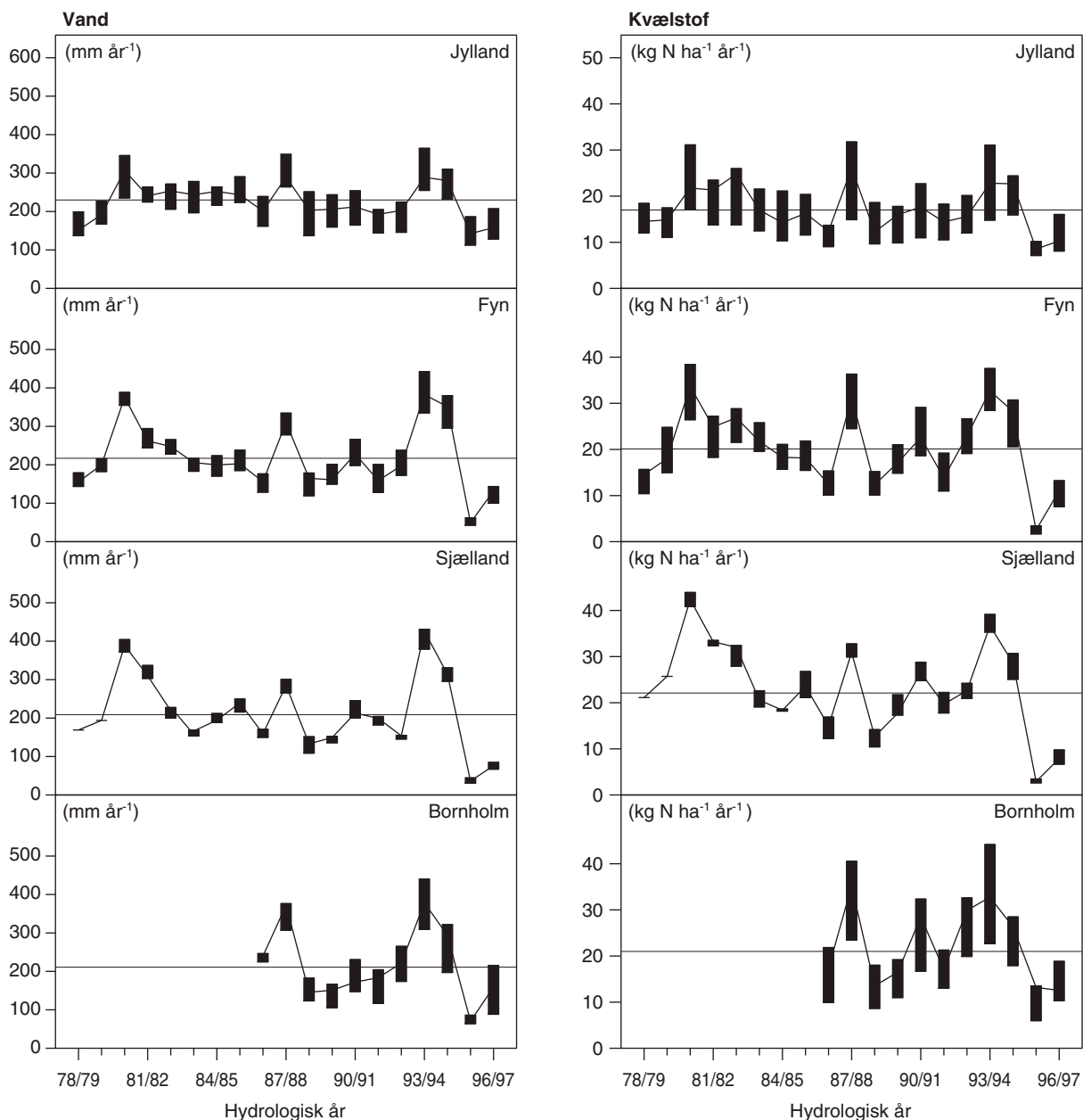
Analyse af udviklingen i kvælstoftransporten i perioden 1978/79 til 1996/97

I perioden forud for Vandmiljøplanens Overvågningsprogram er koncentrationen af kvælstof regelmæssigt blevet målt i enkelte danske vandløb i forbindelse med amternes tilsynsprogrammer. Der findes således tidsserier af kvælstofkoncentrationer og kvælstoftransport fra omkring 55 vandløb i perioden 1978/89 til 1996/97. Amternes daværende tilsynsprogrammer opfyldte ikke de standardiserede krav til overvågningen, som i dag er aftalt i forbindelse med Vandmiljøplanens Overvågningsprogram. Det drejer sig primært om prøvetagningsfrekvensen, som typisk var mindre end nu.

De forholdsvis mange vandløbsstationer med kvælstofanalyser fra før 1989 bedømmes dog som egnede til at give en nøjagtig vurdering af udviklingen i transporten af kvælstof i de danske vandløb i perioden før og efter Vandmiljøplanen blev vedtaget. De 55 vandløb fordeler sig med 23 i Jylland, 23 på Fyn, 6 på Sjælland og 3 på Bornholm. Oplandene til de 55 vandløb dækker mellem 12 og 50% af det samlede areal i regionerne. Bedst dækket er Fyn med 50% af arealet og dårligst Sjælland med 12% af arealet.

Den typisk målte transport af kvælstof i vandløb, vist som oplandstabet i kg kvælstof pr. hektar opland, er sammen med den typiske årlige vandafstrømning vist for de fire regioner i figur 6.8. Kvælstoftransporten i vandløb varierer i alle regioner fra år til år, nogenlunde i takt med variationerne i vandafstrømningen (figur 6.8). Der er større år til år udsving i både kvælstoftransport og vandafstrømning i vandløbene på Øerne end i de jyske vandløb. Samtidig er transporten af kvælstof, i gennemsnit for alle år, lidt større i vandløbene på Øerne end i de jyske vandløb (figur 6.8).

Både den generelt mindre kvælstoftransport og de mindre år til år udsving i kvælstoftransporten i de jyske vandløb kan forklares ved forskelle i de naturgivne forhold mellem Jylland og Øerne. Jorden er meget mere sandet i store dele af Jylland, end det er tilfældet på Øerne, hvorfor en større del af overskudsnedbøren går til grundvandsdannelse. Herfra strømmer vandet langsomt ud mod vand-



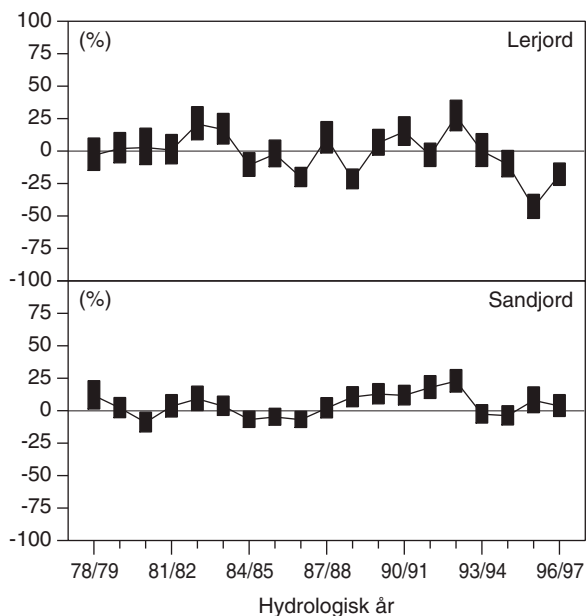
Figur 6.8. Oplandstab af nitrat-N indenfor hydrologiske år (juni-maj) og vandafstrømningen i vinterperioden i fire regioner af Danmark i perioden 1978/79 til 1996/97. I figurene er gennemsnittet for hele perioden indlagt som en vandret streg. I figuren er for hver region vist medianen, samt 25% og 75% fraktilerne for de analyserede vandløb.

løbene. På de lerede arealer på Øerne strømmer en større del af overskudsnedbøren hurtigt ud til vandløbene via dræn mv. Vandløb på Øerne er derfor kraftigst påvirket af ekstreme tørre og våde år, mens udsvingene i de jyske vandløb vil være dæmpede fordi grundvandet virker som en buffer. Da en del af det udvaskede kvælstof på sandjorde ne opholder sig i flere år i jorden er der også større mulighed for at omsætningsprocesser kan nå at fjerne nitrat via denitrifikation.

Da både kvælstoftransporten og vandafstrømningen i vandløb er påvirket af de naturgivne forhold i oplandet er det valgt særskilt at teste for en udvikling i kvælstoftransporten for de vandløb, der afvander henholdsvis sandjord, blandede sand- og lerjorder og de mere lerede jorder. I alt indgår 21

vandløb på sandjord i testen, 16 vandløb på de blandede sand- og lerjorder og 18 vandløb på lerjord.

Resultatet af den statistiske test for udvikling i kvælstoftransporten i vandløbene på de to hovedjordtyper er vist i figur 6.9. I testen er der bedst muligt korrigeret for år til år ændringer i de klimatiske forhold ved at inddrage vandafstrømningen. Temperaturen er tidligere forsøgt inddraget, men har ikke vist sig at kunne bidrage med nogen yderligere forklaring af år til år variationerne i kvælstoftransport (*Larsen, 1996b*).



Figur 6.9. Klimatisk (vandafstrømning) korrigeret transport af nitrat-kvælstof i grupperne af vandløb, der henholdsvis afvander sandjord, blandede sand- og lerjord og ren lerjord. For hver jordtype er indlagt et referenceniveau (nul-niveauet), som en stiplede linie, der angiver gennemsnittet for 9-års perioden for Vandmiljøplanen blev vedtaget, dvs. perioden 1978/79 til 1986/87. I figuren er der for hvert hydrologisk år angivet det korrigerede relative transportniveau af kvælstof for den analyserede gruppe af vandløb med et sikkerhedsbånd (± 2 gange standardafvigelsen).

I perioden fra Vandmiljøplanens vedtagelse og frem til 1992/93 har det klimatiske korrigerede transportniveau af kvælstof, med små udsving fra år til år, ligget omkring gennemsnittet for 9-års perioden forud for Vandmiljøplanen (figur 6.9). Det gælder især for vandløbene, der afvander lerjord og de sand- og lerblandede jorder. I vandløb på de sandede jorder har der i samme periode været en svag, men entydig stigende tendens (figur 6.9).

I de fire år efter 1992/93 har det klimatiske korrigerede transportniveau af kvælstof i alle år ligget lavere end de 4-5 foregående år. For vandløb på lerjord er transportniveauet af kvælstof i de seneste fire år således signifikant mindre end i den forudgående 15-års periode. I vandløb på lerjord og sand- og lerblandede jorder er transportniveauet af kvælstof mindre, end gennemsnittet for årene før Vandmiljøplanens vedtagelse. For vandløb på sandjord er transportniveauet af kvælstof dog stadig på eller lige over gennemsnittet fra før Vandmiljøplanens vedtagelse.

Det store fald i det korrigerede transportniveau af kvælstof, som er konstateret i 1995/96, for vandløbene på lerjord og de sand- og lerblandede jorder skyldes altovervejende de meget specielle klimati-

ske forhold i dette hydrologiske år. Året var det tørreste i dette århundrede. I løbet af året faldt der så lidt nedbør, at der næsten ikke var nogen overskudsnedbør til rådighed til nedsivning i jorden. Det ses også tydeligt af figur 6.8 hvor vandafstrømningen i vinterperioden 1995/96 var meget lille på Øerne. I Jylland er vandafstrømningen ikke så markant forskellig fra de andre år, idet grundvandstilstrømningen i disse, overvejende sandede områder, tilfører vand til vandløbene hele året. I de sandede oplande strømmer ældre grundvand derfor fortsat til vandløbene og virker dermed som en buffer mod udtørring i ekstremt tørre år.

I løbet af 1995/96 blev der derfor ikke udvasket ret meget kvælstof fra rodzonen til vandløb og grundvand på Øerne og i Jylland. Dette ekstreme forhold er også påvist ud fra direkte målinger i jord og dræn i de 3 landovervågningsoplande på lerjord. I to af oplandene (beliggende på Fyn og Sjælland) kunne der ikke beregnes nogen vandafstrømning fra rodzonen i 1995/96 (Grant et al., 1997).

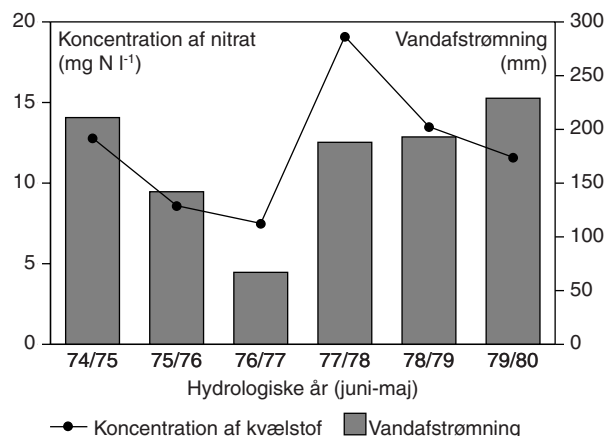
Der er således i løbet af 1995/96 opbygget en stor pulje af uorganisk kvælstof i jorden både i form af det nettotilførte kvælstof i handels- og husdyrgødning, dels den mineraliserede mængde af kvælstof fra jordens organiske pulje. Ved fastsættelse af gødskningsnormerne i driftsåret 1996/97 er der kun delvist kompenseret for denne pulje (Fyns amt, 1997).

I 1996/97 steg det korrigerede transportniveau af kvælstof i vandløb på lerjord og de sand- og lerblandede jorder i forhold til året før. Det skyldes givetvis en udvaskning af dele af den opsparede uorganiske kvælstofpulje i rodzonen fra året før. Stigningen i dette ene år skyldes altså opsparet kvælstof i jorden og kan ikke henføres til nogen generel udvikling i landbrugets brug og håndtering af kvælstofgødning.

Da 1996/97 også var et forholdsvist tørt år er der formentlig stadigvæk en meget stor pulje af uorganisk kvælstof i jorden. Hvis der igen ikke kompenseres tilstrækkeligt herfor i gødskningsnormerne for 1997/98 vil der være risiko for en meget stor kvælstofudvaskning ved normale nedbørsmængder. En sådan situation har tidligere optrådt i forbindelse med det meget tørre hydrologiske år i 1976/77. Året efter faldt der normale nedbørsmængder, og der blev målt en kraftig forøget kvælstoftransport og dermed vandføringsvægtet koncentration af kvælstof i vandløbet (figur 6.10).

I de sidste fire år er der i vandløb på mere lerede jorde påvist en reduktion i det afstrømningskorrigerede transportniveau af kvælstof i vandløb. Det afstrømningskorrigerede transportniveau af kvælstof er, for disse vandløb, i de sidste fire år

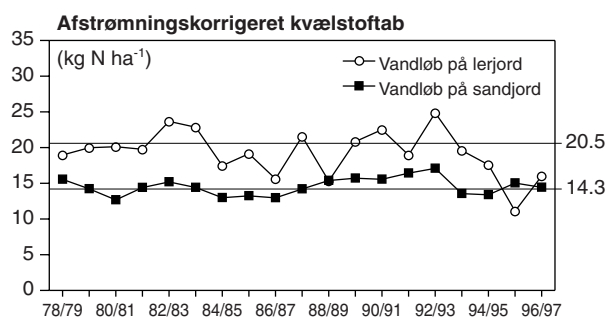
således signifikant ($p < 0,05$) under niveauet for hele perioden 1978/79 til 1992/93. På sandjord kan der ikke konstateres noget signifikant fald. I vandløb på sandjord er den afstrømningskorrigerede kvælstoftransport således stadig på niveau med perioden før Vandmiljøplanens vedtagelse.



Figur 6.10. Vandføringsvægtet koncentration af kvælstof i et lille vandløb i Midtjylland på lerjord i perioden 1974/75 til 1979/80.

Udviklingen i den korrigerede kvælstoftransport for vandløb på sandjord og lerjord er vist i absolute tal i form af et korrigeret oplandstab i kg kvælstof pr. hektar opland i figur 6.11.

Det beregnede fald i den afstrømningskorrigerede kvælstoftransport på lerjord kan skyldes ændringer i landbrugspraksis. Faldet kan dog også skyldes de meget ekstreme klimatiske forhold, der har været i årene 1994/95 og 1995/96. Sådanne helt specielle klimatiske forhold er selvklaart udenfor den anvendte testmetodes normale anvendelsesområde og derfor også pålagt de største usikkerheder hvad angår fortolkninger af udvikling. Flere års målinger, under rimeligt normale nedbørsforhold, er nødvendige for med sikkerhed at kunne afgøre om den øjensynligt faldende afstrømningskorrigerede kvælstoftransport i de danske vandløb fastholdes og udbygges i de kommende år.



Figur 6.11. Udviklingen i den afstrømningskorrigerede kvælstoftransport i danske vandløb på sandjord og på lerjord. I figuren er gennemsnittet for 9-års perioden forud for Vandmiljøplanens vedtagelse indlagt som en vandret linie.

Analyse af udviklingen i perioden under Vandmiljøplanens Overvågningsprogram (1989-96)

En anden statistisk analyse af udviklingen i koncentrationen af total kvælstof i vandløb efter igangsætning af Vandmiljøplanens Overvågningsprogram er gennemført for fire grupper af vandløb. Det drejer sig om vandløb, der afvander oplande, hvor kvælstofudledningen hovedsageligt stammer fra:

- Udyrkede natur- og skovarealer
- Landbrugsarealer og spredt bebyggelse
- Kommunale rensningsanlæg
- Dambrug

I oplande med kvælstofudledninger fra kommunale rensningsanlæg og dambrug forekommer der selvfølgelig også kvælstofudledninger fra landbrugsarealer, spredt bebyggelse, regnvandsbetingede udløb og udyrkede arealer.

Analysen er gennemført for nærmere at kunne vurdere udviklingen i kvælstofbelastningen af vandløb ud fra det meget store antal vandløb (omkring 250), hvor der er gennemført målinger på en standardiseret måde efter 1988. I analysen er benyttet en ikke parametrisk test, hvor der dog også korrigeres for vandføringen på de enkelte måledage ved anvendelse af en estimeret sammenhæng for hvert vandløb mellem kvælstofkoncentrationen og vandføringen for hele måleperioden 1989-96 (se databind). Den udvikling i kvælstofkoncentrationen, der beregnes ved anvendelse af ovenstående statistiske metode, er således et udtryk for koncentrationsfaldet ved en konstant vandføring. Det samlede koncentrationsfald over hele perioden 1989-96 er beregnet ved at gange det årlige fald med periodens længde på 7 år. Udviklingen er også angivet i procent, set i forhold til gennemsnitskoncentrationen af kvælstof i det første år 1989.

Vandløb i skov- og naturoplande 1989-96

I et af de vandløb, der afvander skov- og naturoplande, er der sket en lille, men ikke signifikant stigning i koncentrationen af total kvælstof på 0,033 mg N l⁻¹ i perioden 1989-96, svarende til 6% (figur 6.12). I de fem andre naturvandløb er der sket et fald i kvælstofkoncentrationen. Faldet er dog kun signifikant i et af de 5 vandløb på 5% niveau ($p < 0,05$). Den typiske udvikling i alle seks naturvandløb, udtrykt som medianværdien, viser at der er sket et fald i koncentrationen af total kvælstof på 0,060 mg N l⁻¹ svarende til 3% i perioden 1989-96.

Det var ikke umiddelbart ventet, at der skulle kunne registreres signifikante ændringer i kvælstofkoncentrationen i naturvandløb, da der i disse oplande ikke er nævneværdige kulturbetingede

kvælstofudledninger fra f.eks. landbrug. En generelt faldende atmosfærisk våddeposition af ammonium og nitrat over land kan være en årsag til at koncentrationen af kvælstof i naturvandløb viser en svagt faldende tendens. I hvert fald har der været en meget lille atmosfærisk våddeposition af kvælstofforbindelser over land i de sidste to år af perioden 1989-96 alene på grund af de små nedbørsmængder (Ellermann *et al.*, 1997). En anden forklaring kan være, at der selv med korrektion for vandføring i den statistiske analyse, ikke tages nok hensyn til de ekstreme nedbørsforhold i den sidste del af overvågningsperioden og disses indvirkning på kvælstofstrømme i jord.

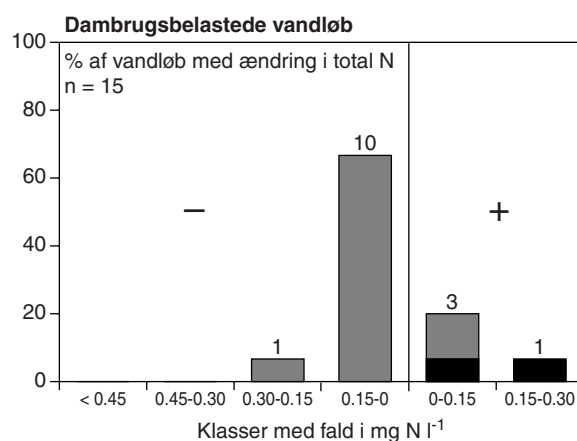
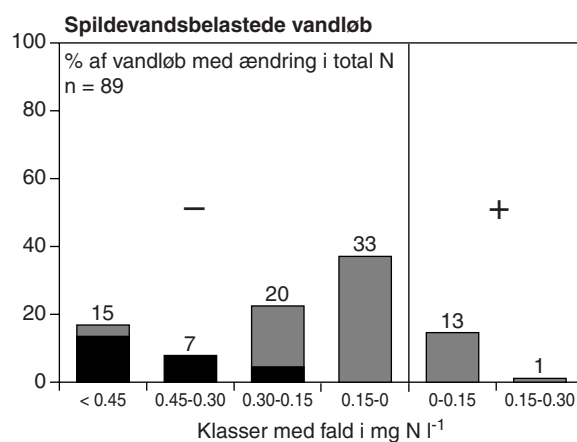
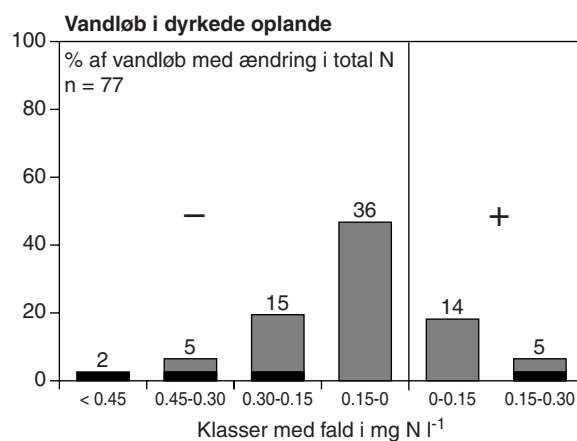
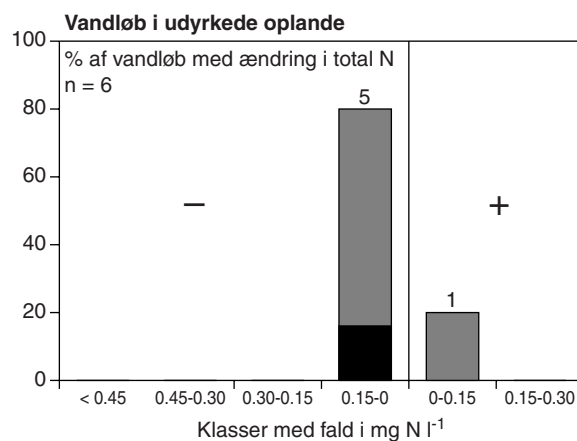
Det er vigtigt at følge udviklingen i vandløb i skov- og naturoplande, da de bedst muligt kan afdække de mere naturbetingede udviklinger i baggrundsbidraget til vandmiljøet.

Vandløb i dyrkede oplande (1989-96)

I 77 vandløb, der afvander dyrkede oplande uden større punktkildeudledninger af kvælstof, er der beregnet et typisk (median) årligt fald i koncentrationen af total kvælstof på 0,073 mg N l⁻¹, svarende til 9% i overvågningsperioden 1989-96. Kun i 6 af de 77 vandløb er faldet dog signifikant på 5% niveau, mens der i 2 af vandløbene er konstateret en signifikant stigning i koncentrationen af total kvælstof (figur 6.12).

Det gennemgående fald i kvælstofkoncentrationen i disse vandløb, der for hele overvågningsperioden i gennemsnit udgør omkring 0,511 mg N l⁻¹, kan formentlig kun i ringe grad forklares ved det lille fald i kvælstofudledning fra skov- og naturarealer (baggrundsbidraget). Kvælstofudledningerne fra spredt bebyggelse i overvågningsperioden antages uændrede. Kun et fald i kvælstofudledningerne fra landbrugsarealer og/eller et klimatisk betinget fald betinget af de specielle nedbørs- og afstrømningsforhold, som der ikke er korrigeret for i analysen, ser altså ud til at kunne forklare det beregnede generelle fald i kvælstofkoncentrationen i vandløb i dyrkede oplande. De beregnede ændringer i kvælstofkoncentrationen varierer også meget fra vandløb til vandløb (figur 6.12).

Figur 6.12 Den årlige ændring i den vandføringskorrigerede koncentration af total kvælstof i danske vandløb i perioden 1989-96 vist for vandløb, der afvander fire forskellige typer af oplande med hensyn til kvælstofbelastning. Udyrkede, skov- og naturoplande, dyrkede oplande uden større punktkilder, oplande med kvælstofudledninger fra rensningsanlæg og oplande med store kvælstofudledninger fra dambrug. Ændringerne er vist indenfor forskellige klasser med fald (-) og stigning (+). Desuden er angivet det samlede antal analyserede vandløb (n), antal vandløb i hver klasse (over søjlen) og hvor stor en del af vandløbene hvor udviklingen er signifikant på 5% niveau (p<0,05), (sort).



En nærmere analyse viser, at kvælstofkoncentrationen i perioden 1989-96 er faldet mere i de 31 vandløb, der afvander lerede oplande (typisk fald er på 0,641 mg N l⁻¹ svarende til 13%), end i de 31 vandløb på sandjord (typisk fald er på 0,280 mg N l⁻¹ svarende til 7%). Faldet er også større i vandløb, der afvander blandede sand- og lerjorder, end i vandløb på de rene sandjorder (figur 6.13).

Årsagerne til de konstaterede forskelle mellem vandløb på lerjord og sandjord skal formentlig findes i to forhold:

1. Generelle forbedringer i landbrugets brug og håndtering af kvælstofgødning og en deraf følgende reduceret kvælstofudvaskning fra rodzonen vil hurtigst og mest slå igennem i vandløb på lerjord. Det skyldes den hurtige transportvej for vand og kvælstof fra rodzonen gennem f.eks. dræn på disse jorder.
2. Det samme forhold gælder dog imidlertid også, hvis der er tale om naturbetingede ændringer, som f.eks. ændringer i hvilke vandmagasiner i jorden, der leverer vand og kvælstof til vandløbene (se f.eks. figur 6.4).

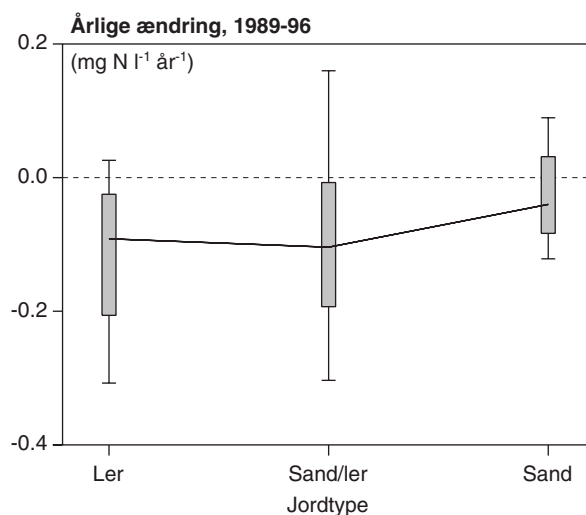
Der er således behov for at videreudvikle statistiske metoder til test af udviklingstendenser, der kan inddrage mere specialiseret viden om vand- og kvælstofstrømme på oplandsniveau. I det kommende overvågningsprogram for perioden 1998-2003 er der netop afsat resurser til nærmere oplandsanalyser af vand- og næringsstofstrømme.

Udvaskningen af kvælstof fra landbrugsjorden ved normalt klima er modelberegnet til at være faldet med i gennemsnit 17% fra 1989/90 til 1995/96, og faldet er ydermere beregnet til at være større fra landbrugsjord på lerjord (30%) end fra landbrugsjord på sandjord (9%) (Grant *et al.*, 1997). Der er således ingen uoverensstemmelse med dette og den beskrevne udvikling i vandløbenes kvælstofkoncentration.

Den generelt faldende kvælstofkoncentration i vandløb i dyrkede oplande, som dog kun er signifikant i 8% af de 77 testede vandløb, er dog meget mindre end det tilsvarende fald i kvælstofudvaskningen fra rodzonen ved normalt klima. Det var også forventet, da større eller mindre dele af kvælstoffet siver ned til grundvandet, og først efter flere år når frem til vandløb. Reduktioner vil derfor først kunne erkendes i rodzonen, derefter i øvre grundvand og samtidig, men i mindre grad, i kvælstofudledningerne til vandløb. Først efter mange år vil reduktionerne i kvælstofudvaskning fra rodzonen derfor slå fuldt igennem i overfladevand. Reduktioner i kvælstofudvaskningen fra rodzonen vil ikke medføre den samme mængdemæssige reduktion i

kvælstoftilførslen til vandløb. Det skyldes at en del af kvælstoffet under passagen af jorden fjernes ved denitrifikationsprocesser. Disse komplicerede biologiske og kemiske processer i jorden er afhængige af en række jordfysiske og -kemiske forhold, som igen kan påvirkes af kulturbetingede foranstaltninger, som afvanding af enge, mv.

Sammenfattende må det konkluderes, at der er god grund til at antage, at det forholdsvis lille fald der er konstateret i kvælstofkoncentrationen i vandløb i dyrkede oplande, skyldes den mindre kvælstofudvaskning fra landbrugsjorden. En lille del af faldet kan imidlertid også tilskrives et samtidigt fald i baggrundsbidraget og måske endda specielle klimatiske forhold, som der ikke kan korrigeres for i den anvendte statistiske analyse. Først i løbet af de kommende år vil målingerne i vandløb med sikkerhed kunne afdække om de konstaterede ændringer i kvælstofudledningerne til vandløb fortsætter og dermed hvilken betydning ændringerne i landbrugspraksis har haft for kvælstofudledningerne til overfladevand.



Figur 6.13. Det absolutte årlige fald i den vandføringskorrigerede koncentration af total kvælstof i perioden 1989-96 for 18 vandløb på lerjord, 16 vandløb på sandjord og 6 vandløb på blandede sand- og lerjord. Alle de analyserede vandløb afvander dyrkede oplande uden større kvælstofudledninger fra punktkilder. I figuren er udviklingen vist deskriptivt ved en præsentation af årlige medianværdier (fuldt optrukket linie), øvre og nedre kvartil (bokse) og 90 og 10% percentiler.

Punktkildebelastede vandløb (1989-96)

I 22 af de 89 analyserede spildevandsbelastede vandløb, kan der konstateres et signifikant fald i koncentrationen af total kvælstof i perioden 1989-96. I næsten alle de 89 vandløb er der dog beregnet et større eller mindre fald i kvælstofkoncentrationen (figur 6.12). Det typiske fald i koncentrationen af total kvælstof er for alle 90 vandløb på 0,971 mg N l⁻¹ i perioden 1989-96.

Det gennemsnitlige fald dækker over store variationer fra vandløb til vandløb (figur 6.12). I de fleste vandløb er der konstateret et fald, der ligner udviklingen i vandløb i dyrkede oplande (figur 6.12). Det typiske procentiske fald i koncentrationen af total kvælstof i de 90 vandløb er over hele perioden dog på 18%, og dermed lidt større end i vandløb i dyrkede oplande.

Udledningerne af kvælstof fra punktkilderne i de 90 oplande er i den samme periode (1989-96) også faldet lidt (figur 6.14). I figuren er kvælstofudledningernes indflydelse på koncentrationen af kvælstof i vandløb vist ved den øgning i den vandføringsvægtede koncentration, som kvælstofudledningerne fra punktkilder teoretisk er årsag til. For at vise eventuelle ændringer i kvælstofudledningerne fra punktkilder er den gennemsnitlige årlige vandafstrømning i perioden 1989-96 i hvert enkelt vandløb benyttet til beregning af punktkildernes betydning for kvælstofkoncentrationen.

Over hele perioden er der tale om et lille fald i kvælstofudledningerne fra punktkilder (figur 6.14). Specielt er der sket reduktioner i kvælstofudledningen i de vandløb, hvor der i 1989 var tale om store kvælstofudledninger, i figuren vist ved den stadige indsnævring af 90% percentilen.

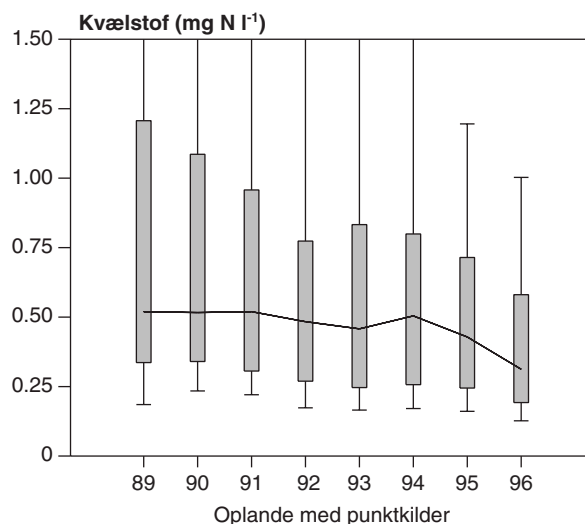
Det typiske fald (mediantilfældet) i punktkildeudledningernes bidrag til kvælstofindholdet i de 89 vandløb er på $0,207 \text{ mg N l}^{-1}$ i perioden 1989-96. Hermed forklares omkring 20% af det observerede fald i vandløbene. Resten må tilskrives de samme forhold, som beskrevet for vandløb i dyrkede oplande.

Der er derfor ingen tvivl om, at den forbedrede rensning af spildevand fra byer og industrier efter Vandmiljøplanens vedtagelse har haft en vis, mindre effekt på koncentrationen af total kvælstof i vandløb. Det gælder især i de mest forurenede vandløb, hvor der er sket de største reduktioner i spildevandsudledning af kvælstof og kvælstofkoncentrationen i vandløb.

Dambrugsbelastede vandløb (1989-96)

I de 15 vandløb hvor en stor del af kvælstofudledningen fra punktkilder stammer fra dambrug (alle ligger i Jylland), kan der beregnes et typisk fald i koncentrationen af total kvælstof på $0,219 \text{ mg N l}^{-1}$ i perioden 1989-96. I to af de 15 vandløb er der dog sket en signifikant stigning i koncentrationen, mens ingen udviste et signifikant fald (figur 6.12).

Faldet i kvælstofkoncentrationen er omtrent den samme, som fundet i vandløb i sandede og dyrkede oplande. Hovedparten må således tilskrives de tidligere beskrevne forhold og ikke egentlige er-

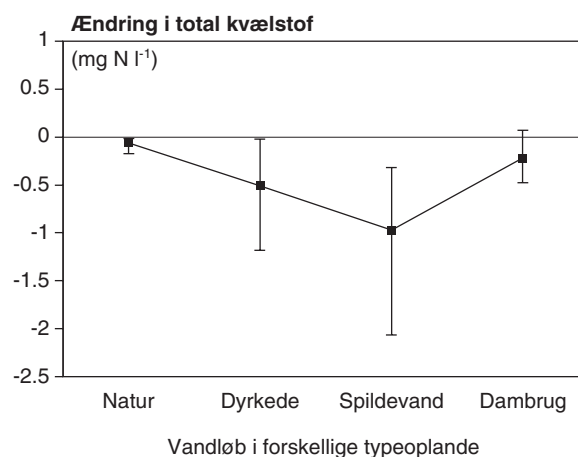


Figur 6.14. Kvælstofudledningerne fra punktkilder til de 90 spildevandsbelastede vandløb vist som vandføringsvægtet koncentration i vandløbene ved den gennemsnitlige vandafstrømning i perioden 1989-96. I figuren er udviklingen vist deskriptivt ved en præsentation af årlige medianværdier (fuldt optrukket linie), øvre og nedre kvartil (bokse) og 90 og 10% percentiler

kendelige reduktioner i kvælstofudledninger fra dambrug.

Sammenstilling af udviklingen (1989-96)

En sammenstilling af det typiske fald i kvælstofkoncentrationen i forskellige typer af danske vandløb igennem perioden 1989-96 er vist i figur 6.15. Det største fald er tydeligvis sket i de spildevandsbelastede vandløb, efterfulgt af de dambrugsbelastede vandløb, vandløb i dyrkede oplande og vandløb i skov- og naturområder.



Figur 6.15. Reduktion i den vandføringskorrigerede koncentration af total kvælstof i forskellige danske vandløbstyper igennem hele perioden 1989-96. I figuren er udviklingen vist deskriptivt ved en præsentation af årlige medianværdier (fuldt optrukket linie) og 25 og 75% percentiler.



Figur 6.16. Kort visende gennemsnitskoncentrationen af total kvælstof i omkring 260 danske vandløb i 1996. Kvælstofkoncentrationen er også vist for forskellige typer af danske vandløb, dvs. naturvandløb, vandløb i dyrkede oplande og spildevandsbelastede vandløb.



Figur 6.17 Kort visende oplandstabet af total kvælstof i omkring 260 danske vandløb i 1996. Oplandstabet af kvælstof er også vist for forskellige typer af danske vandløb, dvs. naturvandløb, vandløb i dyrkede oplande og spildevandsbelastede vandløb.

6.3. Kvælstofindholdet er stadigvæk højt i mange danske vandløb og kilder

Kvælstofkoncentrationen er over 4 mg N l^{-1} i de fleste danske vandløb (figur 6.16); kun i vandløb i skov- og naturområder og i enkelte jyske vandløb i sandede oplande findes lave kvælstofkoncentrationer.

De højeste koncentrationer findes fortrinsvis i vandløb i Østjylland og på Øerne, samt i et bælte syd for Limfjorden fra Vesterhavet til Kattegat (figur 6.16). De høje kvælstofkoncentrationer i mange vandløb i området syd for Limfjorden kan formentlig forklares ved, at der netop i dette område er et generelt meget stort husdyrhold (Kronvang *et al.*, 1994). De viste kvælstofkoncentrationer er fra det seneste overvågningsår i 1996, som var meget tørt. I et normalt nedbørsmæssigt år vil kvælstofkoncentrationen i vandløb generelt være højere. Det vil især

være udpræget i vandløb i Østjylland og på Øerne, som i det tørre år 1996 fik tilført meget lidt vand og kvælstof fra det åbne land.

Dette fremgår tydeligt af figur 6.17 hvor oplandstabet af total kvælstof er vist for alle overvågningsvandløbene. Oplandstabet eller transporten af kvælstof var ekstremt lille i vandløbene i Østjylland og på Øerne i 1996. Det skyldes den ekstremt lille nedbørsmængde og deraf følgende lille kvælstofudvaskning fra landbrugsjorden (Grant *et al.*, 1997).

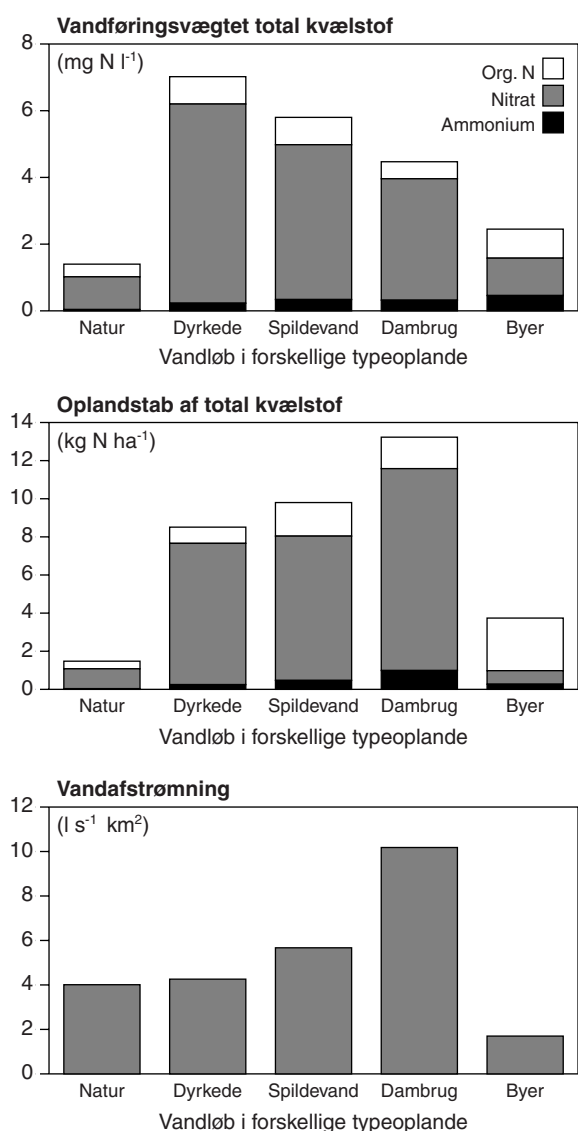
Den laveste kvælstofkoncentration og det mindste oplandstab af kvælstof findes i vandløb i skov- og naturolpande (figur 6.18). Både den vandføringsvægtede koncentration og oplandstabet af total kvælstof var i 1996 omkring 5 gange højere i vandløb i dyrkede oplande end i vandløb i skov- og naturolpande.

Den vandføringsvægtede koncentration af total kvælstof var i 1996 lidt højere i vandløb i dyrkede oplande, end i de spildevandsbelastede vandløb, de dambrugsbelastede vandløb og vandløb i byområder (befæstede) (figur 6.18). Dette forhold har været gældende i hele perioden 1989-96.

Omvendt forholder det sig i 1996 for oplandstabet af total kvælstof, som var mindre i vandløb i dyrkede oplande, end i de spildevandsbelastede- og dambrugsbelastede vandløb. Dette forhold er kun registreret i 1996. Forklaringen på de konstaterede forskelle mellem vandløb i dyrkede oplande og de spildevandsbelastede og dambrugsbelastede vandløb skal findes i to forhold:

(1) Oplandene til både de spildevandsbelastede og dambrugsbelastede vandløb er typisk væsentligt større (omkring 100 km^2), end oplandene til de landbrugsbelastede vandløb (omkring 15 km^2). Grundvandstilstrømningen til vandløb stiger generelt med stigende oplandsareal. Ydermere ligger alle de 14 dambrugsbelastede vandløb i Jylland og alle i vandløb med en meget stor vandafstrømning. De spildevandsbelastede og dambrugsbelastede vandløb har derfor i gennemsnit en større vandafstrømning end vandløb i dyrkede oplande (figur 6.18). Dette forhold er specielt udpræget i tørre år som 1996. Oplandstabet af total kvælstof var derfor i 1996 i gennemsnit større i de spildevands- og dambrugsbelastede vandløb, end i vandløb i dyrkede oplande.

(2) Grundvand indeholder generelt mindre kvælstof, end mere overfladenært vand, på grund af kvælstoftab via umættet zone og kvælstofomsætning i jord. I store oplande fortynder tilstrømmende grundvand derfor det kvælstof-



Figur 6.18 Gennemsnitlig vandføringsvægtet koncentration og oplandstab af total kvælstof opdelt på ammonium, nitrat og organisk kvælstof, samt vandafstrømning, fra 5 typer af vandløb i 1996.

holdige vand, der udvaskes fra landbrugsjorden. Den vandføringsvægtede kvælstofkoncentration er derfor alt andet lige, oftest mindre i store, end i små oplande.

En speciel type af vandløb er dem, der overvejende ligger i større byområder og primært afvander befæstede arealer. I disse vandløb er den vandføringsvægtede kvælstofkoncentration og oplandstabet af kvælstof meget lille (figur 6.18). Det skyldes, at der i oplandet til denne type af vandløb næsten ikke er dyrkede arealer. Kvælstofudvaskning og -tilstrømning fra jorden er derfor lille og består i mange tilfælde udelukkende af kvælstofudledninger fra rensningsanlæg og regnvandsbetingede udløb. Forholdet mellem ammonium, nitrat og organisk kvælstof er derfor også væsentligt anderledes end i de andre fire typer af vandløb (figur 6.18). Nitrat, som primært stammer fra kvælstofudvaskningen fra landbrugsjorden, udgør således en meget mindre andel af total kvælstoftransporten i vandløb i byområder. Derimod dominerer organisk kvælstof som tilføres fra spildevandsudledninger og regnvandsbetingede udløb.

6.4. De diffuse kilders betydning

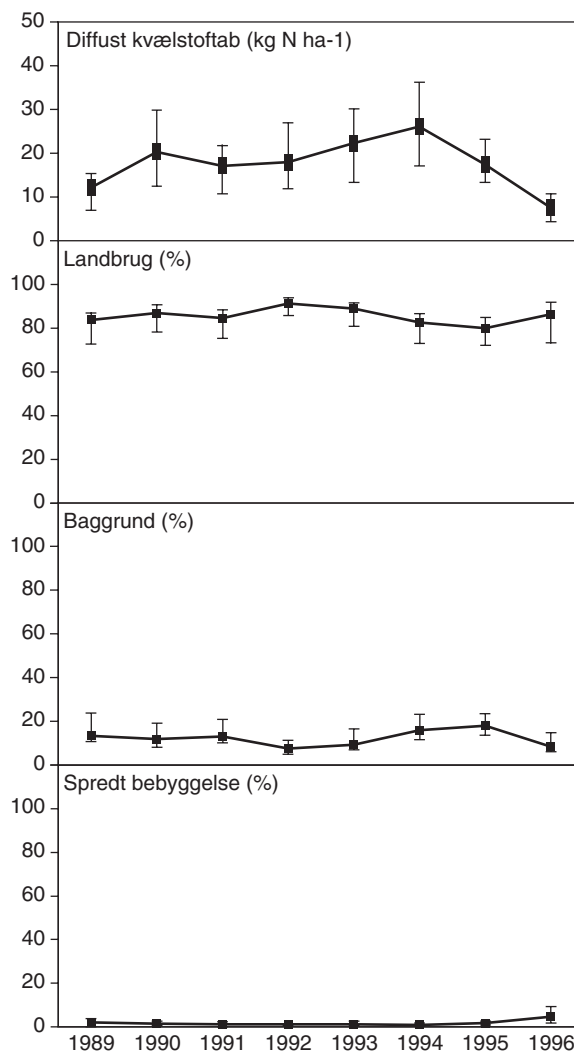
De diffuse kilder til kvælstoftab til vandløb udgøres af spredt bebyggelse, landbrug og naturarealer.

Det diffuse kvælstoftab til ca. 90 vandløb i dyrkede oplande uden punktkilder var størst i det våde år 1994 og mindst i det meget tørre år 1996 (figur 6.19). Det diffuse kvælstoftab til vandløb var generelt stigende i perioden 1989-1994 og er derefter faldet markant i de sidste to år (1995 og 1996). År til år variationerne i det diffuse kvælstoftab skyldes overvejende forskelle i de klimatiske forhold, herunder variationer i vandafstrømningen (se afsnit 6.3).

Kvælstofudledningerne fra landbrug udgjorde i alle år (1989-96) typisk mere end 80% af det diffuse kvælstoftab til vandløb fra oplandet. Kvælstofudledningerne fra spredt bebyggelse har meget lille betydning, idet det typisk udgør mindre end 2% af det samlede diffuse kvælstoftab til vandløb. Baggrundsbidraget af kvælstof fra oplandet til vandløb, dvs. kvælstoftabet fra skov- og naturarealer, udgjorde typisk mellem 10 og 15%.

Den vandføringsvægtede koncentration og oplandstabet af total kvælstof for vandløb i dyrkede oplande, der er domineret af henholdsvis sandjord og lerjord er vist i figur 6.20. Resultater er vist både for det våde år 1994 og det tørre år 1996. I et vådt år som 1994 er den vandføringsvægtede koncentration og oplandstabet af total kvælstof noget større i vandløb på lerjord, end i vandløb på sandjord. I et tørt år som 1996 udlignes forskellene mellem vandløb på sandjord og på lerjord på

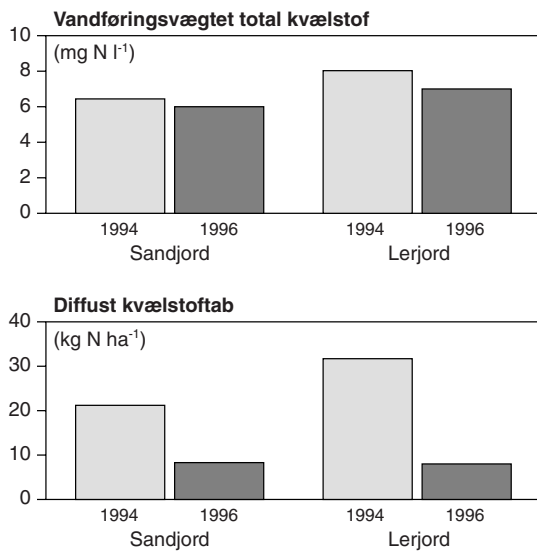
grund af den delvist eller helt manglende vand- og kvælstoftilstrømning fra den umættede zone bl.a. gennem dræn på lerjord (figur 6.20).



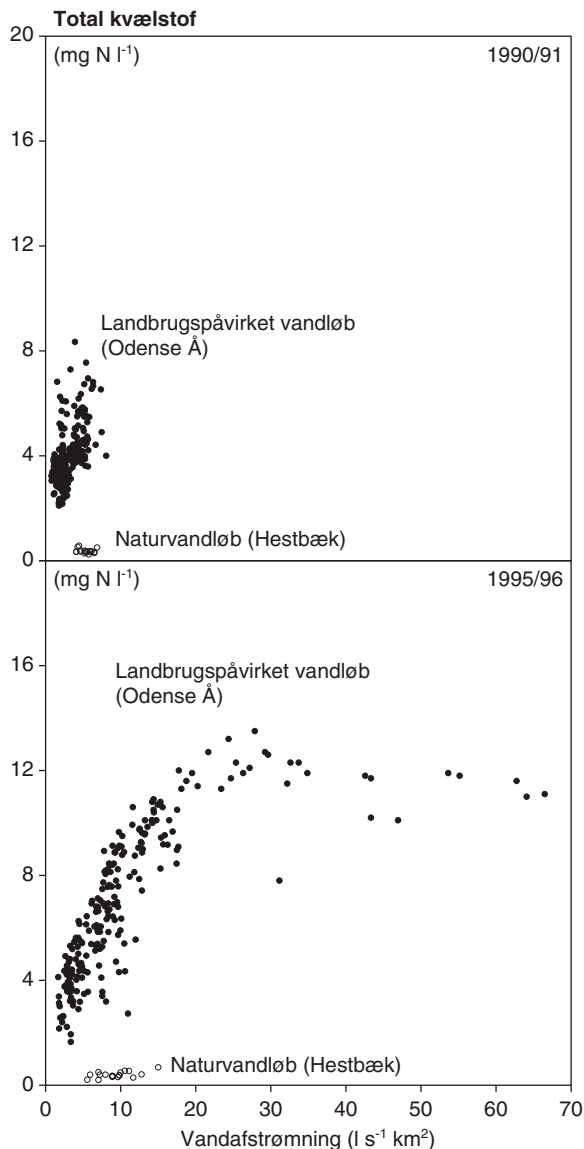
Figur 6.19. Det årlige diffuse kvælstoftab til vandløb og betydningen af kvælstofudledninger fra landbrugsarealer, spredt bebyggelse og udyrkede arealer (baggrund) vist for ca. 90 vandløb i små dyrkede oplande i perioden 1989-96.

Forskellen mellem betydningen af landbrugsarealer og naturarealer for kvælstoftilførslen til vandløb er vist i figur 6.21 for et vådt hydrologisk år (1990/91) og et tørt hydrologisk år (1995/96). Koncentrationen af total kvælstof stiger hurtigt med stigende vandafstrømning i vandløbsoplande, hvor en stor del af arealet er dyrket, på grund af kvælstofudvaskningen fra rodzonen på dyrkede arealer i perioder med overskudsnedbør (efterår og vinter).

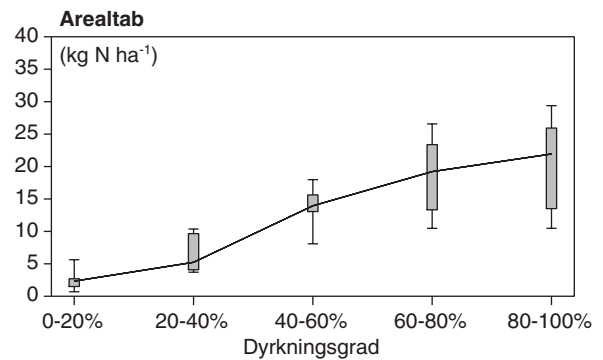
Kvælstofkoncentrationen er meget mindre og stiger kun lidt eller falder endog med stigende vandafstrømning i vandløb, der afvander udyrkede skov- og naturarealer (figur 6.21). Det skyldes den meget lille kvælstoftilførsel til disse jorder, der alene stammer fra atmosfærisk deposition.



Figur 6.20. Gennemsnitlig vandføringsvægtet koncentration og oplandstab af total kvælstof fra danske vandløb i fortrinsvis dyrkede områder, der afvander henholdsvis sandjorde (n=38) og lerjorde (n=33). Resultater er vist både for det våde år 1994 og det tørre år 1996.



Figur 6.21. Sammenhænge mellem koncentrationen af total kvælstof og vandafstrømning for et landbrugspåvirket vandløb (Odense Å) og et naturvandløb (Hestbæk) i to hydrologiske år (juni-maj 1990/91 og 1995/96).



Figur 6.22. Der er en sammenhæng mellem kvælstofudledningen til vandløb i dyrkede oplande og andelen af dyrket areal i vandløbsoplande. Gennemsnit for årene 1989-96.

Betydningen af landbrugets arealanvendelse for kvælstofudledningerne til vandløb er forsøgt illustreret i figur 6.22. Således stiger kvælstofudledningerne fra diffuse kilder tydeligt med stigende andel dyrket land i vandløbsoplandene. Sådanne sammenhænge hvor også betydningen af faktorer som nedbørsforhold, jordtype og dyrkningspraksis er velegnede til generelle betragtninger over miljøeffekter af forskellige tiltag mod kvælstofudledninger til vandmiljøet.

6.5. Kvælstofudvaskning fra landbrugsarealer til vandløb

Kvælstofbalancen for seks små dyrkede oplande opgøres hvert år i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram. Den gennemsnitlige kvælstofbalance for 3 sandede og 3 lerede vandløbsoplande i perioden 1989-96 er vist i figur 6.23. Der tildeles mere kvælstof til landbrugsjorden i de sandede oplande i Jylland end til de tre lerede oplande, der både ligger i Jylland, på Fyn og på Sjælland. Det skyldes den store forskel i brugen af husdyrgødning, idet der anvendes samme mængder af handelsgødning på de to jordtyper. Den store tilførsel af kvælstof til sandjordene skyldes det store husdyrhold i den vestlige dele af Danmark.

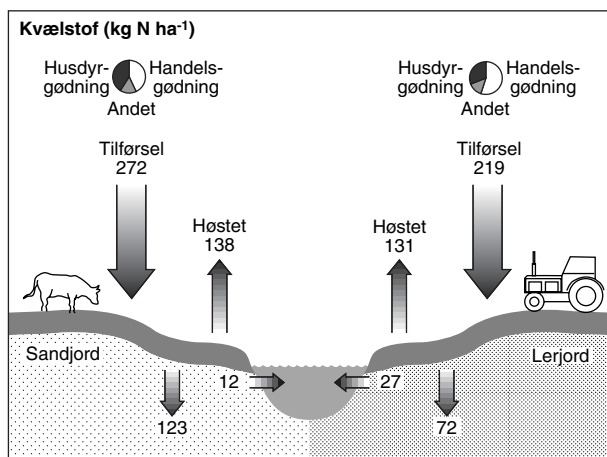
Udvaskningen af kvælstof fra landbrugsjorden er også meget større fra sandjord end fra lerjord (figur 6.23). Derimod tilføres der mindre kvælstof til vandløb fra de tre sandede oplande i Jylland end fra de tre lerede oplande. Kun 10% af det udvaskede kvælstof fra markernes rodzone når frem til vandløbene på sandjord, mens der er tale om 38% på lerjord.

Den største del af det udvaskede kvælstof fra sandjorde (ca. 70%), skal passere gennem grundvandet før det når frem til vandløb (Grant et al., 1997). På lerjord transporteres godt 50% hurtigt frem til vandløb via dræn (Grant et al., 1997). Forskellen i hvordan og hvor længe kvælstof trans-

porteres gennem underjorden til vandløb kan givetvis forklare de meget store forskelle imellem kvælstofudvaskning og kvælstoftilførsel til vandløb på henholdsvis sandjord og lerjord.

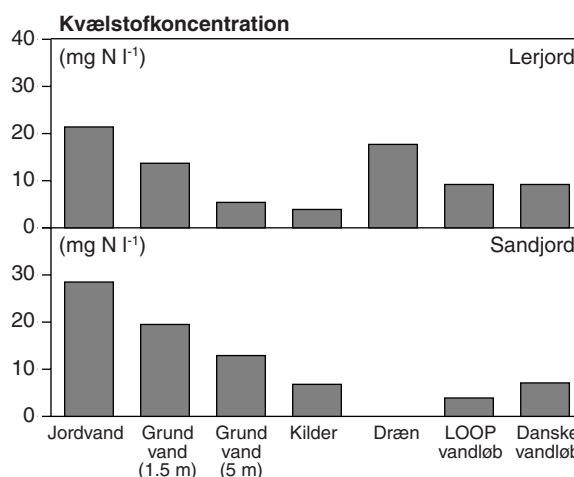
Under grundvandets strømning i underjorden kan nitrat blive omdannet til frit kvælstof via biologisk og kemisk denitrifikation. I de sandede oplande hvor der findes pyrit- og brunkulsaflejringer i jorden vil nedsivende nitrat i grundvandets redoxzone medvirke til at ilte pyrit og brunkul under dannelsen af bl.a. ferrojern, sulfat, hydrogenioner og frit kvælstof (Jacobsen *et al.*, 1990). Frit kvælstof damper af til atmosfæren, mens både ferrojern og sulfat i stort omfang tilføres vandløbene. Frigivelsen af hydrogenioner og sulfat bevirker en forsurening af vandet. Denne proces er meget betydningsfuld for omsætningen af nitrat i mange sandede jorde i Jylland, der indeholder pyrit- og brunkulsaflejringer.

Processen kan indirekte spores i vandløbene ved deres høje jern- og sulfatkoncentrationer og deres manglende kvælstof i forhold til kvælstofudvaskningen fra rodzonen. Processen ser således ud til at kunne forklare hvorfor to af de tre sandede oplande, der indgår i figur 5.23 og 5.24, har en meget lav kvælstofkoncentration og et meget lille oplandstab af kvælstof målt i vandløb. I begge vandløb er der målt meget høje koncentrationer af total jern (Grant *et al.*, 1997).



Figur 6.23. Kvælstofbalancen for 3 vandløbsoplande på sandjord i Jylland og 3 vandløbsoplande på lerjord (Østjylland, Fyn og Sydsjælland) i perioden 1989-96. (Efter Grant *et al.* 1997).

I figur 6.24 er koncentrationen af nitrat i jordvand, øvre grundvand, kilder og drænvand sammenlignet med koncentrationen af total kvælstof i vandløb i Landovervågningsoplandene og alle vandløb i dyrkede oplande i overvågningsprogrammet for vandløb og kilder. I både sandjord og lerjord er koncentrationen af kvælstof højest i jordvand og falder derefter i øvre grundvand (1,5 m) og lidt dybere grundvand (5 m). Kvælstofkoncentrationen



Figur 6.24. Sammenligning mellem koncentrationen af nitrat i jordvand, øvre grundvand, kilder og drænvand med koncentrationen af total kvælstof i vandløb, som gennemsnit for 3 vandløb henholdsvis på sandjord og på lerjord. For rodzonevand, drænvand og vandløb er vist vandføringsvægtede koncentrationer, mens det er tidsvægtede gennemsnitskoncentrationer for grundvand og kilder. De viste resultater er gennemsnit for perioden 1989-96 for alle målestationer indenfor de 2x3 vandløbsoplande i Landovervågningsprogrammet og alle vandløb i dyrkede oplande (delvist efter Grant *m.fl.*, 1997).

i drænvand, der hurtigt ledes til vandløb fra lerjord, er som ventet kun lidt lavere end i rodzonevand og højere end i øvre grundvand (figur 6.24).

I kildevand, der normalt strømmer til vandløb fra dybere grundvandsmagasiner, er koncentrationen af nitrat i dyrkede områder på lerjord kun lidt lavere end i grundvand i 5 meters dybde (figur 6.24). I kilder på sandjord er nitratkoncentrationen derimod næsten kun halvdelen af koncentrationen i grundvand i 5 meters dybde (figur 6.24). Det kan forklares ved at dybtliggende grundvand fra reducerede vandmagasiner strømmer ud i kilderne på sandjord.

I vandløb på lerjord er koncentrationen af kvælstof stadig knap halvdelen af koncentrationen i jordvandet fra markernes rodzone (figur 6.24). Det gælder både for de tre vandløb i Landovervågningsprogrammet og alle vandløb i dyrkede oplande på lerjord. At koncentrationen af kvælstof er lavere i vandløb, end i de andre vandmagasiner skyldes, at vand strømmer til vandløb fra de forskellige magasiner med deres forskellige kvælstofindhold.

I de tre vandløb i Landovervågningsoplandene på sandjord er koncentrationen af kvælstof kun 14% af koncentrationen i rodzonen. I de 38 vandløb på sandjord, der afvander dyrkede oplande i overvågningsprogrammet, er koncentrationen af kvælstof næsten dobbelt så høj som i de tre vandløb på sandjord i Landovervågningsoplandene. Specielle

forhold vedrørende kvælstofomsætning i jord må være en medvirkende årsag til de observerede forskelle mellem de to grupper af vandløb.

6.6. Hvordan kan kvælstofindholdet i vandløb reduceres ?

Der kan principielt gennemføres flere overordnede former for tiltag, der kan reducere kvælstofindholdet i vandløb:

- **Spildevand**
Bedre spildevandsrensning
- **Det diffuse kvælstoftab**
Reduktion i udvaskningen af kvælstof fra dyrkede arealer
- **Kvælstoftilbageholdelse**
Større kvælstoftilbageholdelse på vandløbsnære arealer (våde enge)
Større tilbageholdelse og omsætning af kvælstof i vandløb og søer

Spildevand

Generelt bidrager kvælstof udledt med spildevand kun lidt til de kvælstofkoncentrationer, der kan måles i vandløb (se f.eks. figur 6.16). I vandløb, der afvander dyrkede arealer i Jylland og på Fyn, udgør spildevandsbidraget fra spredt bebyggelse som gennemsnit således kun 2-5% af de målte koncentrationer, mens betydningen i tilsvarende vandløb på Sjælland er lidt større. Her øges vandløbskoncentrationerne som gennemsnit med $0,4 \text{ mg N l}^{-1}$ ved udledninger fra spredt bebyggelse.

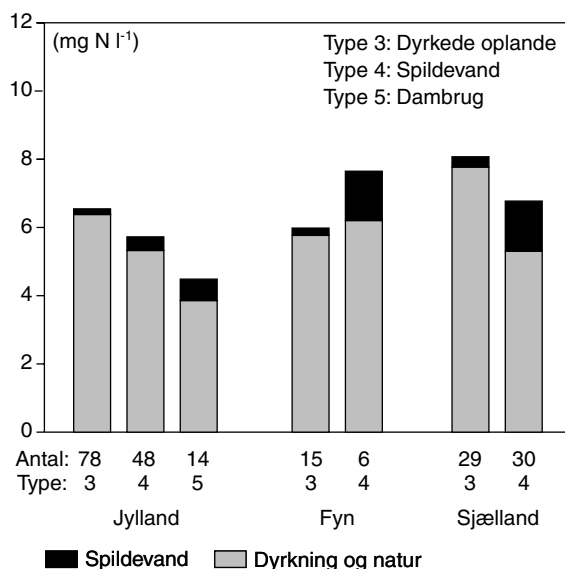
Også i vandløb, der modtager spildevand fra øvrige kilder (rensningsanlæg, regnvandsbetingede udledninger og industri) påvirkes vandløbskoncentrationerne kun lidt (figur 6.25). På Sjælland er der dog i spildevandsbelastede vandløb tale om et betydende bidrag på $1,5 \text{ mg N l}^{-1}$ som gennemsnit eller 22% af den gennemsnitlige koncentration i vandløbene. Det væsentligste bidrag hertil stammer fra byspildevand ($1,2 \text{ mg N l}^{-1}$). Det relativt høje bidrag dækker dog over en meget stor variation i vandløbene. I halvdelen af disse vandløb er det spildevandsbetingede koncentrationsbidrag således mindre end $0,9 \text{ mg N l}^{-1}$.

Endelig bemærkes, at dambrug i Jylland, giver anledning til en lokal gennemsnitlig forøgelse af kvælstofkoncentrationerne på $0,5 \text{ mg N l}^{-1}$ svarende til ca. 10% af den totale koncentration i vandløbene (figur 6.25).

Bortset fra spildevandsbelastede vandløb på Sjælland vil eventuelt forbedret spildevandsrensning således kun kunne få meget ringe betydning for kvælstofindholdet i vandløbene (figur 6.25). Halve-

res udledningerne fra alle spildevandskilder under et, vil dette kun kunne reducere kvælstofkoncentrationerne med $0,1-0,4 \text{ mg N l}^{-1}$ i vandløb i Jylland og på Fyn. I vandløb på Sjælland vil effekten af et sådant tænkt scenarie være $0,4-0,8 \text{ mg N l}^{-1}$ i spildevandsbelastede vandløb.

De anførte vurderinger af effekten af eventuelle yderligere reduktioner i spildevandsudledninger er baseret på gennemsnitsbetragtninger, og der vil således i enkelte vandløb kunne opnås en større effekt af forbedret spildevandsrensning. Det er dog indlysende, at en markant og generel reduktion i de danske vandløbs kvælstofindhold forudsætter en reduktion i de dyrkningsbetingede kvælstofudledninger.



Figur 6.25. Gennemsnitligt bidrag fra forskellige kvælstofkilder til kvælstofkoncentration i vandløb i 1995 i dyrkede oplande og oplande med spildevandsudledninger i Jylland og på Fyn og Sjælland.

Det diffuse kvælstoftab

I perioden 1989/90 til 1995/96 er der på baggrund af interview data om landbrugspraksis i 6 små vandløbsoplande (Landovervågningsoplande) beregnet en reduktion i kvælstofudvaskningen fra rodzonen på 17% (Grant *et al.*, 1997). Beregningen er gennemført ved hjælp af simple udvaskningsfunktioner og ved et fasholdt normalt klima for perioden 1989/90 til 1995/96. Reduktionen er størst på lerjordene (30%) og noget mindre på sandjordene (9%) (Grant *et al.*, 1997). Målet i Vandmiljøplanen er en 49% reduktion i den samlede kvælstofudledning fra dansk landbrug.

I samme periode er der beregnet en typisk reduktion i koncentrationen og transporten af total kvælstof i vandløb, der afvander små dyrkede oplande. Reduktionen er dog kun signifikant for 6 af de 77 vandløb, der er testet statistisk. Den typiske re-

duktion i koncentrationen af total kvælstof, udtrykt som medianværdien, er beregnet til at være større i vandløb i lerede oplande (13%), end i vandløb i sandede oplande (7%). Den beregnede forskel i reduktionen af kvælstof i de to vandløbstyper er meget mindre end beregnet for reduktionen i kvælstofudvaskning fra rodzonen. Den gennemsnitlige reduktion i kvælstofudvaskningen fra rodzonen på 17% modsvares af en ca. halv så stor beregnet reduktion i kvælstofkoncentrationen (medianværdi på 9%) i alle de 77 analyserede vandløb. Flere års målinger i vandløb er dog nødvendige for med sikkerhed at kunne afgøre om det beregnede fald er en direkte følge af ændringer i landbrugspraksis eller om hele eller dele af faldet kan skyldes de atypiske nedbørs- og afstrømningsforhold især i de seneste to år af perioden 1989-96.

Scenarier for reduktion i kvælstofudvaskning fra rodzonen

I *Grant et al. (1997)* er der opstillet og modelberegnet på en række scenarier omkring virkninger af forskellige foranstaltninger i landbruget på kvælstofudvaskningen fra rodzonen. Beregningerne tager udgangspunkt i den aktuelle situation i dansk landbrug i driftsåret 1993/94. Scenarierne indeholder tre overordnede elementer: (1) Fuld gennemførelse af Handlingsplanen for Bæredygtigt Landbrug. (2) Reduktion i gødningsnormer og dermed i forbrug af kvælstof i handelsgødning. (3) Etablering af efterafgrøder - for kornmarker i form af græsudlæg.

Det første scenarie omfatter en fuld gennemførelse af alle foranstaltningerne i Handlingsplanen for Bæredygtigt Landbrug med en optimal fordeling af husdyrgødningen, samt bevarelse af undergødede marker, som det var tilfældet i driftsåret 1993/94 (*Grant et al., 1997*). Beregningen giver en reduktion i forbruget af handelsgødning på 28% og en reduktion i udvaskningen af kvælstof på 18%. Den samlede reduktion i kvælstofudvaskningen fra 1989/90 er i dette scenarie således på 32% (*Grant et al., 1997*).

Det andet scenarie indeholder ud over indholdet i scenarie 1 en nedsættelse af gødningsnormerne med 10%. Herved reduceres kvælstofudvaskningen yderligere, svarende til en samlet reduktion fra 1989/90 på 35%. I scenarie 3 nedsættes gødningsnormerne yderligere med 10% hvilket giver en samlet reduktion i kvælstofudvaskningen siden 1989/90 på 38% (*Grant et al., 1997*).

Etablering af egentlige efterafgrøder i form af græsudlæg i kornmarker er i et scenarie påvist at kunne reducere kvælstofudvaskningen yderligere med ca. 8% af niveauet i 1989/90 (*Grant et al., 1997*).

En gennemførelse af alle ovennævnte tiltag i landbruget vil således, med de allerede opnåede reduktioner, medvirke til at reducere kvælstofudvaskningen fra rodzonen med omkring 46% fra udgangs niveauet i 1989/90 (*Grant et al., 1997*).

Scenarier for reduktion i vandløbenes kvælstoftransport

Det er vigtigt at kunne forudsige hvor hurtigt og med hvilken styrke en reduktion i kvælstofudvaskningen fra landbrugsarealer i vandløbsoplandene vil slå igennem i vandløbenes kvælstofindhold og kvælstoftransport. Det beregnede fald i kvælstofudvaskningen fra rodzonen (17%) og det beregnede typiske fald i kvælstofkoncentrationen i vandløb i små dyrkede oplande (9%), begge opgjort for perioden 1989/96, indikerer, at der efter et fald i kvælstofudvaskningen fra rodzonen ikke umiddelbart kan forventes at kunne måles samme ændring i vandløbenes kvælstofindhold.

Til nærmere at belyse dette er der opstillet en simpel model for sammenhængen mellem den gennemsnitlige gødningstildeling af kvælstof pr. hektar vandløbsopland og det diffuse oplandstab af total kvælstof målt i vandløb. Kvælstoftildelingen pr. hektar vandløbsopland er beregnet ud fra den gennemsnitlige gødningstildeling til de dyrkede arealer indenfor oplandet, inkl. kvæstoffixering og atmosfærisk deposition, samt en atmosfærisk deposition på de udyrkede arealer på 20 kg kvælstof pr. hektar.

På baggrund af data fra 27 små dyrkede vandløbsoplande vedrørende dyrkningspraksis i driftsåret 1993/94 og målinger af den diffuse kvælstoftransport i de 27 vandløb i kalenderåret 1994 er følgende model opstillet:

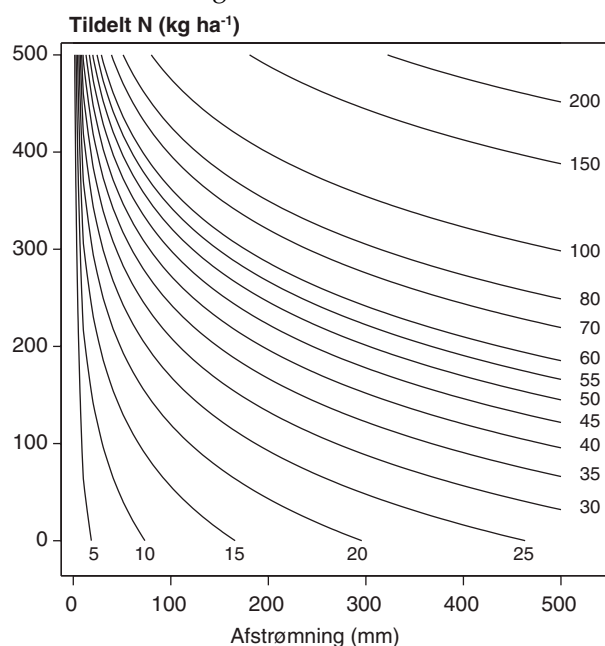
$$N_{\text{oplandstab}} = 1,13 \cdot e^{0,00452 \cdot G_N} \cdot Q_0^{0,4973}$$

I modellen er $N_{\text{oplandstab}}$ det årlige diffuse tab af total kvælstof fra hele oplandet i kg N ha⁻¹. G_N er den gennemsnitlige totale gødningstildeling inkl. atmosfærisk deposition på hele vandløbsoplandet i kg N ha⁻¹. Q_0 er den årlige vandmængden der strømmer til vandløb fra oplandet via den umættede zone fra f.eks. dræn i mm.

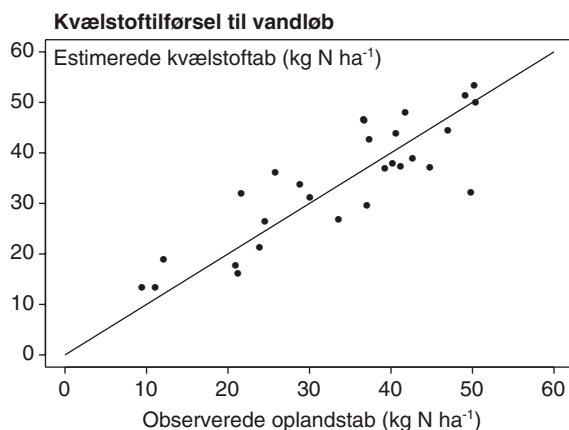
Betydningen af de enkelte parametre i modellen er illustreret i figur 6.26. I figur 6.27 er simulerede resultater fra modellen sammenlignet med de aktuelle målte. Modellen forklarer 78% af variationen i det målte diffuse kvælstoftab i de 27 vandløb og begge parametre i modellen indgår signifikant på mindre end 1% niveauet ($p < 0,01$).

Modellen begrænsninger er at den er erfaringsbaseret (empirisk), og at der kun er data fra et driftsår

til modelopstillingen. Modellen er således ikke i stand til at inddrage langtidseffekter af ændringer i landbrugspraksis. Modellen afspejler således hvordan forskellige oplandstyper umiddelbart vil reagere på en ændring i gødningstildeling og ændrede afstrømningsforhold.



Figur 6.26. Illustration af betydningen af den udviklede model for kvælstoftilførsel til vandløb.



Figur 6.27. Test af den udviklede model for kvælstoftilførsel til vandløb

Modellen kan formentlig forbedres ved i stedet for gødningstildelingen at inddrage udvaskningen af kvælstof fra rodzonen, samt ved at inddrage flere års samhørende målinger. Dette arbejde vil pågå i de kommende år, hvor der skal gennemføres mere gennemgribende oplandsanalyser af vand-, kvælstof- og fosforstrømme i vandløbsoplande.

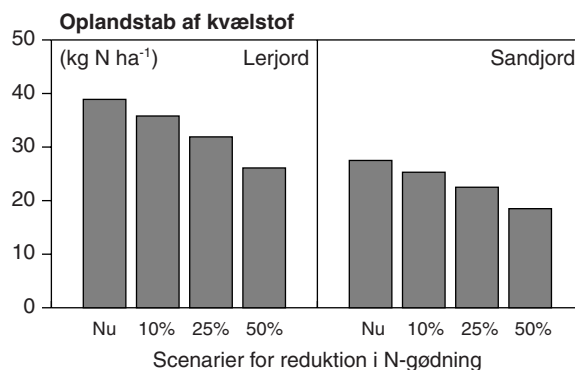
På trods af disse begrænsninger i modellens anvendelsesområde må den forventes at kunne give kvalificerede oplysninger om effekterne af en ændret gødningstildeling i vandløbsoplande. Modellen er derfor anvendt i tre scenarier hvor den samlede

gødningstildeling i vandløbsoplande ændres med henholdsvis 10%, 25% og 50% fra udgangsniveauet i 1993/94. Gødningstildelingen kan nedbringes både ved ændringer i landbrugspraksis og ved udtagning af landbrugsjord af produktion.

For at belyse forskelle mellem effekter i vandløb på sandjord og lerjord er der anvendt en Q_0 på 225 mm for lerjordsoplande og en Q_0 på 112 for lerjordsoplande. Disse værdier er beregnet som gennemsnittet af henholdsvis sandjordsoplande og lerjordsoplande i 1994 for gruppen af 27 vandløb, der blev benyttet i modelopstillingen.

Modellen viser, at der ved samme gødningstildeling indenfor vandløbsoplande, er et større kvælstoftab til vandløb fra lerede oplande end fra sandede oplande. Modellen viser også, at der ved en reduktion i den samlede gødningstildeling på oplandsniveau kan forventes en umiddelbart større reduktion i kvælstoftilførslen til vandløb på de lerede jorde, end på sandede jorde

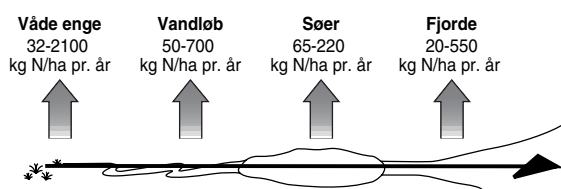
Resultaterne af de tre scenarier viser, at der ved samme gennemsnitlige gødningstildeling er et meget større kvælstoftab til vandløb på lerjord end på sandjord (figur 6.28). Endvidere viser de modelberegnedte reduktioner af gødningstildelingen, at der opnås en større reduktion på lerjord i kvælstoftabet til vandløb, end det er tilfældet på sandjord. Modelberegningerne viser også, at en reduktion af den samlede gødningstildeling i vandløbsoplande på 50% på kort sigt vil kunne reducere kvælstoftilførslen til vandløb med 33%. Denne tendens var også forventet ud fra de tidligere analyser af udviklingen i kvælstofkoncentrationen i vandløb (se afsnit 6.2).



Figur 6.28. Scenarier for reduktion i den gennemsnitlige gødningstilførsel indenfor vandløbsoplande og konsekvensen for kvælstoftilførslen til vandløb. I scenarierne er der benyttet henholdsvis en 10%, 25% og 50% reduktion i gødningstildelingen. Scenarierne er gennemført for et typisk "lerjordsopland" og "sandjordsopland".

Kvælstoftilbageholdelse i overfladevand og enge
Naturen er selv i stand til at fjerne kvælstof når nitratholdigt vand transporteres gennem våde enge, vandløb, søer og fjorde (figur 6.29). Denne selvrensning foregår allerede i dag. De seneste 50

års afvanding af engarealer via dræning, grøftning og udretning og kanalisering af vandløb har mindsket naturens selvrensningspotentiale. Udnyttelse af naturens selvrensning specielt ved naturgenopretning af vandløb og ådale og retablering af tidligere tiders våde enge vil kunne hjælpe til med at tage toppen af kvælstofforureningen af vandmiljøet (Kronvang *et al.*, 1997). Det vil især være et effektivt indgreb på de lerede og drænedede jorder, hvor det er muligt at få drænvand til at løbe gennem enge inden det når frem til vandløb og søer.



Figur 6.29. Potentialet for fjernelse af kvælstof i våde enge, vandløb, søer og fjorde.

6.7. Konklusion

I de fire år efter 1992/93 har den klimatiske korrigerede transport af kvælstof i vandløb, hvor der er lange tidsserier i alle år, ligget lavere end de 4-5 foregående år. For vandløb på lerjord er transportniveauet af kvælstof i de seneste fire år således signifikant mindre end i den forudgående 15-års periode. For vandløb på sandjord er transportniveauet af kvælstof dog stadig på det samme niveau, som gennemsnittet for perioden før Vandmiljøplanens vedtagelse. For disse vandløb på sandjord har der i perioden 1987-93 været en svag, men entydig stigende tendens i den korrigerede kvælstoftransport og herefter et fald.

En nærmere analyse af udviklingen i koncentrationen af total kvælstof i forskellige danske vandløbstyper, hvor der korrigeres for ændringer i vandføringen, er gennemført for overvågningsperioden 1989-96. I 77 vandløb, der fortrinsvis afvander dyrkede oplande, er der beregnet et fald i kvælstofkoncentrationen på 9% i perioden 1989-96. Faldet er dog kun signifikant i 8% af de analyserede vandløb. Det beregnede fald er størst i vandløb på lerjord (13%) og mindst i vandløb på sandjord (7%).

I 89 spildevandsbelastede vandløb og i 15 dambrugsbelastede vandløb er der beregnet et typisk fald i kvælstofkoncentrationen på henholdsvis 18% og 7% i perioden 1989-96. At faldet er større i de spildevandsbelastede, end de landbrugspåvirkede vandløb, viser effekten af indsatsen overfor spildevandsrensning. I 6 vandløb i udyrkede, skov- og naturoplande er der typisk (mediantilfældet) beregnet et fald i kvælstofkoncentrationen på 3% i perioden.

Der er betydelig usikkerhed på størrelsen af det beregnede fald i kvælstofkoncentrationen i vandløb, især hvad angår udviklingen i vandløb, der afvander dyrkede oplande, dambrugsbelastede oplande og naturoplande. Der skal derfor flere års målinger til med en fortsat faldende tendens, før en statistisk sikker generel udvikling i kvælstoftilførslen til vandløb fra landbrugsarealer og naturarealer kan påvirkedes.

Udvaskningen af kvælstof fra landbrugsjord er fortsat den altdominerende kilde til kvælstoftransporten i vandløb. I perioden 1989-96 udgjorde landbrugsbidraget således mellem 80 og 90% af kvælstoftransporten i vandløb. En yderligere rensningsindsats overfor punktkilder vil derfor generelt ikke kunne medføre nævneværdige reduktioner i kvælstoftransporten i vandløb og dermed i tilførslen til søer, fjorde og havet.

En model mellem kvælstoftransporten i 27 vandløb og de gennemsnitligt tilførte gødningsmængder indenfor vandløbsoplande og oplandets hydrogeologiske respons er opstillet for et år (landbrugspraksis i driftåret 1993/94 og kvælstoftransport i kalenderåret 1994). Modellen viser, at der ved samme gødningstildeling indenfor vandløbsoplande, er et større kvælstoftab til vandløb fra lerede oplande end fra sandede oplande.

Modellen viser også, at der ved en reduktion i den samlede gødningstildeling på oplandsniveau kan forventes en umiddelbart større reduktion i kvælstoftilførslen til vandløb på de lerede jorde, end på sandede jorde. Et scenarie hvor den gennemsnitlige gødningstilførsel reduceres med 10%, 25% og 50% viser, at der ved reduktioner i kvælstofudvaskningen fra rodzonen ikke opnås en umiddelbar og tilsvarende stor reduktion i kvælstoftransporten i vandløb hverken på lerjord eller sandjord. Ved en ændring i gødningsforbruget på 50% reduceres kvælstoftilførslen til vandløb på kort sigt kun med 33%.

7 Stofftilførsel til marine kystafsnit

7.1 Indledning

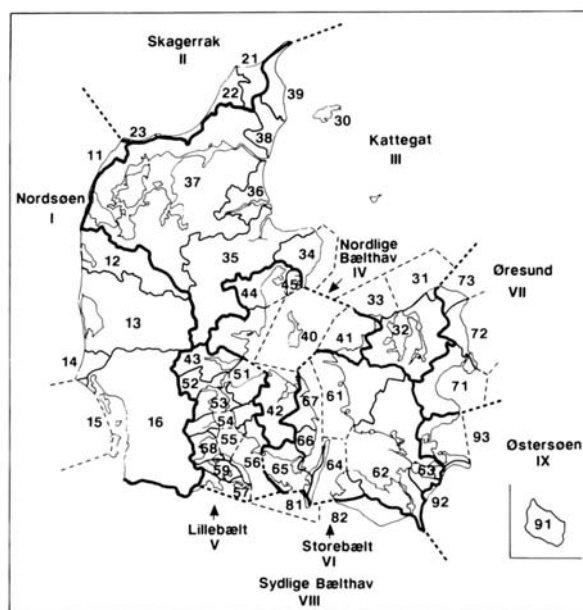
Dette kapitel omhandler de landbaserede tilførsler af ferskvand, kvælstof (N), fosfor (P) og let omsætteligt organisk stof (udtryk som det biokemiske iltforbrug BOD_5) til fjorde, bugter og øvrige kyststrækninger (kaldet de marine kystafsnit). Ved landbaserede tilførsler forstås tilførsler med ferskvand via vandløb og direkte spildevandsudledninger, men ikke tilførsler fra havdambrug o.l. Sidstnævnte opgørelse findes i *Jensen et al. (1997)*. Der sker endvidere en tilførsel af bl.a. næringsstoffer til de danske havområder ved atmosfærisk deposition og gennem udveksling til tilgrænsende havområder. Førstnævnte behandles i DMU's rapporter om atmosfærisk deposition medens sidstnævnte omtales i *Miljøstyrelsen (1997b)*.

Kendskab til tilførsel af f.eks. kvælstof og fosfor og sæsonvariationen heri er nødvendig for at kunne vurdere årsagerne til miljøtilstanden i de kystnære og mere åbne havområder. Tilførslen til de marine kystafsnit giver også et indtryk af, hvor langt vi er nået med opfyldelsen af målsætningerne i Vandmiljøplanen.

I dette kapitlet er hovedvægten lagt på at belyse de landbaserede tilførsler i de otte overvågningsår (1989-96), bl.a. for at vurdere om der er sket en udvikling i tilførslerne og i kilderne hertil. Der foretages en vurdering af opgørelsernes sikkerhed ved at beregne stofftilførslerne via vandløb ud fra forskellige metoder. Endvidere beregnes belastningsniveauet for perioden forud for Vandmiljøplanen (1981-88). Det vurderes i hvor høj grad de reducerede spildevandsudledninger erkendes i belastningsopgørelserne. Endeligt gives en kort karakteristik af udviklingen i overvågningsperioden af de landbaserede tilførsler af kvælstof og fosfor til de ni første ordens kystafsnit.

Kapitlet indledes med en karakteristik af de landbaserede tilførsler med ferskvand af kvælstof, fosfor og BOD_5 i 1996 totalt og for de 9. første og 49. anden ordens kystafsnit. I øvrigt er belastningsforholdene gennemgået i detaljer i *Jensen et al. (1997)*.

Opgørelses- og beregningsmetoder er beskrevet i bilagsbindets afsnit 1.7. I samme bilagsbind findes i kapitel 7 en række tabeller med datamaterialet bag figurerne i dette kapitel. Der findes endvidere opgørelse af belastningen til de 49. 2. ordens kystafsnit i 1996. Afgræsningerne for de enkelte kystafsnit fremgår af figur 7.1.



Figur 7.1. Opdelingen af de danske farvande i 9 1. ordens kystafsnit og 49 2. ordens kystafsnit.

7.2 Stofftilførsler til de marine kystafsnit i 1996

Ferskvandsafstrømningen

Ferskvandsafstrømningen var med kun 8.191 millioner m^3 svarende til 190 mm rekord lav i 1996 og 41% under normalen (1971-90). Denne afstrømning er 24% lavere end 1989, det hidtil mest afstrømningsfattige år i overvågningsperioden. Den lave afstrømning er resultatet af en langvarig periode med rekordlav nedbør, der begyndte i foråret 1995. I 1995 blev der tappet kraftigt på grundvandsmagasinerne (afstrømningen ca. 10% over normalen mens nedbøren var 8% under normalen). I 1996 var nedbøren 29% under normalen og grundvandsmagasinerne har ikke i samme omfang som året før kunne kompensere for lav nedbør. Det må forventes at afstrømning fra det åbne land i 1996 har været lav.

Tilførsel af kvælstof, fosfor og organisk stof

Den målte landbaserede tilførsel via vandløb og direkte spildevandsudledninger af kvælstof, fosfor og BOD_5 var i 1996 henholdsvis 48.000 tons N, 1.970 ton P og 28.300 ton BOD_5 (tabel 7.1), hvilket er de lavest målte værdier i de otte overvågningsår og knap det halve af tilførslerne i 1995 (se afsnit 7.2). Den diffuse afstrømning af kvælstof udgjorde i 1996 89% af den målte afstrømning via vandløb og 79% af den totale målte landbaserede afstrømning. De tilsvarende værdier for fosfor er 56% og 25% og

for BOD₅ henholdsvis 61% og 34%. Den målte kvælstoftilførsel via vandløb udgjorde 89% af den samlede målte tilførsel. De tilsvarende værdier for fosfor og BOD₅ var 62% og 56%.

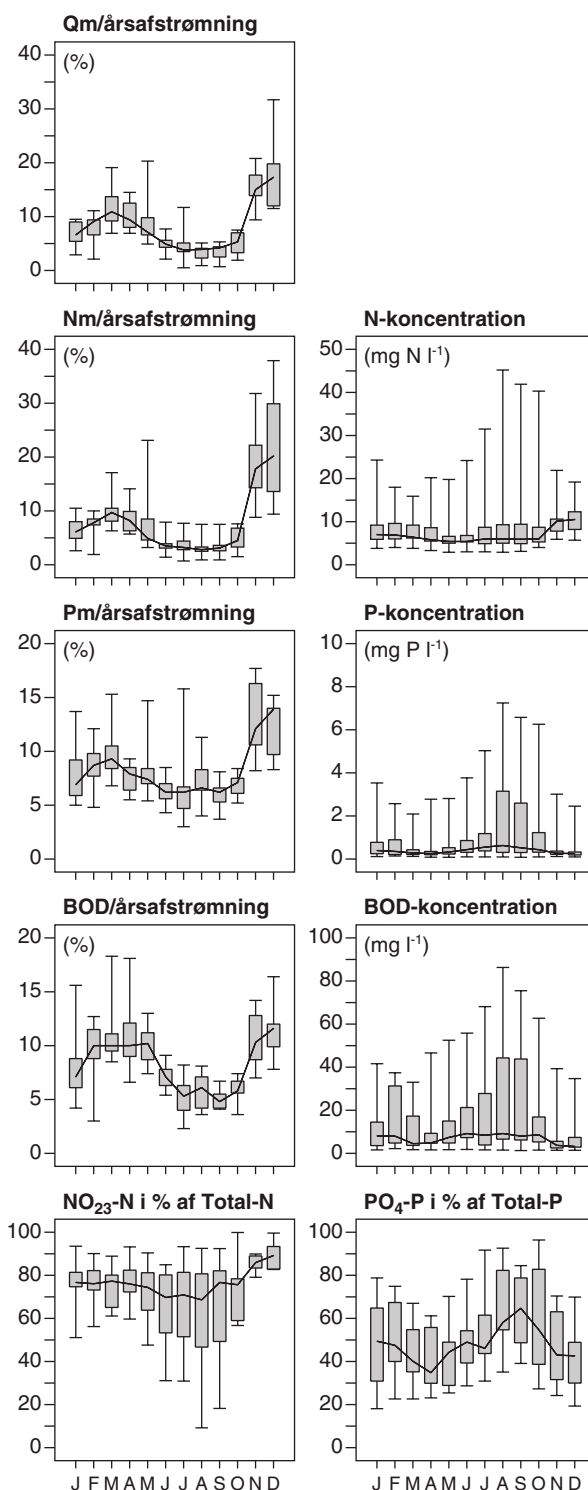
Tabel 7.1 Målt tilførsel af kvælstof, fosfor og BOD₅ via vandløb og direkte udledninger til marine kystafsnit i 1996 opdelt i afstrømning via vandløb fratrukket spildevand fra spredt bebyggelse og punktkilder, i spildevand fra punktkilder til ferskvand, i spildevand fra spredt bebyggelse og i spildevand udledt direkte til de marine kystafsnit. Spildevandsoplysninger er fra Miljøstyrelsen.

	Kvælstof ton	Fosfor ton	BOD ₅ ton
Afstrømning til havet via vandløb ekskl. spildevand	36.900	430	5.300
Punktkilder til ferskvand	4.500	540	6.100
Spredt bebyggelse	1.100	260	4.400
Spildevand ferskvand i alt	5.600	800	10.500
Afstrømning til havet via vandløb	42.500	1.230	15.800
Spildevand direkte til havet	5.500	745	12.500
Total til havet	48.000	1.970	28.300

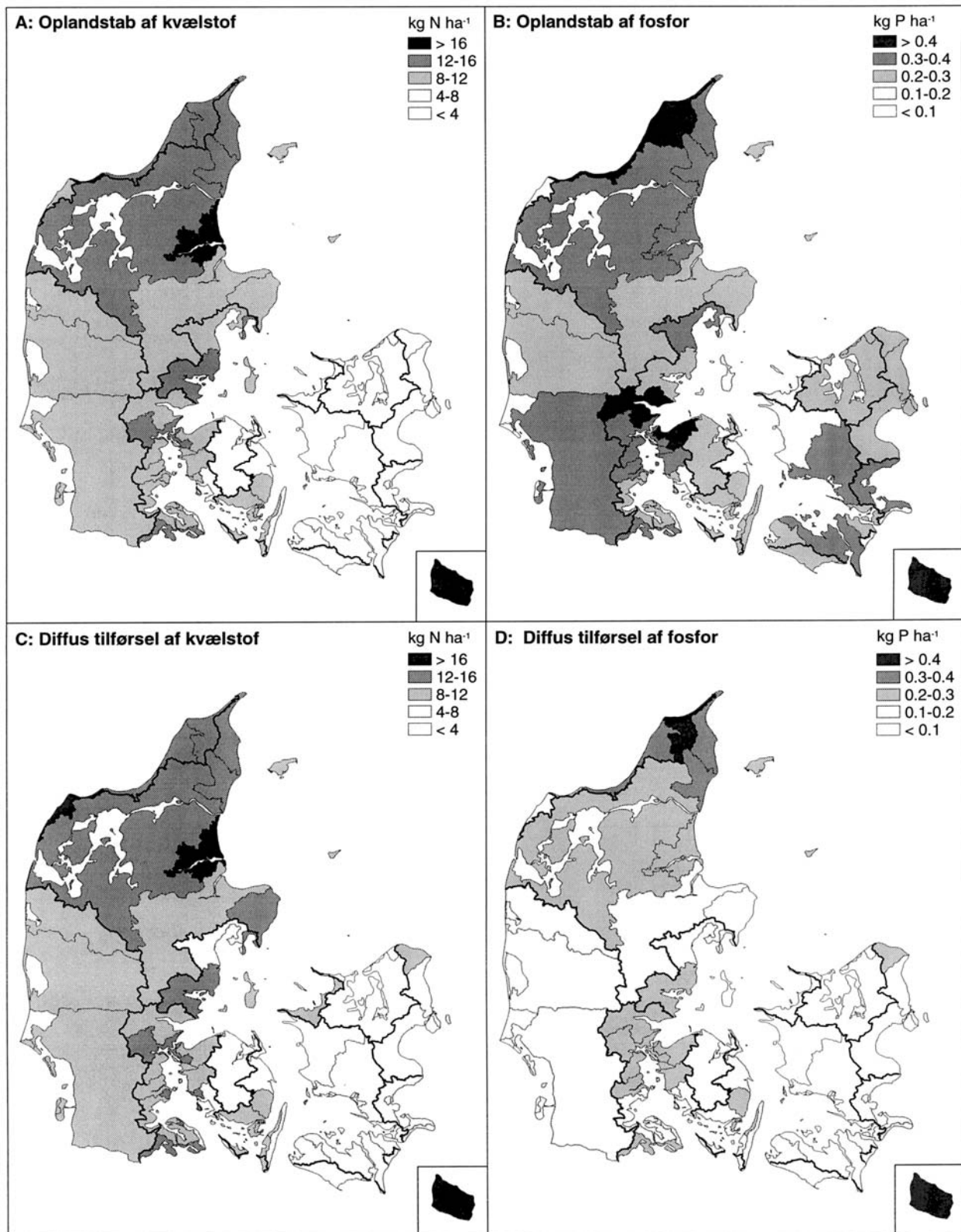
Oplandstabet (den målte tilførsel til marine kystafsnit via vandløb divideret med det tilhørende opland) til de 49. 2 ordens kystafsnit var naturligvis også lavt i 1996 (figur 7.2 og kort 8). Oplandstabet var i 1996 med et gennemsnit på 9,9 kg N ha⁻¹, 0,29 kg P ha⁻¹ og 3,7 kg BOD₅ ha⁻¹. I oplandstabet er medregnet bidrag fra punktkilder til ferskvand. Bruttotilførslen fra diffuse kilder beregnet som den målte transport via vandløb tillagt en beregnet retention og fratrukket målte belastning fra punktkilder til ferskvand kaldes den diffuse tilførsel. Den var i 1996 i gennemsnit for Danmark 10,1 kg N ha⁻¹, 0,17 kg P ha⁻¹ samt 2,2 kg BOD₅ ha⁻¹ (for BOD₅ er der ikke taget højde for retention). For visse 2. ordens kystafsnit har den diffuse fosfortilførsel været meget tæt på 0 kg ha⁻¹ dvs. at fosforkoncentrationen i vandløbet det mest af 1996 alene er tilført fra punktkildeudledninger (figur 7.2 og kort 8).

Stoftilførslerne til de ni 1.ordens kystafsnit

Den målte tilførsel af ferskvand, kvælstof, fosfor og BOD₅ til de 9. første ordens marine kystafsnit var usædvanlig lav i størstedelen af 1996. I 4. kvartal af 1996 faldt 43% af årets nedbør og ferskvandsafstrømningen udgjorde 36% samtidig (figur 7.3). De tilsvarende værdier for fosfor og BOD₅ er henholdsvis 31% og 27%. Det betyder at de vandføringsvægtede kvælstofkoncentrationer har været stigende i 4. kvartal, medens de vandføringsvægtede fosfor- og BOD₅-koncentrationer har været faldende (figur 7.3).



Figur 7.3. Ferskvandsafstrømningen og den målte tilførsel af kvælstof, fosfor og BOD₅ via vandløb og direkte spildevandsudledninger til de ni 1. ordens kystafsnit i 1996. I figurene angives median (fuldt optrukket linie), 10% og 90% fraktiler for de ni 1. ordens kystafsnit af den pågældende værdi. Qm er månedlige ferskvandsafstrømning og tilsvarende er angivet den månedlige tilførsel af kvælstof (Nm), fosfor (Pm) og BOD₅ (BOD_{5,m}). Koncentrationer er beregnet som den samlede målte tilførsel via vandløb og direkte spildevandsudledninger divideret med den tilhørende ferskvandsafstrømningen. Andelen af NO₂₃-N og PO₄-P er for tilførsler via vandløb. Tallene bag figurene er i bilagsbindets kapitel 7.



Figur 7.2. Oplandstab af kvælstof (A) og fosfor (B) til marine kystafsnit samt den diffuse bruttotilførsel (dvs. retention er medtaget) af kvælstof (C) og fosfor (D) til ferskvand i 1996. Figuren findes som kort 8 i farver.

Under mere normale vejrforhold vil kvælstofkoncentrationen være størst i vinterhalvåret og lavest i sommerhalvåret, da den følger afstrømningsvariationerne. Fosforkoncentrationen vil ofte stige i afstrømningen til kystafsnittene med faldende afstrømning, specielt hvor andelen af spildevand udgør en stor andel af fosforafstrømningen. I 1996 har der i gennemsnit været en næsten konstant koncentration af kvælstof og fosfor, hvilket som nævnt er meget usædvanligt (figur 7.3).

Afstrømningen til Øresund er domineret af at de direkte spildevandsudledninger er store, hvilket giver den meget høje 90% fraktal for kvælstof, fosfor og BOD₅ koncentrationerne (figur 7.3).

Bornholm havde i 1996 i modsætning til resten af landet to måneder, hvor der faldt usædvanlig meget nedbør på nogle få dage, således over 125 mm i både maj og juli. Det erkendes tydeligt i 90% fraktalen for f.eks. ferskvandsafstrømningen (figur 7.3).

Opløste uorganiske fraktioner af kvælstof og fosfor regnes for umiddelbart biotilgængelige. Variationerne i andelen af nitrit-nitrat af den samlede målte kvælstoftilførsel via vandløb i 1996 er lille (figur 7.3). Dette gælder også for andelen af opløst orthofosfat (PO₄-P) af den målte fosfortilførslen, selv om der i løbet af sommeren og først på efteråret med den ekstreme lave afstrømning ikke sker samme fortynding af spildevandstilførslerne som tidligere på året. Andelen af orthofosfat er størst for Storebælt og det Sydlige Bælthav er den højeste til (sidstnævnte er dog kun baseret på én målestation), idet farvandsområder med høj spildevandsbelastning som Øresund vil have en stor andel orthofosfat af den samlede belastning i alle måneder.

Den laveste andel af orthofosfat fosfor findes i afstrømningen fra Jylland og specielt i vandløb, der afstrømmer mod Nordsøen (24-40%). Det hænger sammen med en relativ lav spildevandsbelastning og forekomsten af ferro-jern i det grundvand, der løber til de vestjyske vandløb, som binder den opløst fosfor til partikler (okker). Fosfor vil derfor primært transporteres bundet til partikler selv i et år med en lav diffus fosforafstrømning.

De månedlige vandføringsvægtede koncentrationer af total kvælstof til Nordsøen er lave og skyldes at en stor del af afstrømningen kommer fra grundvand. I mange områder i Vestjylland er der grundet tilstedeværelse af jern under iltfrie forhold i de øvre grundvandsmagasiner en omsætning af nitrat til frit kvælstof. Endvidere findes en række engarealer i ådalene, hvori der potentielt kan foregå en omsætning af nitrat, ligesom der i de nedre dele af de større vestjyske vandløb kan foregå en vis denitrifikation.

7.3 Opgørelse af tilførslerne via vandløb

Belastningsopgørelserne af kvælstof, fosfor og BOD₅ via vandløb og direkte spildevandsudledninger er baseret på amtskommunale indberetninger, hvor Miljøstyrelsen efterfølgende validerer spildevandsoplysningerne (*Miljøstyrelsen, 1997*). Der har siden overvågningsprogrammet indførsel været udmeldt en standardiseret måde at lave belastningsopgørelser på, herunder hvordan bidraget fra umålte oplande beregnes. Det åbne lands bidrag i umålte oplande har været beregnet enten ved hjælp af arealkoefficienter eller vandføringsvægtede koncentrationer fra målte vandløbsoplände, hvor arelaudnyttelsen, jordbundsforhold og afstrømningen ligner forholdene i de umålte oplände. Da amterne ofte ikke har et tilstrækkeligt antal vandløbsstationer til at kunne finde sammenlignelige forhold i målte og umålte oplände, er der ofte mellem to naboamter ret store forskelle i de værdier, der anvendes for umålte opland, der grænser op til hinanden. Der har desuden i de første overvågningsår været anvendt primært arealkoefficienter ved estimering af det åbne lands bidrag i umålte oplände, mens en del amter i de senere år har anvendt vandføringsvægtede koncentrationer. Der har de enkelte år også været anvendt et forskelligt antal vandløbsstationer ved belastningsopgørelserne. Det er således værd interessant at vurdere usikkerheden på disse opgørelser.

Der er også et behov for at kende tilførslen via vandløb til de marine kystafsnit før overvågningsprogrammet blev igangsat, idet der ikke blev lavet landsdækkende belastningsopgørelser af kvælstof og fosfor før i 1989. Vi har derfor forsøgt at beregne afstrømningen via vandløb til de marine kystafsnit i perioden 1981-88 og i overvågningsårene på baggrund af målinger i vandløb med en længere tidsserie af kvælstof og fosfor.

Med hensyn til ferskvandsafstrømningen er denne opgjort efter samme metode siden 1971 baseret på et fast stationsnet på 90-100 vandløbsmålestationer. Det kan nævnes at den traditionelle opgørelse af ferskvandsafstrømningen i 1996 foretaget af Fagdatacentret for Hydrometri sammenlignet med en opgørelse baseret på amternes indberetning på landsplan indbyrdes afveg med under 1 promille, medens der var væsentlige større afvigelser, hvis sammenligningen blev foretaget for 1. eller 2. ordens kystafsnit.

Belastningsopgørelser baseret på 4 store vandløb

I Skjern Å, Guden Å, Odense Å og Susåen findes der længere tidsserier med målingerne af kvælstof og fosfor, og de er anvendt til at beregne den samlede belastning af kvælstof via vandløb til marine kystafsnit siden slutningen af 1960'erne, og den tilsvarende belastning med fosfor siden 1981. I bi-

lagsbindet afsnit 1.7 redegøres for hvordan vandløbene er kalibreret op mod de sædvanlige belastningsopgørelser for at beregne, hvordan de 4 vandløb skal vægte ved beregninger bagud i tid.

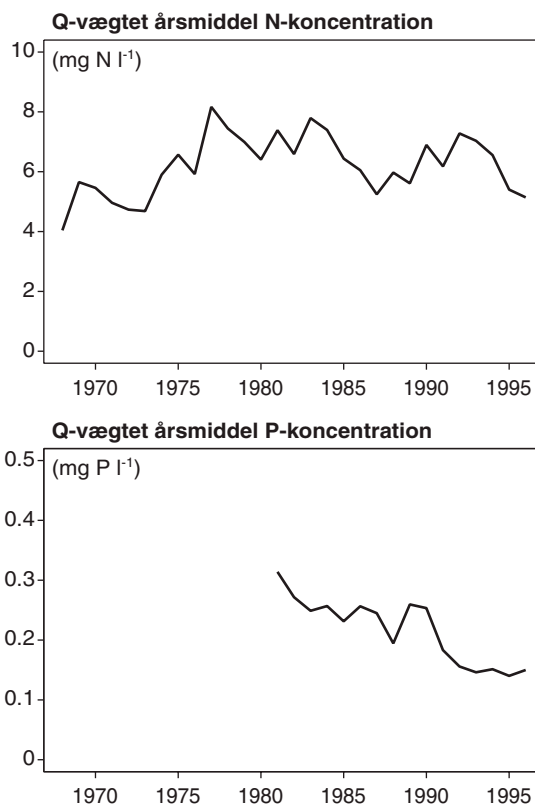
Den målte tilførsel af kvælstof via vandløb til de marine kystafsnit har i følge den sædvanlige belastningsopgørelse for perioden 1989-96 i gennemsnit været på 84.200 ton. Nøjagtigt samme værdi kan beregnes på basis af de 4 store vandløb (se bilagsbindet kapitel 1.7). Da det er muligt at kalibrere de fire vandløb ind på de hidtidige opgørelser er disse brugt til at estimere den gennemsnitlige kvælstoftilførslen via vandløb i perioden 1981-88, som har været 109.000 ton. Denne værdi anvendes som et estimat for kvælstofbelastningen via vandløb for perioden op til vedtagelsen af Vandmiljøplanen.

Ud fra 4 store vandløb estimeres fosforafstrømningen i perioden 1981-88 til knap 4.200 ton, som anvendes som udgangsniveauet før Vandmiljøplanen. De beregnede fosfortilførsler via vandløb baseret på de 4 store vandløb giver i gennemsnit samme værdi for perioden 1989-96 som den traditionelle opgørelse på ca. 2.400 ton, men med større år til år afvigelser, end der tilsvarende findes ved kvælstof. Dette tilskrives at kvælstof i højere grad transporteres på opløst form og mere følger variationerne i afstrømningen end det er tilfældet for fosfor. Endvidere kommer en stor del af fosforafstrømningen fra punktkilder, hvorfor det bliver mere usikkert at anvende de 4 stationer til at estimere den samlede belastningen via vandløb med fosfor. Derfor er estimatet for perioden 1981-88 på fosfor mere usikkert end det tilsvarende for kvælstof.

De hidtidige belastningsopgørelser for de 8 overvågningsår har vist sig at være relativt robuste. Vi har dog ikke forsøgt at lave en egentlig gennemregning af samtlige stoftransporter og gennemføre en ensartet beregningsmetode for umålte oplande. Dette vil nemlig kræve en ny indberetning for alle de stationer, der er anvendt i tidligere belastningsopgørelser.

Udvikling i vandføringsvægtede koncentrationer i perioden 1968 til 1996

Den vandføringsvægtede årsmiddelkoncentration for kvælstof- og fosfortilførslen via vandløb til de marine kystafsnit er bestemt ud fra de 4 store vandløb (figur 7.4). En statistisk analyse viser at den vandføringsvægtede kvælstofkoncentration fra slutningen af 1960'erne til midten af 1970'erne har ligget signifikant under gennemsnittet for perioden 1968-96. Fra midten af 1970'erne til midten af 1980'erne har den ligget over gennemsnittet og fra midten af 1980'erne til 1993 omkring gennemsnittet. De senest 3 har den ligget under gennemsnittet.



Figur 7.4. Vandføringsvægtede årsmiddelkoncentration af kvælstof (øverst) og fosfor (nederst) i den beregnede afstrømning via vandløb til de marine kystafsnit.

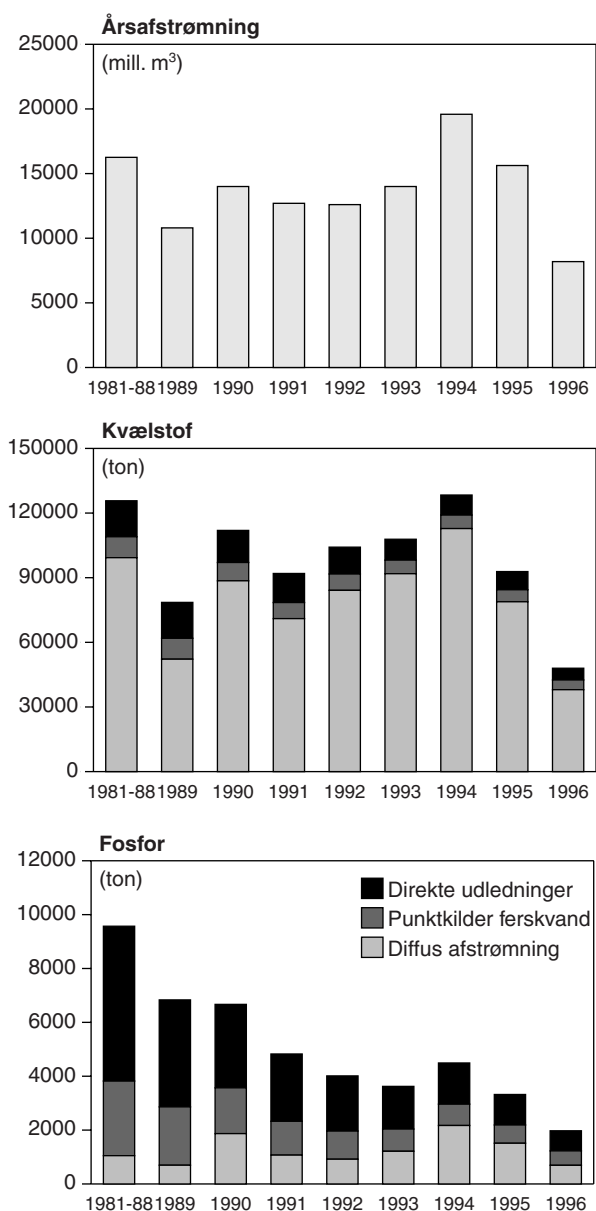
Den vandføringsvægtede fosforkoncentration har været signifikant faldende gennem perioden fra 1981 til 1996.

7.4 Belastningsforholdene i overvågningsperioden og perioden 1981-88

Ferskvandsafstrømningen har som et gennemsnit for de 8 overvågningsår været 13.400 millioner m³ per år og dermed kun 4% lavere end normalen (gennemsnittet for perioden 1971-90). Dette dækker dog over, at afstrømningen har været rekordhøj i 1994 og rekordlav i 1996. De 8 år før overvågningsprogrammet blev iværksat (1981-88) har til gengæld haft en relativ høj ferskvandsafstrømning på 16.300 millioner m³ eller knap 21% højere end i de 8 overvågningsår. De varierende afstrømningsforhold har ikke mindst påvirket de målte tilførsler af kvælstof via vandløb og direkte spildevandsudledninger i perioden 1989-96, men også i et vist omfang de tilsvarende fosfortilførsler (figur 7.5).

Diffus kvælstofafstrømning

Den diffuse afstrømning af kvælstof, som omfatter den naturlige baggrundsafstrømning, afstrømning fra dyrkede arealer og fra spredt bebyggelse har både i perioden 1981-88 og de efterfølgende år været den dominerende kilde til de landbaserede tilførsler via vandløb og direkte spildevandsudledninger af kvælstof. I perioden 1981-88 udgjorde den diffuse afstrømning 79% af den samlede land-



Figur 7.5. Ferskvandsafstrømningen og den samlede målte landbaserede tilførsel af kvælstof og fosfor via vandløb og direkte spildevandsudledninger til marine kystafsnit i de 8 overvågningsår og som et gennemsnit for perioden 1981-96.

baserede afstrømning mod 78% som et gennemsnit for 1989-96. I den sidste periode har andelen varieret mellem 66% og 88% med de laveste andele i afstrømningsfattige år. Den diffuse afstrømningsandel har været ens i de to perioder selv om 1981-88 havde en ferskvandsafstrømning der var knap 21% højere end 1989-96. Det indikerer at belastningen fra de øvrige kilder (spildevand) enten er reduceret eller at den diffuse belastning har været stigende.

Diffus fosforafstrømning

Den diffuse fosforafstrømning udgjorde i gennemsnit for 1981-88 godt 14% af den samlede landbaserede fosforafstrømning til de marine kystafsnit mod 28% som gennemsnit for 1989-96. I sidstnæv-

te periode har den diffuse andel varieret mellem 10% og 48% højest i afstrømningsrige år, og med markant udvikling mod en stigende betydning af de diffuse kilder i de senere år. Dette er et entydigt resultat af den forbedrede spildevandsrensning, som netto har nedsat fosforbelastningen til såvel ferskvand som direkte til kystafsnittene betydeligt (figur 7.5).

Samlede tilførsler til marine kystafsnit

De målte tilførsler via vandløb og direkte spildevandsudledninger i perioden 1981-1988 og for hvert af overvågningsårene samt for et gennemsnit heraf findes i tabellerne 7.2, 7.3 og 7.4 (for BOD₅ findes kun opgørelser for de seneste tre år. Spildevandsoplysningerne stammer fra Miljøstyrelsens Vandmiljø 19xx rapporter, medens oplysninger for perioden 1981-88 er samlet fra *Miljøstyrelsen (1990, 1993, 1997a og b)*.

For at kunne vurdere betydningen af de enkelte kilder er det nødvendigt at kende bruttotilførslerne til vandmiljøet, idet der fra kilden frem til måling i vandløbene sker er tilbageholdelse af både kvælstof og fosfor i f.eks. søer og vandløbsnære arealer og en omsætning af kvælstof i søer og våde enge (se kapitel 5 og 6). Tilbageholdelsen (retentionen) af kvælstof og fosfor i de danske søer har vi beregnet for hvert af de 8 overvågningsår baseret på de 37 overvågningsår baseret på de 37 overvågningsår (de bilagsbindet afsnit 1.7). Endvidere er der lavet en beregning af retentionen for i søerne for perioden 1981-88, som specielt for fosfors vedkommende antages at være for lille. Den beregnede retention er netto værdier, idet en del søer aflaster fosfor, hvilket vil sige at der reelt måles på tilførsler som er tilført søerne for mange år siden. Frigivelsen af fosfor fra sø-sedimentet er specielt sket efter at spildevandsbelastningen til søerne er blevet reduceret, således at noget af belastningen fra 1970'erne og 1980'erne måles i 1990'erne.

Retentionen er angivet i tabel 7.2 og 7.3 og tillagt den målte tilførsel giver det en samlet brutto tilførsel (tabel 7.2 og 7.3). For BOD (tabel 7.2 og 7.3). For BOD₅ giver det ikke mening at tale om retention, da der produceres organisk stof i vandmiljøet. I praksis tillægges afstrømningen via vandløb den beregnede retention i ferskvand. Retentionen har udgjort 8 til 14% af bruttobelastningen med kvælstof af ferskvand højest i år med lille kvælstofafstrømning. Retentionen af fosfor har været fra -1% til 6% af bruttobelastningen med fosfor af ferskvand.

Den målte landbaserede brutto tilførsel af kvælstof var i perioden 1981-88 i gennemsnit 136.800 ton eller 30% højere sammenlignet med gennemsnit for de 8 overvågningsår, der var 105.200 ton. Brutto fosfortilførslen var i perioden 1981-88 i gennemsnit

10.070 ton og 123% højere sammenlignet med gennemsnittet for 1989-96 på 4.530 ton.

Tabel 7.2 Målte tilførsel af kvælstof til marine kystafsnit via vandløb og direkte spildevandsudledninger (eksklusiv havbrug) og den samlede målte tilførsel. Beregnet retention i ferskvand plus målt tilførsel til de marine kystafsnit giver brutto tilførslen til disse.

År	Via vandløb	Direkte udledninger	Målt tilførsel	Retention	Brutto tilførsel
1981-88	109.000	16.700	125.700	11.100	136.800
1989	61.900	16.700	78.600	10.300	88.900
1990	97.100	14.900	112.000	10.700	122.700
1991	78.500	13.500	92.000	9.500	101.500
1992	91.800	12.500	104.300	13.200	117.500
1993	98.200	9.700	107.900	10.600	118.500
1994	119.100	9.300	128.400	11.000	139.400
1995	84.400	8.400	92.800	7.100	99.900
1996	42.500	5.500	48.000	5.200	53.200
1989-96	84.200	11.300	95.500	9.700	105.200

Tabel 7.3 Målte tilførsel af fosfor til marine kystafsnit via vandløb og direkte spildevandsudledninger (eksklusiv havbrug) og den samlede målte tilførsel. Beregnet retention i ferskvand plus målt tilførsel til de marine kystafsnit giver brutto tilførslen til disse.

År	Via vandløb	Direkte udledninger	Målt tilførsel	Retention	Brutto tilførsel
1981-88	4.200	5.750	9.950	120	10.070
1989	2.860	3.970	6.830	120	6.950
1990	3.570	3.100	6.670	90	6.760
1991	2.330	2.500	4.830	150	4.980
1992	1.960	2.050	4.010	-10	4.000
1993	2.040	1.580	3.620	90	3.710
1994	2.960	1.530	4.490	10	4.500
1995	2.190	1.130	3.320	40	3.360
1996	1.230	740	1.970	30	2.000
1989-96	2.390	2.080	4.470	60	4.530

Tabel 7.4 Målte tilførsel af let omsætteligt organisk stof (BOD_5) til marine kystafsnit via vandløb og direkte spildevandsudledninger (eksklusiv havbrug) og den samlede målte tilførsel.

År	Via vandløb	Direkte udledninger	Målt tilførsel
1994	41.700	34.200	75.900
1995	24.900	21.000	45.900
1996	15.800	12.500	28.300

Betydningen af reducerede spildevandstilførsler

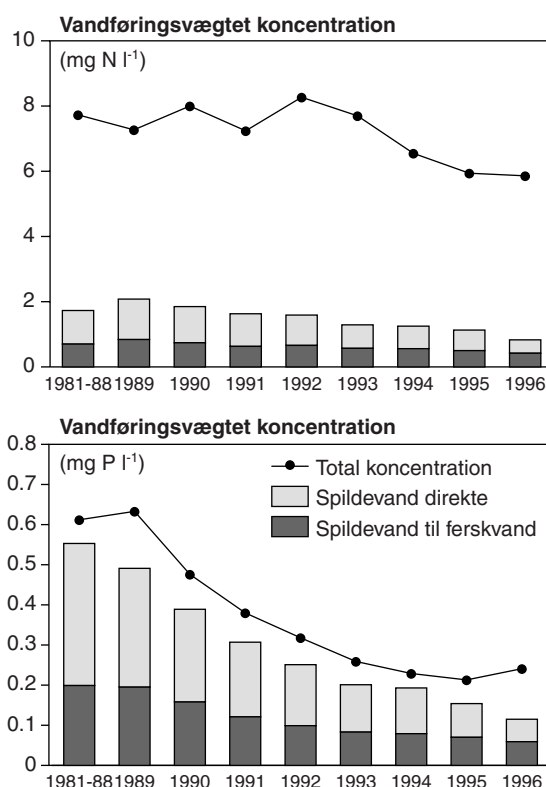
Spildevandsudledninger til ferskvand og direkte til de marine kystafsnit er reduceret fra ca. 28.000 ton kvælstof i 1981-88 til 11.100 ton i 1996 svarende til en reduktion på 60% og på 14% af de samlede målte landbaserede udledninger. Spildevandsudledningerne til ferskvand er reduceret med 50% og de direkte spildevandsudledninger er reduceret med 67%.

De samlede landbaserede spildevandsudledninger af fosfor er reduceret fra ca. 9.000 ton i 1981-88 til 1540 ton i 1996 svarende til en reduktion på knap 83% og på 75% af de samlede målte landbaserede

udledninger. Spildevandsudledningerne til ferskvand er reduceret med 75% og de direkte spildevandsudledninger er reduceret med 87%.

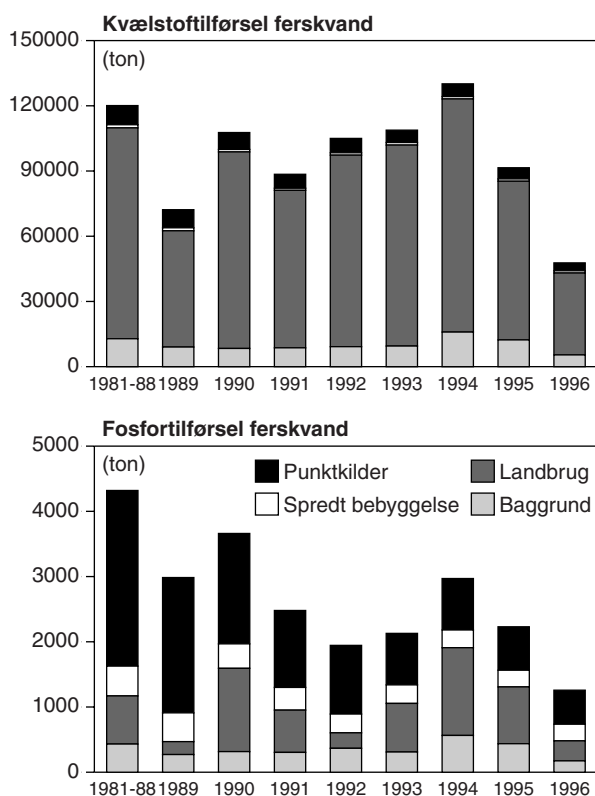
Den største reduktion i spildevandsudledningerne i perioden er således sket på de direkte spildevandsudledninger, hvilket kan tilskrives af der allerede op gennem 1980'erne og endnu tidligere er iværksat renseforanstaltninger til f.eks. en del søer.

Den markante reduktion i spildevandsudledninger til ferskvand og direkte til de marine kystafsnit kan illustreres ved at beregne hvor stor en andel af den vandføringsvægtede koncentration i de landbaserede kvælstof og fosfortilførsler, der kan tilskrives spildevand (figur 7.6). Tilførslerne af spildevand til ferskvand og de direkte spildevandstilførsler er for perioden 1981-88 divideret med gennemsnittet af ferskvandsafstrømningen for perioden, og tilsvarende er spildevandstilførslerne i hvert af de 8 overvågningsår divideret med gennemsnittet af ferskvandsafstrømningen i perioden 1989-96 for at lave en normaliseret betragtning.



Figur 7.6. Vandføringsvægtede koncentrationer i den samlede målte tilførsel via vandløb og direkte spildevandsudledninger af kvælstof (A) og fosfor (B). Endvidere vises hvilken vandføringsvægtet koncentration henholdsvis spildevand til ferskvand og direkte spildevandsudledninger bidrager med (se teksten for yderligere forklaring).

Fra 1989 til 1996 er den vandføringsvægtede kvælstofkoncentration i de målte landbaserede tilførsler til de marine kystafsnit faldet fra 7,3 mg N l⁻¹ til 5,9



Figur 7.7. Brutto tilførslen til ferskvand (dvs. der er taget højde for retention) af kvælstof (øverst) og fosfor (nederst) opdelt i baggrundstilførslen, tilførslen fra dyrkede arealer, tilførslen fra spredt bebyggelse og tilførslen fra punktkilder.

mg N l⁻¹ eller med 1,4 mg N l⁻¹ (19%). Heraf kan de 1,3 mg N l⁻¹ direkte forklares ved en reduktion i spildevandsudledninger, hvis den vandføringsvægtede koncentration for disse beregnes ud fra en gennemsnitsferskvandsafstrømning i de 8 overvågningsår. Det er således sket et fald i belastningen med spildevand som næsten fuldt ud kan forklare faldet i den vandføringsvægtede koncentration i de samlede målte landbaserede udledninger til de marine kystafsnit. Den forbedrede spildevandsrensning har i gennemsnit reduceret de samlede landbaserede tilførsler med ca. 14% i forhold til perioden 1981-88.

Fra 1989 til 1996 er den vandføringsvægtede fosforkoncentration i de målte landbaserede tilførsler til de marine kystafsnit faldet fra 0,630 mg P l⁻¹ til 0,240 mg P l⁻¹ eller med 0,390 mg P l⁻¹ (63%). Heraf kan de 0,380 mg P l⁻¹ forklares ved en reduktion i spildevandsudledninger, hvis den vandføringsvægtede koncentration for disse beregnes ud fra en gennemsnitsferskvandsafstrømning i de 8 overvågningsår. Det er således sket et fald i belastningen med spildevand som uldt ud kan forklare faldet i den vandføringsvægtede koncentration i de samlede målte landbaserede udledninger til de marine kystafsnit. Den forbedrede spildevandsrensning har i gennemsnit reduceret de samlede landbaserede

de tilførsler med ca. 75% i forhold til perioden 1981-88.

Det skal understreges at ved at anvende en gennemsnitsferskvandsafstrømning for perioden 1989-96 ved beregning af koncentrationsbidraget fra spildevand til ferskvand og direkte spildevandsudledninger og sammenligne dette med den aktuelle vandføringsvægtede koncentration for afstrømningen via vandløb og direkte spildevandsudledninger skal man være varsom med at tolke på et enkelt år i figur 7.6. I 1996 er den totale vandføringsvægtede fosforkoncentration højere end i 1995, mens den beregnede vandføringsvægtede koncentration er lavere for spildevandsbidraget. Havde man anvendt den faktiske afstrømning i 1996 ved beregningen var de vandføringsvægtede koncentrationer for spildevandsbidraget blevet højere. Figuren skal derfor kun anvendes til at vurdere udviklingerne med.

7.5 Kilder til kvælstof og fosfor belastning af ferskvand

Bruttotilførslen til ferskvand kan opdeles i den naturlige baggrundstilførsel, tilførslen fra dyrkede arealer og fra spredt bebyggelse og tilførslen fra punktkilder (figur 7.7). Tilførslen fra den spredte bebyggelse er en beregnet størrelse (f.eks. *Miljøstyrelsen, 1990, 1993, 1997a og b*) og er usikkert bestemt. I tørre år har tilførslen fra spredt bebyggelse sandsynligvis været større end angivet og i afstrømningsfattige år til gengæld lavere.

Vurdering af baggrundstilførslen

Baggrundstilførslen kan opgøres både ud fra arealkoefficienter i naturopland eller vandføringsvægtede koncentrationer i samme. Da naturoplandene generelt har en lavere afstrømning en gennemsnittet for hele landet, vil baggrundstilførslen baseret på vandføringsvægtede koncentrationer og en gennemsnitsafstrømning for Danmark give for høj en værdi. Omvendt kan der argumenteres for at anvendelse af arealkoefficienter fra naturoplandene giver en lidt for lav baggrundstilførsel. Baggrundstilførslen beregnet ud fra arealkoefficienter udgør de enkelte år 45-65% af den tilsvarende belastning beregnet ved hjælp af vandføringsvægtede koncentrationer i naturoplandene for både kvælstof og fosfor. Vi har fastholdt at anvende en baggrundstilførsel beregnet ud fra arealkoefficienter i naturoplandene.

Tilførsel fra baggrund og fra dyrkede arealer

Der er som tidligere omtalt sket en markant reduktion i tilførslerne fra punktkilder til ferskvand. Baggrundstilførslen var 11% både i 1981-88 og i 1989-96 af brutto kvælstoftilførslen. Tilsvarende var tilførslen fra dyrkede arealer 81% i begge perioder. Dette kunne umiddelbart tolkes at være i modstrid med konstateringen af, at der er sket en

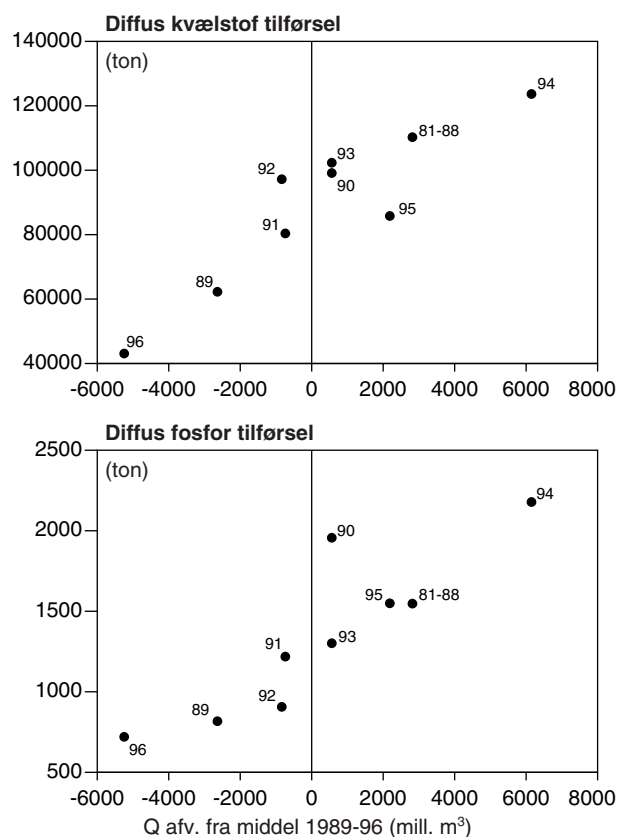
reduktion i spildevandstilførslen. Der skal dog tages højde for at afstrømningen i perioden 1989-96 har været knap 21% lavere end i 1981-88, som har medført en reduktion i samme størrelsesorden i baggrundstilførslen og i tilførslen fra de dyrkede arealer. Således udgjorde baggrundstilførslen og tilførslen fra de dyrkede arealer i det afstrømningsrige år 1994 tilsammen næsten 95% af de samlede kvælstoftilførsler til ferskvand.

Der er sket et endnu mere udpræget fald i fosfortilførslerne fra punktkilder til ferskvand. Fosfortilførslerne fra baggrund og dyrkede arealer vil ligesom de tilsvarende kvælstoftilførsler være potentielt lavere i perioden 1989-96 sammenlignet med den forudgående 8 års periode. I 1981-88 udgjorde baggrundstilførslerne 10% af brutto fosfortilførslen til ferskvand mod 14% i den efterfølgende 8 års periode. Tilsvarende udgjorde tilførslen fra dyrkede arealer 17% i 1981-88 mod 28% i 1989-96. Specielt de seneste 3-4 år har betydningen af tilførslerne fra baggrund og dyrkede arealer været voksende, således over 50% i både 1994 og 1995. Sammen med den potentielle belastning fra spredt bebyggelse har disse kilder udgjort over 2/3 af bruttotilførslen af fosfor til ferskvand i 1993-95.

Diffuse tilførsel

Bruttotilførslen fra baggrund, dyrkede arealer og spredt bebyggelse også kaldet den diffuse tilførsel afhænger af afstrømningen (figur 7.8). Hvis punkterne lå på en ret linie var det muligt at beregne den diffuse belastning af ferskvand alene ud fra ferskvandsafstrømningen. Hvis der har været en signifikant nedsat diffus bruttotilførsel som følge af diverse tiltag til reduktion i kvælstofbelastningen fra landbruget så vil punkterne i figur 7.8 (øverst) ikke kunne samles om en ret linie.

Generelt er der en fin sammenhæng mellem ferskvandsafstrømningen og den diffuse tilførsel til ferskvand. Der er for den diffuse kvælstoftilførsel en tendens til at den "klinger" af ved høje afstrømninger, dvs. i meget våde år vil kvælstofudvaskningen relativt bliver knap så høj, fordi der tilsyneladende er en grænse for hvor meget let-udvaskeligt kvælstof, der er tilgængeligt. Der er to år, der skiller sig ud: 1992 med en "for høj" diffus kvælstoftilførsel og 1995 med en "for lav" kvælstoftilførsel. I 1992 var der en 9 uger lang periode fra medio maj til medio juli uden nedbør overhovedet. Planteoptaget af kvælstof blev stærkt reduceret selv på udyrkede arealer og i det efterfølgende efterår, var der en kraftig udvaskning af kvælstof, højere end afstrømningen betingede. I 1995 var afstrømningen ca. 10% over normalen trods nedbøren var ca. 8% lavere end normalen. En stor del af afstrømningen har derfor været grundvandsbetingsbet, og denne har en lav kvælstofkoncentration.

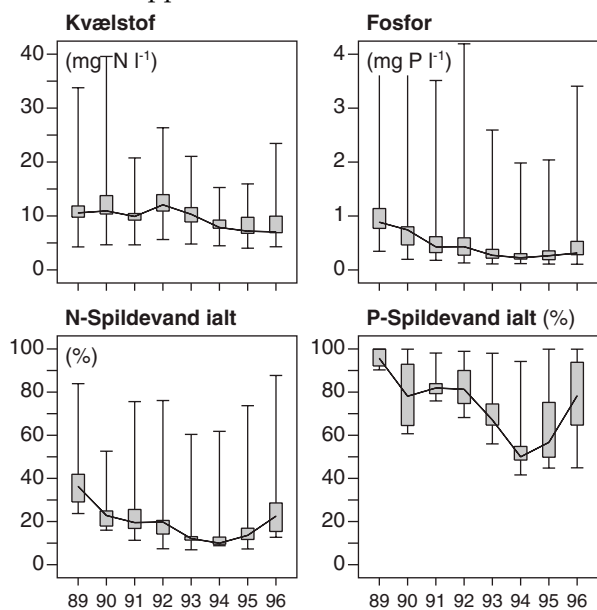


Figur 7.8. Den diffuse tilførsel (brutto tilførsel fra baggrund, dyrkede arealer og spredt bebyggelse) af kvælstof (øverst) og fosfor (nederst) som funktion af ferskvandsafstrømningen. Denne er angivet som den absolute afvigelse fra gennemsnittet af ferskvandsafstrømningen i 1989-96.

Den diffuse fosfortilførsel har ligeledes en næsten lineær sammenhæng med afstrømningen. Kun 1990 og 1996 skiller sig ud. I 1990 var der en ekstra stor diffus fosfortilførsel som i høj grad kan tilskrives, at der i det tørre år 1989 var ophobet meget partikelbundet fosfor i vandløb og langs disse, som ved høje vinterafstrømninger i 1990 efterfølgende blev ført til og væk med vandløbene og videre til de marine kystafsnit. I 1996 skulle man have forventet en lavere diffus tilførsel end den, der er målt. Året var ekstremt afstrømningsfattigt hele 24% lavere end i 1989. Endvidere udgjorde belastningen fra den spredte bebyggelse i 1989 ca. 460 ton fosfor mod 260 ton fosfor i 1996. Hvis belastningen fra spredt bebyggelse fratrækkes den diffuse brutto belastning, har denne været 270 ton i 1989 og 430 ton i 1996. Selv om bruttotilførslen fra den spredte bebyggelse er en meget usikker størrelse, indikere dette overslag at bruttotilførslen fra de dyrkede arealer har været relativt høj i 1996 set i forhold til afstrømningen. En del af forklaringen herpå kan være at sammenlignet med 1989 har fosforafkastningen fra søer haft en større betydning i 1996 og at der således måles på tidligere tiders spildevandstilførsler som i 1996 beregnes som diffus belastning.

7.6 Belastningsforhold for 1. ordens kystafsnit

Belastningen til de 9 første ordens kystafsnit har kun været opgjort siden 1989, og i de første 2-3 overvågningsår er denne opgørelser forbundet med en større usikkerhed end de efterfølgende år. Vi har alligevel forsøgt at give en overordnet karakteristik i udviklingen af belastningsforholdene til de ni første ordens kystafsnit i de 8 overvågningsår i figur 7.9. I bilagsbindets kapitel 7 findes en række supplerende tabeller.



Figur 7.9. Vandføringsvægtede koncentrationer af kvælstof og fosfor i de landbaserede målte tilførsel via vandløb og direkte spildevandsudledninger til de ni 1. ordens kystafsnit i de 8 overvågningsår (øverste figurer). I de nederste figurer vises, hvor stor en procentdel spildevandsudledningerne til ferskvand og direkte spildevandsudledninger udgør af den samlede målte landbaserede belastning til de ni 1. ordens kystafsnit. Linien angiver medianværdien og maksimums- og minimumsværdien svarer til 90% og 10% fraktilen.

Der er store forskelle i de målte landbaserede tilførsler af kvælstof og fosfor til de ni 1. ordens marine kystafsnit (figur 7.9 og kapitel 7 i bilagsbindet). Der er således stor forskel mellem den andel af oplandets areal som de første ordens kystafsnit udgør af Danmarks areal og så andelen af ferskvands-, kvælstofs- og fosfor tilførslen (tabel 7.5). Oplandsarealet til Nordsøen udgør således 25% af landets areal, men 34% af den samlede ferskvandsafstrømningen er i gennemsnit for overvågningsperioden kommet fra dette opland (tabel 7.5). Alligevel udgør den målte landbaserede kvælstof tilførsel til Nordsøen i gennemsnit kun 22% og den tilsvarende fosfortilførsel kun 16% af de samlede kvælstof- og fosfortilførsler til de marine kystafsnit. Den relative høje ferskvandsafstrømning skyldes, at der i oplandet til Nordsøen falder mest nedbør og samtidig er den relativ laveste fordampning, dvs. den højeste nettonedbør (kapitel

3), hvilket giver en høj specifik afstrømning. Da oplandet samtidig er sandet, er der en stor grundvandsafstrømning, som indeholder relativ lave kvælstofkoncentrationer.

Den relativ lave fosfortilførsel til Nordsøen skyldes både en stor grundvandsafstrømning med lave fosforkoncentrationer, men også at spildevandsudledningerne er relativ små. Andelen af den samlede fosfortilførsel er også kraftigt påvirket af, at der til Øresund udledes ekstremt meget spildevand (specielt store direkte udledninger). Dette farvandsområde har således i gennemsnit haft 24% af den samlede målte landbaserede fosfortilførsel selv om oplandet kun udgør 4% af landets areal og kun har haft 2% af ferskvandsafstrømningen. Dette der gælder også for de vandføringsvægtede fosforkoncentrationer (figur 7.8), hvor 90% fraktilen er høj på grund af Øresund.

I farvandsområderne Lillebælt og Storebælt bemærkes også relativt høje andele af kvælstof og fosfortilførslerne sammenlignet med andelen af ferskvandsafstrømningen, hvilket bl.a. kan tilskrives høj befolkningstæthed, megen industri og meget intensivt landbrug i oplandene.

Der kan i de 8 overvågningsår ikke påvises nogen signifikant ændring i den relative belastning mellem de 9 1. ordens farvandsområder på nær for kvælstof, hvor Nordsøens relative andel har været faldende (fra ca. 20 til ca. 15%) medens Kattegats andel har været stigende fra ca. 22% til 28%.

Spildevandets andel (dvs. inklusiv bidrag fra spredt bebyggelse) af den samlede målte landbaserede belastning har været faldende både for kvælstof og fosfor til alle ni farvandsområder, selv om andelen er steget lidt i 1995 og 1996 grundet lave nedbørsmængder og deraf følgende relativ lav ferskvandsafstrømning (figur 7.8). Figuren viser at i median tilfældet, er spildevandsandelen til de ni 1. ordens kystafsnit faldet fra knap ca. 30% af den samlede målte landbaserede til 10-20%. For fosfor er der sket et fald i mediansituationen fra 80-90% til ca. ca. 60% (fraset den meget afstrømningsfattige år 1996). Betragtes i stedet et gennemsnit for hele Danmark er spildevandsandelen af den samlede målte landbaserede tilførsel af kvælstof faldet fra ca. 22% i perioden 1981-88 til ca. 16% de seneste 2-3 år. Tilsvarende er spildevandsandelen for fosfor faldet fra ca. 90% til ca. 60%.

7.7 Konklusion

I dette kapitel er hovedvægten lagt på en vurdering af udviklingen i de landbaserede kvælstof- og fosfortilførsler med ferskvand (tilførsler via vandløb og direkte spildevandsudledninger) til de marine kystafsnit i de 8 år under Vandmiljøplanens

overvågningsprogram. Hvor det er muligt er der sammenlignet med en 8 års periode (1981-88) forud for overvågningsprogrammets iværksættelse.

Belastningsforholdene i 1996

Med 8.191 millioner m³ var ferskvandsafstrømningen i 1996 rekordlav og 41% under normalen (1971-90). De landbaserede tilførsler med ferskvand var 48.000 ton kvælstof, 1.970 ton fosfor og 28.300 BOD₅ og dermed også rekordlave. Tilførslerne via vandløb var i 1996 ca. halvdelen af niveauet for 1989-96.

Ferskvandsafstrømning

Ferskvandsafstrømningen var i gennemsnit for 1989-96 4% under normalen (1971-90), mens den i gennemsnit for 1981-88 var knap 21% højere end i de 8 overvågningsår. Der er tilsyneladende en næsten lineær sammenhæng mellem ferskvandsafstrømningen og den diffuse bruttotilførsel af kvælstof og fosfor, hvorfor denne også i gennemsnit har været noget lavere i overvågningsperioden end i 1980'erne.

Kvælstof

Baseret på målinger i 4 store vandløb og Miljøstyrelsens spildevandsoplysninger er den målte landbaseret kvælstoftilførsel med ferskvand bestemt til 125.700 ton (heraf 109.000 ton via vandløb) som gennemsnit for 1981-88, som vurderes at være ret sikre værdier. De tilsvarende gennemsnitsværdier for 1989-96 er henholdsvis 95.500 ton og 84.200 ton.

De landbaserede spildevandsudledninger er reduceret med ca. 17.000 ton fra 1981-88 til 1996 eller med 60% svarende til 14% af de samlede landbaserede udledninger med ferskvand. Den største renseindsats i overvågningsperioden har været på de direkte udledninger. Den vandføringsvægtede koncentration fra de landbaserede tilførsler med ferskvand er reduceret med 14% fra 7,3 mg N l⁻¹ i 1989 til 5,9 mg N l⁻¹ i 1996, hvor de 1,3 mg l⁻¹ kan forklares alene ud fra en reduktion i spildevandsudledningerne. Det kan ikke på baggrund af belastningen til de marine kystafsnit påvises, at der er sket en reduktion i den diffuse kvælstoftilførsel, når der tages højde for afstrømningsvariationerne.

Den diffuse bruttotilførsel af kvælstof er hovedkilden (83% i gennemsnit for 1989-96) til brutto tilførslen af landbaseret kvælstof med ferskvand til de marine kystafsnit. I 1981-88 udgjorde spildevandsbelastningen (inklusiv spildevand fra spredt bebyggelse) 20% af den målte landbaserede kvælstoftilførsel med ferskvand mod 15% de seneste 3 år.

Der kan ikke forventes yderligere målbare reduktioner i kvælstoftilførslen fra punktkilder til ferskvand. En opfyldelse af Vandmiljøplanens målsætninger om en halvering af kvælstodudledningerne

til vandmiljøet kan derfor alene ske ved at reducere den diffuse kvælstoftilførsel.

Fosfor

Baseret på målinger i 4 store vandløb Miljøstyrelsens spildevandsoplysninger er den målte landbaserede fosfortilførsel med ferskvand beregnet til 9.950 ton (heraf 4.200 ton via vandløb) som gennemsnit for 1981-88, som skønnes at værdier behæftet med en vis usikkerhed. De tilsvarende gennemsnitsværdier for 1989-96 er henholdsvis 4.470 ton og 2.370 ton.

De landbaserede spildevandsudledninger er reduceret med ca. 7.400 ton fra 1981-88 til 1996 eller med 83% svarende til 75% af de samlede landbaserede udledninger med ferskvand. Den største renseindsats i overvågningsperioden har været på de direkte udledninger. Den vandføringsvægtede koncentration fra de landbaserede tilførsler med ferskvand er reduceret med 63% fra 0,630 mg P l⁻¹ i 1989 til 0,240 mg N l⁻¹ i 1996, heraf kan de 0,380 mg l⁻¹ forklares alene ud fra en reduktion i spildevandsudledningerne. Det kan ikke på baggrund af belastningen til de marine kystafsnit påvises, at der skulle være sket en reduktion i den diffuse fosfortilførsel, når der tages højde for afstrømningsvariationerne.

Spildevandstilførsel af fosfor er hovedkilden (77% i gennemsnit for 1989-96) til brutto tilførslen af landbaseret fosfor med ferskvand til de marine kystafsnit. I 1981-88 udgjorde spildevandsbelastningen (inklusiv spildevand fra spredt bebyggelse) 22% af den målte landbaserede fosfortilførsel med ferskvand mod ca. 16% de seneste 3 år.

Der kan generelt ikke forventes yderligere målbare reduktioner i fra punktkilder til ferskvand. En yderligere reduktion af fosfortilførslerne til vandmiljøet kan derfor alene ske ved at reduceret det diffuse fosfortab.

[Tom side]

8 Sammenfatning af Danmarks Miljøundersøgelses nationale rapporter vedrørende resultaterne af Vandmiljøplanens Overvågningsprogram

Kvælstoftilførsel til vandmiljøet

I 1996 var den samlede tilførsel af kvælstof med vandløb og direkte spildevandsudledninger til de kystnære vandområder 48.000 tons, hvilket er den lavest målte siden starten af Vandmiljøplanens Overvågningsprogram. Den meget lille kvælstoftilførsel i 1996 skyldes primært den ringe nedbør og dermed lave vandafstrømning fra de dyrkede arealer til vandløbene. Ferskvandsafstrømningen var således i 1996 rekordlav og kun 58 % af gennemsnittet for perioden 1989-95.

I 1996 kom ca. 71% af den samlede landbaserede tilførsel fra dyrkningsbetingede tab fra landbrug, ca. 19% fra spildevand udledt til vandløb og direkte til kystnære områder, mens det naturlige baggrundsbidrag udgjorde ca. 10%.

Spildevandsudledningernes betydning for den samlede tilførsel var således relativ høj i 1996 på grund af den ringe vandafstrømning i vandløbene. Vandmiljøet tilføres også kvælstof fra luften. For de fleste fjorde og kystnære områder er denne tilførsel af forholdsvis lille betydning i sammenligning med den landbaserede tilførsel, men den er til gengæld væsentlig for den samlede kvælstoftilførsel til de åbne farvande. Tilførslen fra luften er domineret af bidraget fra landbrug, der udgør ca. 70-80%. Den samlede kvælstoftilførsel fra luften til de danske farvande udgør ca. 100.000 tons år⁻¹, hvoraf det danske bidrag udgør ca. 16%.

På landsplan er den samlede tilførsel af handelsgødning faldet fra 392 mill. kg N i 1985 til 285 mill. kg N i 1996. Tilførsel af husdyrgødning er omtrent uændret i samme periode. Nettotilførslen af kvælstof, d.v.s. forskellen mellem tilført og høstet kvælstof, udgjorde 133 kg N ha⁻¹ i 1985 og 99 kg N ha⁻¹ i 1996, og er over hele perioden faldet med 19%.

Detaljerede undersøgelser i 6 landovervågningsoplande viser, at der i perioden 1990-96 er sket forbedringer i landbrugspraksis. Overgødskningen er mindsket, og handelsgødningsforbruget er reduceret, således at udnyttelsen af husdyrgødning er forbedret med ca. 15%-point. I 1996 blev minimumskravet til udnyttelse af husdyrgødning dog ikke opfyldt på ca. 40% af ejendommene, som anvendte husdyrgødning, og der blev overgødet på ca. 20% af arealet. Kvælstofudvaskningen fra rodzonen er beregnet med en empirisk model. En beregning for alle markerne i oplandene for de 7

driftsår ved normaliseret klima viser en reduktion i udvaskningen på ca. 17% fra 1989/90 til 1995/96.

Udvaskningen af kvælstof fra landbrugsjord udgjorde i perioden 1989-96 mellem 80 og 90% af kvælstoftransporten i de fleste danske vandløb. En analyse af 55 vandløb, hvor der korrigeres for naturlige variationer i vandafstrømningen viser, at den korrigerede kvælstoftransport de sidste 4 år har været lavere end i de 4-5 foregående år. For vandløb på lerjord er kvælstoftransporten i de seneste 4 år også signifikant mindre end i den foregående 15-års periode.

Modelberegningerne og målingerne viser, at Vandmiljøplanens reduktionsmål for kvælstof ikke er nået med de hidtidige tiltag. Hvis kravene til Handlingsplanen for Bæredygtigt Landbrug vedrørende udnyttelse af husdyrgødning opfyldes, og hvis husdyrgødningen inden for de enkelte ejendomme fordeles optimalt, vil der ske en gennemsnitlig reduktion i udvaskningen på ca. 32% i forhold til 1989/90. Denne reduktion i udvaskningen forudsætter, at handelsgødningsforbruget reduceres med 42%. Scenarioberegninger af en forøget anvendelse af græsudlæg og efterafgrøder, samt en 20%'s reduktion i gødningsnormerne peger på, at yderligere tiltag kan bringe udvaskningen ned på niveau med målet i Vandmiljøplanen.

Fosfortilførsel til vandmiljøet

I 1996 var den samlede tilførsel af fosfor med vandløb og direkte spildevandsudledninger til de kystnære vandområder 1970 tons, hvilket er den lavest målte siden starten af Vandmiljøplanens Overvågningsprogram. Det skyldes dels forbedret spildevandsrensning siden 1980'erne og dels meget ringe vandafstrømning i vandløbene i 1996.

I 1996 kom ca. 15% af den samlede landbaserede tilførsel fra dyrkningsbetingede tab fra landbrug, ca. 76% fra spildevand, mens det naturlige baggrundsbidrag udgjorde ca. 9 %. Spildevandsudledningernes betydning for den samlede tilførsel var således høj i 1996 på grund af den ringe vandafstrømning i vandløbene.

Fosfordepositionen fra atmosfæren til De Indre Danske Farvande er estimeret til at være 280 tons P år⁻¹ eller 8 kg P km² år⁻¹. Dette svarer til 4% af den samlede fosfortilførsel fra afstrømning fra land og fra atmosfæren.

En analyse af 36 vandløb med lange tidsserier viser et fald i koncentrationen af total fosfor på i gen-

nemsnit ca. 16% i perioden 1978-88 p.g.a. bedre spildevandsrensning. I perioden 1989-96 er der i vandløb, der fortrinsvis er belastet af diffuse fosforudledninger fra det åbne land, beregnet et fald på ca. 10%. Hovedårsagen til dette fald vurderes at være det øgede brug af fosfatfrie vaskemidler, som har reduceret udledningerne af fosfor fra spredt bebyggelse. I de spildevandsbelastede vandløb har faldet været noget større (ca. 28%).

Det diffuse tab af fosfor er nu i mange vandløb den største kilde til fosforforureningen, og koncentrationen af total fosfor er i de fleste danske vandløb stadigvæk over 0,1 mg P l⁻¹. En af grundene hertil er, at der stadig tilføres danske landbrugsjorde mere fosfor end der fjernes med afgrøderne.

En væsentlig reduktion i vandløbenes fosfortransport kan kun ske ved at mindske de landbrugsrelaterede fosforudledninger. På sigt forudsætter dette, at jordens fosforindhold og dermed udvaskningsrisikoen fra landbrugsjorde, reduceres. Andre tiltag som omlægninger i jordbearbejdning og afgrødevalg på særligt erosionstruede marker, etablering af brede bræmmer langs vandløb og søer og af vådområder kan yderligere medvirke til at reducere fosfortilførslen til vandmiljøet.

Vandløbenes miljøtilstand

Der er i alt ca. 64.000 km danske vandløb. Hovedparten er små bække og grøfter, men godt 15.000 km vandløb er mere end 2,5 meter brede.

Vandløbenes miljøtilstand bedømmes ud fra forekomsten af insekter, krebsdyr og andre smådyr i vandløbene. Der anvendes et biologisk indeks, hvor indeksværdier på I, I-II og II viser, at den biologiske tilstand er upåvirket eller næsten upåvirket, indeks II-III viser en moderat påvirkning, mens der i vandløb med indeksværdier på III, III-IV og IV er en stærk påvirkning af den biologiske tilstand.

Af de danske vandløb er 35-40% upåvirkede eller næsten upåvirkede, 30-40% er moderat påvirkede, mens 15-30% er stærkt påvirkede. Miljøtilstanden i små vandløb er generelt dårligere end i større vandløb.

En analyse af udviklingen i vandløbenes miljøtilstand over en længere periode vanskeliggøres af, at de anvendte metoder i amterne ikke er standardiserede. Det skønnes dog, at antallet af kraftigt påvirkede danske vandløb er blevet mere end halveret siden 1970'erne. Forbedringer i miljøtilstanden har siden 1989-90 været mest markant i de større vandløb. Større udbredelse af flere rentvandskrævende smådyr, samt en generel fremgang for ørred bekræfter den generelle forbedring af vandløbenes miljøtilstand.

På landsplan opfylder kun ca. 45% af vandløbene de politisk vedtagne målsætninger. De væsentligste årsager til de manglende målsætningsopfyldelser er udledninger af spildevand fra spredt bebyggelse, ringe fysisk variation i vandløbenes bundforhold og udledninger af okker. Hovedparten af de mange moderat påvirkede vandløb kan forbedres gennem indgreb over for spildevand fra spredt bebyggelse (især mindre vandløb), samt gennem forbedringer af de fysiske forhold. En del af disse vandløb forventes på denne måde at kunne opfylde målsætningen. Der findes dog en del vandløb, hvor potentialet for at opnå en god fysisk variation ikke er til stede, og hvor miljøtilstanden på sigt ikke kan blive bedre end moderat påvirket.

Søernes miljøtilstand

Mange danske søer er gennem det sidste århundrede forsvundet som følge af landbrugets og byernes udvikling. I dag findes der ca. 120.000 søer og damme i Danmark større end 100 m², heraf er 3187 større end 10.000 m².

Fosfortilførslen fra spildevand til søerne er blevet væsentligt reduceret gennem det sidste årti, men den samlede tilførsel er fortsat høj. Den væsentligste kilde til fosfortilførslen er i dag landbruget.

Miljøtilstanden i de danske søer afspejler den høje fosfortilførsel, som medfører mange planktonalger og uklart vand. Siden 1970'erne er antallet af søer med meget høje fosforkoncentrationer og meget uklart vand dog blevet færre, fordi fosfortilførslerne med spildevand er reduceret. Den fulde virkning heraf opnås dog ofte først efter årtiers forløb, når frigivelsen af tidligere tiders ophobet fosfor fra søernes sediment er klinget af. I perioden 1989 til 1996 er der sket en mindre forbedring af miljøtilstanden i omkring halvdelen af de 37 søer, der indgår i det nationale overvågningsprogram.

På landsplan opfylder kun ca. 34% af søerne de politisk vedtagne målsætninger. Scenarieregninger viser, at man kan opnå en mindre forbedring i tilstanden ved yderligere indgreb over for den resterende spildevandstilførsel til søerne, herunder den spredte bebyggelse. En væsentlig forbedring i de fleste søer forudsætter dog, at fosfortilførslen fra det dyrkede land reduceres

Miljøtilstand i fjorde og åbne farvande

Den ringe afstrømning fra landområderne i vinteren 1995/96 førte generelt til en meget lav belastning med kvælstof til de marine områder i 1996, og dermed til lave kvælstofkoncentrationer i vintermånederne. Fosforkoncentrationerne var i 1996 på niveau eller lavere end årene forud, og set over længere tid er der sket et markant fald i fosforkoncentrationerne.

Sammenfaldende med de lave næringsstoffkoncentrationer blev der i 1996 registreret en markant lavere forekomst af planteplankton i forhold til årene forud. I tråd hermed blev der i stort set alle områder registreret en markant stigning i sigtddybden. I flere områder var primærproduktionen på niveau med det, der blev fundet i 1970'erne.

Udbredelsen af ålegræs og makroalger på lavt vand var i 1996 flere steder reduceret, formentlig som følge af isvinteren 1995/96. Til gengæld havde ålegræsset i flere åbne kystområder en øget maksimal dybdegrænse i 1996 sammenlignet med tidligere, formentlig som følge af den større sigtddybde.

Iltforholdene var i 1996 væsentligt bedre end tidligere, og i de områder, hvor der var iltsvind, var den arealmæssige udbredelse og varighed begrænset. Desuden forekom iltsvind generelt senere på sæsonen i 1996 end i de foregående år.

Året 1996 kan betragtes som "naturens eget store eksperiment", der viste, at hvis belastningen med kvælstof reduceres til det niveau som er forudsat i Vandmiljøplanen, får man under normale meteorologiske forhold en markant forbedring af miljøtilstanden i de danske farvande.

[Tom side]

Referencer

- AIS, (1997): Projekt: Miljø- og Energiministeriets Arealinformations System. Foreløbige data.
- Andersen J.M. & Jensen J. (1981): Sammenhæng mellem forureningsgraden i vandløb og koncentrationen af biologisk nedbrydeligt organisk stof i vandet. - *Vatten* 2, 115-121.
- Andersen M.M., Jørgensen H.S. & Riget F.F. (1982): Nyt biologisk forureningsindeks til danske vandløb. - *Stads- og Havneingeniøren* 1: 12-16.
- Andersen M.M., Riget F.F. & Sparholt H. (1984): A Modification of the Trent indekx for use in Denmark. - *Water Res.* 18: 145-151.
- Borggaard, O.K., Møberg, J.P. & Sibbesen, E. (1991): Indhold og mobilitet af fosfor i jord. I: Frier, J.O. og Christensen, J.R. (eds). Kvælstof, fosfor og organisk stof i jord- og vandmiljøet. Rapport fra konsensuskonference 31. Januar til 4. Februar 1991, Undervisningsministeriet, Forskningsafdelingen, København, s. 4.1-4.24.
- Bornholms Amt (1997): Vandmiljøovervågning. Vandløb og kilder. 1996.
- Borum, J., Geertz-Hansen, O., Sand-Jensen, K. & Wiium-Andersen, S. (1990): Eutrofiering - effekter på marine primærproducenter. Npo-forskning fra Miljøstyrelsen Nr. C3, 56 s.
- Bruhn, A. & Kronvang, B. (1991): Redskab til analyse af udviklingstendenser i koncentration og transport af kvælstof i vandløb. Arbejdsrapport til Miljøstyrelsen fra Danmarks Miljøundersøgelser, Afdeling for Ferskvandsøkologi.
- Baatrup-Pedersen A. (1997): Vandløbsvedligeholdelse - metoder og effekter. Danmarks miljøundersøgelser.
- Baatrup-Pedersen, A. (1996): Trådalger i vandløb. Ferske vandområder - Vandløb og kilder. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1995. pp. 49-55. Faglig rapport fra DMU nr. 177.
- Cappelen, J. (1997): Danmarks Klima 1996. Danmarks Meteorologiske Institut 1997.
- Chatfield, C. & Collins, A. J. (1980). Introduction to Multivariate Analysis. Chapman & Hall.
- Clark, D.R., Olesen, J.E., Mikkelsen, H.E., Clausen, S.U. & Waagepetersen, J. (1992): Historical trends in precipitation and runoff from nine Danish catchments. *Tidskrift for Planteavl's Specialserie*. 99 s.. - Beretning nr. S2177-1992.
- Dodds, W.K. & Gudder, D.A. (1992): The ecology of Cladophora. - *Journal of Phycology*, 28: 415-427.
- Ellermann, T., Hertel, O., Kemp, K., Manscher, H. & Skov, H. (1997): Atmosfærisk deposition af kvælstof. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1996. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport fra DMU nr. xx (i trykken).
- Falkum, Ø., Kronvang, B. & Svendsen, L.M. (1997): Stoftilbageholdelse på oversvømmede enge. *Vand & Jord*, 4 årgang nr. 3, 125-129.
- Frandsen S. B., Levesen B., Jespersen J.W. & Rasmussen K. (1993): Renere vandløb i Vejle Amt. - *Vand & Miljø* 10 (4): 123-125.
- Frederiksborg Amt (1997): Vandløb og kilder - tilstand og udvikling. 1996. Vandmiljøovervågning. 94 s.
- Friberg, N., Wiggers, L., Hansen, F., Jensen, H.Aa. & Thomsen, M. (1992): Dækningsgrad af trådalger. Metode til anvendelse på vandløbsstationer i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram. Teknisk anvisning fra DMU, nr. 4. 20s.
- Friberg, N., Wiggers, L., Hansen, F., Jensen, H.Aa. & Thomsen, M. (1992): Dækningsgrad af trådalger. Metode til anvendelse på vandløbsstationer i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram. Teknisk anvisning fra DMU, nr. 4. 20s.
- Frich, P., Rosenørn, S., Madsen, H., & Jensen, J.J. (1997): Observed Precipitation in Denmark, 1961-90. Danmarks Meteorologiske Institut, Technical Report 97-8.
- Fyns amt (1990): Havet omkring Fyn, Fyns amt, Teknik og Miljøforvaltningen, Vand- og miljøafdelingen, 288 s.
- Fyns Amt (1997): De fynske vandløb. Tema: Ferskvand. Vandmiljøovervågning. 210 s. + bilag.
- Grant, R., Blicher-Mathiesen, G., Andersen, H.E., Laubel, A., Jensen, P.G. & Rasmussen, P. (1997): Landovervågningsoplande, Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1996, Faglig rapport nr. 210, Danmarks Miljøundersøgelser.
- Grant, R., Laubel, A., Kronvang, B., Andersen, H.E., Svendsen, L.M. & Fuglsang, A. (1996): Loss of dissolved and particulate phosphorus from arable catchments by subsurface drainage. *Water Research*, Vol. 30, No. 11, 2633-2642.
- Græsbøll, P., Erfurt, J., Hansen, H.O., Kronvang, B., Larsen, S.E., Rebsdorf, Aa. & Svendsen, L.M. (1994): Ferske vandområder - Vandløb og kilder. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1993. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport fra DMU nr. 119, 186s.
- Hisdal, H., Erup, J., Gudmundsson, K., Hiltunen, T., Jutman, T., Ovesen, N.B., & Roald, L. (1995): Historical Runoff Variations in the Nordic Countries. Nordic Hydrological Programme, NHP Report No 37.
- Høybye, J. (1991): Ferskvandstilstrømning til danske farvande 1990. Publikation nr 9 fra Fagdatacenter for Hydrometriske Data, Hedeselskabet.
- Jacobsen, O.S. (1995): Grundvandsovervågning 1995. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, - Særudgivelse.

- Jensen F. (1995): Døgnflue-og sløvvingebestandens udvikling og status i Skjern Å-systemet. - Naturhistorisk Museum, Århus, 53 s.
- Jensen J. (1972): Biologisk vurdering af typiske og atypiske vandløb. - Stads-og Havneingeniøren, 1972, 12p.
- Jensen, J.N., Ærtebjerg, G., Rasmussen, B., Dahl, K., Levinsen, H., Lisbjerg, D., Nielsen, T.G., Krause-Jensen, D., Middeboe, A-L., Svendsen, L.M. & Sand-Jensen, K. (1997): Marine områder. Fjorde, kyster og åbent hav. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1996. Danmarks Miljøundersøgelser. 124 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 213
- Jensen, J.P., Lauridsen, T., Søndergaard, M., Jeppesen, E., Agerbo, E. & Sortkjær, L. (1996). Ferske vandområder - søer, Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1995. Faglig rapport fra DMU nr. 176, 95 s.
- Kent, M. & Coker, P. (1992). Vegetation description and analysis - A practical approach. Wiley & Sons, New York. 363 pp.
- Kirkegaard, J., Wiberg-Larsen P., Jensen J., Iversen T.M. & Mortensen E. (1992): Biologisk bedømmelse af vandløbskvalitet. Metode til anvendelse på stationer i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram. - Teknisk anvisning fra DMU nr. 5, 22 s.
- Kristensen, P., Jensen, J.P. & Jeppesen, E. (1990): Eutrofieringsmodeller for søer, Npo-forskning fra Miljøstyrelsen Nr. C9, 120 s.
- Kronvang, B., Svendsen, L.M., Jensen, J.P. & Dørge, J. (1997): Næringsstoffer - arealanvendelse og naturgenopretning. Temarapport fra Danmarks Miljøundersøgelser 1997/13, 38 s.
- Kronvang, B., Ærtebjerg, G., Grant, R., Kristensen, P., Hovmand, M. & Kirkegaard, J. (1993): Nationwide monitoring of nutrients and their ecological effects: State of the Danish aquatic environment. AMBIO Vol. 22(4), 176-187.
- Københavns Amt (1997): Overvågning af vandløb. 1996. 65 s. + bilag.
- Københavns Kommune (1997): Miljøtilstanden i vandløb, 1996. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram. 68 s. + bilag.
- Landbrugsministeriet (1970): Vejledning om fremgangsmåden ved bedømmelse af recipienters forureningsgrad. 5 s.
- Larsen, S.E. (1996): En statistisk testprocedure til analyse af udviklingstendenser i tidsserier af vandkvalitetsdata, Upubliceret notat fra Danmarks Miljøundersøgelser, Afd. For Vandløbsøkologi.
- Larsen, S.E., Erfurt, J., Græsbøll, P., Kronvang, B., Mortensen, E., Nielsen, C.A., Ovesen, N.B., Paludan, C., Rebsdorf, Aa., Svendsen, L.M. & Nyegaard, P. (1995): Ferske vandområder - Vandløb og kilder. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1994. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport fra DMU nr. 140, 196s.
- Mikkelsen, H.E. & Olesen, J.E. (1991): Sammenligning af metoder til bestemmelse af potentiel vandfordampning. Tidsskrift for Planteavl's Specialserie: Statens Planteavl-forsøg, 67 s. - Beretning nr. S2157, 1991.
- Miljøstyrelsen (1983): Vejledning i recipientkvalitetsplanlægning. Del 1. Vandløb og søer. Vejledning nr. 1/1983. 89 s.
- Miljøstyrelsen (1993): Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1993-97. Redegørelse nr. 2, 1993.
- Miljøstyrelsen (1990): Vandmiljø-90. Redegørelse fra Miljøstyrelsen nr. 1 199. 204 pp.
- Miljøstyrelsen (1994): Punktkilder 1993. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 8 1994. 131 pp.
- Miljøstyrelsen (1994): Vandmiljø-94, Redegørelse fra Miljøstyrelsen Nr. 2 1994, 150 s.
- Miljøstyrelsen (1996): Paradigma for dataoverførsel og rapportering i 1998 af Vandmiljøplanens Overvågningsprogram. Miljøstyrelsen
- Miljøstyrelsen (1997): Paradigma for dataoverførsel og rapportering i 1997 af Vandmiljøplanens overvågningsprogram. 165 s.
- Miljøstyrelsen (1997a): Punktkilder 1996. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. xx, 1997. xx pp.
- Miljøstyrelsen (1997b): Vandmiljø 97. Redegørelse fra Miljøstyrelsen nr. x, 1997. xx pp.
- Mortensen E., Bager M. & Jensen J. (1978): Kursusrapport: Biologisk vandløbsbedømmelse. - Miljøstyrelsens Ferskvandslaboratorium, 14 s.
- Munkholm, L.J. & Sibbesen, E. (1997): Tema: Tab af fosfor fra landbrugsjord. Miljøforskning Nr. 30, Det Strategiske Miljøforskningsprogram, 63 s.
- Nielsen J. (1996): Udviklingen i de danske vandløbs ørredbestande i perioden fra 1982-87 til 1988-94. Ørreden *Salmo trutta* som indikator for et godt vandløbsmiljø. Rapport til Miljøstyrelsen, 50 s.
- Nordjyllands Amt (1997): Vandmiljøovervågning. Vandløb og kilder 1996. 70 s. + bilag.
- Olesen, J.E., Mikkelsen, H.E. & Friis, E. (1991): Meteorologiske målemetoder i jordbrugs- og miljøforskningen. Tidsskrift for Planteavl's Specialserie,- Statens Planteavl-forsøg,- Beretning nr. S2112, 1991.
- Ovesen, N.B. & Svendsen, L.M. (1995): Ferskvandstilstrømning til danske farvande 1994. Danmarks Miljøundersøgelser. 62 sider.- Faglig rapport fra DMU nr. 138.
- Paaby, H. & Møhlenberg, F. (1996): Kvælstofbelastning af havmiljøet. Temarapport fra Danmarks Miljøundersøgelser 1996/9, 39 s.

- Rasmussen K. & Lindegaard C. (1988):* Effects of iron compounds on macroinvertebrate communities in a Danish lowland river system. - *Wat. Res.* 22 Vol.9, 1101-1108.
- Rebsdorf, Aa., Friberg, N., Hoffmann, C.C. & Kronvang, B. (1994):* Ånære arealers samspil med vandløb. Miljøprojekt nr. 275, Miljøstyrelsen, 140 s.
- Ribe Amt (1997):* Vandløbene i Ribe Amt. Vandmiljøovervågning. 82 s. + bilag.
- Ringkjøbing Amt (1997):* Vandløb og kilder, 1996. Temarapport 1997. Vandmiljøovervågning.
- Rosenørn, S. & Lindhardt, K. (1997):* Dansk vej i 100 år. Egmont Bogklubberne, 220 pp.
- Roskilde Amt (1997):* Vandløb og kilder 1989-96. Temarapport. Vandmiljøovervågning. 190 s. + bilag.
- Sibbesen, E. (1994):* In Danish Centre for Root Zone Processes. Mid-Term Report, 1994, project I13.
- Sibbesen, E. (1995):* Phosphorus, nitrogen and carbon in particle-size fractions of soils and sediments. I: Schjøning, P., Sibbesen, E., Hansen, A.C., Hasholt, B., Heidmann, T., Madsen, M.B. og Nielsen, J.D. (eds.). Surface runoff, erosion and loss of phosphorus at two agricultural soils in Denmark. SP-report No. 14, Danish Institute of Plant and Soil Science, 135-148.
- Skriver J. & N. Friberg (1996):* Faunatilstand i vandløb. - Ferske vandområder. Vandløb og kilder. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1995. pp. 57-67. Faglig rapport fra DMU nr. 177.
- Storstrøms Amt (1997):* Vandløb og Kildebække. Overvågningsdata 1996. Temarapport. 128 s. + bilag.
- Svendsen, L.M. & Hansen, H.O. (eds.) (1997):* Skjern Å: Sammenfatning af den eksisterende viden om de fysiske, kemiske og biologiske forhold i den nedre del af Skjern Å-systemet. Danmarks Miljøundersøgelser og Skov- og Naturstyrelsen, 198 pp.
- Svendsen, L.M. & Kronvang, B. (eds.) (1991):* Fosfor i Norden, Nordisk Ministerråd, Nord 1991:47, 201 s.
- Sønderjyllands Amt (1997):* Vandløb og kildevæld. Teknisk rapport. Vandmiljøovervågning. 64 s. + bilag.
- Thyssen, N., Erlandsen, M., Kronvang, B. & Svendsen, L.M. (1990):* Vandløbsmodeller - biologisk struktur og stofomsætning. NPO-forskning fra Miljøstyrelsen Nr. C10, 104 s.
- Vejle Amt (1997):* Overvågning af kilder og vandløb, 1996. Tema-rapport. Vandmiljø i Vejle Amt. 98 s. + bilag.
- Vestsjællands Amt (1997):* Vandmiljø Overvågning. Vandløb, kilder og stoftransport 1996. 93 s. + bilag.
- Viborg Amt (1990):* Smådyrsliv og forureningstilstand på 15 overvågningsstationer. Viborg Amt 1990. 59 s.
- Viborg Amt (1997):* Vandmiljøplanens Overvågningsprogram. Rapportering for vandløb og kilder, 1996. 72 s. + bilag.
- Wiberg-Larsen P., Larsen F.G., Knudsen J. & Adamsen N.B. (1994):* Rent vand - ikke bare en døgnflue ? - Vand og Jord 1, 62-64.
- Wiberg-Larsen P., Petersen S., Rugaard T. & Geertz-Hansen P. (1994):* Bedre vandløbspleje giver flere fisk. - Vand & Jord 6, 263-265.
- Aagaard P. & Bolet B. (1997):* Danmarks største slørvinge igen udbredt i Storå. - Vand og Jord 4, 32-35.
- Aagaard P. (1994):* Slørvinger (Insecta, Plecoptera) i Storå med tilløb. Artsantal og udbredelse. - Flora og Fauna 100 (2), 47-55.
- Århus Amt (1994):* Effekter af miljøvenlig vedligeholdelse i amtsvandløb, Århus Amt, 1987-92. 38 s. + bilag.
- Århus Amt (1996):* Forureningstilstand i vandløb, søer og kystvande 1990-95.
- Århus Amt (1997):* Vandløb og kilder. Vandmiljøovervågning, 1996. Temarapport. 95 s. + bilag.

[Tom side]

Oversigt over amtsrapporter i 1997 - Vandløb og kilder

BORNHOLMS AMT

Nielsen, K., 1997: Vandløb og kilder 1996. Teknisk Forvaltning, 27 sider.

Nielsen, K., 1997: Afstrømning af Nitrat-N opgjort på hydrologisk år. Teknisk Forvaltning. Notat.

FREDERIKSBORG AMT:

Lindhardtzen, M., Jørgensen, F., Jørgensen, P.B. & Jacobsen, B.Aa., 1997: Vandløb og kilder - tilstand og udvikling 1996. Teknik og Miljø, 94 sider ISBN 87-7781-134-8.

FYNS AMT:

Pedersen, S.E., Wiberg-Larsen, P., Tornbjerg, N. H., Sode, A., Muus, K. & Wehrs, M., 1997: De fynske vandløb. Vandmiljøovervågning. Tema: Ferskvand. Natur- og Vandmiljøforvaltningen, 210 sider + bilag. ISBN 87-7343-302-0

KØBENHAVNS AMT:

Københavns Amt, 1997: Overvågning af vandløb 1996. Teknisk Forvaltning, 65 sider + bilag.

KØBENHAVNS KOMMUNE:

Københavns Kommune, 1997: Miljøtilstanden i vandløb 1996. Afløbsafdelingen, 68 sider + bilag.

NORDJYLLANDS AMT:

Nordjyllands Amt, 1997: Vandløb og kilder, 1996. Miljøkontoret, 70 sider + bilag. ISBN 87-7775-285-6.

RIBE AMT:

Ejbye-Ernst, M. & Jepsen E.O., 1997: Vandløbene i Ribe Amt. Vandafdelingen, 82 sider + bilag. ISBN 87-7342-809-4

RINGKJØBING AMT:

Have, A., Adolfsen, T., Bolet, B. & Bisgaard, J., 1997: Temarapport 1997. Vandløb og kilder, 1996. Vandmiljøafdelingen.

ROSKILDE AMT:

Kristensen, A. G. & Rasmussen, J.V., 1997: Vandløb og kilder 1989-96. Temarapport. Teknisk Forvaltning, Vandmiljø- og Naturkontoret, 190 sider + bilag. ISBN 87-7800-241-9.

STORSTRØMS AMT:

Storstrøms Amt, 1997: Vandløb og kildebække. Overvågningsdata 1996. Temarapport. Teknik- og Miljøforvaltningen, Vandmiljøkontoret, 150 sider

SØNDERJYLLANDS AMT:

Sønderjyllands Amt, 1997: Vandløb og kildevæld. Teknisk Forvaltning, Miljøområdet, 64 sider + appendiks og bilag.

VEJLE AMT:

Vejle Amt, 1997: Nitrat-N på det hydrologiske år 1996/97. Teknik og Miljø. Notat

Jensen, H.Aa., Vægter, B., Bøgild Frandsen, S., Christensen, I.G., Nielsen, J. & Olesen, H.: Kilder og Vandløb, 1996. Teknik og miljø, Hav- og Kystafdelingen, 98 sider + bilag.

VESTSJÆLLANDS AMT:

Vestsjællands Amt, 1997: Notat vedrørende stoftransportberegning på hydrologiske år frem til 1. juni 1997. Natur & Miljø, 5 sider Notat.

Vestsjællands Amt, 1997: Vandløb, kilder og stoftransport, 1996. Natur & Miljø, 93 sider + bilag.

VIBORG AMT:

Jensen, H. & Nykrog, J., 1997: Rapportering for vandløb og kilder, 1996. Miljø og teknik, 72 sider + bilag.

ÅRHUS AMT:

Wiggers, L., Frische, K.D., Erichsen, P. C., Reiter, C., & Jensen, H., 1997: Vandløb og kilder. Vandmiljøovervågning 1996. Natur & Miljø, 94 sider + bilag. ISBN 87-7295-545-7.

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-, Overvågnings- og Rådgivningssekretariat
Afd. for Systemanalyse
Afd. for Atmosfærisk Miljø
Afd. for Marin Økologi
Afd. for Miljøkemi og Mikrobiologi
Afd. for Arktisk Miljø*

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

*Forsknings-, Overvågnings- og Rådgivningssekretariat
Afd. for Marin Økologi
Afd. for Terrestrisk Økologi
Afd. for Ferskvandsøkologi*

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

Afdeling for Vildtbiologi og Biodiversitet

Publikationer:

DMU udgiver populærfaglige bøger ("MiljøBiblioteket"), faglige rapporter, tekniske anvisninger samt årsrapporter.
Et katalog over DMU's aktuelle forsknings- og udviklingsprojekter er tilgængeligt via World Wide Web.
I årsrapporten findes en oversigt over det pågældende års publikationer.

Faglige rapporter fra DMU/NERI Technical Reports

1996

- Nr. 175: Landovervågningsoplande. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1995. Af Grant, R. et al. 150 s., 125,00 kr.
- Nr. 176: Ferske vandområder. Søer. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1995. Af Jensen, J.P. et al. 96 s., 125,00 kr.
- Nr. 177: Ferske vandområder. Vandløb og kilder. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1995. Af Windolf, J. (red.). 228 s., 125,00 kr.
- Nr. 178: Sediment and Phosphorus. Erosion and Delivery, Transport and Fate of Sediments and Sediment-associated Nutrients in Watersheds. Proceedings from an International Workshop in Silkeborg, Denmark, 9-12 October 1995. Af Kronvang, B. et al. 150 pp., 100,00 DKK.
- Nr. 179: Marine områder. Danske fjorde - status over miljøtilstand, årsagssammenhænge og udvikling. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1995. Af Kaas, H. et al. 205 s., 150,00 kr.
- Nr. 180: The Danish Air Quality Monitoring Programme. Annual Report for 1995. By Kemp, K. et al. 55 pp., 80,00 DKK.
- Nr. 181: Dansk Fauna Indeks. Test og modifikationer. Af Friberg, N. et al. 56 s., 50,00 kr.

1997

- Nr. 182: Livsbetingelserne for den vilde flora og fauna på braklagte arealer - En litteraturudredning. Af Mogensen, B. et al. 165 pp., 125,00 DKK.
- Nr. 183: Identification of Organic Colourants in Cosmetics by HPLC-Photodiode Array Detection. Chemical Substances and Chemical Preparations. By Rastogi, S.C. et al. 233 pp., 80,00 DDK.
- Nr. 184: Forekomst af egern *Sciurus vulgaris* i skove under 20 ha. Et eksempel på fragmentering af landskabet i Århus Amt. Af Asferg, T. et al. 35 s., 45,00 kr.
- Nr. 185: Transport af suspenderet stof og fosfor i den nedre del af Skjern Å-systemet. Af Svendsen, L.M. et al. 88 s., 100,00 kr.
- Nr. 186: Analyse af miljøfremmede stoffer i kommunalt spildevand og slam. Intensivt måleprogram for miljøfremmede stoffer og hygiejnisk kvalitet i kommunalt spildevand. Af Vikelsøe, J., Nielsen, B. & Johansen, E. 61 s., 45,00 kr.
- Nr. 187: Vandfugle i relation til menneskelig aktivitet i Vadehavet 1980-1995. Med en vurdering af reservatbestemmelser. Af Laursen, K. & Salvig, J. 71 s., 55,00 kr.
- Nr. 188: Generation of Input Parameters for OSPM Calculations. Sensitivity Analysis of a Method Based on a Questionnaire. By Vignati, E. et al. 52 pp., 65,00 DKK.
- Nr. 189: Vandføringsevne i danske vandløb 1976-1995. Af Iversen, H.L. & Ovesen, N.B. 55 s., 50,00 kr.
- Nr. 190: Fate of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Environment. Af Carlsen, L. et al. 82 pp., 45,00 kr.
- Nr. 191: Benzin i blodet. Kvalitativ del. ALTRANS. Af Jensen, M. 130 s., 100,00 kr.
- Nr. 192: Miljøbelastningen ved godstransport med lastbil og skib. Et projekt om Hovedstadsregionen. Af Nedergaard, K.D. & Maskell, P. 126 s., 100,00 kr.
- Nr. 193: Miljøundersøgelser ved Maarmorilik 1996. Af Johansen, P, Riget, F. & Asmund, G. 96 s., 100,00 kr.
- Nr. 194: Control of Pesticides 1996. Chemical Substances and Chemical Preparations. By Køppen, B. 26 pp., 40,00 DKK.
- Nr. 195: Modelling the Atmospheric Nitrogen Deposition to Løgstør Bredning. Model Results for the Periods April 17 to 30 and August 7 to 19 1995. By Runge, E. et al. 49 pp., 65,00 DKK.
- Nr. 196: Kontrol af indholdet af benzen og benzo(a)pyren i kul- og olieafledte stoffer. Analytisk-kemisk kontrol af kemiske stoffer og produkter. Af Rastogi, S.C. & Jensen, G.H. 23 s., 40,00 kr.
- Nr. 197: Standardised Traffic Inputs for the Operational Street Pollution Model (OSPM). Af Jensen, S.S. 53 pp., 65,00 DKK.
- Nr. 198: Reduktion af CO₂-udslip gennem differentierede bilafgifter. Af Christensen, L. 56 s., 100,00 kr.
- Nr. 200: Benzin i blodet. Kvantitativ del. ALTRANS. Af Jensen, M. 139 s., 100,00 kr.
- Nr. 201: Vingeindsamling fra jagtsæsonen 1996/97 i Danmark. Af Clausager, I. 43 s., 35,00 kr.
- Nr. 202: Miljøundersøgelser ved Mestersvig 1996. Af Asmund, G., Riget, F. & Johansen, P. 30 s., 50,00 kr.
- Nr. 203: Rådyr, mus og selvforyngelse af bøg ved naturnær skovdrift. Af Olesen, C.R., Andersen, A.H. & Hansen, T.S. 60 s., 80,00 kr.
- Nr. 204: Spring Migration Strategies and Stopover Ecology of Pink-Footed Geese. Results of Field Work in Norway 1996. By Madsen, J. et al. 29 pp., 45,00 DKK.
- Nr. 205: Effects of Experimental Spills of Crude and Diesel Oil on Arctic Vegetation. A Long-Term Study on High Arctic Terrestrial Plant Communities in Jameson Land, Central East Greenland. By Bay, C. 44 pp., 100,00 DKK.
- Nr. 206: Pesticider i drikkevand 1. Præstationsprøvning. Af Spliid, N.H. & Nyeland, B.A. 273 pp., 80,00 kr.