

Danmarks Miljøundersøgelser  
Afd. for Flora- og Faunastologi  
Kals, Grenåvej 12, 8410 Rønde

Miljøministeriet



Danmarks  
Miljøundersøgelser

Vandmiljøplanens  
Overvågningsprogram 1989

# Ferske vandområder

Vandløb, kilder og søer



Danmarks Miljøundersøgelser - BIBLIOTEKET  
Grenåvej 12, Kals, DK-8410 Rønde



3506870010

Miljøministeriet



Danmarks  
Miljøundersøgelser

Vandmiljøplanens  
Overvågningsprogram 1989

# Ferske vandområder

Vandløb, kilder og søer

Faglig rapport fra DMU, nr. 5

Peter Kristensen  
Brian Kronvang  
Erik Jeppesen  
Peter Græsbøll  
Mogens Erlandsen  
Aage Rebsdorf  
Allan Bruhn  
Martin Søndergaard  
Afdeling for Ferskvandsøkologi

Miljøministeriet  
Danmarks Miljøundersøgelser  
September 1990

**Titel:** Ferske vandområder - vandløb, kilder og søer  
**Undertitel:** Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1989  
**Serietitel:** Faglig rapport fra DMU nr. 5  
**Udgiver:** Miljøministeriet, Danmarks Miljøundersøgelser ©  
**Udgivelsesår:** 1990

**Forfattere:** Kristensen, P., B. Kronvang, E. Jeppesen, P. Græsbøll, M. Erlandsen, Aa. Rebsdorf, A. Bruhn, M. Søndergaard  
**Afdelingsnavn:** Afdeling for Ferskvandsøkologi

**Layout:** Pia Nygård Jensen, Kirsten Thykjær, Aase Pedersen  
**Tegninger:** Bjørn Bachmann, Kathe Møgelvang  
**ISBN:** 87-7772-002-4  
**ISSN:** 0905-815X  
**Papirkvalitet:** Dansk Miljøpapir  
**Tryk:** Silkeborg Bogtrykkeri  
**Oplag:** 500 eks.  
**Sideantal:** 130  
**Pris:** 150 kr. (inkl. moms)

**Emneord:** Vandmiljøplan, overvågning, ferskvand, vandløb, søer, kildebække, miljøtilstand, kvælstof, fosfor.

**Bedes citeret:** Kristensen, P., B. Kronvang, E. Jeppesen, P. Græsbøll, M. Erlandsen, Aa. Rebsdorf, A. Bruhn, M. Søndergaard, 1990: Ferske vandområder - vandløb, kilder og søer. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram. Danmarks Miljøundersøgelser, 1990. 130 sider + bilag 10 sider. Faglig rapport fra DMU nr. 5.

Gengivelse kun tilladt med tydelig kildeangivelse.

**Købes hos:** Danmarks Miljøundersøgelser  
Afdeling for Ferskvandsøkologi  
Lysbrogade 52  
8600 Silkeborg  
Tlf. nr. 86 81 07 22

## INDHOLDSFORTEGNELSE

	Side
FORORD	4
RESUME	5
1. INDLEDNING	11
2. JORDBUNDEN OG AREALET ANVENDELSE I DANMARK	17
2.1 Jordbunden	17
2.2 Arealets anvendelse	18
3. KLIMATISKE FORHOLD OG AFSTRØMNINGEN I DANMARK	21
3.1 Temperatur og fordampning	21
3.2 Nedbør	22
3.3 Afstrømning	23
3.4 Diskussion og sammenfatning	26
4. TILFØRSEL AF KVÆLSTOF OG FOSFOR TIL HAVET FRA DE FERSKE VANDE	27
4.1 Datagrundlag	28
4.2 Tilførslen af kvælstof og fosfor til havet	31
4.3 Tilførsel af kvælstof og fosfor til havet i et "normalt" år	33
4.4 Tilførslen af kvælstof og fosfor fra det åbne land	35
4.5 Diskussion og sammenfatning	38
5. KILDER OG KILDEBÆKKE	41
5.1 Datagrundlag	41
5.2 Vandkvaliteten i kilder og kildebække, status 1989 og udviklingstendenser	44
5.3 Diskussion og sammenfatning	49
6. STOFTRANSPORT OG -KONCENTRATION I DANSKE VANDLØB	53
6.1 Datagrundlag	54
6.2 Beskrivelse af overvågningsvandløbene	56
6.3 Typeoplade	61
6.4 Koncentration og arealkoefficient fra oplade med punktkildeudledninger i forhold til dyrkede oplade	70
6.5 Sammenfatning	76
7. UDVIKLINGSTENDENSER I KONCENTRATIONEN OG TRANSPORTEN AF KVÆLSTOF I DANSKE VANDLØB	79
7.1 Datagrundlag	79
7.2 Statistisk metode	81
7.3 Udviklingen i koncentrationsniveauet af N i danske vandløb i perioden 1978/79-1988/89	82
7.4 Udviklingen i koncentrations- og transportniveauet af N i tre store vandløb med en 23 års tidsserie	84
7.5 Udviklingen i kvælstofgødningsforbrug	87
7.6 Diskussion og sammenfatning	90
8. SØUNDERSØGELSER	91
8.1 Datagrundlag	92
8.2 Karakteristik af den danske sø og dens miljøtilstand	93
8.3 Udviklingen i miljøtilstanden i søerne	98
8.4 Sammenhængen mellem næringsstofbelastning og miljøtilstand	100
8.5 Repræsentativiteten af overvågningsløb	107
8.6 Overvågningsløbene i 1989	112
9. REFERENCER	125
Bilag 1: OVERSIGT OVER AMTSRAPPORTER	

## FORORD

Denne rapport tilhører rækken af faglige rapporter, der udarbejdes af Danmarks Miljøundersøgelser som led i den første landsdækkende rapportering af Vandmiljøplanens Overvågningsprogram.

Hensigten med Vandmiljøplanens Overvågningsprogram er at undersøge effekten af de reguleringer og investeringer, der er konsekvensen af beretningen om Vandmiljøplanen afgivet af Folketingets Miljø- og Planlægningsudvalg den 30. april 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 Miljøministeriet 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 disse områder: Ferske vande, Marine områder, Landovervågning og Atmosfæren.

I Overvågningsprogrammet har der fra starten været opereret med en geografisk betinget ansvarsdeling mellem amtskommunale og statslige myndigheder.

Rapporten "Ferske vandområder - vandløb, kilder og søer" er således baseret på amtskommunernes regionale rapportering af den amtskommunale overvågning af de ferske vande i 1989.

Rapporten "Marine områder - fjorde, kyster og åbent hav" er baseret på amtskommunernes regionale rapportering af den amtskommunale overvågning af fjorde og kystvande samt Danmarks Miljøundersøgelses overvågning af de åbne havområder.

Rapporten "Landovervågning - næringsstofudvaskning fra rodzonen" er baseret på data indberettet af amtskommunerne fra 6 landovervågningsoplande.

Endelig er rapporten "Atmosfæren - nedfald af kvælstofforbindelser" udarbejdet på baggrund af Danmarks Miljøundersøgelses overvågningsindsats.

## RESUME

Overvågningsprogrammet for de ferske vande omfatter kildebække, vandløb og søer. Overvågningsprogrammet skal bl.a. kontrollere, om udledningerne af kvælstof og fosfor reduceres som fastsat i Vandmiljøplanen.

Amterne står for driften af Overvågningsprogrammet for ferskvand, og amternes regionale rapportering danner baggrund for de tværgående sammenstillinger og analyser i denne landsdækkende rapportering.

Hovedvægten er lagt på en beskrivelse af de stationer og lokaliteter, der indgår i Overvågningsprogrammet. Beskrivelsen er især baseret på en vurdering af koncentrationen og transporten af næringsstoffer. Der gives en oversigt over tilstanden i 1989, og der foretages en vurdering af udviklingen i tilstanden i perioden forud.

I det følgende beskrives afstrømning og stoftransport til havet i 1989. Det er vigtigt at præcisere, at det kun omfatter tilførslen til havet via vandløbene, og for at få den samlede tilførsel fra land skal tillægges punktkilder med direkte udledning i marine områder. Der foretages endvidere en vurdering af afstrømning og tilførsel i et "normalt" år, beregnet som gennemsnittet for 80'erne.

Klimaet i 1989 var atypisk. Temperaturen og fordampningen var høj, nedbøren lav og afstrømningen kun ca. 68% af gennemsnittet for de foregående 8 år. Den lavere afstrømning betød, at der i 1989 blev transporteret mindre mængder næringsstoffer til havet.

Afstrømningen til havet via vandløb udgjorde i 1989 ca. 11000 mill. m<sup>3</sup>, heraf 39% til Nordsøen og Skagerrak, 59% til Kattegat og Bælthavet og 2% til Østersøen. I et "normalt" år er afstrømningen 16200 mill. m<sup>3</sup>.

Den totale tilførsel af kvælstof (N) via vandløbene var i 1989 på 61900 ton, heraf 28% til Nordsøen og Skagerrak, 69% til Kattegat og Bælthavet og 3% til Østersøen.

Den totale tilførsel af fosfor (P) via vandløb var i 1989 på ca. 2900 ton, heraf 24% til Nordsøen og Skagerrak, 74% til Kattegat og Bælthavet og 2% til Østersøen.

På baggrund af gennemsnittet for 1981-88 og ud fra punktkildebelastningerne i 1989 til vandløbene er tilførslen til havet omkring Danmark i et "normalt år" beregnet til ca. 110000 ton N og ca. 4200 ton P.

Langt hovedparten af N-tilførslen til havet via vandløbene stammer fra det åbne land (88%), mens størstedelen af P-tilførslen via vandløbene stammer fra punktkilder (65%). Landbrugets andel af den samlede N-tilførsel til havet i 1989 er beregnet til 65% og 12% for P.

Arealkoefficienten, dvs. den årlige stoftransport fra én hektar, for det åbne land var i 1989 for landet som helhed 12,6 kg N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> og for P 0,23 kg P ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>. Arealkoefficienten for N i et "normalt" år er 26 kg N ha<sup>-1</sup>.

Koncentrationen af N og P i kildebække i dyrkede områder var højere end i naturområder. Mediankoncentrationen af nitrat-N var 4,0 mg N l<sup>-1</sup> i kil-

der i dyrkede oplande, mens den var  $0,35 \text{ mg N l}^{-1}$  i naturoplande. Tilsvarende var mediankoncentrationen af P  $0,060$  og  $0,036 \text{ mg P l}^{-1}$  i kilder i hhv. dyrkede oplande og naturoplande.

En sammenligning af arealkoefficienten og koncentrationen af hhv. N og P i vandløb i dyrkede oplande og naturoplande viste 3-6 gange højere arealkoefficient og koncentration i de dyrkede oplande.

Arealkoefficienten og den vandføringsvægtede koncentration af N var gennemsnitlig  $13,2 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$  og  $7,6 \text{ mg N l}^{-1}$  i vandløb fra dyrkede oplande, mens den var  $2,9 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$  og  $1,9 \text{ mg N l}^{-1}$  fra naturoplande.

Arealkoefficienten og den vandføringsvægtede koncentration af P var gennemsnitlig  $0,27 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$  og  $0,163 \text{ mg P l}^{-1}$  i vandløb fra dyrkede oplande, mens den var  $0,07 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$  og  $0,055 \text{ mg P l}^{-1}$  fra naturoplande.

De forhøjede arealkoefficienter og koncentrationer må tilskrives landbrugsdriften og for P's vedkommende også udledninger fra spredt bebyggelse.

I 1989 var arealkoefficienten af N ens for både sand- og lerjordsoplande. På baggrund af gennemsnittet for 80'erne vurderes arealkoefficienten i et "normalt" år til  $20-24 \text{ kg N ha}^{-1}$  på sandjord og  $25-30 \text{ kg N ha}^{-1}$  på lerjord.

Der var betydelig højere arealkoefficient og koncentration af P i vandløb, som modtog tilførsel fra dambrug eller fra spildevandsanlæg end i dyrkede oplande uden punktkildeudledning.



Der har i perioden 1967-1978 været en signifikant stigning i koncentrationen af N på ca. 2,5% pr. år i tre store danske vandløb: Skjern å, Gudenå og Odense å. Denne stigning er sammenfaldende med en stigning i forbruget af kvælstofgødning.

I perioden fra 1978-1988 kan der ikke påvises signifikante ændringer i koncentrationen af N i danske vandløb sammenfaldende med et nogenlunde konstant gødningsforbrug.

Miljøtilstanden i de danske søer er generelt dårlig på grund af store tilførsler af næringsstoffer fra det åbne land og punktkilder.

I halvdelen af søerne var P-koncentrationen større end  $0,15 \text{ mg P l}^{-1}$ , mens koncentrationen af P til sammenligning typisk var under  $0,02 \text{ mg P l}^{-1}$  i søer i naturområder. I mange søer var vandet uklart og grumset, og i halvdelen af søerne var sigtddybden i sommerperioden mindre end 0,9 m.

Som følge af det høje fosforniveau var hovedparten af søerne karakteriseret ved en stor mængde planktonalger domineret af blågrønalger, en ringe udbredelse af bundplanter og en dominans af skidtfisk som skalle og brasen.

Fra 70'erne til slutningen af 80'erne er der sket en signifikant reduktion i P-koncentrationen i søerne, som følge af forskellige tiltag over for udledning af P fra punktkilder.

Reduktionen i P-koncentrationen har dog ikke resulteret i en tilsvarende markant forbedring i vandets gennemsigtighed, fordi koncentrationen af P ofte ikke er nået ned under den grænse, hvor sigtddybden ændres væsentligt.

Årsagen hertil er i mange tilfælde, at fosfortil-

førslen til søerne ikke er bragt tilstrækkeligt langt ned. I nogle tilfælde skyldes den manglende effekt, at tilstandsforbedringerne er forsinket i søerne på grund af fosforfrigivelsen fra søbunden eller træghed i det biologiske system.

Vandmiljøplanen medfører en reduktion i udledningen af P fra punktkilder. Analysen af dataene fra overvågningssøerne, som var repræsentative for danske søer generelt, viste, at reduktionen fra punktkilder i de fleste tilfælde ikke var tilstrækkelig til at opnå en miljøtilstand, som svarer til målsætningerne. Der bør også sættes effektivt ind også over for bidraget fra det åbne land og fra spredt bebyggelse.



## 1. INDLEDNING

Overvågningsprogrammet for de ferske overfladevande omfatter kildebække, vandløb og søer. Formålet er at kontrollere, om udledningerne af kvælstof og fosfor reduceres som forudsat i Vandmiljøplanen. Derudover skal programmet belyse, hvorledes dyre- og plantelivet ændres i takt med de reducerede udledninger.

Foranstaltningerne i Vandmiljøplanen iværksættes løbende i perioden 1988-93. Der var derfor kun i gangsat dele af foranstaltningerne i 1989. Resultaterne fra 1989 kan derfor ikke anvendes til en kontrol af reduktionsmålene, men giver en øjeblikkelig status for miljøtilstanden.

Hovedvægten i denne rapportering er lagt på en beskrivelse af de stationer og lokaliteter, der indgår i Overvågningsprogrammet. Beskrivelsen er især baseret på en vurdering af koncentration og transport af næringstoffer. Der gives en oversigt over den øjeblikkelige tilstand, og der foretages en vurdering af udviklingen i tilstanden i perioden forud.

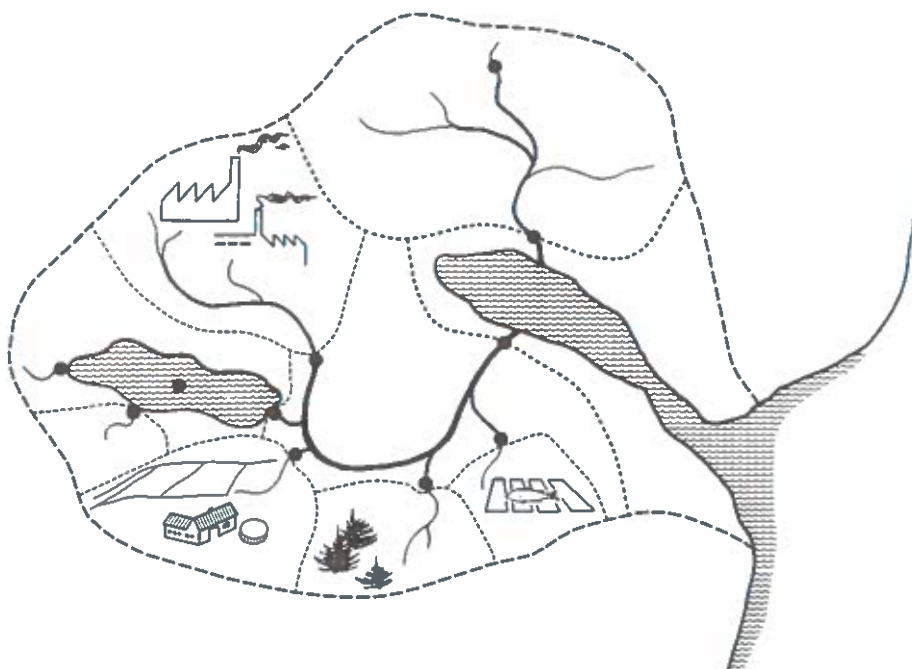
Amternes regionale rapportering af Overvågningsprogrammet danner baggrund for denne landsdækkende rapportering. En oversigt over de amtskommunale rapporter fremgår af bilag 1. De tværgående sammenstillinger og analyser er baseret på amtskommunale primærdata og beregnede resultater dels fra Overvågningsprogrammet og dels fra amtskommunernes øvrige tilsynsaktiviteter.

## Beskrivelse af Overvågningsprogrammet

Overvågningsprogrammet for ferskvand består af et nationalt og lokalt overvågningsnet.

- I det nationale net indgår kun stationer i vandløb med udløb i en marin recipient. Formålet er at følge udviklingen i vandløbenes stoftransport til havet.
- I det lokale net indgår kildebække, vandløb og søer. Formålet med det lokale net er at dokumentere, om de enkelte samfundssektorer opfylder Vandmiljøplanens reduktionsmål. Endvidere skal lokaliteterne i det lokale net belyse ændringer i miljøtilstanden som følge af reducere udledninger.

I det lokale net er der udvalgt lokaliteter dels i naturområder og dels i oplande, hvor belastningen overvejende tilføres fra én hovedkilde (landbrug, spildevand og dambrug) (figur 1.1).



Figur 1.1: Principskitse for Overvågningsprogrammet for ferskvand.

Det er tilstræbt, at alle landsdele er dækket med repræsentative stationer (kort 1).

En nærmere beskrivelse af måleprogrammet for vandløb, kilder og søer findes i følgende tekniske anvisninger fra Danmarks Miljøundersøgelser:

- Rebsdorf, Aa. og N. Thyssen, 1987:  
Overvågningsprogram. Vandkvalitet i kilder og kildebække.  
- Miljøstyrelsens Ferskvandslaboratorium 1987: 8 sider.  
Teknisk rapport nr. 17.  
Publ. nr. 83.
- Rebsdorf, Aa. og N. Thyssen, 1987:  
Overvågningsprogram. Forsuring af søer og vandløb.  
- Miljøstyrelsens Ferskvandslaboratorium 1987: 10 sider.  
Teknisk rapport nr. 18.  
Publ. nr. 84.
- Kronvang, B. og Aa. Rebsdorf, 1988:  
Overvågningsprogram. Vandkvalitet i vandløb. Prøvetagning og analysemetoder.  
- Miljøstyrelsens Ferskvandslaboratorium 1988: 19 sider.  
Teknisk rapport nr. 19.  
Publ. nr. 91.
- Mortensen, E., E. Marcus, J. Nielsen, M. Ejbye-Ernst og G. Rasmussen, 1988:  
Elektrofiskeri til bestemmelse af fiskebestande i vandløb.  
- Miljøstyrelsens Ferskvandslaboratorium 1988: 29 sider.  
Teknisk rapport nr. 20.  
Publ. nr. 96.
- Rebsdorf, Aa., M. Søndergaard og N. Thyssen, 1988:  
Overvågningsprogram. Vand- og sedimentanalyser i ferskvand. Særlige kemiske analyse- og beregningsmetoder.  
- Miljøstyrelsens Ferskvandslaboratorium 1988: 59 sider.  
Teknisk rapport nr. 21.  
Publ. nr. 98.
- Danmarks Miljøundersøgelser, 1989:  
Overvågningsprogram. Notat om stations- og oplandsbeskrivelserne af lokaliteterne i Overvågningsprogrammet.  
- Danmarks Miljøundersøgelser 1989: 21 sider + 2 bilag.
- Kronvang, B. og A.J. Bruhn, 1990:  
Overvågningsprogram. Metoder til bestemmelse af stoftransport i vandløb.  
- Danmarks Miljøundersøgelser 1990: 22 sider + Appendix og Eksempelsamling.
- Kristensen, P., M. Søndergaard, E. Jeppesen, E. Mortensen og Aa. Rebsdorf, 1990: Prøvetagning og analysemetoder i søer - teknisk anvisning: Overvågningsprogram. Danmarks Miljøundersøgelser, 1990: 27 sider.
- Hansen, A-M., E. Jeppesen, S. Bosselmann, P. Andersen, 1990:  
Zooplanktonundersøgelser i søer - metoder: Overvågningsprogram. Danmarks Miljøundersøgelser og Miljøstyrelsen, 1990, under udarbejdelse.
- Mortensen, E., H. Jerl Jensen, J.P. Müller og M. Timmermann, 1990: Retningslinier for standardiseret forsøgsfiskeri i søer og en beskrivelse af fiskeredskaber og metoder - teknisk anvisning: Overvågningsprogram. Danmarks Miljøundersøgelser og Miljøstyrelsen 1990, under udarbejdelse.

### Vandløbsovervågning

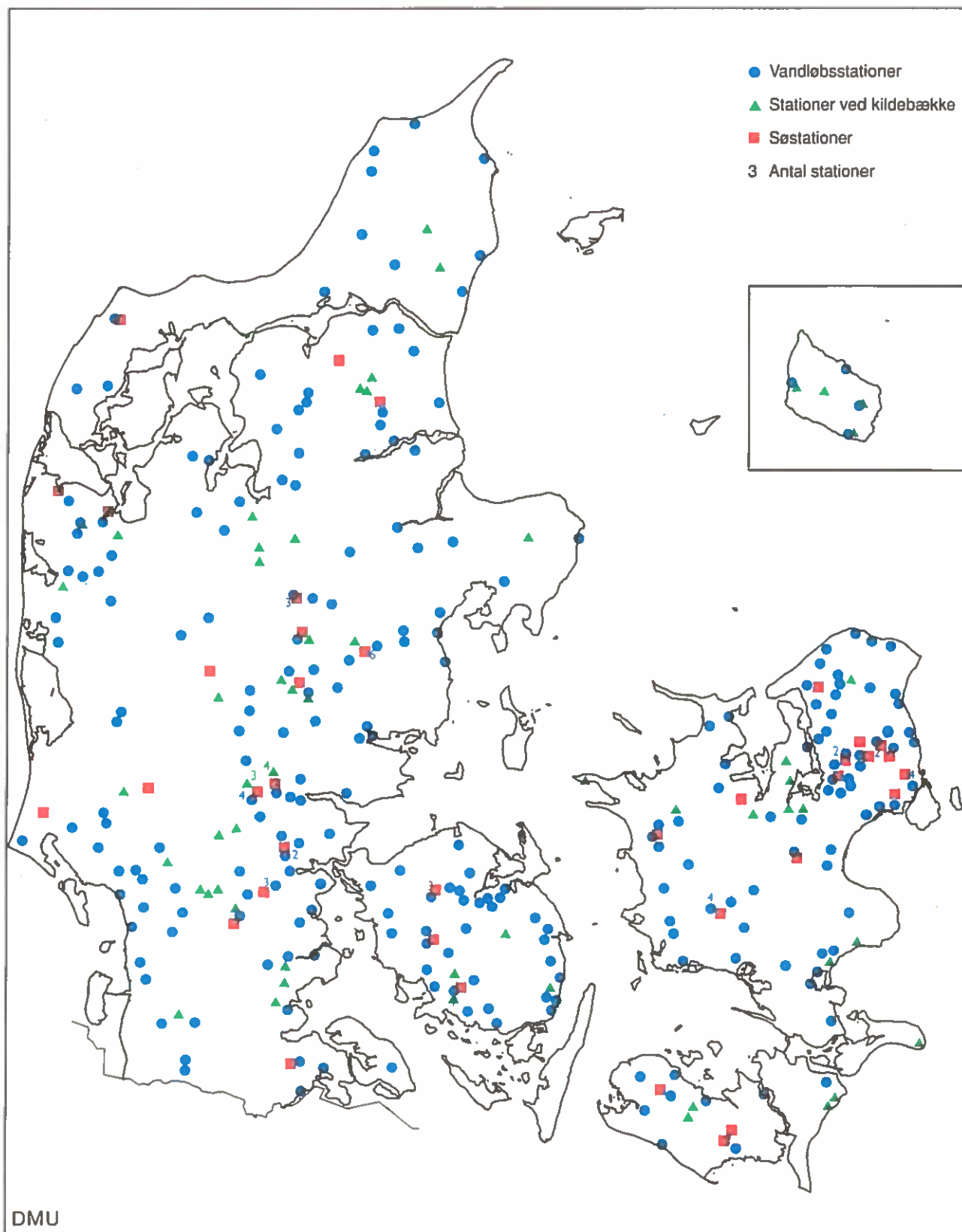
Der indgår ialt 250 vandløbsstationer og 14 søafløb i vandløbsovervågningen (kort 1). Af disse kan 216 benyttes i det lokale net og 130 i det nationale net. Resultaterne fra det nationale net giver en oversigt over tilførslen af kvælstof og fosfor til farvandsområderne omkring Danmark. Tilsvarende giver det lokale net en mulighed for at følge udviklingen i koncentration og transport i vandløb, som afvander oplande med forskellig udnyttelsesgrad.

På vandløbsstationerne foretages der hyppige målinger af næringsstofkoncentrationerne (tabel 1.1), og kontinuerlig måling af vandføringen. Ud fra disse målinger kan stoftransporten fra oplandet beregnes.

Miljøtilstanden i vandløbene vurderes ud fra to årlige bedømmelser af den biologiske tilstand. Endvidere foretages der i de seks særlige landovervågningsoplande (LOOP) intensive undersøgelser af den biologiske miljøtilstand. I denne første landsdækkende rapportering indgår ikke resultater om den biologiske miljøtilstand i vandløbene. Resultater om koncentration og stoftransport i vandløbene i LOOP er behandlet i rapporten "Landovervågning - næringsstofudvaskning fra rodzonen" (Blicher-Mathiesen et al. 1990).

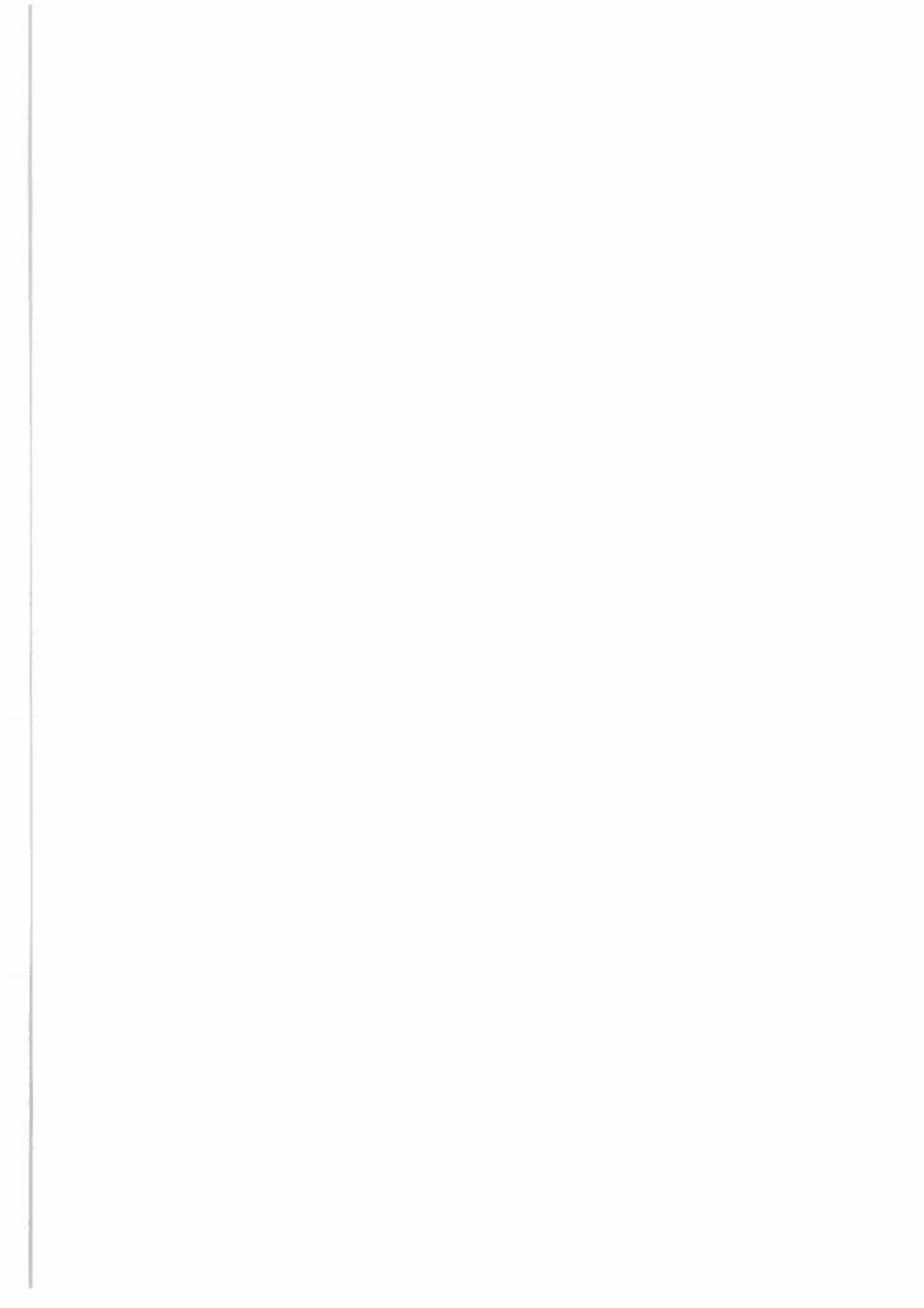
### Overvågning af kildebække

Der indgår 60 kildebække i Overvågningsprogrammet (kort 1), hvoraf 46 ligger i landbrugsområder og 14 i naturområder.



Kort 1: Geografisk placering af overvågningsstationerne.  
 Monitoring stations (● streams, ▲ springs and ■ lakes).





	Vandløb	Kilder	Søer	
			Søvand	Tilløb/afløb
Prøvetagnings- frekvens (antal år <sup>-1</sup> )	12-32	4	19	12-32
<b>Laboratorieanalyser</b>				
pH	x	x	x	x
Alkalinitet	x	x	x	
Konduktivitet	x	x		
Farvetal		x		
Nitrit+nitratkvælstof	x	x	x	
Ammoniumkvælstof	x		x	
Totalkvælstof	x		x	x
Opløst fosfatfosfor	x	x	x	x
Totalfosfor	x	x	x	x
Organisk stof (COD/TOC)	x		x	
Suspenderet stof			x	
Totaljern				x
Totalkalcium				x
Kontinuert måling af vandføring	x			x
Klorofyl a			x	
<b>Biologiske variable</b>				
Biologisk vandløbs- bedømmelse	x			
Planteplankton			x	
Dyreplankton			x	
Fisk			x	

Tabel 1.1: Oversigt over prøvetagningsfrekvens og måleprogrammer for hhv. vandløbs-, kilde- og søovervågning.

Der udtages vandprøver i kilderne fire gange årligt, og vandprøverne analyseres for en række kemiske og fysiske variable (tabel 1.1).

Kildeprogrammet vil sammen med vandløbsovervågningen øge vores viden om koncentrationsniveauet af kvælstof og fosfor i forskellige dele af landet, på forskellige jordtyper og i områder med forskellig arealanvendelse.

### Overvågning af søerne

I Overvågningsprogrammet indgår der 37 søer (kort 1), hvor der hvert år foretages intensive målinger af miljøtilstanden.

Søernes tilstand vurderes ud fra kemiske, fysiske og biologiske målinger i søvandet og ved målinger af næringsstoftransporten til og fra søerne (tabel 1.1).

Ud fra overvågningen af de 37 søer og det øvrige amtskommunale søtilsyn kan søernes miljøtilstand og udviklingen heri vurderes.

## 2. JORDBUNDEN OG AREALET ANVENDELSE I DANMARK

Det danske landskab er dannet under nedisningerne og de efterfølgende afsmeltninger igennem de sidste 100.000 år.

Jordbunden og de dybere liggende jordlag har betydning, både for vandets passage til grund- og overfladevand og for udvaskningen af næringsstoffer. For eksempel kan nedbør hurtigt sive til grundvandet i de grovsandede aflejringer på hedesletterne i Vestjylland, mens nedsivningen er en meget langsommere proces i de lerede moræneaflejringer i Østdanmark. Den ikke menneskeskabte udvaskning af næringsstof, nemlig den naturgivne, er også afhængig af jordlagenes alder og sammensætning.

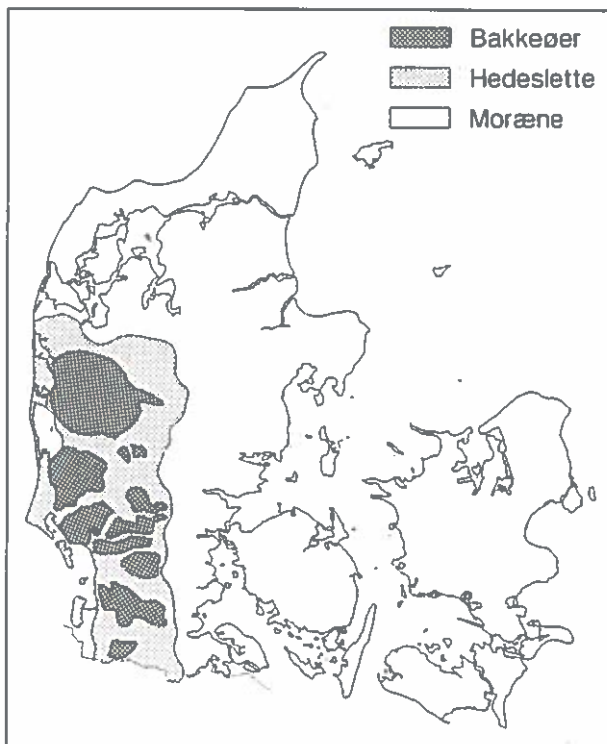
Størstedelen af det danske areal er i dag opdyrket og tilføres næringsstoffer, hvorved den naturgivne tilstand overlejlres af de menneskeskabte påvirkninger. Det er derfor vigtigt at tage arealets anvendelse i betragtning, ved beskrivelsen af næringsstofafstrømningen fra Danmark.

I kapitlet beskrives det danske landskab, jordbundsforholdene og arealets anvendelse.

### 2.1 Jordbunden

I figur 2.1 er vist et landskabskort over Danmark. Tre landskaber dominerer, nemlig bakkeøerne og hedesletterne i Vestjylland og morænelandskaberne i Østdanmark.

På kort 2 er vist jordtypernes fordeling i Danmark ud fra en kortlægning af de øverste 20 cm af jordbunden i landbrugsområderne, udført i perioden 1977-78 af Landbrugsministeriet, Afdeling for

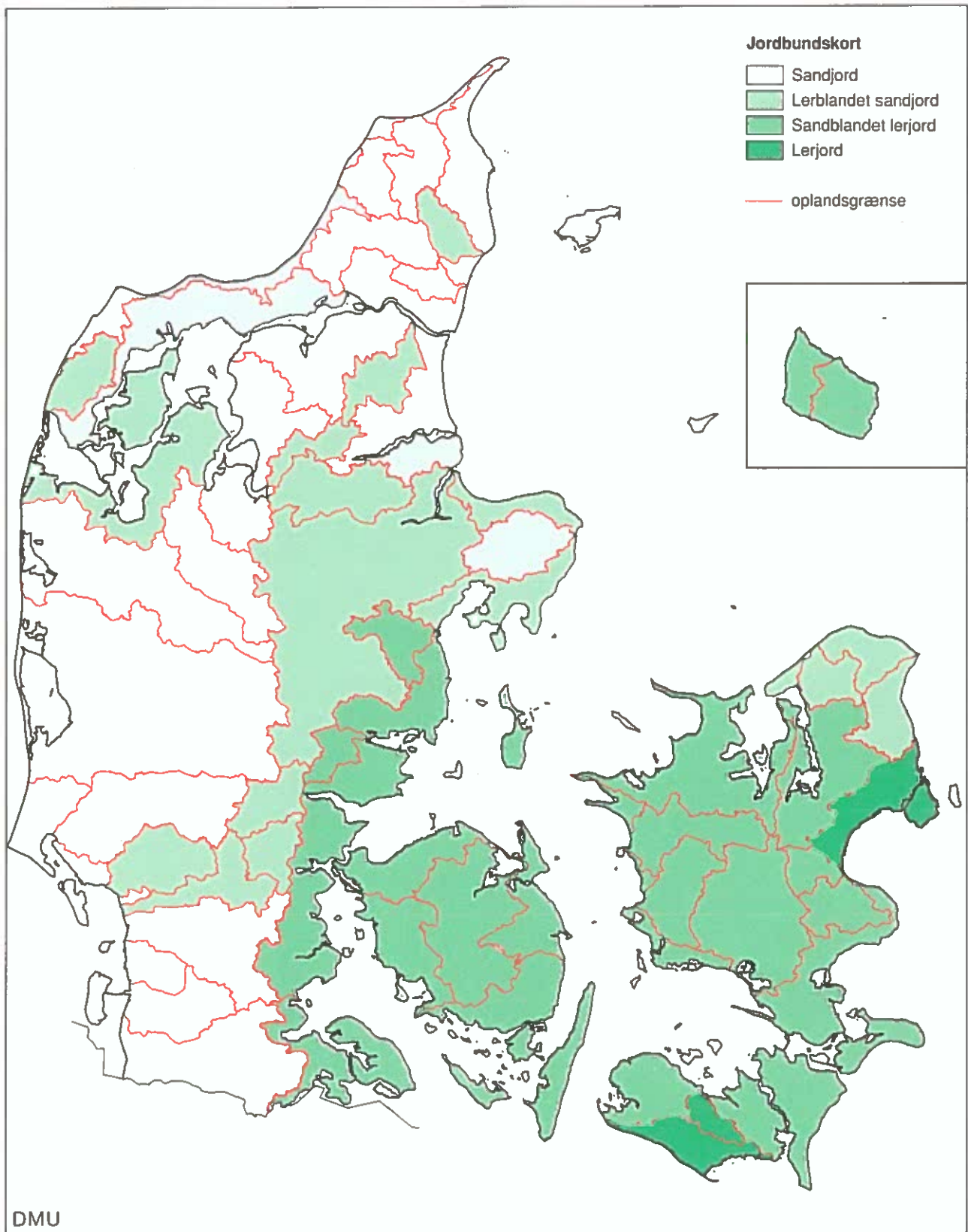


Figur 2.1: De dominerende landskabstyper i Danmark.

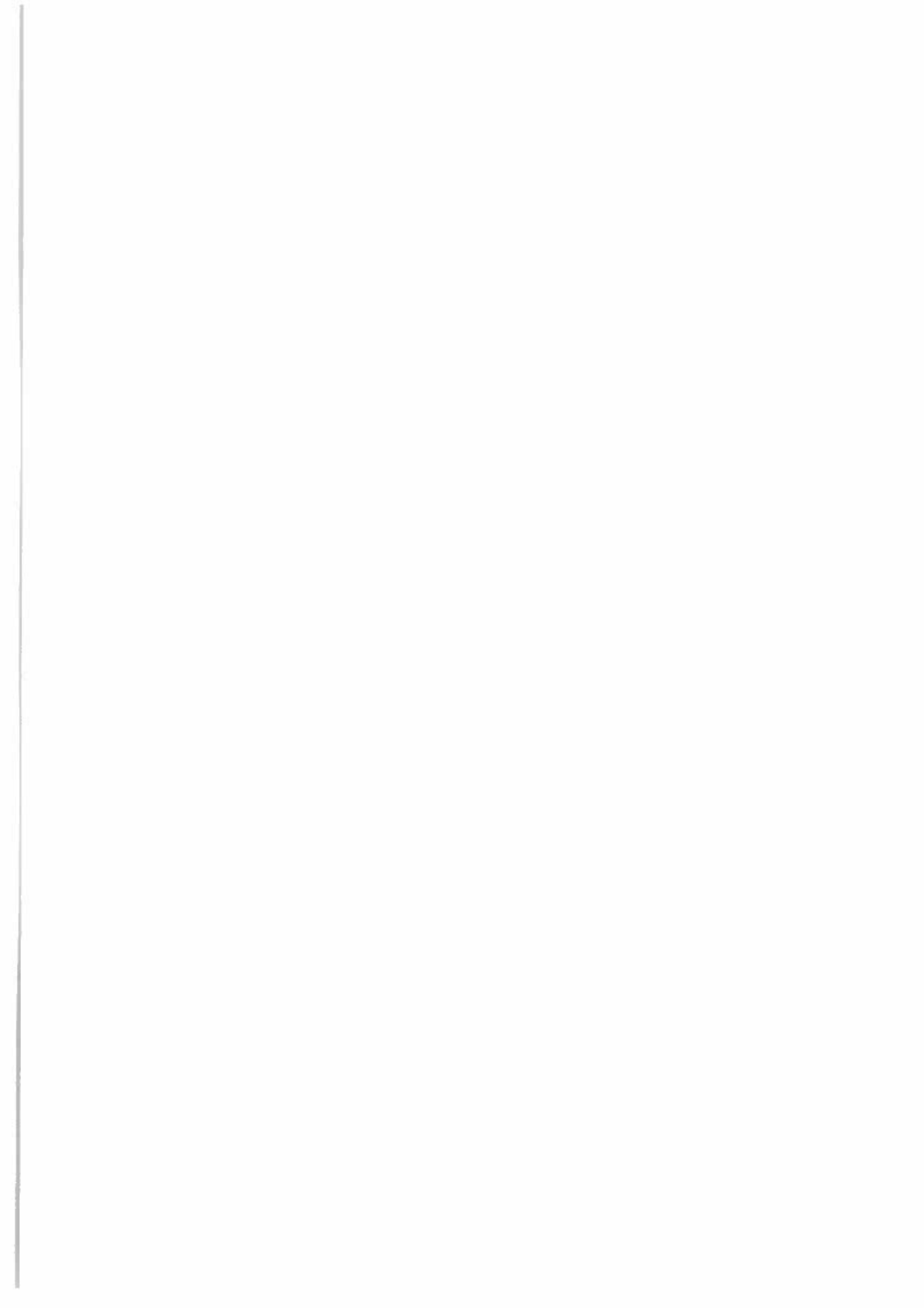
Arealdata og Kortlægning. På kortet er kun angivet den dominerende jordtype indenfor hvert område. De geografiske forskelle træder tydeligt frem, med de overvejende sandede jorder i det vest- og nordlige Jylland og de lerede i det sydøstlige Jylland og øerne.

## 2.2 Arealets anvendelse

Arealerne i Danmark anvendes til mangfoldige formål. Groft sagt kan anvendelsen inddeles i fem kategorier: Dyrkede arealer, skovarealer, ferskvandsarealer, befæstede arealer og naturarealer. Af landets areal var i 1988 ca. 64.7% dyrket (Danmarks Statistik, 1989A). Desuden er 10.8% skov, 1.1% ferskvand og 5.9 % befæstet (Danmarks Statistik, 1989B). Hertil kommer en rest på 17.2%, som dels indeholder naturarealerne (strandenge, heder), dels befæstede arealer i landzone, veje



**KORT 2:** De dominerende jordbundstyper i Danmark.  
 Kilde: Landbrugsministeriet, Afdeling for Arealdata og Kortlægning.  
*The dominating soil types in Denmark.*

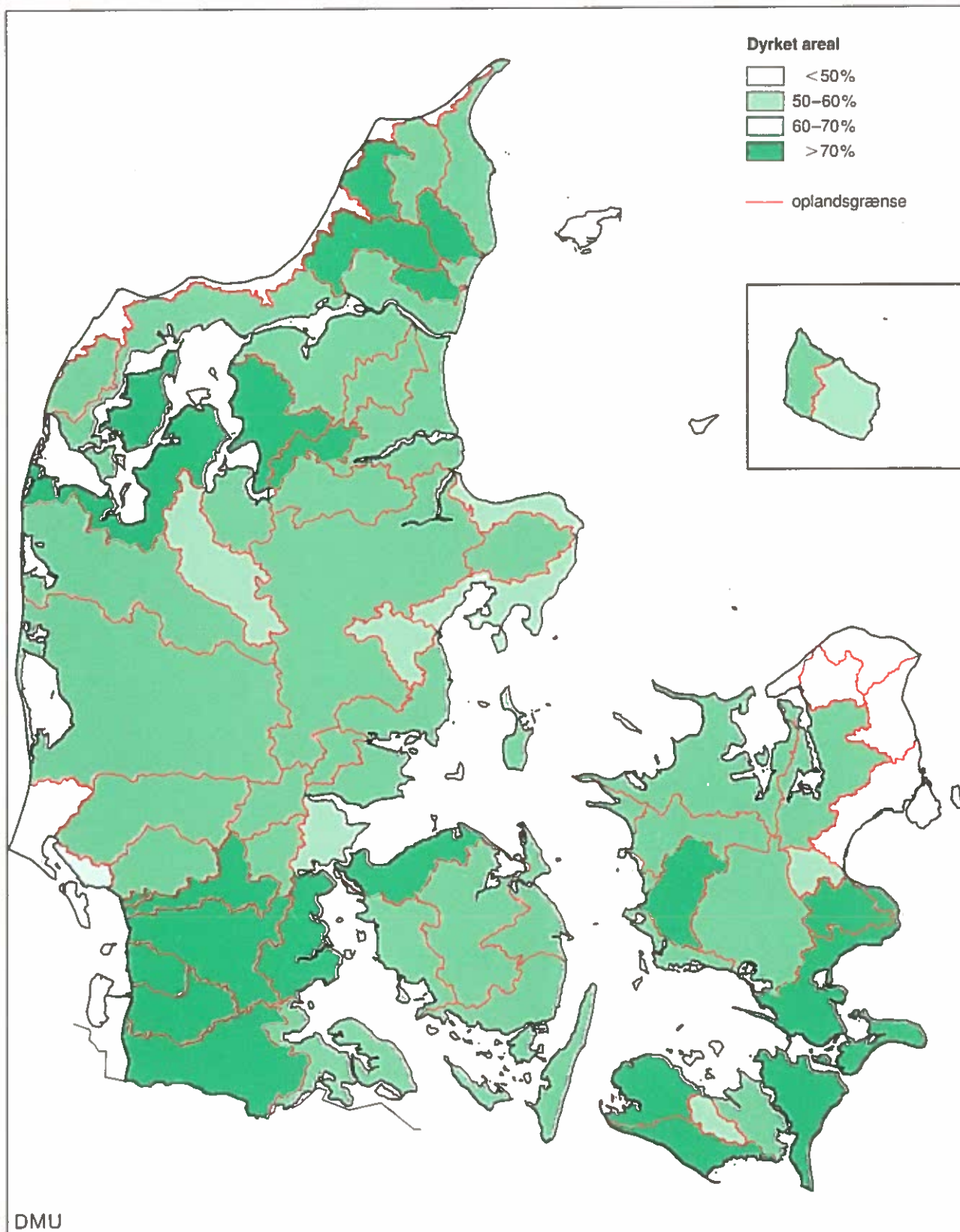


m.v. og tekniske anlæg. Totaltallene dækker over regionale forskelle. På kort 3 er vist fordelingen af det dyrkede areal i Danmark. Opgørelsen er baseret på jordklassificeringen og oplysninger om det dyrkede areal i 1988 indenfor hvert amt. Det er kun få områder, hvor det dyrkede areal udgør mindre end 60% af arealet. Større sammenhængende områder med høj dyrkningsprocent findes i Sønderjylland, omkring Limfjorden, Sydsjælland og Lolland/Falster.

På kort 4 er vist fordelingen af skovarealer i Danmark. Det er kun få steder at skovarealet udgør mere end 15%, mens områderne med et lille skovareal ligger i Sønderjylland, omkring Limfjorden og det vestlige Lolland, samt på Fyn og det nordlige Sjælland.

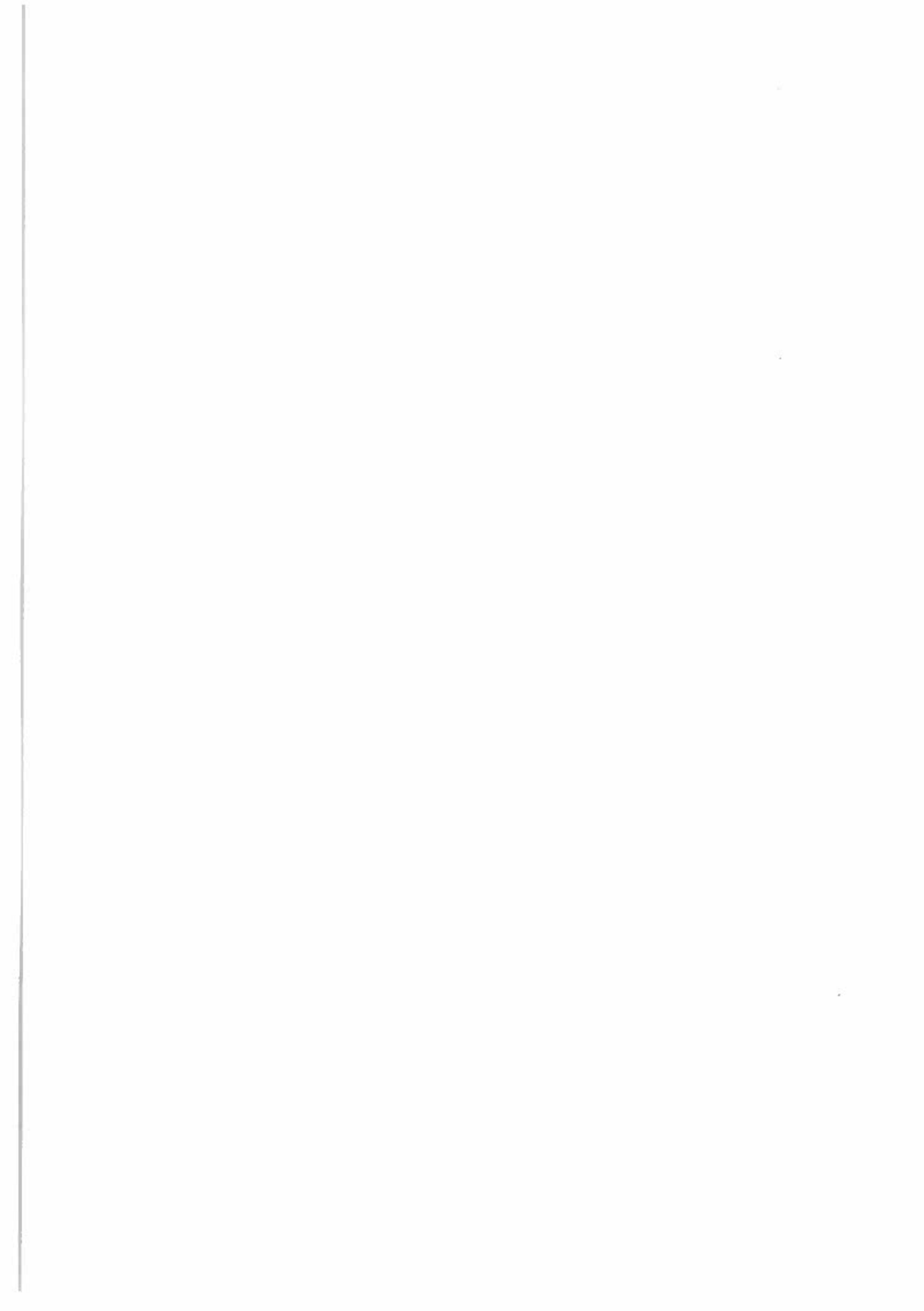


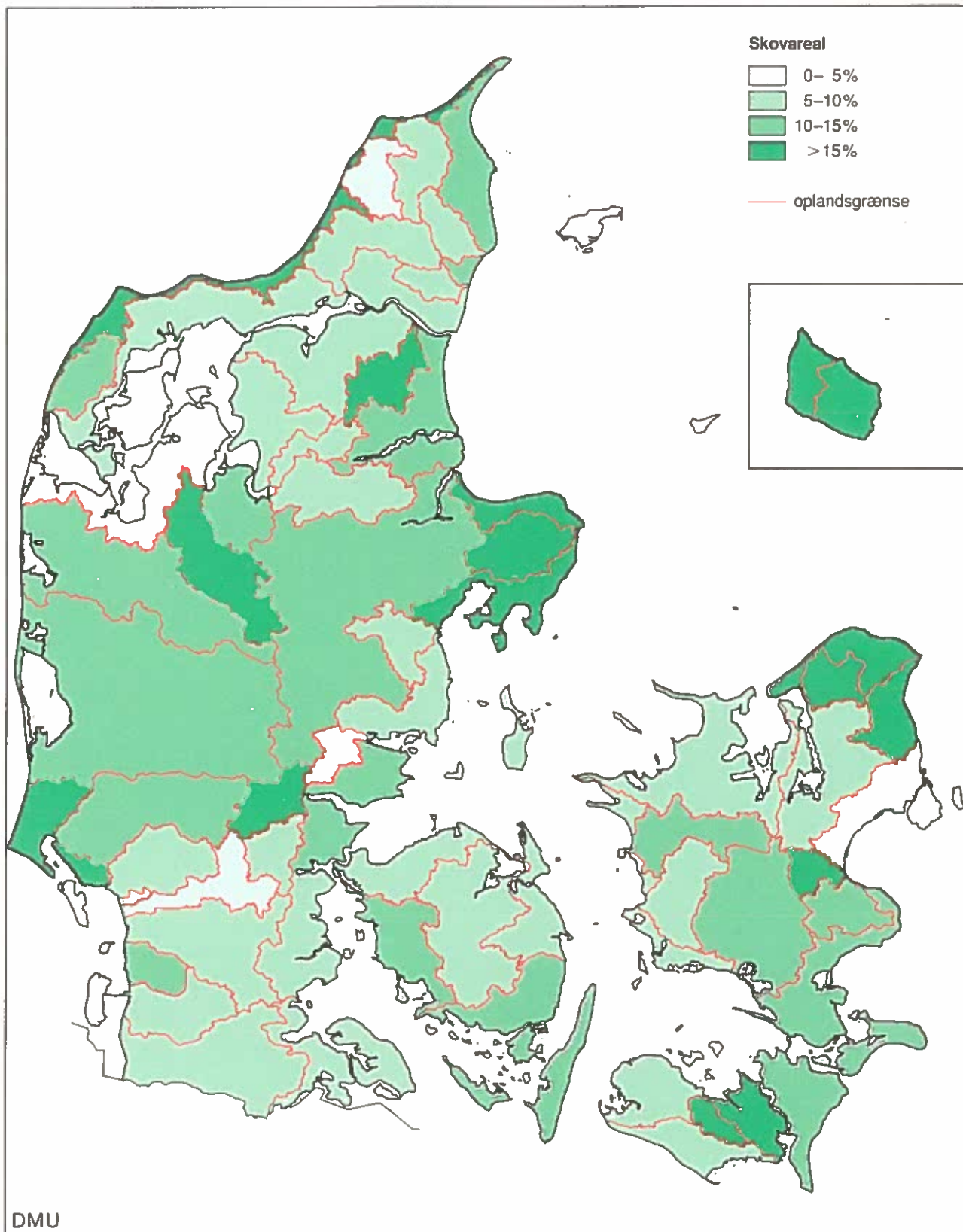




**KORT 3:** Andelen af det dyrkede areal i Danmark.  
 Kilde: Landbrugsministeriet, Afdeling for Arealdata og Kortlægning  
 og Danmarks Statistik, 1989.

*The proportion of agricultural land in Denmark.*

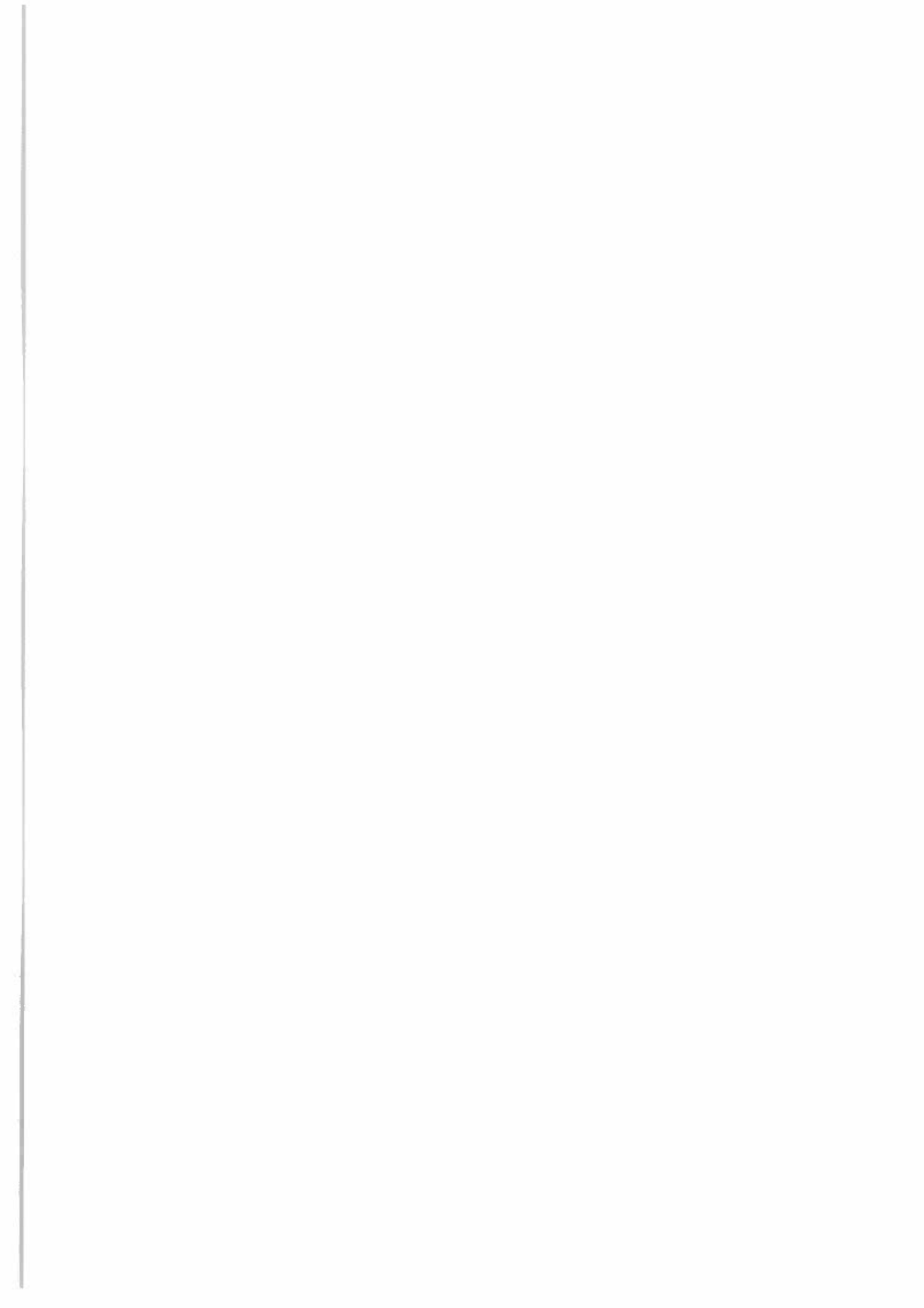




**KORT 4:** Andelen af skovarealer i Danmark.

Kilde: Landbrugsministeriet, Afdeling for Arealdata og Kortlægning.

*The proportion of forested land in Denmark.*



### 3. KLIMATISKE FORHOLD OG AFSTRØMNINGEN I DANMARK

Klimaet i form af nedbør, temperatur og fordampning påvirker afstrømningen og transporten af næringssalte i vandløbene og dermed miljøtilstanden i vandområderne. Eksempelvis resulterer et tørt år i en mindre afstrømning og udvaskning af næringssalte fra jorden til de ferske vande end et vådt år. Effekten heraf er ikke ens for alle vandløb på grund af forskelle i geologi og jordbund. Vandløb, som afvander de sandede jorder i Vestjylland, har mere konstant afstrømning end vandløb, der afvander de svære lerjorder på eksempelvis Lolland/Falster. En stor grundvandstilstrømning dæmper således effekten af årlige klimaudsving. År til år variationerne i de klimatiske forhold, den geografiske variation og forskelle i geologi og jordbundsforhold komplicerer således overvågningsarbejdet.

I kapitlet beskrives temperaturen, fordampningen, nedbøren og afstrømningen i Danmark i 1989, sammenholdt med tilstanden i et "normalt" år, hvor udgangspunktet er gennemsnittet for 80'erne.

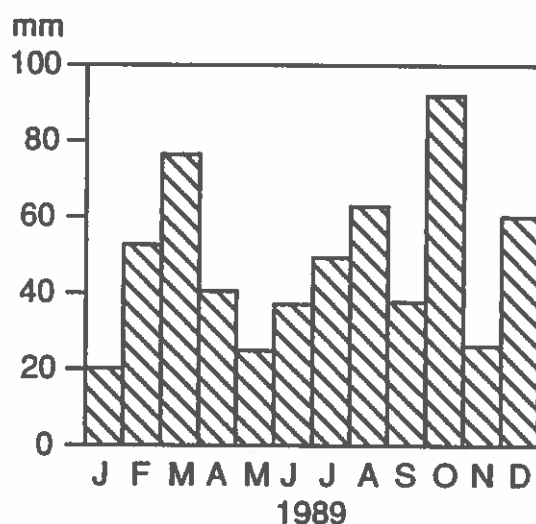
#### 3.1 Temperatur og fordampning

Vejret i 1989 var for det meste varmere end normalt (DMI, 1990). Middelttemperaturen på 9.2°C i 1989 er den højeste, der er registreret. Det var især de tre første måneder af 1989, samt oktober der var lune.

Den potentielle fordampning var i perioden april-november 1989 i gennemsnit for Danmark på 555 mm (Olesen, 1990). Fordampningen i 1989 var dermed 9% højere end middelværdien for perioden 1961-88 (Mikkelsen, 1990).

### 3.2 Nedbør

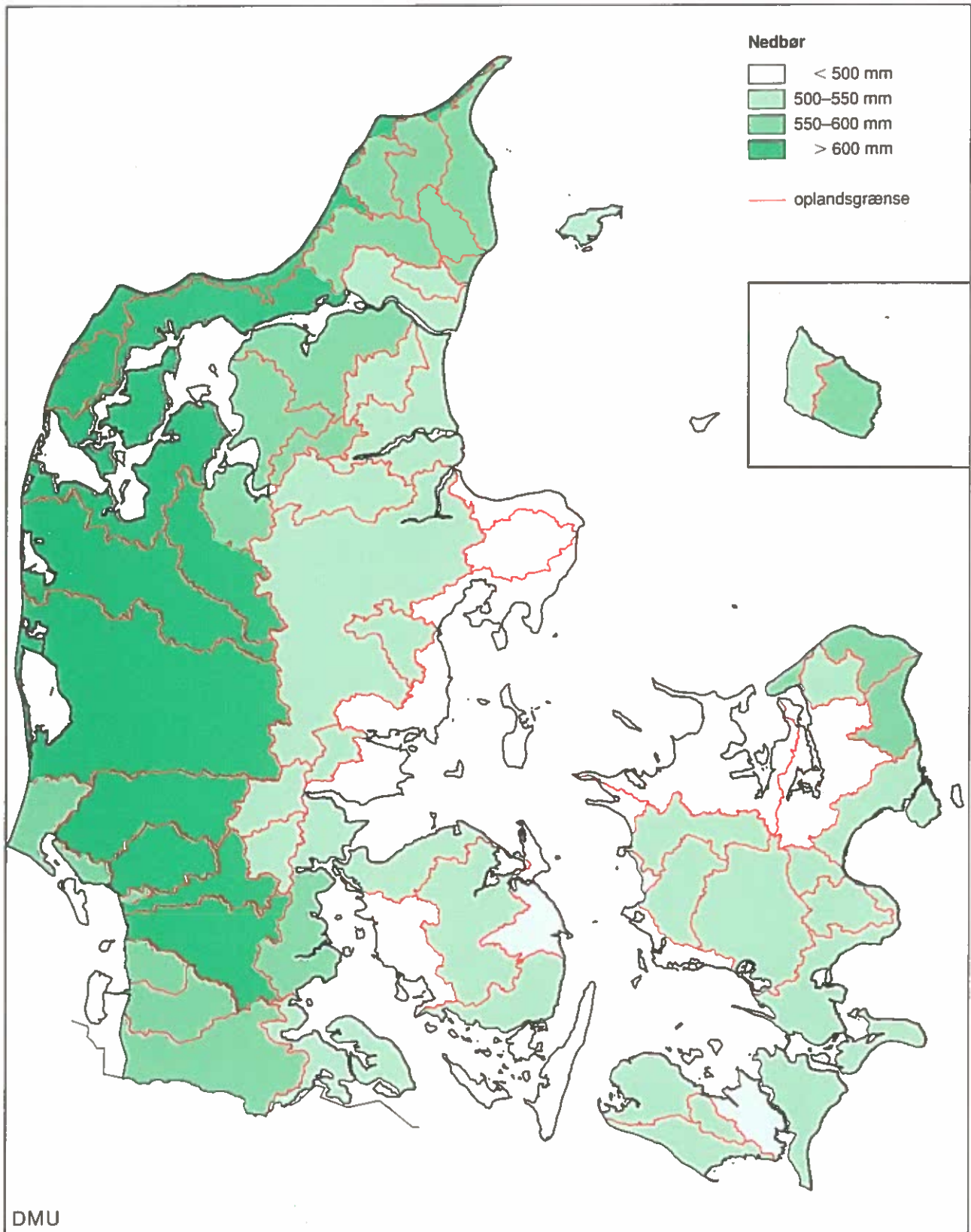
Årsnedbøren var i 1989 581 mm eller 24% under gennemsnittet for de foregående ti år (1979-88). Månedsmiddelnedbøren i 1989 er vist i figur 3.1. I forhold til perioden 1979-88 lå kun februar, marts og april over middel, mens månederne januar, maj, juni, september, november og december lå meget under. Den geografiske variation i nedbør er stor, hvorfor ovenstående afvigelser ikke nødvendigvis er gældende for de forskellige regioner i Danmark.



Figur 3.1: Månedsmiddelnedbør i 1989.

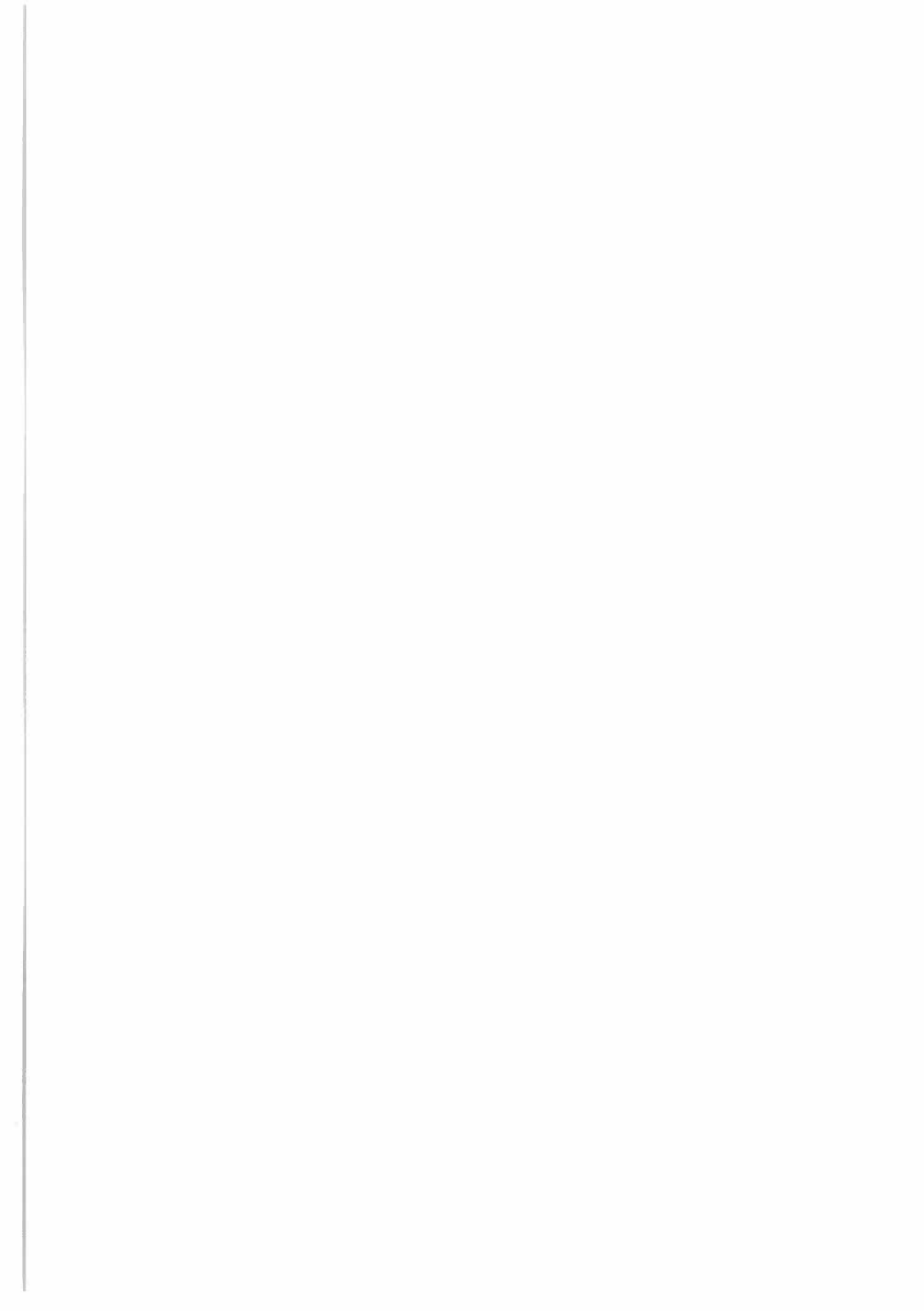
Den geografiske variation i nedbøren i 1989 er vist på kort 5. Nedbørsmængden var som normalt størst i Midtjylland og mindst i området omkring det sydlige Kattegat og Storebælt. Af de omkring 550 mm, der faldt på Midt- og Nordsjælland i hele 1989, faldt de 150-200 mm indenfor få døgn sidst i august (figur 3.2). En så stor og intensivt faldende nedbørsmængde, har stor betydning for udskylning af stof i vandløbene.

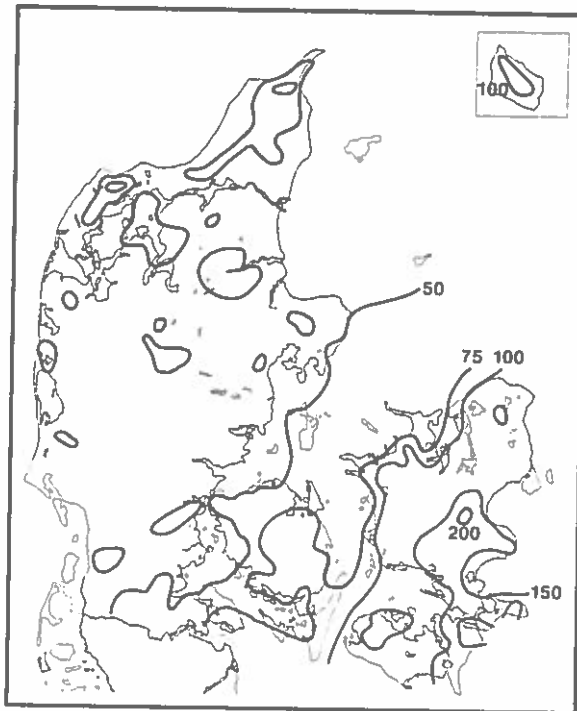




**KORT 5:** Årsnedbøren i Danmark i 1989.  
Kilde: Danmarks Meteorologiske institut.  
*The annual precipitation in Denmark 1989.*







Figur 3.2: Nedbør i mm, august 1989.

### 3.3 Afstrømning

Afstrømningen fra land til hav i 1989 er beregnet på baggrund af det nationale stationsnet i overvågningsprogrammet (kort 6). De 130 målestationer er geografisk spredt langs kysterne over hele landet og dækker ca. 50% af Danmarks areal. Målestationerne er placeret så tæt på vandløbenes udmunding i havet som måleteknisk forsvarligt. Af samme årsag er især de kystnære egne umålte, hvorfor de givne værdier ikke nødvendigvis er repræsentative for disse områder. Afstrømningen er givet for hele 1989, samt for sommerperioden (maj-september), da afstrømningen især i denne periode har betydning for miljøtilstanden i søer og kystnære områder. I denne periode ses tydeligst de geografiske forskelle i grundvandstilstrømningen. Den samlede afstrømning fra Danmark er i 1989 beregnet til ca. 11.000 mill. m<sup>3</sup> (tabel

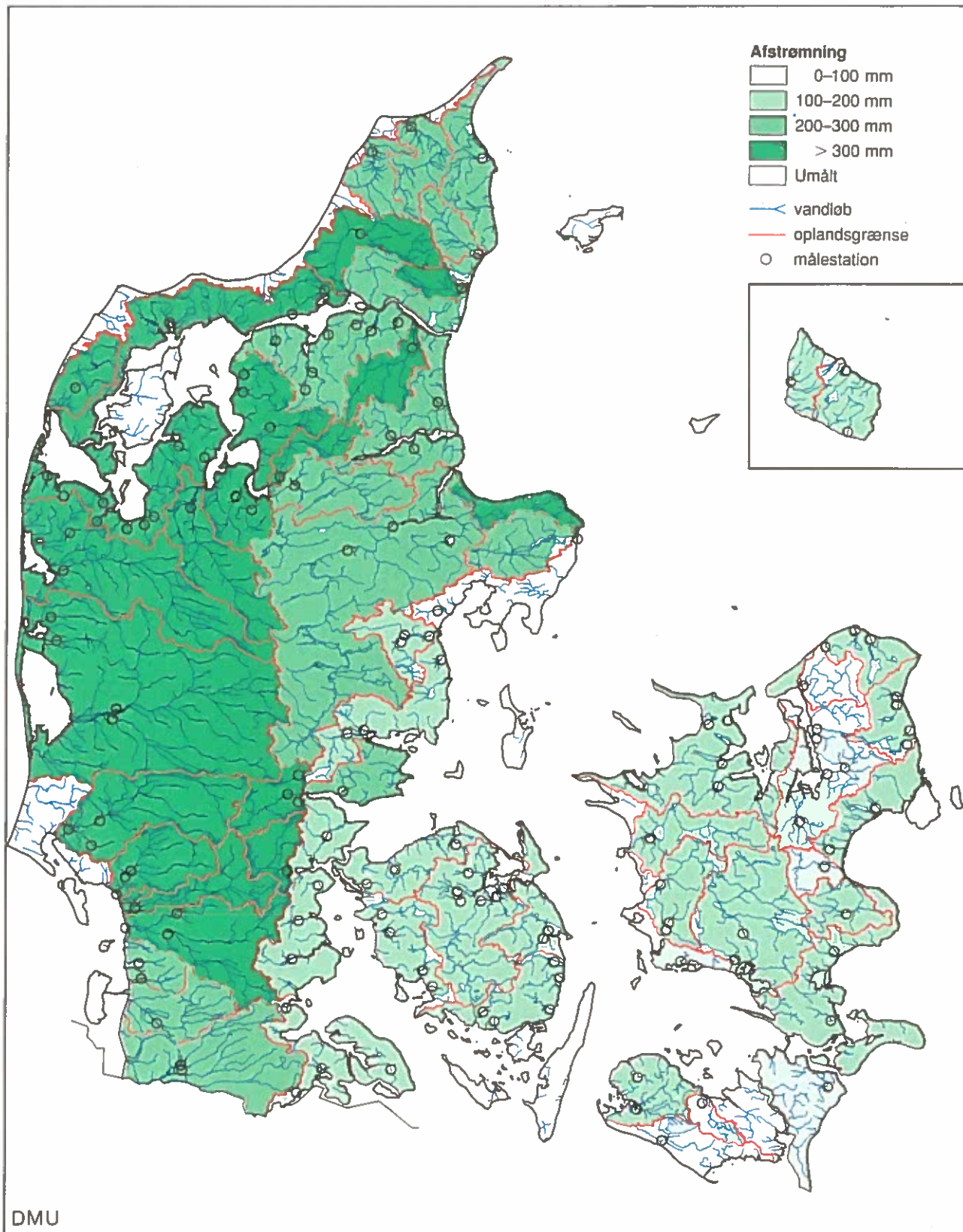
3.1). Heraf strømmede ca. 39% til Nordsøen og Skagerrak, 39% til Kattegat, 20% til Bælthavet og kun 1.7% til Østersøen.

Farvandsområde		Areal	Afstrømning
nr.	navn	km <sup>2</sup>	x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
I	Nordsøen	10888	4083
II	Skagerrak	1060	253
III	Kattegat	15824	4272
IV	Nordlige Bælthav	3178	543
V	Lillebælt	3310	732
VI	Storebælt	5466	703
VII	Øresund	1730	214
VIII	Sydlig Bælthav	428	41
IX	Østersøen	<u>1208</u>	<u>188</u>
Totalt til havet		43092	11029

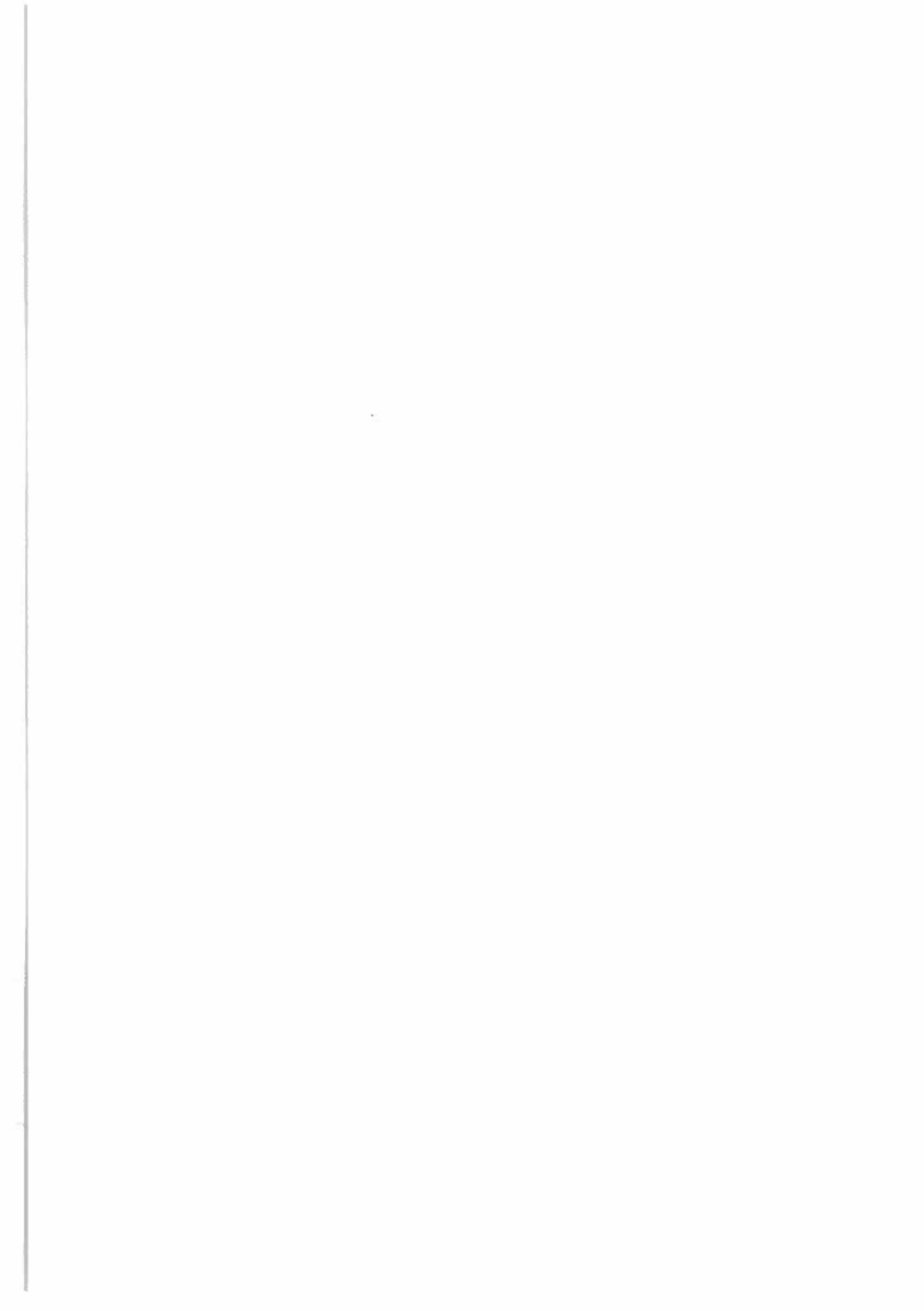
Tabel 3.1: Afstrømningen til farvandene omkring Danmark i 1989.

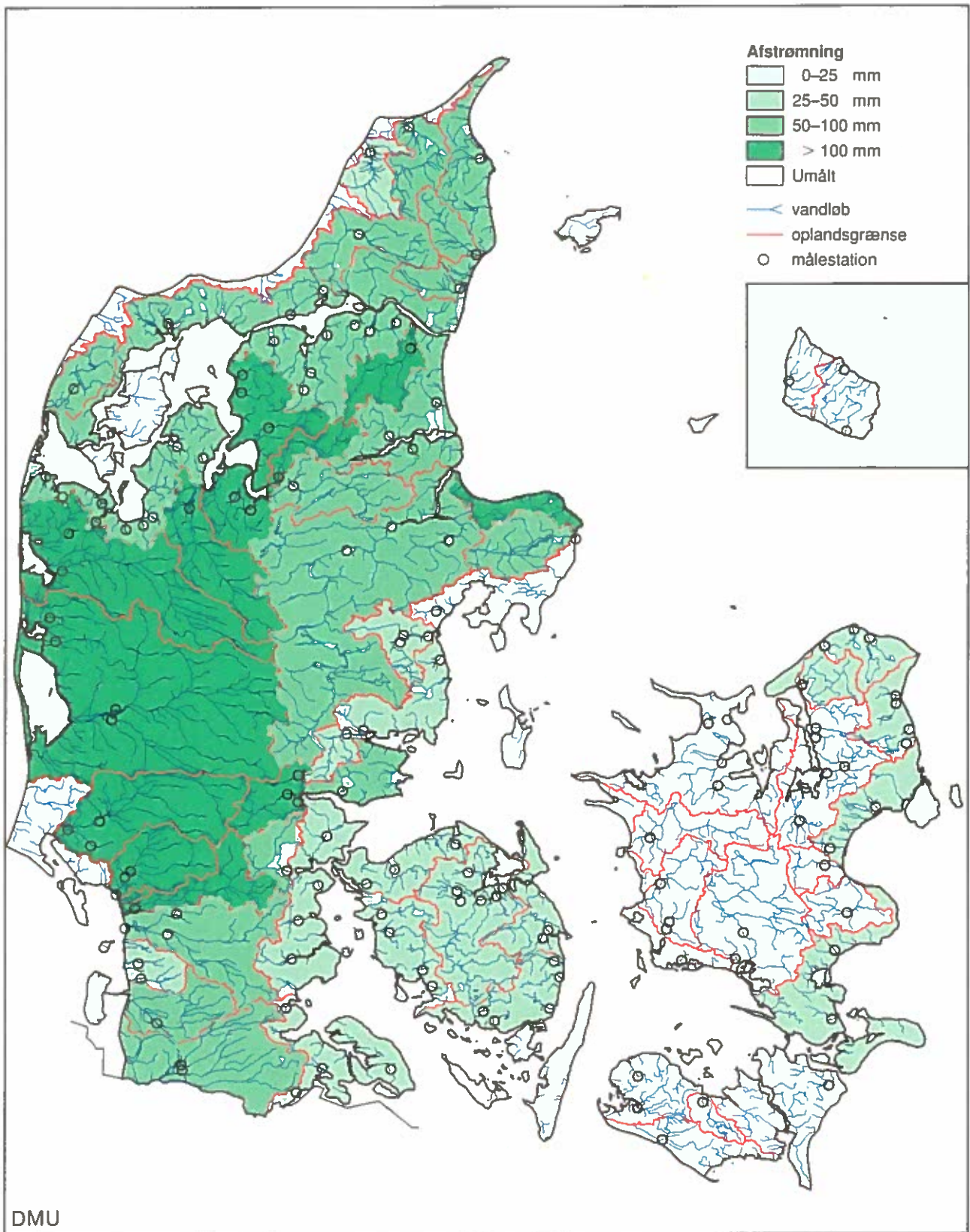
På kort 6 er vist den regionale fordeling af afstrømningen i 1989. Afstrømningen falder generelt fra Vest- mod Østdanmark meget lig nedbørsfordelingen (se kort 5). Afstrømningen er generelt på over 300 mm fra det Vest- og Midtjyske område og området omkring Limfjorden. Afstrømningen er lavest (<100 mm) i kystområder til det sydlige Kattegat, området omkring Roskilde fjord og Lolland/Falster.

Afstrømningen i sommerperioden (maj-september) er vist på kort 7. Den geografiske fordeling er generelt den samme som for årsafstrømningen, men med endnu tydeligere forskelle. Afstrømningen fra de sandede områder i Vest- og Nordjylland er



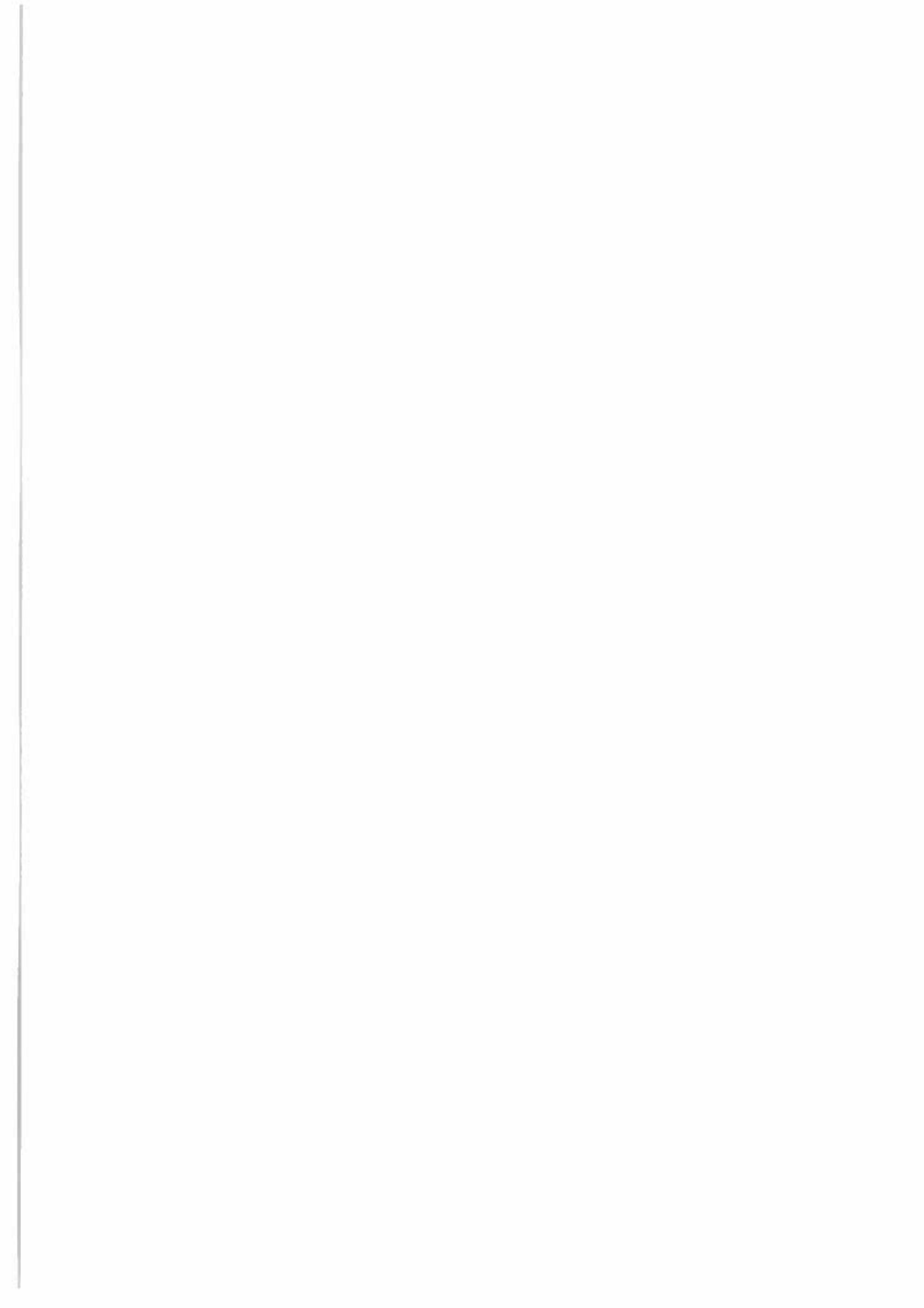
**KORT 6:** Årsafstrømningen i danske vandløb 1989.  
*The annual runoff in Danish streams 1989.*





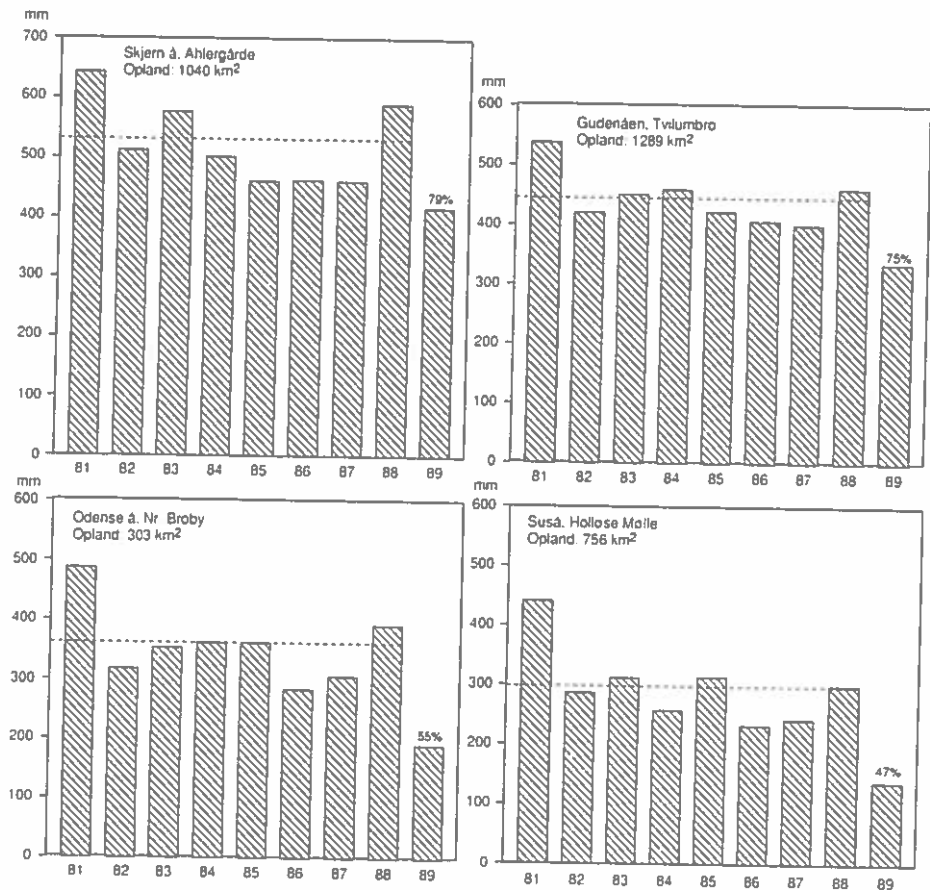
KORT 7: Sommerafstrømningen (maj-september) i danske vandløb 1989.

*Summer runoff (May to September) in Danish streams 1989.*





størst, på grund af den store grundvandstilstrømning. Derimod er afstrømningen meget lille fra det midt og vestlige Sjælland, samt Lolland/Falster og Bornholm.



Figur 3.3: Afstrømningen i perioden 1981-89 fra 4 store vandløbsoplande. (----) middelværdien for perioden 1981-88.

Afstrømningen varierer som nedbøren fra år til år. I figur 3.3 er vist ændringerne i afstrømningen i perioden 1981-89 fra fire, geografisk repræsentative, store vandløbsoplande i Danmark. Der har generelt været store forskelle igennem 80'erne, med størst afstrømning i 1981 og den mindste i 1989. I



1989 udgjorde afstrømningen fra Danmark, beregnet som et arealvægtet gennemsnit for de fire vandløb, ca. 68% af middelværdien for de foregående otte år. Afvigelsen fra middelværdien er stigende fra Vest- til Østdanmark. I Skjern å og Gudenåen udgjorde afstrømningen 80 og 75% af middelværdien, i Odense å 55% og i Susåen 47%.

### 3.4 Diskussion og sammenfatning

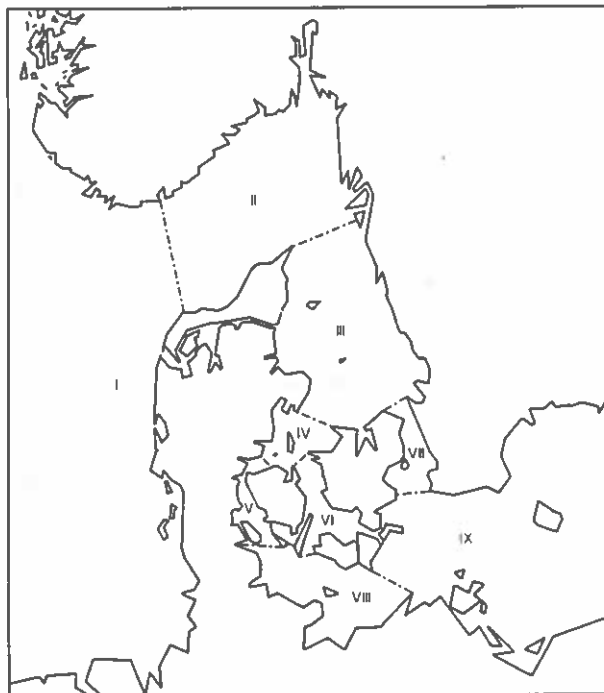
De klimatiske forhold i 1989 har været usædvanlige i forhold til tidligere år. Temperaturmæssigt var 1989 et meget mildt og solrigt år, hvilket resulterede i en stor fordampning. Da nedbøren samtidig var 24% under middelværdien for de foregående 8 år, resulterede det i, at afstrømningen fra Danmark i gennemsnit kun udgjorde 68% af midlen for de foregående 8 år. Afstrømningen var i 1989 på ca. 11.000 mill. m<sup>3</sup>.

Med baggrund i et oplandsvægtet gennemsnit for afstrømningen i perioden 1981-89 i fire store vandløb (Skjern å, Gudenå, Odense å og Suså), udgør afstrømningen fra Danmark omkring 16.200 mill. m<sup>3</sup> i et "normalt" år, altså gennemsnittet i 80'erne. Heraf strømmer de 61% eller ca. 9.900 mill. m<sup>3</sup> til de indre danske farvande.

Der var i 1989 meget store regionale forskelle i afstrømningen. Den meget lille afstrømning i det midt og nordøstlige Sjælland, betinger således meget langsomme vandbevægelser og dermed en lang opholdstid i både vandløb og søer. Dette medfører øget tilbageholdelse og fjernelse af næringsstoffer, hvilket komplicerer tolkningen af måleresultaterne.

#### 4. TILFØRSEL AF KVÆLSTOF OG FOSFOR TIL HAVET FRA DE FERSKE VANDE

Danmark ligger som en barriere imellem Nordsøen og Østersøen, og vandudvekslingen mellem disse farvande sker gennem bælteerne og Kattegat (figur 4.1). Tilførslen af kvælstof (N) og fosfor (P) via vandløbene til havet er opgjort for de ni farvandsområder som vist på figuren. Tilførslen fra land via vandløb er ikke nødvendigvis den dominerende kilde, men er sammen med opførelsen af den atmosfæriske tilførsel, de direkte udledninger til havet fra punktkilder og tilførslen fra andre farvande nødvendig for at vurdere den samlede belastning af farvandsområderne og deres miljøtilstand. Da tilførslen af N og P fra vandløb hovedsageligt sker til mere lukkede fjorde og bugter er det nødvendigt, at have et kendskab til stofomsætningen og -tilbageholdelsen i disse systemer, for at få et overblik over den mængde der netto tilføres de åbne havområder.



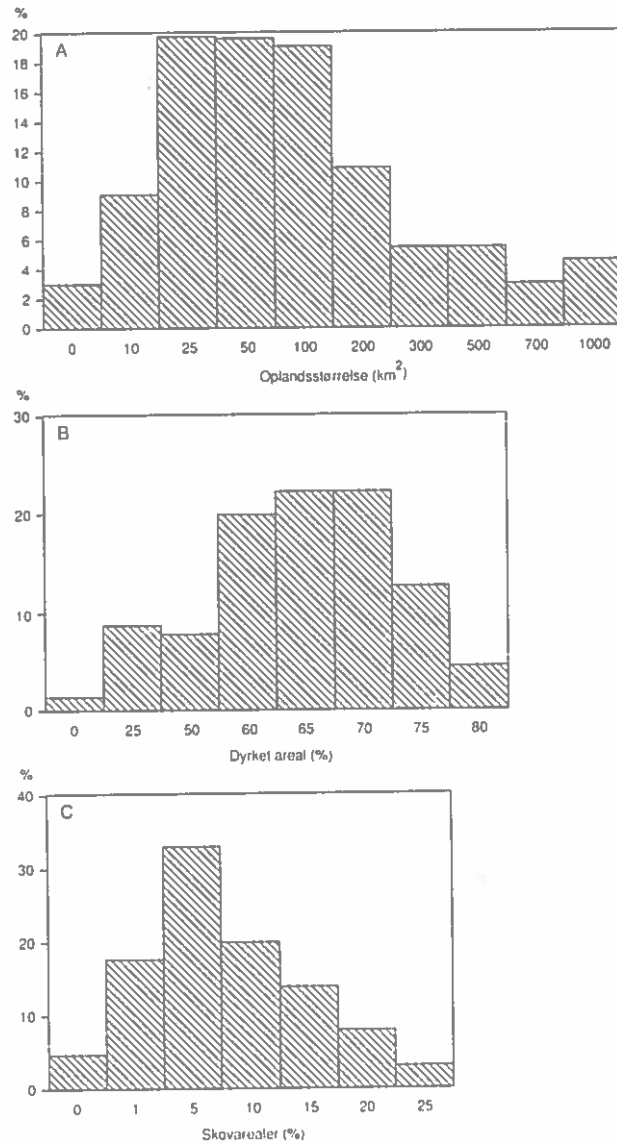
Figur 4.1: De 9 farvandsområder i Danmark.

Tilførslen af N og P via vandløb afhænger af flere faktorer. Tidligere er det antaget, at mere end 60% af N-tilførslen stammer fra landbrugsjorden (Miljøstyrelsen, 1984), mens det for fosfor er mellem 6 og 24% (Miljøstyrelsen, 1988). Størrelsen af oplandet til farvandsområdet, dyrkningsgrad og -praksis er antagelig afgørende for hvor meget N der tilføres. For P er punktkildebelastningen antagelig afgørende. Hertil kommer klimatisk betingede år- til år variationer, idet der i tørre år tilføres mindre mængder N og P til farvandsområderne end i våde år.

I dette kapitel opgøres N og P tilførslen via vandløb til de ni farvandsområder og totalt til havet omkring Danmark. Desuden vises de regionale forskelle i tilførslerne og der foretages en opsplitning af tilførslen i bidraget fra henholdsvis punktkilderne og fra det åbne land. Endelig opgøres den del af N og P tilførslen, som stammer fra landbruget.

#### 4.1. Datagrundlag

Resultaterne i dette kapitel bygger på amtskommunale data fra de 130 nationale vandløbsstationer (kort 8). Stationerne er placeret så tæt på vandløbets udmunding i havet som måleteknisk muligt. Målestationerne dækker transporten af N og P fra ca. 57% af Danmarks areal, med større eller mindre dækning i de enkelte oplande til farvandsområderne (tabel 4.1). Transporten af N og P fra de umålte oplande er beregnet ved at summere udledningerne fra punktkilder og tilførslen fra det åbne land. Hertil er benyttet de amtskommunale oplysninger om udledninger af N og P fra punktkilder, samt en beregning af tilførslen af N og P fra det åbne land ud fra målte nærvedliggende og sammenlignelige oplande.

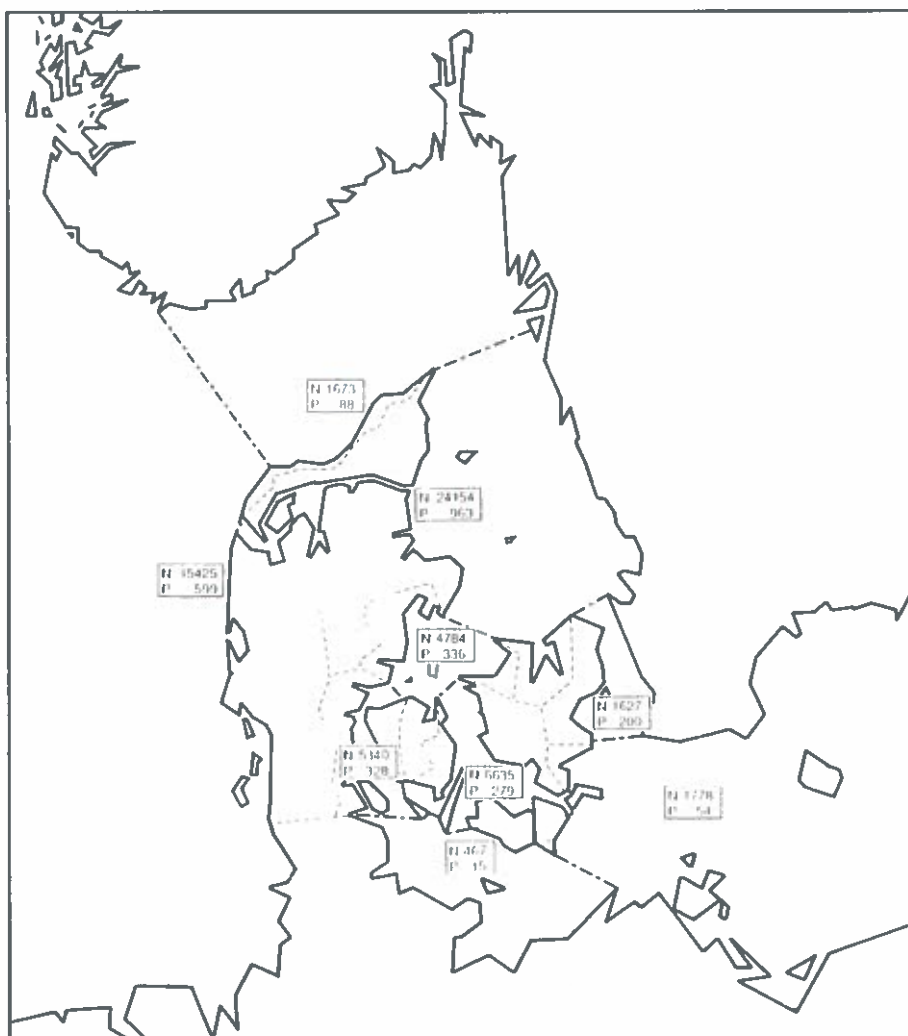


**Figur 4.2:** Fordelingen af oplandsstørrelser, det dyrkede areal og skovarealet til de 130 nationale vandløbsstationer.

De topografiske oplande til de 130 vandløb i det nationale overvågningsnet spænder fra små kystnære oplande på mindre end 25 km<sup>2</sup> til store oplande på over 1000 km<sup>2</sup> (figur 4.2A). Andelen af dyrkede arealer og skovarealer i de 130 oplande er i god overensstemmelse med landsgennemsnittet (figur 4.2B og C). De målte vandløbsoplande er derfor repræsentative for hele landet. Arealcoefficien-

ter for N og P indenfor 67 delområder af Danmark er beregnet ud fra de målte vandløb i området. De enkelte vandløb indgår med vægten af deres oplands areal.

De beregnede tilførsler af N og P til de 9 farvandsområder er den mængde, der via vandløb tilføres de kystnære marine områder. Der er således ikke foretaget en beregning over den mængde der netto tilføres de åbne havområder.



**Figur 4.3:** Tilførslen af kvælstof (N) og fosfor (P) via vandløbene til de 9 farvandsområder i 1989. Opgørelserne er i ton og excl. direkte udledninger fra punktkilder til farvandsområderne.

#### 4.2 Tilførslen af kvælstof og fosfor til havet

Tilførslen i 1989 af N og P til de enkelte farvandsområder og totalt til havet er vist i figur 4.3 og i tabel 4.1. Opgørelserne er for den mængde N og P der via vandløbene tilføres de kystnære områder indenfor de enkelte farvande. Den totale tilførsel af N var 61.900 ton. Heraf tilførtes 28% til Nordsøen og Skagerrak, 69% til Kattegat og Bælthavet og kun 3% til Østersøen. Den totale tilførsel af P var 2862 ton. Heraf tilførtes 24% til Nordsøen og Skagerrak, 74% til Kattegat og Bælthavet og 2% til Østersøen.

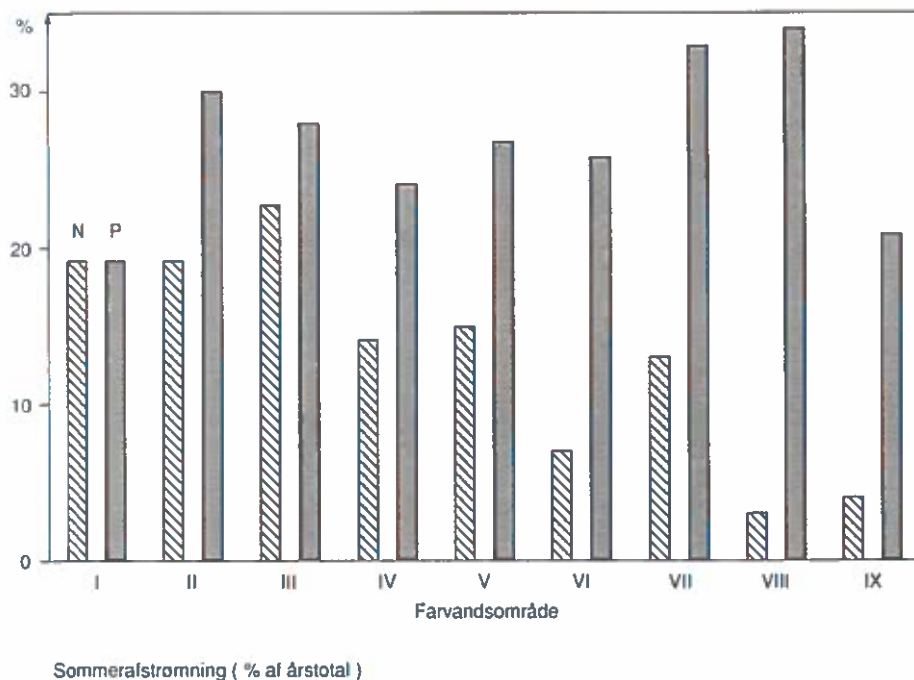
Farvandsområde		Areal		Kvælstof	Fosfor
nr.	navn	total (km <sup>2</sup> )	målt %	tilførsel (ton)	tilførsel (ton)
I	Nordsøen	10888	7732 (71)	15425	599
II	Skagerrak	1060	740 (70)	1673	88
III	Kattegat	15824	9540 (60)	24154	963
IV	Nordlige Bælthav	3178	1563 (49)	4784	336
V	Lillebælt	3310	1419 (43)	5340	328
VI	Storebælt	5466	2249 (41)	6635	279
VII	Øresund	1730	1034 (60)	1627	200
VIII	Sydlig Bælthav	428	205 (48)	467	15
IX	Østersøen	<u>1208</u>	<u>177</u> (15)	<u>1778</u>	<u>54</u>
Totalt til havet		43092	24659 (57)	61883	2862

Tabel 4.1: Tilførsel af kvælstof og fosfor via vandløb til de 9 farvandsområder og totalt til havet i 1989.

Der er store regionale forskelle i arealkoefficienterne for N og P (kort 8 og 9). Kvælstoftilførslen er især stor i Jylland og specielt i området omkring Limfjorden. De mindste tilførsler

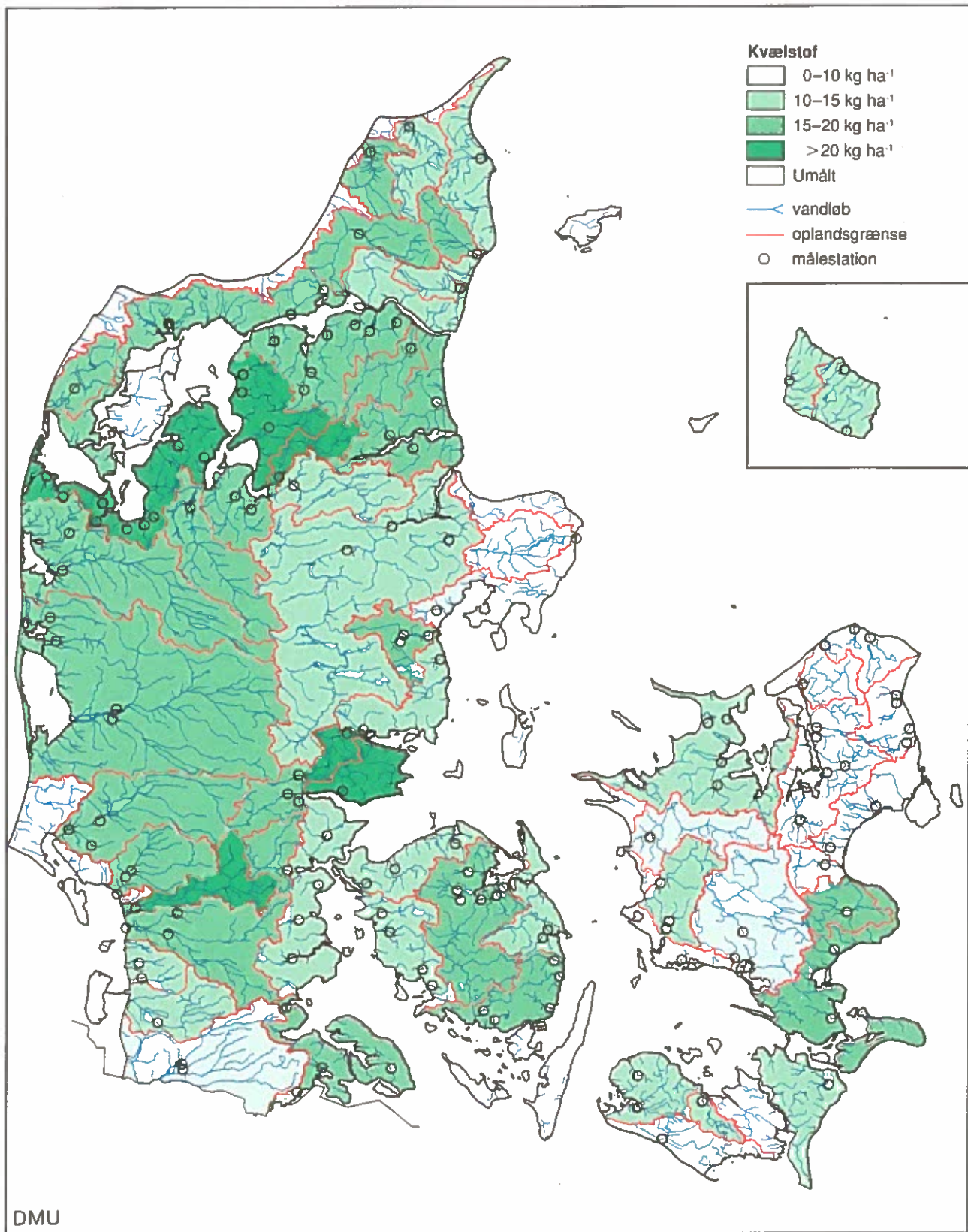
kommer generelt fra Sjælland. Disse regionale forskelle følger mønsteret i afstrømningen (kapitel 3). Arealkoefficienterne for P viser et andet mønster, idet den er størst i tæt befolkede regioner.

Den procentvise andel af den årlige N og P tilførsel til de ni farvandsområder, der finder sted i sommerperioden (maj-september), er vist i figur 4.4. Tilførslen af P til de ni farvandsområder varierer i denne periode kun mellem 19 og 34%. Derimod er der stor forskel i tilførslen af N, der er størst til farvandsområder med opland i det vest- og nordlige Jylland (ca. 20%), mens den er mindre end 5% til farvandsområder med opland på det sydlige Sjælland.



Figur 4.4: Tilførslen af kvælstof og fosfor via vandløb til de 9 farvandsområder i sommerperioden (maj-september) i procent af den årlige tilførsel.

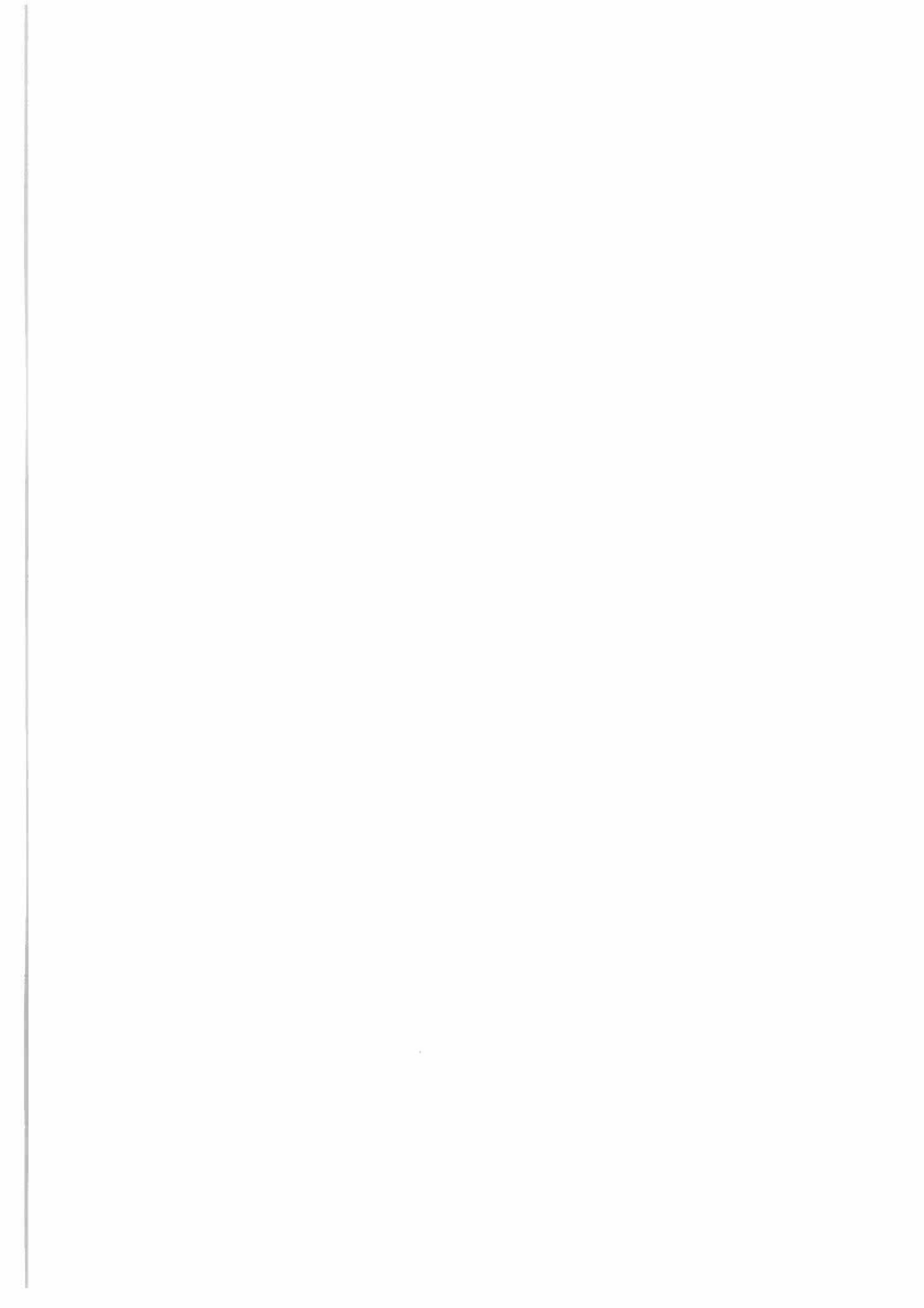


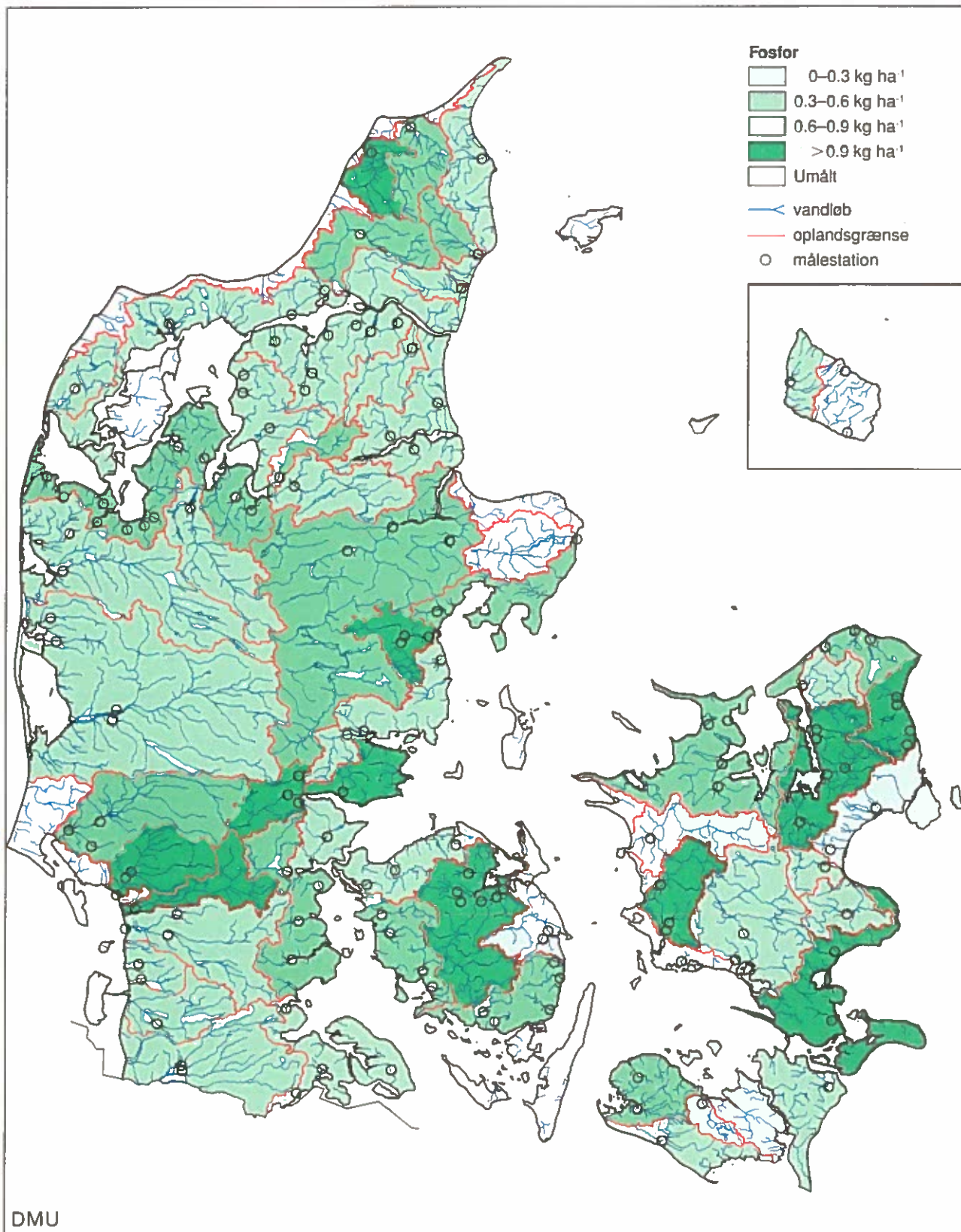


**KORT 8:** Arealkoefficienter af kvælstof, inkl. punktkilder, i danske vandløb 1989.

*The export coefficients for nitrogen, including point sources, in Danish streams 1989.*







**KORT 9:** Arealcoefficenter af fosfor, inkl. punktkilder, i danske vandløb 1989.

*The export coefficients for phosphorus, including point sources, in Danish streams 1989.*

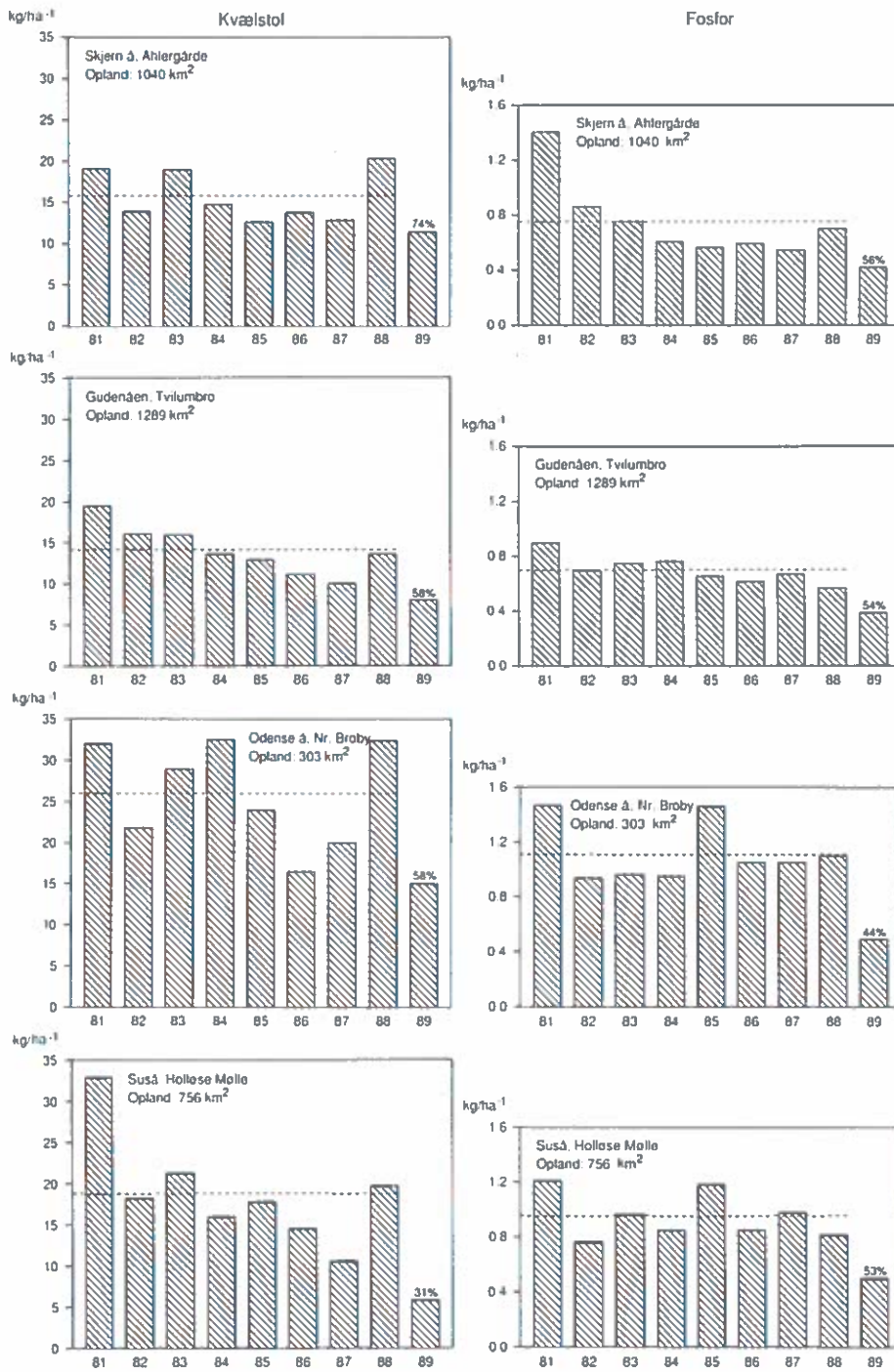


### 4.3 Tilførsel af kvælstof og fosfor til havet i et "normalt" år

I kapitel 3 er det vist, at 1989 m.h.t. klima og afstrømning var et atypisk år. Dette gælder ligeledes for tilførslen af N og P til havet. I figur 4.5 er vist arealkoefficienten af N, målt som nitrat-N, og P, målt som total P, i perioden 1981 til 1989 fra fire geografisk repræsentative, store vandløbsoplande. I 1989 udgør arealkoefficienten af N ca. 57% af middelværdien for de foregående 8 år og arealkoefficienten af P ca. 54% som oplandsvægtet gennemsnit for de fire vandløb. Arealkoefficienten af N i 1989 afviger mere fra middelværdien for perioden 1981-88, i de østdanske vandløb end i de vestjyske. Arealkoefficienten af P viser nogenlunde samme afvigelse for de fire vandløb (figur 4.5).

Tilførslen af N og P til havet via vandløb i et "normalt" år kan beregnes ud fra 1989-niveauet m.h.t. udledningerne fra punktkilder, samt en opskrivning af det åbne lands bidrag. Det åbne lands bidrag i et "normalt" år er beregnet ud fra den gennemsnitlige afvigelse fundet i de fire store vandløb. Tilførslen til havet i et "normalt" år er på denne baggrund til omkring 110.000 ton N og 4.200 ton P.

De på denne måde beregnede mængder af N og P giver kun et skøn over hvordan tilførslen vil være med afstrømningsforhold som i perioden 1981-88 og udledninger fra punktkilder til vandløb som i 1989. Dette skyldes, at de fire vandløb ikke nødvendigvis er repræsentative hvad angår år til år variationer i transporten, omsætningen og tilbageholdelsen af N og P i danske vandløb. Den fortsatte overvågning af transporten af N og P i

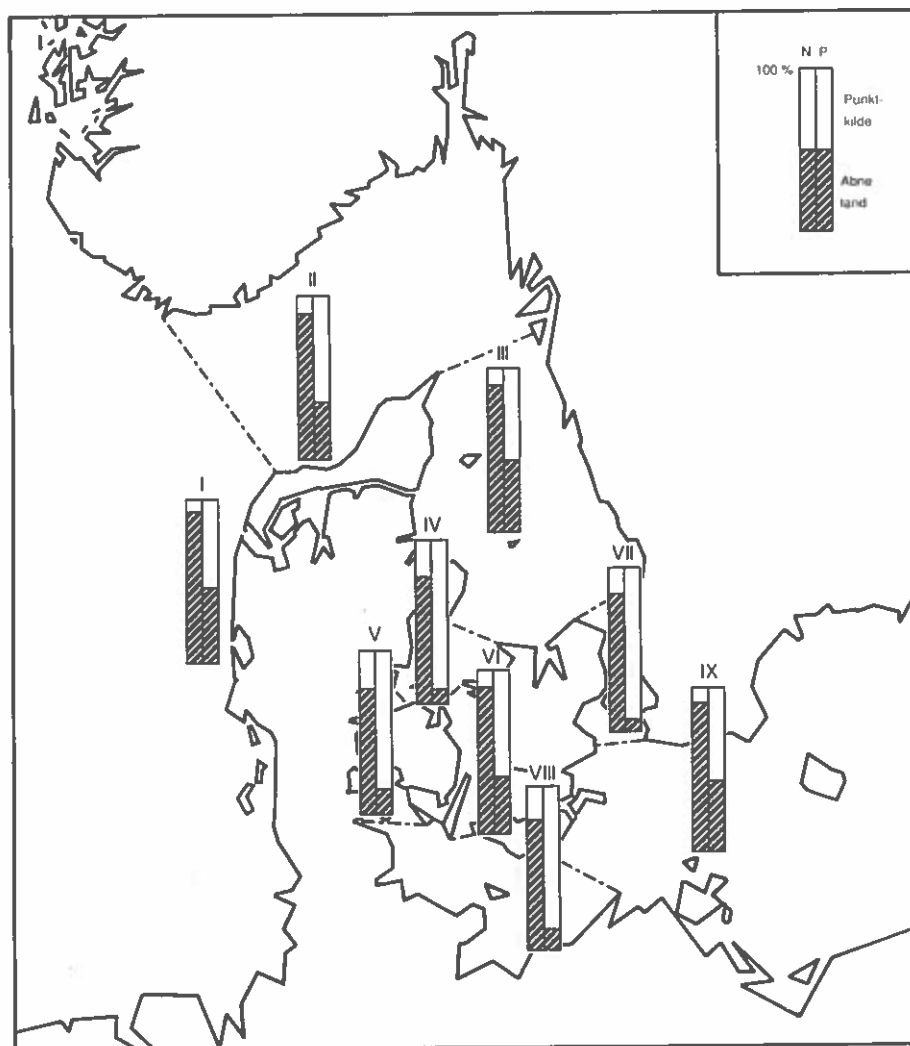


Figur 4.5: Arealcoefficenter for N og P i perioden 1981-89 fra 4 store vandløbsoplande. (----) middelværdien for perioden 1981-88.

vandløb vil give et bedre grundlag for at belyse år til år variationerne i tilførslen af N og P til havet.

#### 4.4 Tilførslen af kvælstof og fosfor fra det åbne land

Tilførslen af N og P til de 9 farvandsområder kan splittes i to bidrag. Bidrag fra punktkilderne og bidraget fra det åbne land. Hertil kommer bidraget fra den atmosfæriske deposition på ferskvandsarealet, der for både N og P totalt set er af mindre betydning, idet det udgør mindre end 1% af den totale tilførsel til havet. I figur 4.6 er



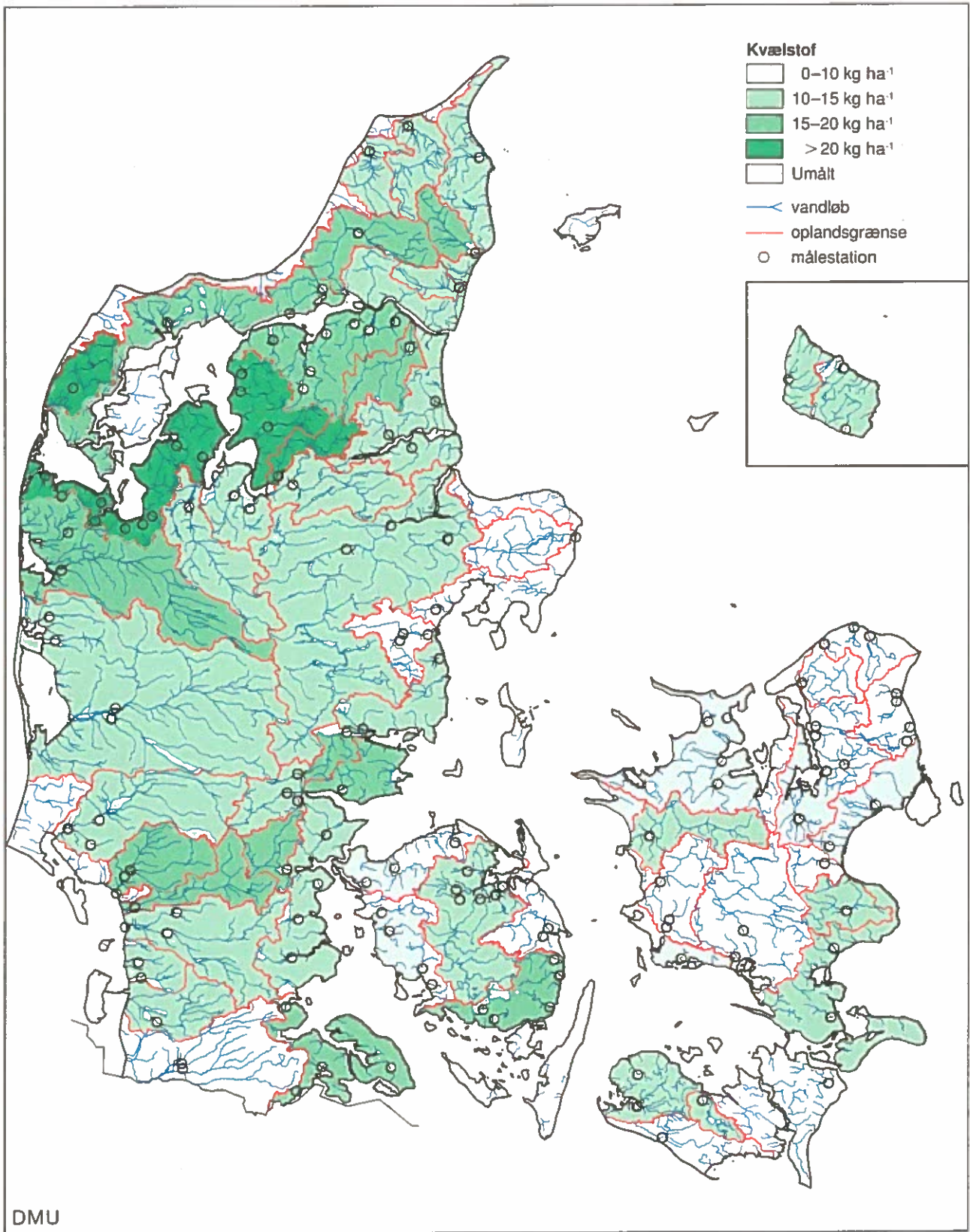
Figur 4.6: Den procentvise andel af kvælstof- og fosfortilførslen til de 9 farvandsområder, der stammer fra det åbne land og punktkilderne.

for N og P vist det procentiske bidrag fra punktkilder og det åbne land i oplandene til de 9 farvandsområder. Af den totale tilførsel til havet stammer ca. 88% af N-tilførslen fra det åbne land, mens 65% af P-tilførslen stammer fra punktkilder. Arealcoeffcienten for N og P fra det åbne land varierer fra region til region, som vist i tabel 4.2 og på kort 10 og 11. Størst er arealkoeffcienten for N fra de meget dyrkede oplande til eksempelvis Limfjorden. Arealcoeffcienten for P fra det åbne land varierer fra region til region med et stort arealbidrag i det nordvestlige Jylland og et meget lille fra Sjælland og Lolland /Falster (kort 11). Tilførslen af N og P fra det åbne land kan opsplittes i bidrag fra tre kilder: Spredt bebyggelse, baggrundsbidraget og landbrugsbidraget.

Farvandsområde		Arealcoeffcient for det åbne land	
nr.	navn	kvælstof	fosfor
		kg ha <sup>-1</sup>	
I	Nordsøen	13,0	0,26
II	Skagerrak	14,2	0,30
III	Kattegat	13,7	0,28
IV	Nordlige Bælthav	11,8	0,10
V	Lillebælt	12,4	0,16
VI	Storebælt	10,9	0,18
VII	Øresund	8,0	0,08
VIII	Sydlig Bælthav	8,7	<0,05
IX	Østersøen	13,4	0,20
Gennemsnit for Danmark		12,6	0,23

Tabel 4.2: Arealcoeffcienter for kvælstof og fosfor fra det åbne land i oplandene til de 9 farvandsområder og som gennemsnit for Danmark.



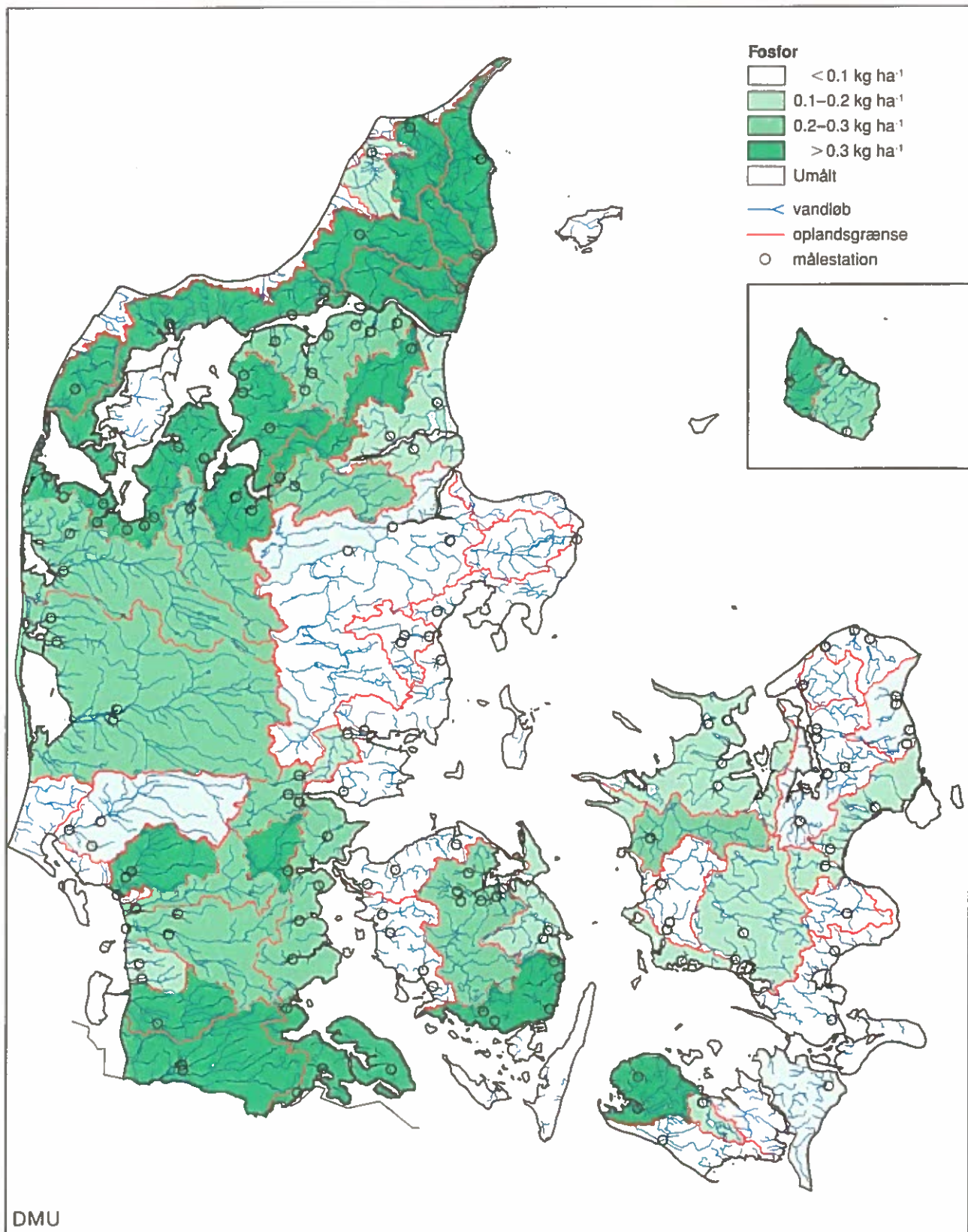


**KORT 10:** Arealkoefficienter af kvælstof fra det åbne land i danske vandløb 1989.

*The non-point export coefficients for nitrogen in Danish streams 1989.*





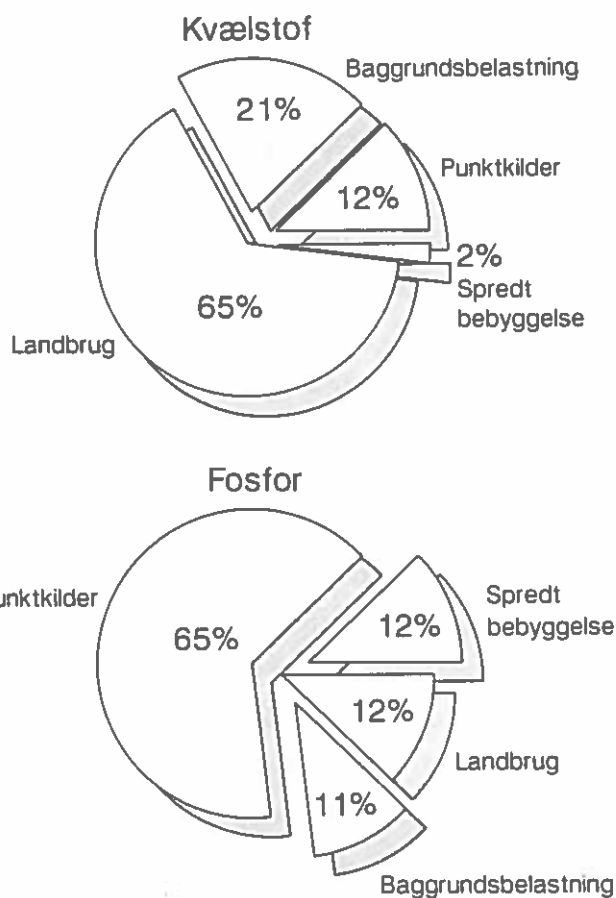


**KORT 11:** Arealcoefficenter af fosfor fra det åbne land i danske vandløb 1989.

*The non-point export coefficients for phosphorus in Danish streams 1989.*



N-belastningen fra spredt bebyggelse udgør maksimalt  $0.3 \text{ kg ha}^{-1}$  (Miljøstyrelsen, 1989). Baggrundsbelastningen af N beregnet ud fra den målte udvaskning fra naturarealer, var i 1989 i gennemsnit ca.  $3 \text{ kg ha}^{-1}$  (se kapitel 6). Herefter kan tilførslen af N fra landbruget beregnes til i 1989 at have udgjort ca. 40.000 ton svarende til ca. 65 % af den totale tilførsel til havet (figur 4.7).



Figur 4.7: Den procentvise andel af kvælstof- og fosfortilførslen til havet i 1989, der stammer fra punktkilderne, spredt bebyggelse, baggrundsbelastningen og landbruget.

P-belastningen fra spredt bebyggelse er anslået til  $0.08 \text{ kg ha}^{-1}$ . Baggrundsbelastningen af P opgjort ud fra den målte udvaskning fra naturarealerne var i 1989 i gennemsnit ca.  $0.07 \text{ kg ha}^{-1}$  (se kapitel 6). Herefter kan tilførslen af P fra landbruget i 1989 beregnes til at have udgjort ca. 340 ton, svarende til ca. 12% af den samlede tilførsel til havet (figur 4.7).

#### 4.5 Diskussion og sammenfatning

Den samlede tilførsel af N og P fra de danske vandløb til havet omkring Danmark var i 1989 ca. 62.000 ton N og ca. 2.900 ton P. For henholdsvis N og P tilførtes 28% og 24% til Nordsøen og Skagerrak 69% og 74% til Kattegat og Bælthavet samt 3% og 2% til Østersøen. På grund af usædvanlige klimatiske forhold i 1989 var tilførslen af N og P unormalt lille. I et "normalt" år, det vil sige i forhold til gennemsnittet i perioden 1981-88 er tilførslen til havet beregnet til omkring 110.000 ton N og 4.200 ton P.

I 1989 udgjorde landbrugets andel af N-tilførslen til havet ca. 65%, mens det tilsvarende tal for P er ca. 12%. Punktkilderne udgjorde i 1989 tilsvarende ca. 12% af N-tilførslen og ca. 65% af P-tilførslen. I et normalt år vil landbrugets andel af N og P-tilførslen til havet stige. Under forudsætning af samme N-udledning fra punktkilder og spredt bebyggelse som i 1989 og en baggrundsbelastning på  $5 \text{ kg N ha}^{-1}$  i et "normalt" år (Miljøstyrelsen, 1989), vil landbrugets andel af den samlede tilførsel til havet af N udgøre omkring 72%. Den samme beregning er for P gennemført ved antagelse af samme udledning fra punktkilder som i 1989, en udledning fra spredt bebyggelse på mellem  $0.08$  og  $0.11 \text{ kg P ha}^{-1}$  og en baggrundsbelastning på  $0.1 \text{ kg P ha}^{-1}$  (Miljøstyrelsen, 1988). Landbrugets andel af P-tilførslen til havet vil i

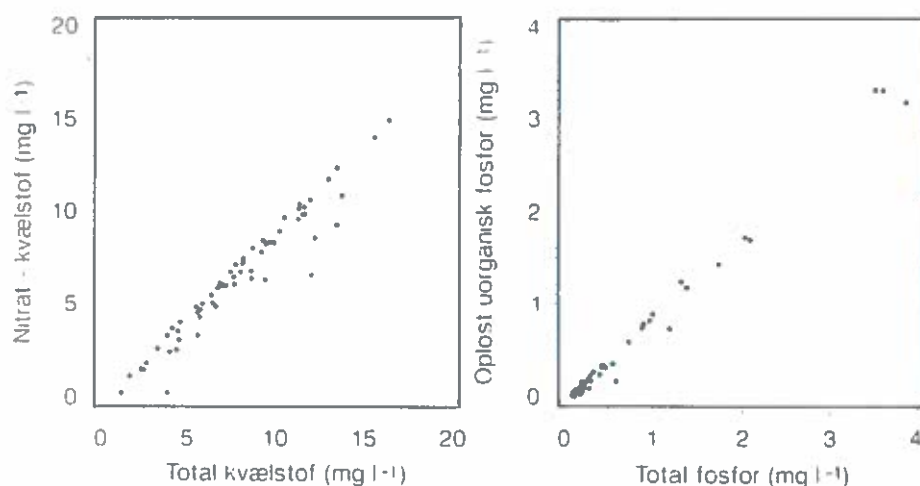
et "normalt" år udgøre 21-24%.

Arealkoefficienten for N er i et "normalt" år, 26 kg ha<sup>-1</sup> hvilket stemmer godt overens med tidligere publicerede værdier (Kronvang og Thyssen, 1987). Tilsvarende stemmer de fundne værdier for landbrugets andel af P-tilførslen i et "normalt" år, nemlig 0.32-0.36 kg ha<sup>-1</sup>, godt overens med værdierne givet i fosforrederegørelsen (0.2-0.4 kg ha<sup>-1</sup>) (Miljøstyrelsen, 1988).

I Danmark udgør landbrugsbidraget i et "normalt" år ca. 28 kg N pr. hektar dyrket areal. De tilsvarende tal er for Sverige 14 kg N ha<sup>-1</sup> (Löfgren og Ollson, 1990) og for Finland 8-17 kg ha<sup>-1</sup> (Rekolainen, 1990). Udvasningen af N fra landbrugsarealerne er således væsentlig større i Danmark end i Sverige og Finland hvilket kan forklares ved en meget stor forskel i gødningsforbrug. I Danmark var forbruget af N i handelsgødning i 1986/87 pr. hektar dyrket areal således omkring det dobbelte af forbruget i Sverige og ca. 65% større end i Finland (Nordisk Ministerråd og Nordisk Statistisk Sekretariat, 1990).

Arealkoefficienten for N og P udviser en stor geografisk variation. Generelt er arealkoefficienten for N og især P lille fra oplande med større søer, på grund af tilbageholdelsen i disse. Desuden kan effekten af en meget lille afstrømning, i specielt sommerperioden, tydeligt spores i transporten af N på Sjælland i samme periode (se figur 4.4). For P er der på årsbasis tale om de samme tendenser, især i det nordøstlige Sjælland, hvor arealkoefficienten for P fra det åbne land er meget lille (se kort 10). Det meget lave afstrømningsniveau i vandløbene i 1989 gav således optimale betingelser for stoftilbageholdelse og stoffjernelse. Disse processer har kompliceret tolkningen af resultaterne især i

disse regioner. Undersøgelser har således vist at transporten af P i vandløb normalt underestimeres og at denne tendens er mere udtalt i tørre end i våde år og i vandløb med store fluktuationer i afstrømning som eksempelvis de Sjællandske (Bruhn og Kronvang, 1990).



Figur 4.8: Sammenhænge mellem de vandføringsvægtede årsmiddelkoncentrationer af total kvælstof og nitrat-kvælstof, samt total fosfor og opløst orthofosfat-fosfor fra de nationale vandløbsstationer.

Af de totale mængder N og P, der tilføres havet via vandløb er især de uorganiske forbindelser direkte tilgængelige for den biologiske produktion. I 1989 udgjorde nitrat-N ca. 83% af den totale N-afstrømning og opløst uorganisk fosfat-P ca. 86% af den totale P-afstrømning (figur 4.8). Det er således i 1989 langt hovedparten af det tilførte N og P, der er umiddelbart tilgængeligt. I et normalt år vil forholdet være omtrent det samme for N, mens der for P må forventes at være en mindre procentvis andel, der er på direkte tilgængelig form.

## 5. KILDER OG KILDEBÆKKE

En stor del af vandet i vore vandløb og søer stammer fra grundvand, der enten siver ud fra vådområder eller stammer fra kildevæld. Den kemiske kvalitet af dette grundvand er derfor en del af det grundlag, der bestemmer basis- eller baggrundskvaliteten af de nedstrømsbeliggende recipienter. Der er stor forskel på naturlige kilders vandkemi, idet både geologiske, klimatiske og menneskeskabte forhold spiller ind. En landsdækkende overvågning af kilder vil afdække disse forskelle og dermed bidrage til en vurdering af den basistilstand, der ville være i søer og vandløb, hvis man fjernede alle andre diffuse og punktformige tilførsler. Vandføringen og stofkoncentrationerne i vandet fra de enkelte kildevæld er i reglen stabile over lange perioder. En langtidsovervågning af de enkelte stoffer vil derfor kunne afsløre eventuelle udviklingstendenser. I dette kapitel er den nuværende status og nogle eksempler på udviklingstendenser beskrevet.

### 5.1 Datagrundlag

Nogle amter har i 1989 undersøgt flere kilder for senere at vælge de bedst egnede, og enkelte amter har reduceret antallet, fordi nogle af de valgte kilder viste sig at være uegnede til overvågning. Resultatet er, at datagrundlaget for 1989 er 60 kildelokaliteter fordelt geografisk som vist på figur 5.1. Udviklingstendenser er vurderet ud fra målinger foretaget af Nordjyllands amt, Århus amt og Danmarks Miljøundersøgelser.

Da vandkvaliteten i de fleste kilder varierer meget lidt fra prøvetagning til prøvetagning, er en frekvens på 4 prøver om året anset for til-





**Figur 5.1:** Den geografiske beliggenhed af kilderne i Overvågningsprogrammet. Såfremt flere kilder er tæt beliggende, angiver et tal, hvor mange der ligger inden for trekanten.

strækkelig til en karakterisering af vandkvaliteten samt til analyse af tidsserier. Prøverne er analyseret for en række fysiske og kemiske variable (tabel 1.1). Da nitritkoncentrationen i kildevand altid har vist sig at være betydningsløs i sammenligning med nitrat (Danmarks Miljøundersøgelser, upublicerede resultater), vil der i dette kapitel kun blive anvendt ordet nitrat, selv om nitritindholdet også kan være inkluderet.

Der er sjældent foretaget præcise afgrænsninger af grundvandsoplande til kilder. I stedet for at anføre en kildes topografiske oplandsareal eller et beregnet grundvandsoplands areal er der kun registreret kildeafløbets vandføring. Som rettesnor for en vurdering af oplandets omtrentlige udstrækning kan f.eks. benyttes den gennemsnitlige normalafstrømning (1931-1960) i de forskellige landsdele (ATV 1963):

Jylland	340mm ~ 11 l s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup>
Fyn	220mm ~ 7 l s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup>
Sjælland	170mm ~ 5 l s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup>

Naturarealer defineres som skovarealer og udyrkede arealer. Dyrkede arealer kan foruden landbrugsarealer omfatte mindre landsbyer og spredt bebyggelse. Da det ikke er muligt at angive dyrkningsgraden nøjagtigt på grund af den ofte upræcise viden om grundvandsoplandets beliggenhed, er der kun valgt to hovedgrupper: (I) Naturopland, hvor mindst 90% af arealet er udyrket eller skov (II) Dyrket opland, hvor mindst 10% af arealet er dyrket. Årsagen til, at der ikke er valgt f.eks. 50% - 50% er, at selv en ringe dyrkningsgrad kan have stor indflydelse. Med hensyn til arealanvendelse er der generelt overvægt af kilder, hvis grundvandsoplande formodes at omfatte dyrkede arealer og eventuelt mindre landsbyer og spredt bebyggelse (tabel 5.1).

Med hensyn til jordtype er der valgt to hovedgrupper: (I) Sandjorde omfattende grovsandet, finsandet og lerblandet sandjord (FK 1-3) (II) Lerjorde omfattende sandblandet ler og lerjord (FK 4-5). Svær lerjord (FK6) er ikke repræsenteret.

		<u>Arealanvendelse</u>		<u>Dominerende jordtype</u>		
		Natur	Dyrket	Sand (FK 1-3)	ler (FK 4-5)	ukendt
Jylland	37	8	29	33	4	
Øerne	23	6	17	7	13	3
<b>Total</b>	<b>60</b>	<b>14</b>	<b>46</b>	<b>40</b>	<b>17</b>	<b>3</b>

**Tabel 5.1:** Inddeling af kildestationer efter geografisk beliggenhed, arealanvendelse og dominerende jordtype. Da det oftest er vanskeligt at angive den præcise beliggenhed af et kildefelts grundvandsopland, er det for nogle af kilderne et skøn, om oplandet helt overvejende (90%) er natur, eller om mindst 10% af oplandet er dyrket.

## 5.2 Vandkvaliteten i kilder og kildebække, status 1989 og udviklingstendenser.

Såvel vandføring som vandkvaliteten varierer generelt meget fra kilde til kilde i de 60 overvågningskilder (tabel 5.2 og 5.3). De 37 jyske kilder har gennemgående store vandføringer med en medianværdi på 4 l s<sup>-1</sup>. De 23 kilder på Øerne har en langt mindre vandføring med en medianværdi på 0,3 l s<sup>-1</sup>. Der er også andre iøjnefaldende forskelle mellem de jyske kilder og kilderne på Øerne. Nitrat- og fosforkoncentrationerne er gennemgående højere i Jylland, mens alkaliniteten og konduktiviteten er højere på Øerne. En høj alkalinitet afspejler højt kalkindhold i jordbunden, og konduktiviteten er et mål for det samlede indhold af opløste salte. Da sandjorde har overvægt i Jylland og lerjorde på Øerne (kort 2), bliver fordelingen efter jordtype omtrent den samme som efter den geografiske beliggenhed.

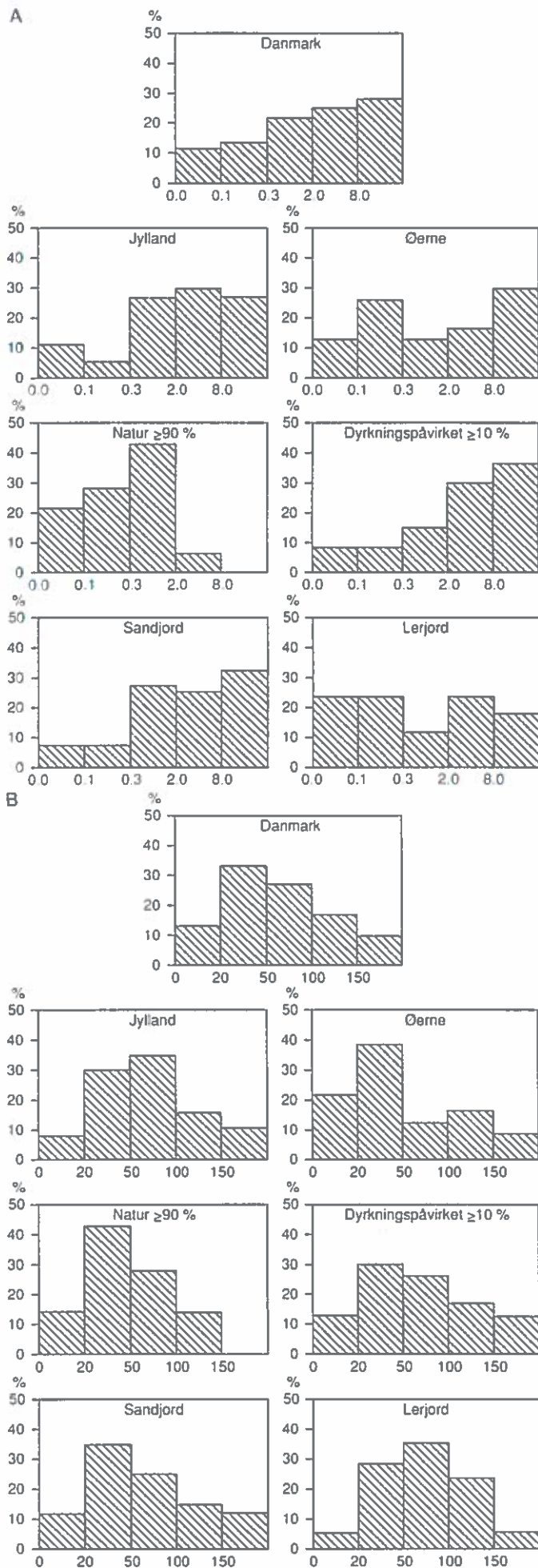
	Median	Variation
Vandføring, l s <sup>-1</sup>	2	0,01 - 150
Nitrat-N, mg l <sup>-1</sup>	2,8	0,01 - 21
Total P, mg l <sup>-1</sup>	0,056	0,003 - 0,56
Opl. fosfat-P, mg l <sup>-1</sup>	0,027	0,002 - 0,18
Alkalinitet, mmol l <sup>-1</sup>	2,4	0,1 - 7,4
pH	7,4	7,1 - 8,1
Konduktivitet, mS m <sup>-1</sup>	51	14 - 95

Tabel 5.2: Medianværdien og variationen for udvalgte variable i 60 kilder i 1989.

	Geografisk beliggenhed		Arealanvendelse		Dominerende jordtype	
	Jylland	Øerne	Natur	Dyrket	Sand	Ler
Antal kilder	37	23	14	46	40	17
Vandføring l s <sup>-1</sup>	4	0,3	4	2	3	1
Nitrat-N, mg l <sup>-1</sup>	3,6	0,73	0,35	4,0	3,6	0,31
Total P mg l <sup>-1</sup>	0,073	0,035	0,036	0,060	0,056	0,060
Opløst Fosfat-P mg l <sup>-1</sup>	0,038	0,016	0,022	0,029	0,032	0,028
Alkalinitet mmol l <sup>-1</sup>	1,6	4,5	2,5	2,1	1,6	4,7
pH	7,3	7,5	7,4	7,4	7,3	7,4
Konduktivitet mS m <sup>-1</sup>	38	64	46	51	39	64

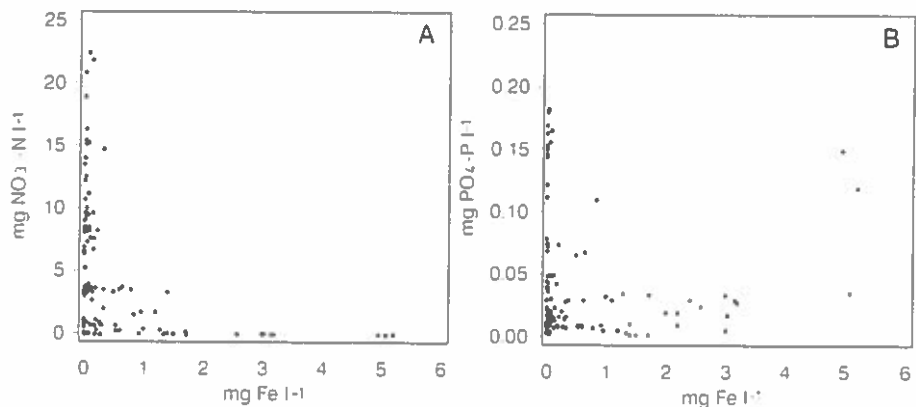
Tabel 5.3: Medianværdier for vandføring og kemiske variable i Overvågningsprogrammets kilder for 1989, fordelt efter geografisk beliggenhed, efter arealanvendelse og efter dominerende jordtype.

Arealanvendelsen har især stor indflydelse på nitratkoncentrationsniveauet. Det ses tydeligt af fordelingsmønstret i figur 5.2, at ca. 90% af kilderne i naturarealer indeholder mindre end 2 mg nitrat-N l<sup>-1</sup>. For total P er billedet ikke så markant, men der er dog forskel på fordelingsmønstret. I de dyrkningspåvirkede arealer er der således i reglen højere koncentrationer end i naturarealerne (figur 5.2).



Figur 5.2: Forde-  
ling af koncen-  
trationen af ni-  
trat (A), mg N  
l<sup>-1</sup> og total P  
(B), µg P l<sup>-1</sup> i  
overvågningskil-  
derne efter geo-  
grafisk beliggen-  
hed, arealanven-  
delse og domine-  
rende jordtype.

Forekomst af jern (okker) i kildevand influerer på indholdet af nitrat og opløst fosfat (figur 5.3). Høje koncentrationer af jern medfører lave nitratkoncentrationer, fordi ferrojern i grundvand reducerer nitrat til frit kvælstof. Også indholdet af opløst fosfat er oftest lavt i okkerholdige kilder, fordi fosforet bindes til okkerpartikler (Rebsdorf & Thyssen 1986; Andersen, Nordemann & Bach 1990).

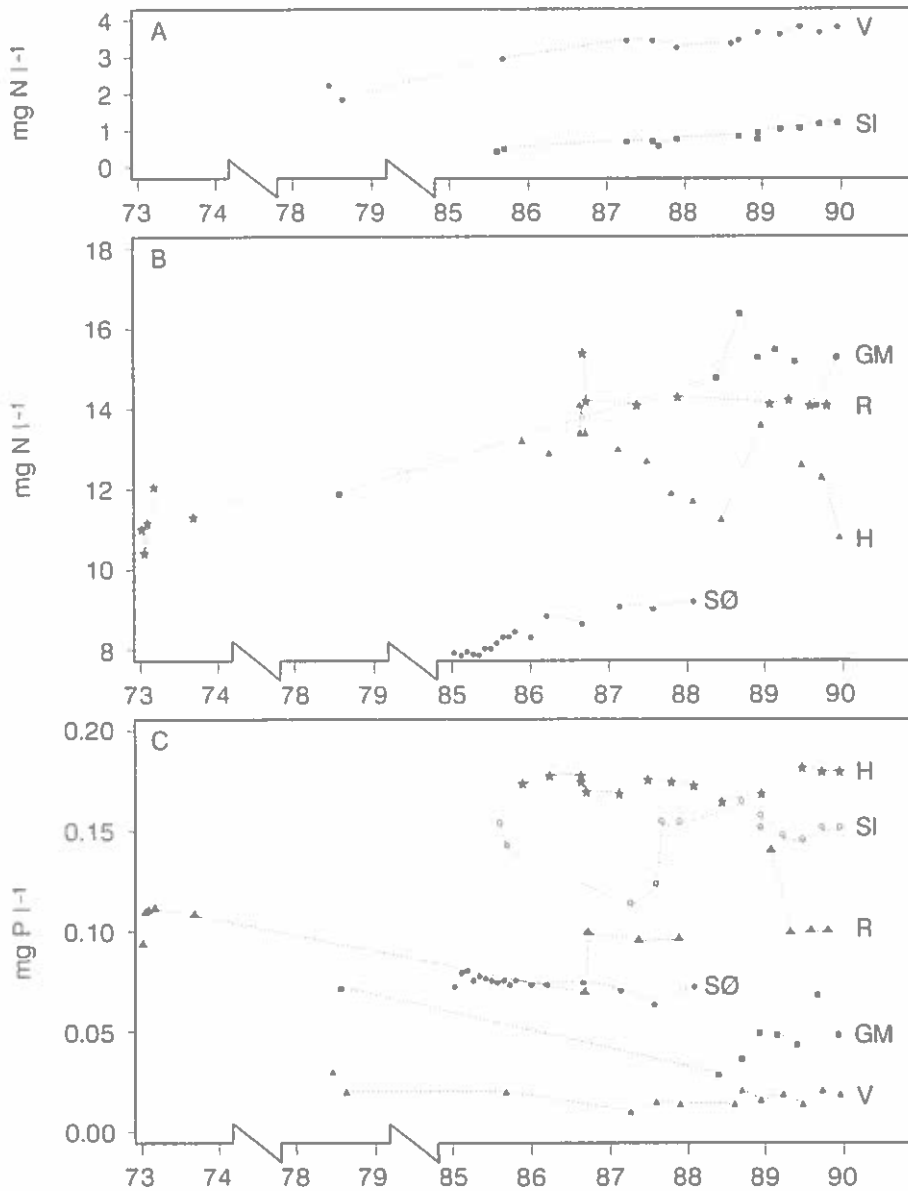


**Figur 5.3:** Relationen mellem koncentrationen af total-jern og henholdsvis nitrat (A) og opløst fosfat (B) i kilderne.

Koncentrationen af nitrat er steget i 5 af ialt 6 kilder, hvorfra der findes længere tidsserier (figur 5.4). Den årlige stigning er omkring 0,2 mg nitrat-N l<sup>-1</sup> og tilsyneladende uafhængig af det gennemsnitlige niveau. I en enkelt kilde (Helligkilde ved Ravn sø) er der konstateret faldende tendens i to perioder, men med en pludselig stigning i slutningen af 1988, således at der for de to perioder sammenlagt ikke er nogen tendens.

For udviklingen i fosfat (figur 5.4) er billedet mere uensartet, og for de 6 samme kilder som ovenfor kan der ikke konstateres en fælles udvik-

V	Kilde v. Vrads dambrug (1)	} Naturarealer
SI	Sillerup Væld (1)	
GM	Kilde v. Gl. Mølle (1)	} Dyrkede arealer
R	St. 2 i Rold kildefelt (2, 3)	
H	Helligkilde v. Ravn sø (1, 3)	
SØ	Kilde v. Søbygård sø (3)	



Figur 5.4: Det tidsmæssige forløb i koncentrationen af nitrat (A og B) og opløst fosfat (C) i seks jyske kilder fra 1973-1989.

- (1) Data fra Århus amt
- (2) Data fra Nordjyllands amt
- (3) Data fra Danmarks Miljøundersøgelser

lingstendens. I nogle kilder er der muligvis et fald, og i andre en stigning eller uændrede koncentrationsforhold.

### 5.3 Diskussion og sammenfatning

Tidligere undersøgelser af den kemiske vandkvalitet i jyske kilder (Rebsdorf & Thyssen 1986; Andersen, Nordemann & Bach 1990) har vist en meget stor variation såvel med hensyn til den generelle karakterisering (pH, opløste salte, jernindholdet) som med hensyn til koncentrationerne af N og P. Det samme er tilfældet i nærværende landsdækkende undersøgelse, hvor især nitratindholdet er tydelig korreleret med arealanvendelsen (figur 5.2 og tabel 5.3).

Det har tidligere været diskuteret, hvorfra de ofte høje koncentrationer af P i kildevandet stammer (Miljøstyrelsen, 1988). Mens nitratindholdet som nævnt oftest er godt korreleret med dyrkningsgraden, gælder det samme ikke for fosfatindholdet (Andersen, Nordemann & Bach 1990), idet man undertiden også finder højt fosfatindhold i kilder i naturarealer. I tabel 5.4 er vist en sammenligning mellem resultaterne af 4 kildeundersøgelser: Overvågningsprogrammet 1989, Århus amts kildeundersøgelse samt 2 datasæt fra Danmarks Miljøundersøgelser. Endvidere er til sammenligning anført resultaterne fra Overvågningsprogrammets vandløb i referenceoplande og dyrkningspåvirkede oplande. Medianværdierne og det gennemsnitlige niveau for total P ses gennemgående at være en del højere i dyrkede arealer end i naturarealer. I kilder i dyrkede arealer ligger niveauet på 0,06-0,1 mg P l<sup>-1</sup>, mens det i naturarealer ligger på 0,03-0,06 mg l<sup>-1</sup>. For alle kilder er det samlede gennemsnit omkring 0,06-0,08 mg l<sup>-1</sup>. Det fremgår bl.a. af tabellen, at der kan være temmelig stor forskel på



	Alle kilder		Naturarealer		Dyrkningspåvirkede arealer	
	n	Konc.	n	Konc.	n	Konc.
Overvågning <sup>1)</sup> gennemsnit median	60	0,077 0,056	14	0,057 0,029	46	0,083 0,060
Århus amt <sup>2)</sup> gennemsnit median	42	0,065 0,054	12	0,060 0,052	30	0,066 0,054
Jyske kilder <sup>3)</sup> gennemsnit	63	0,062	23	0,030	40	0,096
Jyske kilder <sup>4)</sup> gennemsnit median	130	0,069 0,078	37	0,036 0,026	98	0,081 0,090
Vandløb <sup>5)</sup> gennemsnit median			8	0,055 0,050	50	0,210 0,145

Tabel 5.4: Gennemsnits- og mediankoncentrationer af total P (mg P l<sup>-1</sup>) fra 4 kildeundersøgelser og 1 vandløbsundersøgelse:

- 1) Overvågningsprogrammet 1989 for 60 kilder
- 2) Århus amts kildeundersøgelse 1988 (Andersen, Nordemann & Bach, 1990)
- 3) Foreløbige resultater af en undersøgelse af jyske kilder 1985-86 (Rebsdorf & Thyssen, 1986)
- 4) Ovennævnte undersøgelse suppleret med nyere data (Danmarks Miljøundersøgelser, upublicerede resultater)
- 5) Vandløb i referenceoplande (naturarealer) og dyrkningspåvirkede oplande (tabel 6.1 og 6.2).

et gennemsnitstal og den tilsvarende medianværdi. Det er tilfældet, når koncentrationsværdierne er skævt fordelt, det gælder f.eks. total P i kilder i naturarealer, hvor der er mange meget lave koncentrationer og kun et lille antal med høje koncentrationer (figur 5.2). Da der er overvægt af lave koncentrationer af P i kilder i naturarealer, mens de er forskudt mod højere værdier i dyrk-

ningspåvirkede, har det været diskuteret, om denne forskel skyldes gødskning og/eller nedsivning af spildevand og møddingsvand, eller der er en naturbetinget forskel mellem de oftest sandede naturarealer og de mere ler- og kalkholdige jordbrugsarealer. At der kan være naturbetingede forskelle, sandsynliggøres af, at der findes eksempler på kilder i udyrkede områder, som har et højt P-indhold. Således indeholder Sillerup væld i Århus amt ca. 0,15 mg total P l<sup>-1</sup>, svarende til en arealkoefficient på ca. 0,5 kg P ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>, hvilket er langt højere, end man skulle forvente fra udyrkede arealer eller skovområder. Ud fra det generelle billede er koncentrationen af P dog i reglen lavere i kilder i naturarealer end i kilder i dyrkningspåvirkede arealer.

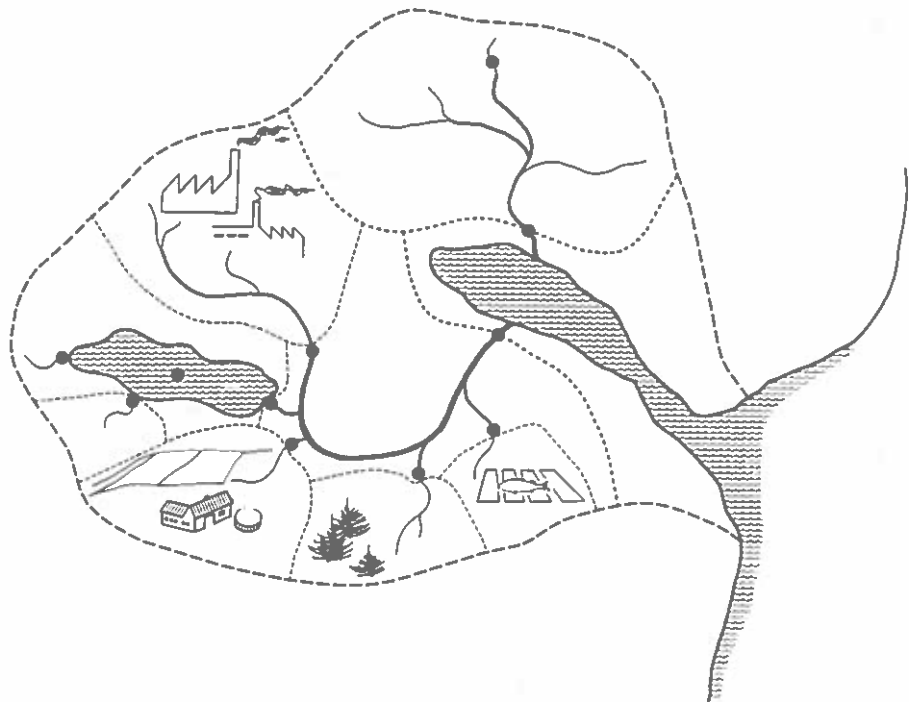
Der er konstateret en stigning i nitratkoncentrationen i 5 ud af 6 undersøgte jyske kilder (figur 5.5). To af dem (Sillerup væld og Vrads dambrug) afvander naturarealer og skov. Det vil sige, at stigningen i disse kilder næppe kan tilskrives gødskning i oplandet, men muligvis atmosfærisk deposition af N-forbindelser. De øvrige tre kilder med stigende tendens ligger i dyrkningspåvirkede områder, hvor det generelle niveau også er flere gange højere end i de to førstnævnte kilder. En af de seks kilder har tilsyneladende haft en faldende tendens i de tre første undersøgelsesår, derefter en kortvarig stigning efterfulgt af fald i de seneste målinger. Hvorvidt dette mønster har sammenhæng med dyrkningsforholdene i oplandet, vides ikke. I modsætning til nitrat kan der ikke ses nogen fælles tendens i fosfatkoncentrationerne i de 6 kilder (figur 5.4).



## 6. STOFTRANSPORT OG -KONCENTRATION I DANSKE VANDLØB

For alle Overvågningsprogrammets vandløbsstationer er der foretaget beskrivelse af jordtype og arealudnyttelse, f.eks. dyrkningsgrad og skovareal, i oplandet. Endvidere er der foretaget opgørelse af de forskellige punktkilders udledninger af næringsstoffer. Der foreligger således et godt datamateriale, som sammen med de målte stoftransporter og -koncentrationer kan belyse de forskellige samfundssektorerers påvirkning af vandløbene.

I dette kapitel vil påvirkningen fra landbrug, dambrug og renseanlæg mht. stoftransport og koncentration blive vurderet.



Figur 6.1: De forskellige oplandstyper (typeoplande).

## 6.1 Datagrundlag

Datagrundlaget omfatter alle vandløbsstationer med undtagelse af 14 stationer i afløb eller nedstrøms større søer. Ialt indgår 250 vandløbsstationer i analysen i dette kapitel (kort 12).

Fra disse stationer er anvendt oplysninger om stoftransport, koncentration, jordtype og arealudnyttelse i oplandet samt udledninger af næringsstoffer fra punktkilder.

### **Stoftransport og -koncentration**

I analysen indgår afstrømning, stoftransport og arealkoefficienter, dvs. stoftransport fra én hektar, for kalenderåret 1989.

Arealkoefficienterne af N og P gør det muligt at sammenligne forskellige oplandstyper. Arealkoefficienterne afhænger af afstrømning og stofkoncentrationen, således at samme arealkoefficient kan optræde ved hhv. lav koncentration og stor afstrømning og ved høj koncentration og lille afstrømning.

Derfor er der også foretaget en sammenligning af gennemsnitskoncentrationerne.

Den vandføringsvægtede koncentration beskriver den gennemsnitlige koncentration som søer, fjorde og kystnære områder vil blive påvirket af. Den vandføringsvægtede koncentration er beregnet som årlig stoftransport divideret med årsafstrømning. Årsmiddelkoncentrationen er det tidsvægtede gennemsnit, det vil sige det gennemsnit, der fremkommer ved jævn fordeling af prøvetagningen over året.

## Jordtype og arealudnyttelse

Jordtypefordelingen i oplandene er opgjort af amterne ud fra den jordbundskortlægning som blev udført i perioden 1977-78 af Landbrugsministeriets Afdeling for Arealdata og Kortlægning. Jordtypeklassificeringen er et udtryk for den dominerende jordtype i 0-20 cm's dybde i det dyrkede areal. Der er skelnet mellem jorde med overvejende sandjord (FK1-FK3) og jorde med overvejende lerjord (FK4-FK6).

Arealudnyttelsen i oplandene er opgjort af amterne ud fra den landsdækkende arealanvendelseskortlægning som Landbrugsministeriets Afdeling for Arealdata og Kortlægning foretog i 1974-81. Der er foretaget inddeling i dyrket areal, skovareal, byzone og ferskvandsareal. Det angivne dyrkede areal er 11-29% større end det egentligt dyrkede areal, da bl.a. en række naturområder er medtaget. Det har ikke været muligt at korrigere arealet til det egentlig dyrkede areal.

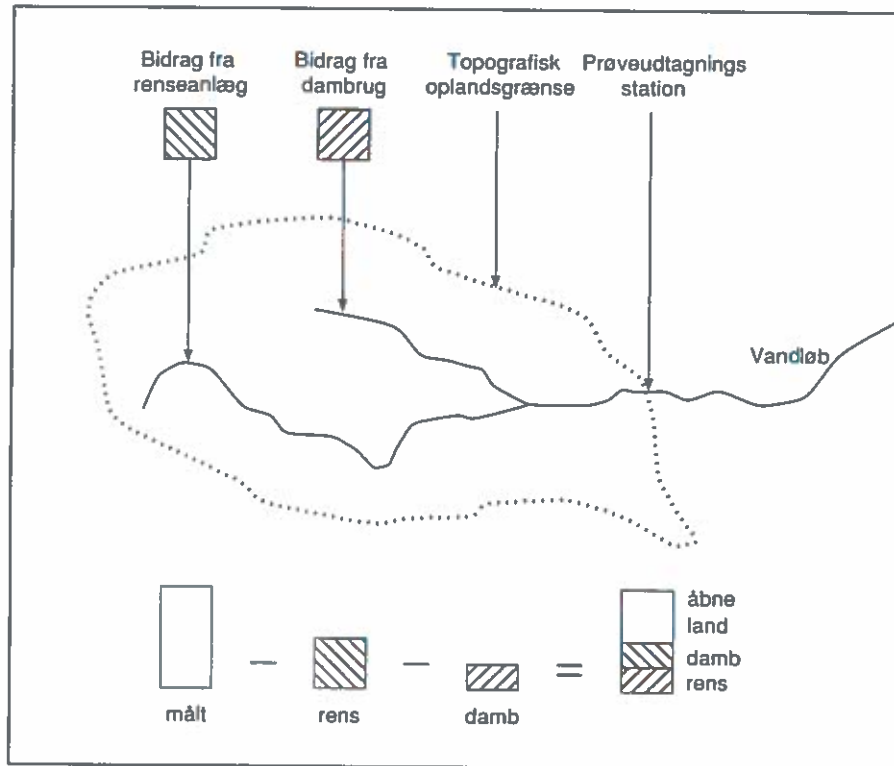
## Belastning fra punktkilder

Mængden af N og P udledt fra renseanlæg, industri og dambrug er opgjort enten ud fra aktuelle målinger eller ud fra erfaringstal.

Bidraget fra det åbne land er beregnet som differensen mellem den målte transport og udledninger fra punktkilder. På figur 6.2 ses princippet i kildeopsplitningen.

Denne beregningsmetode forudsætter, at der ikke sker tab eller tilbageholdelse af stoffer i vandløbssystemet opstrøms målestationen. Herved un-

dervurderes udledningerne fra det åbne land. Dette gælder især i 1989 p.g.a. den beskedne afstrømning.



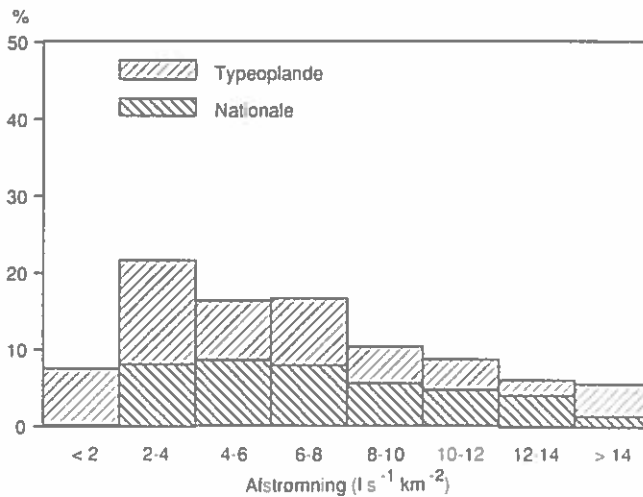
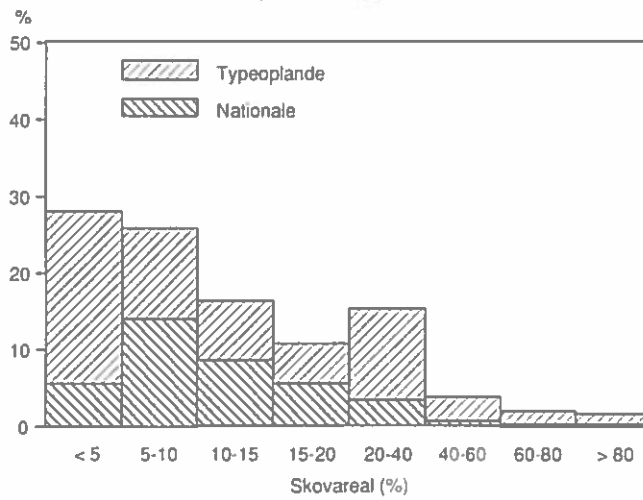
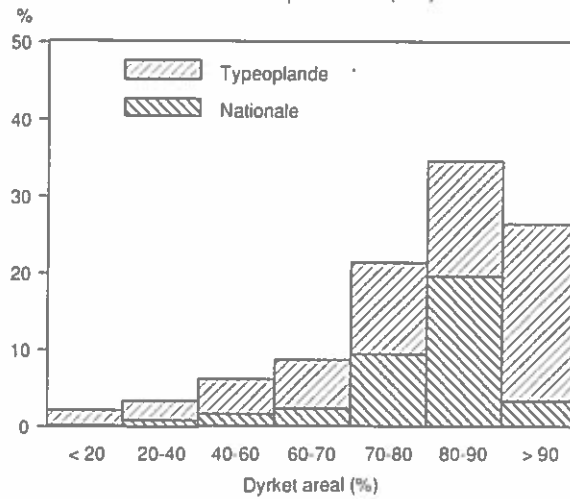
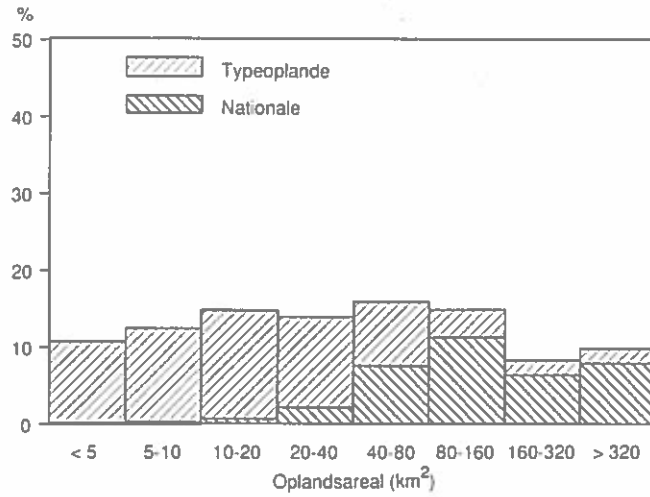
Figur 6.2: Principskitse for kildeopsplitning.

Det åbne lands bidrag består af tilførsler fra naturarealer, fra det dyrkede land, fra gårde og øvrige spredt bebyggelse.

## 6.2 Beskrivelse af overvågningsvandløbene

I det følgende foretages en beskrivelse af samtlige 250 vandløbsoplande. Der er skelnet mellem stationer, der også indgår i det nationale net, og stationer, som kun anvendes som typeoplande. Den vigtigste forskel mellem de to grupper er at de nationale stationer generelt har et større oplandsareal. Herved illustreres en række karakteristika for både store og små vandløb.

Det topografiske opland til de 250 vandløbsstationer varierer fra mindre end 5 km<sup>2</sup> til mere end



Figur 6.3:  
Procentfordeling  
af vandløbenes  
topografiske op-  
landsareal, %  
dyrket areal, %  
skovareal og  
vandafstrømning.  
n=250.



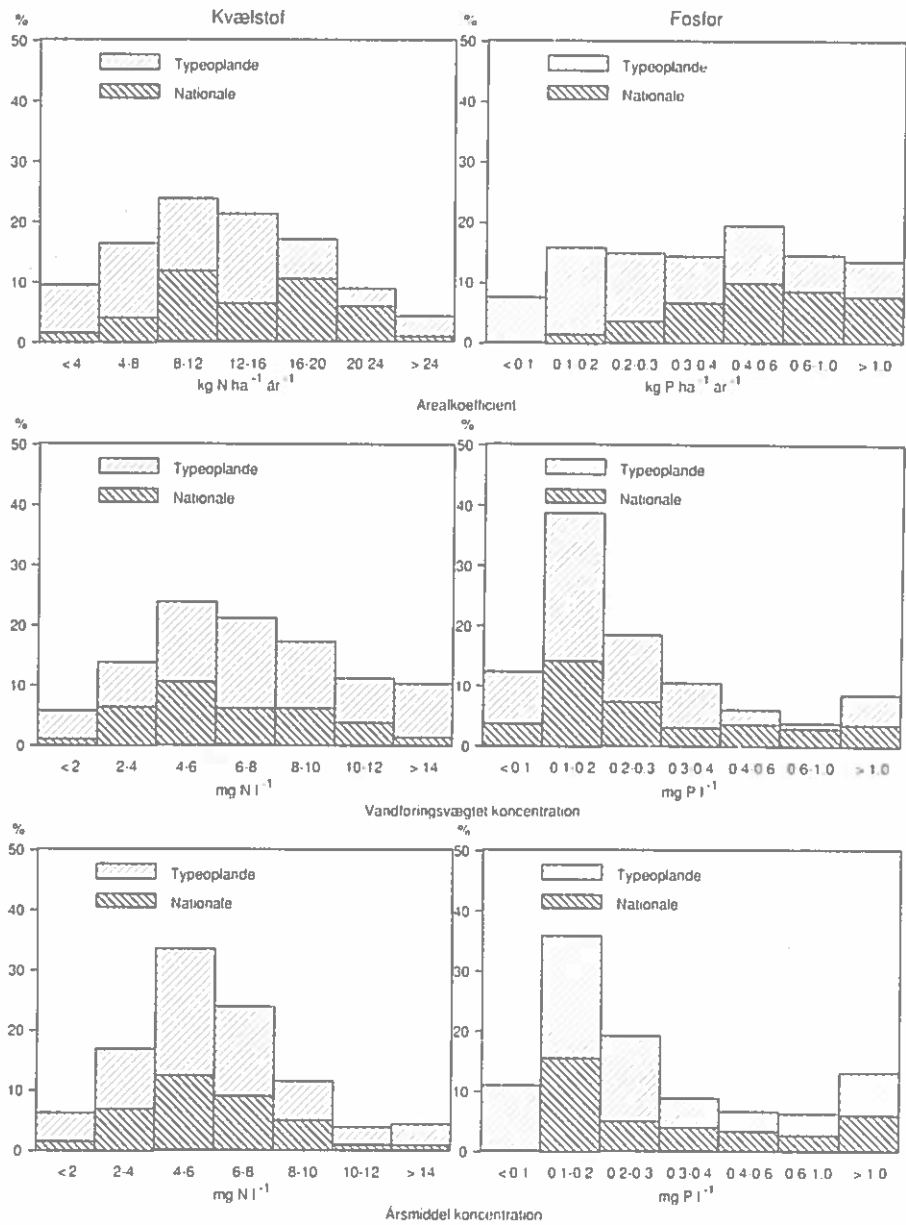
1000 km<sup>2</sup> (figur 6.3). Typeoplandene har overvejende oplandsarealer mindre end 60 km<sup>2</sup>, mens de nationale stationer generelt har oplandsarealer større end 100 km<sup>2</sup>.

I hovedparten af vandløbsoplandene er mere end 70% af arealet klassificeret som dyrket areal, mens skovarealet i de fleste oplande er mindre end 20% (figur 6.3).

Afstrømningen varierede generelt mellem 2 og 14 l s<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup> (figur 6.3). Enkelte vandløb havde afstrømninger mindre end 2 og nogle større end 14 l s<sup>-1</sup> km<sup>2</sup>. Variationen skyldes dels den regionale variation i nedbør, jf. kapitel 3, men afspejler også, at det topografiske opland ikke altid er lig med afstrømningsoplandet, d.v.s. at vandløb med lille afstrømning i forhold til regionen som helhed sikkert har et mindre afstrømningsopland end det topografiske opland.

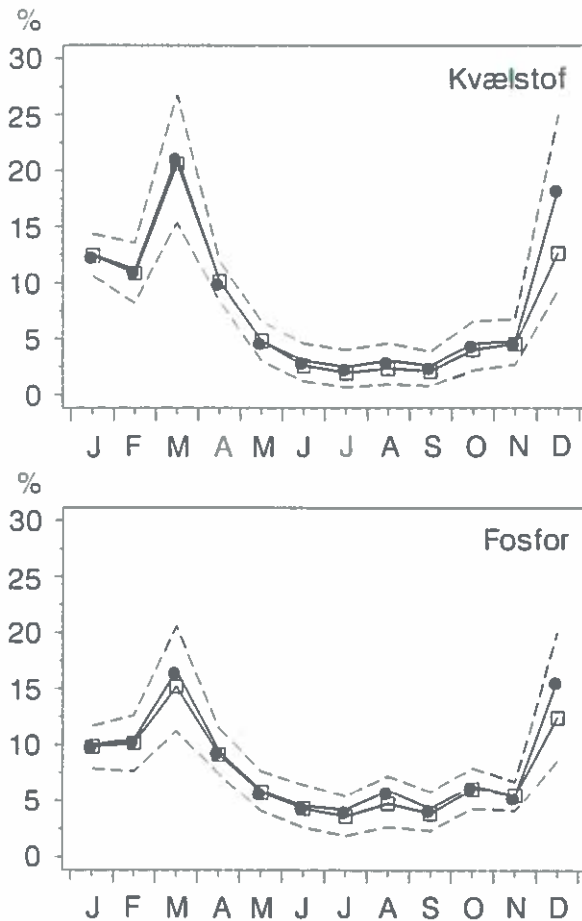
Arealkoefficienten af N i 1989 var fra mange af oplandene mellem 8-16 kg N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> (figur 6.4), og i de fleste vandløb var gennemsnitskoncentrationerne større end 4 mg N l<sup>-1</sup>. I de fleste vandløb var den vandføringsvægtede koncentration højere end årsmiddelkoncentration, hvilket skyldes, at der i mange vandløb er en positiv sammenhæng mellem vandføring og koncentration af N. I perioder med høj vandføring er der derfor en forhøjet koncentration.

Arealkoefficienten af P i 1989 varierede mellem mindre end 0,1 kg P ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> til større end 1 kg P ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> (figur 6.4). De fleste oplande havde en arealkoefficient mellem 0,1 og 0,6 kg P ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>. Fordeling af årsmiddel og den vandføringsvægtede koncentration af P viste ens forløb med flest vandløb med koncentrationer mellem 0,1-0,3 mg P l<sup>-1</sup>.



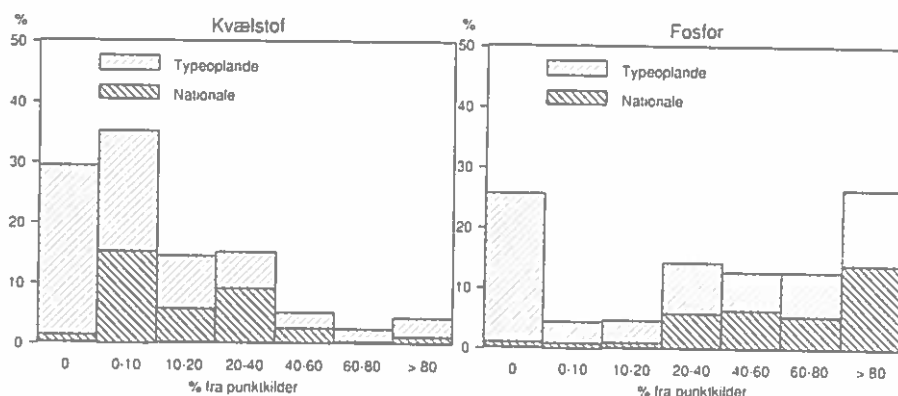
**Figur 6.4: Procentfordeling af arealkoefficient, vandføringsvægtet og årsmiddelkoncentration af N og P. n = 250.**

I 1989 foregik i de fleste vandløb mere end 60% af årets transport af N i månederne januar-april og december (figur 6.5), mens mere end 50% af transporten af P foregik i samme periode. Den største månedstransport forekom enten i marts eller december. Den forholdsvis store spredning i december måned illustrerer et af problemerne ved tolkning af resultaterne for 1989. Den første store vinter/efterårsafstrømning i 1989 foregik i sidste halvdel af december og blev i nogle tilfælde ikke registreret af prøvetagningen. Derfor er årstransporten sandsynligvis underestimeret i en række vandløb.



Figur 6.5: Sæsonvariation i transport af N og P i 1989. Månedstransporten i procent af årstransporten. Gennemsnit ● , median □ , 25% og 75% for alle 250 vandløb er angivet.

I ca. 25% af vandløbsoplandene var der ikke punktkildeudledninger (figur 6.6). Det er specielt de mindre oplande, som er uden punktkildeudledninger. I omkring 40% af oplandene kan mere end 50% af fosfortransporten i 1989 tilskrives udledninger fra punktkilder, mens der i hovedparten af oplandene kun kom en mindre del af kvælstoftransporten fra punktkilder.



Figur 6.6: Procentfordeling af punktkildebidragets andel af den samlede transport i 1989. n = 250.

### 6.3 Typeoplande

I det følgende er vandløbene inddelt i typer afhængig af hovedbelastningskilden i oplandet.

Følgende oplandstyper er valgt:

1. Referenceoplande. Oplande, som kun i mindre grad er påvirket af menneskelig aktivitet.
2. Dyrkede oplande uden punktkildeudledninger.
3. Dyrkede oplande, hvor udledningen af N fra punktkilder var lille i forhold til den samlede transport fra oplandet.
4. Oplande, hvor hovedparten af P-transporten kunne tilskrives dambrug.
5. Oplande, hvor hovedparten af P-transporten kunne tilskrives spildevandsanlæg.

Ved at sammenligne type 2 og 3 med type 1 kan dyrkningens betydning for transport og koncentration af N vurderes.

En sammenligning af type 1 med type 2 kan belyse betydningen af P-bidraget fra det dyrkede land i forhold til naturområder.

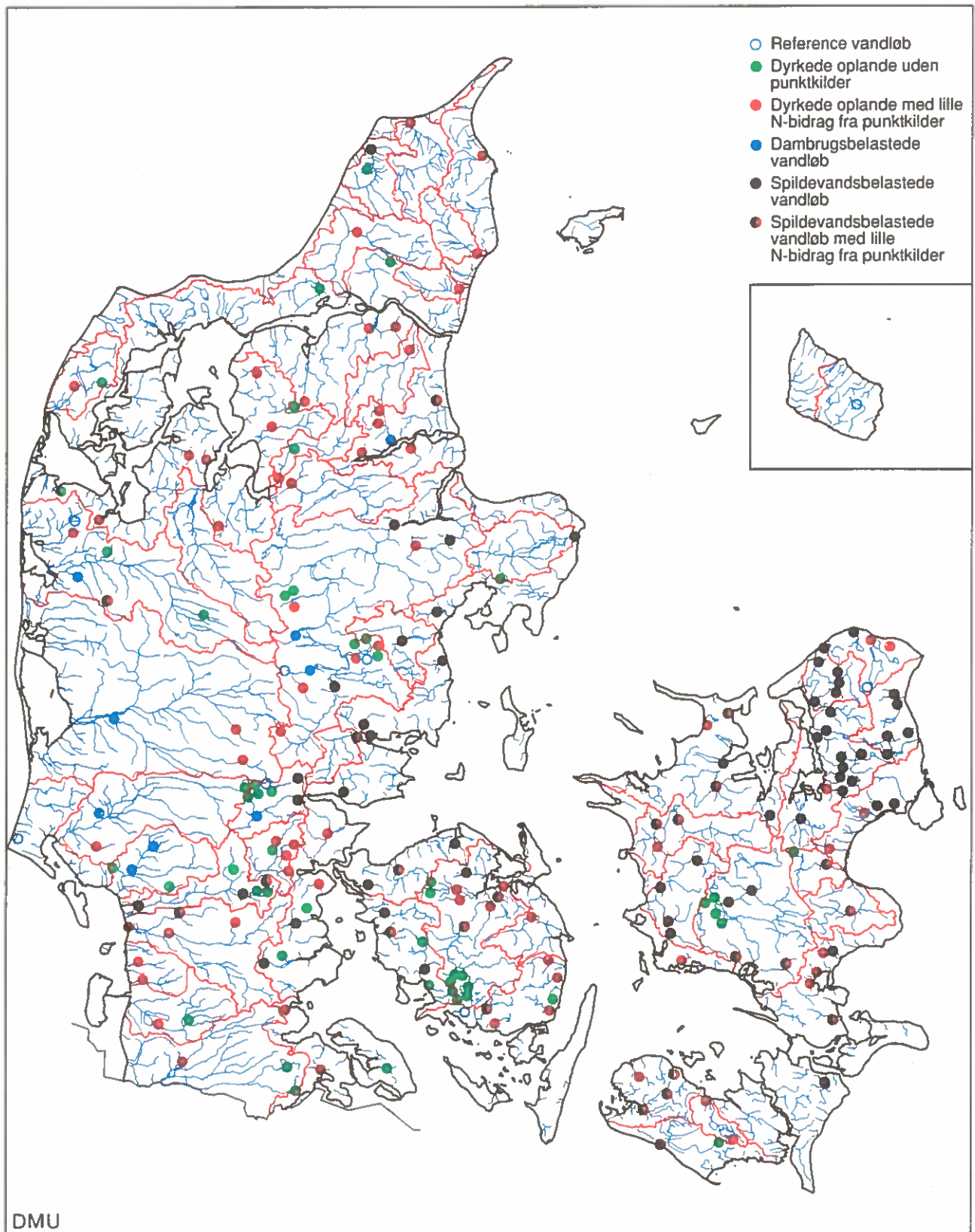
Ved at sammenligne type 4 og 5 med type 1 og 2 kan betydningen af punktkilder, dambrug og spildevandsanlæg, på transport og koncentration af P vurderes.

### Referencevandløb

8 vandløbsstationer opfylder kriteriet som referenceoplønde (kort 12) og ligger på Sjælland (1), Bornholm (1), Fyn (1) og i Jylland (5).

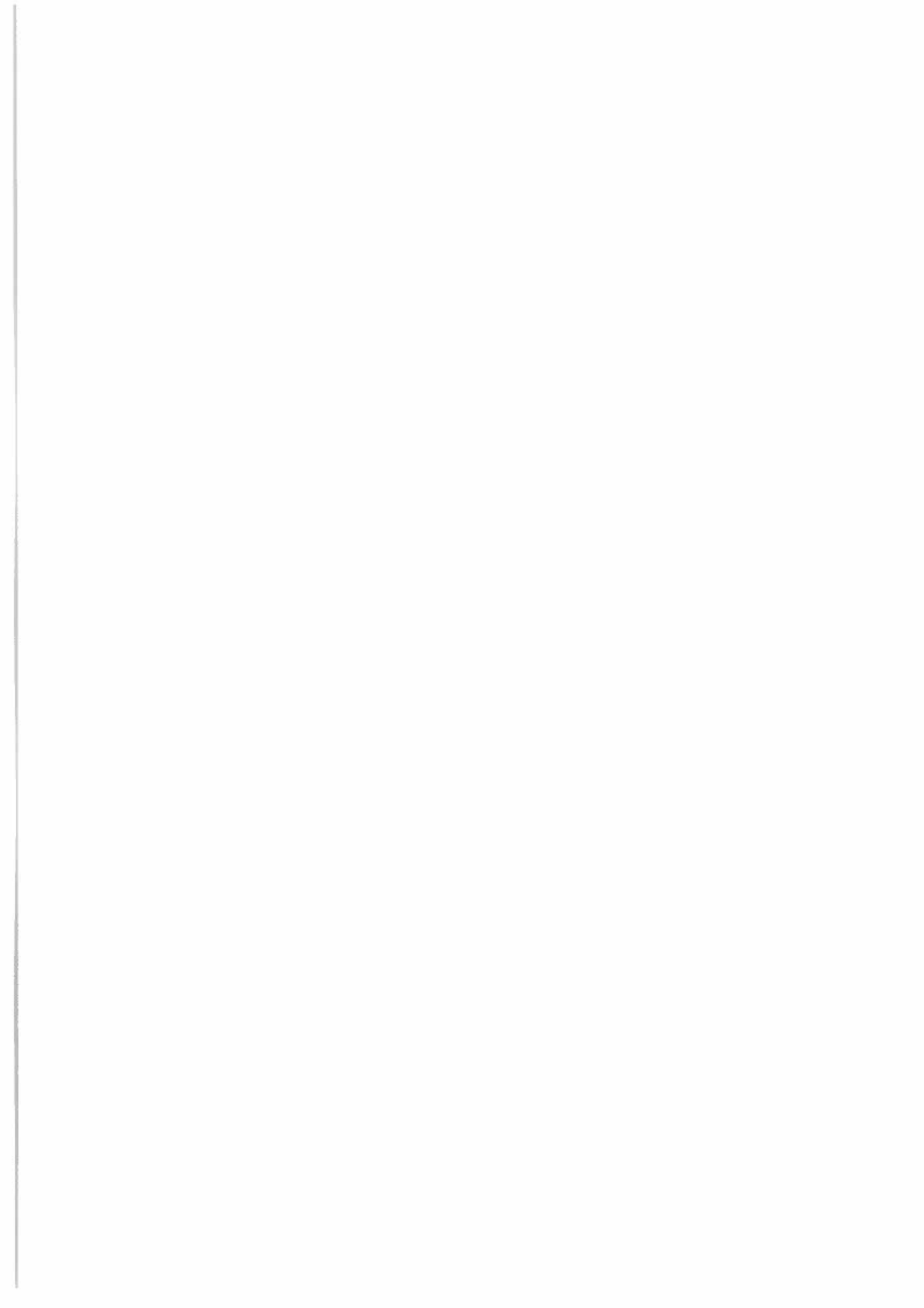
	n	gns	25%	median	75%
Oplandsareal (km <sup>2</sup> )	8	6,7	2,2	4,9	11,0
% dyrket areal	8	7	0	0	15
% skov areal	8	70	36	84	96
Afstrømning					
(l s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> )	7	4,5	1,9	5,0	6,7
Arealkoefficient (kg ha <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup> )					
Totalfosfor (P)	7	0,071	0,037	0,048	0,14
Totalkvælstof (N)	7	2,9	0,9	1,9	3,2
Vandføringsvægtet koncentration (mg l <sup>-1</sup> )					
Totalfosfor (P)	7	0,055	0,024	0,058	0,082
Totalkvælstof (N)	7	1,9	0,7	1,6	2,3
Årsmiddel koncentration (mg l <sup>-1</sup> )					
Totalfosfor (P)	8	0,055	0,030	0,050	0,085
Totalkvælstof (N)	8	1,6	0,9	1,4	1,7

Tabel 6.1: Beskrivelse af referencevandløb. n = antal vandløb.



**Kort 12: Vandløbsstationer opdelt efter dominerende belastningskilde.**

*Streams stations classified by dominating type of source load (○ nature, ● agriculture, ● fish farming and ● waste water).*



Oplandene til referencevandløbene er forholdsvis små og er især dækket af skov eller hede. Areal-koefficienten og koncentrationerne af N og P var lave (tabel 6.1). Seks af vandløbene er beliggende i oplande med sandjord, mens de to øvrige er beliggende på lerjord.

#### Vandløb i dyrkede oplande uden punktkilder

17 vandløb på Øerne og 33 i Jylland er beliggende i dyrkede oplande uden punktkildeudledninger (kort 12).

Oplandene er forholdsvis små (tabel 6.2) og svarer i størrelse nogenlunde til referenceoplandene. Størstedelen af oplandet indgår i landbrugsdriften. Da der ikke findes punktkilder i oplandene, skyldes de forhøjede arealkoefficienter og koncentrationer landbrugsdriften og spredt bebyggelse. I 18 af oplandene er den dominerende jordtype lerjord, mens den i 32 oplande er sandjord.

	n	gns	25%	median	75%
Oplandsareal (km <sup>2</sup> )	50	8,4	2,6	5,6	9,5
% dyrket areal	50	82	64	93	96
% skovareal	50	15	2	6	23
<b>Afstrømning</b>					
(l s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> )	50	6,1	3,4	4,8	7,0
<b>Arealkoefficient (kg ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>)</b>					
Totalfosfor (P)	50	0,27	0,12	0,21	0,37
Totalkvælstof (N)	50	11,6	6,0	9,3	15,5
<b>Vandføringsvægtet koncentration (mg l<sup>-1</sup>)</b>					
Totalfosfor (P)	50	0,163	0,089	0,138	0,226
Totalkvælstof (N)	50	7,1	4,6	5,8	9,3
<b>Årsmiddel koncentration (mg l<sup>-1</sup>)</b>					
Totalfosfor (P)	50	0,210	0,095	0,145	0,271
Totalkvælstof (N)	50	6,1	4,0	5,4	7,5

Tabel 6.2: Beskrivelse af vandløb i dyrkede oplande, hvor der ikke findes punktkildeudledninger. n = antal vandløb.



**Vandløb i dyrkede oplande, hvor udledninger af kvælstof fra punktkilder er lille**

Der var ialt 93 oplande, hvor udledningerne af N fra punktkilder udgør mindre end 10% af den målte transport i 1989 (kort 12). Gennemsnitlig kom 4% af N-transporten fra punktkilder, mens de resterende 96% kom fra det åbne land.

	n	gns	25%	median	75%
<b>Oplandsareal (km<sup>2</sup>)</b>					
Typeoplande	56	41,8	14,6	24,4	37,8
Nationale stationer	37	196	89	130	244
<b>% dyrket areal</b>					
Typeoplande	56	84	77	86	92
Nationale stationer	37	83	77	86	90
<b>% skovareal</b>					
Typeoplande	56	10	2	8	13
Nationale stationer	37	10	6	9	13
<b>Afstrømning (l s<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup>)</b>					
Typeoplande	56	5,6	3,1	5,0	7,2
Nationale stationer	37	5,2	3,3	4,4	6,2
<b>Arealkoefficient (kg N Ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>)</b>					
Typeoplande	56	13,8	8,6	12,8	18,4
Nationale stationer	37	14,6	11,1	12,9	17,6
<b>Vandføringsvægtet koncentration (mg N l<sup>-1</sup>)</b>					
Typeoplande	56	8,5	6,7	8,0	10,6
Nationale stationer	37	7,1	4,8	6,1	9,2
<b>Årsmiddel koncentration (mg N l<sup>-1</sup>)</b>					
Typeoplande	56	6,5	5,1	6,2	8,1
Nationale stationer	37	5,6	4,6	5,6	6,6

**Tabel 6.3:** Beskrivelse af vandløb i dyrkede oplande, hvor kvælstofbidraget fra punktkilder er lille (<10%). n = antal vandløb.

Oplandskarakteristika, arealkoefficienter og koncentrationer er beskrevet hhv. for typeoplande og for stationer, der også indgår i det nationale net (tabel 6.3). Den vigtigste forskel mellem de to grupper er et større oplandsareal for de nationale stationer.

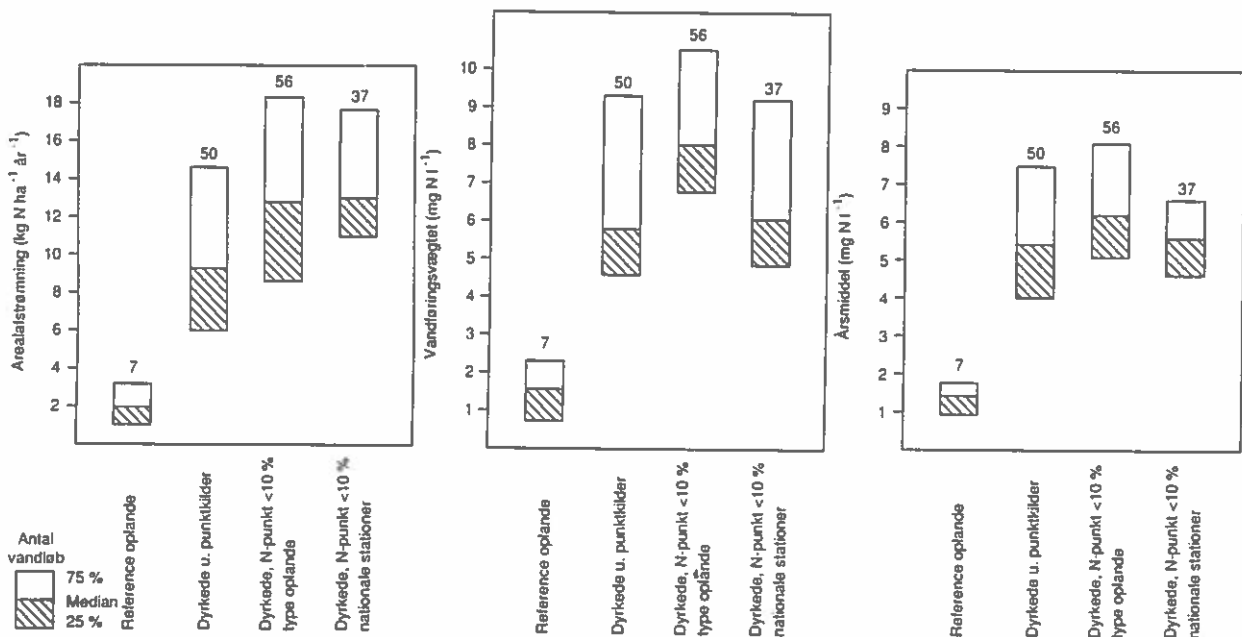
Derimod er der kun en mindre forskel på dyrket areal, skovareal, afstrømning, arealkoefficient og koncentration af N. Arealkoefficient og koncentration af N var større end i referencevandløbene.

De 41 vandløb er beliggende på Øerne og de 52 i Jylland. 42 er beliggende i oplande med overvejende lerjord og 51 i oplande med sandjord.

**Sammenligning af koncentrationer og arealkoefficient fra dyrkede arealer i forhold til referenceoplande**

Kvælstof

Både arealkoefficient og koncentration af N var 4-6 gange højere i vandløb, som afvander dyrkede oplande end i referencevandløb (figur 6.7). Den

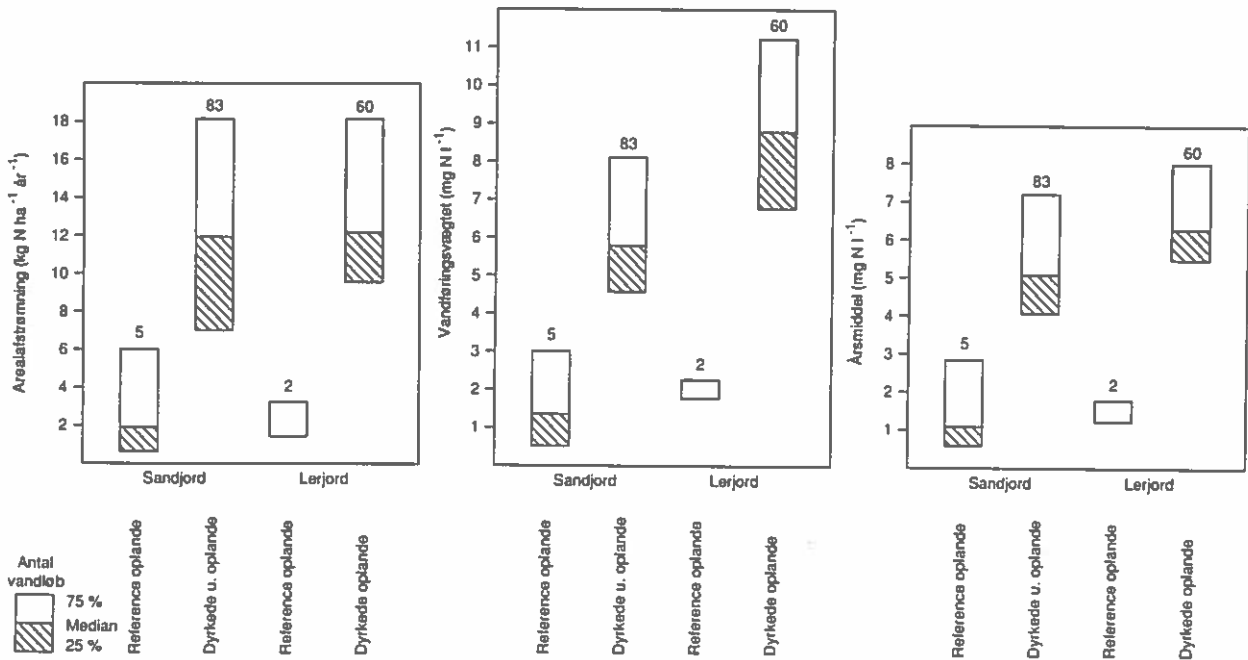


**Figur 6.7:** Arealkoefficient, vandføringsvægt og årsmiddelkoncentration af N i vandløb i referenceoplande, i dyrkede oplande uden punktkildeudledninger og i dyrkede oplande med lille tilførsel af kvælstof fra punktkilder. For de enkelte typer er angivet antal vandløb, 25%, median og 75%. Dvs. eksempelvis ved 75% er koncentrationen i 3/4 af vandløbene lavere end værdien på y-aksen.

forhøjede arealkoefficient og koncentration må tilskrives landbrugsdriften.

Der var mindre forskelle i arealkoefficient og koncentration i mellem de tre dyrkede typer (figur 6.7). Dette indikerer, at det stigende oplandsareal i de tre typer var af mindre betydning for arealkoefficient og koncentration i 1989. Forskellene i koncentration kan delvis forklares ved, at der indgår et forskelligt antal af oplande på ler- og sandjord i de tre typer.

Der var således forskel i koncentrationen af N i vandløb, som afvandede dyrkede oplande med hhv. sandjord og lerjord (figur 6.8). Den vandføringsvægtede koncentration var omkring 50% højere i vandløbene på lerjord end på sandjord, mens årsmiddelkoncentrationen var 20% højere. Forskellen i koncentrationen skyldes forskelle i afstrømningsmønstret på hhv. ler og sandjord. På sandjord sker en forholdsmæssig større afstrømning via grundvandet, da nedbøren hurtigt siver gennem de øvre jordlag til grundvandet. På lerjord sker en forholdsvis større afstrømning fra de øvre jordlag. Her er koncentrationen af N høj, mens den er lavere i grundvandet p.g.a. tabsprocesser i jordlagene under transporten ned til grundvandet. Den højere andel af overfladisk afstrømning i vandløb på lerjord bevirker den højere koncentration i vandløbene. På lerjord er afstrømningen koncentreret omkring efterårs- og vinterperioden, hvor koncentrationen af N er høj, og derfor findes den større forskel mellem vandføringsvægtet og årsmiddelkoncentration på lerjord. På trods af forskellen i koncentration på hhv. sand og lerjord var der ikke i 1989 forskel i arealkoefficienten af N, som i begge tilfælde var omkring 12 kg N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>. Det skyldes den relativt højere afstrømning fra sandjord i 1989.



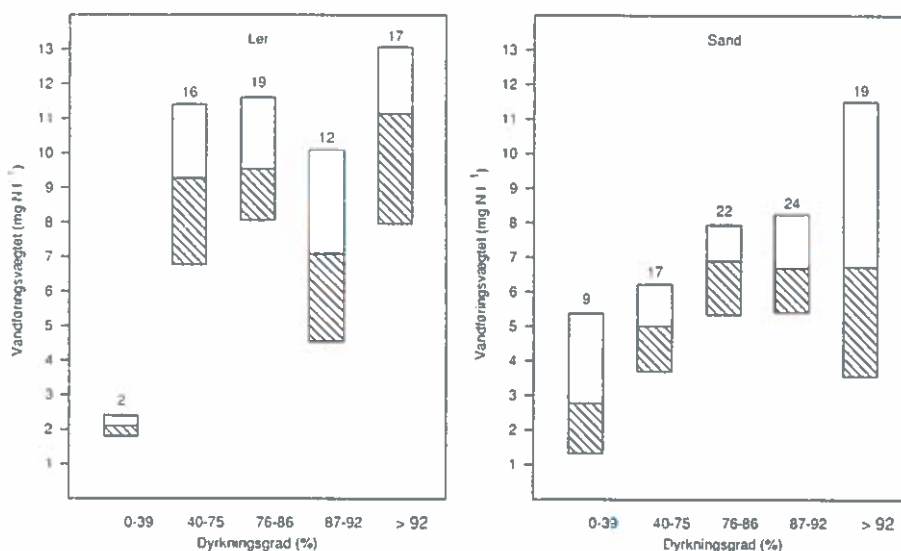
Figur 6.8: Arealcoeffcient, vandføringsvægtet og årsmiddeltkoncentration af kvælstof i vandløb i referenceoplände og i dyrkede oplände på hhv. sand og lørdjord. Symbolforklaring se figur 6.7.

I kapitel 3 er vist, at afstrømningen i 1989 var betydelig under middelværdien for 80'erne. Analysen i kapitel 3 er baseret på fire store vandløbsoplände, der i forhold til de mange små vandløbsoplände, som indgår i dette kapitel, modtager forholdsvis mere grundvand og derfor afviger mindre fra middelværdien i et tørt år. På et større antal vandløb var afstrømningen i 1989 61% af middelværdien 1980-88 på sandjord og 48% på lørdjord (tabel 6.4). Arealcoeffcienten af N i 1989 var hhv. 51 og 41% af middelværdien på hhv. sand og lørdjord. Ud fra ovenstående kan arealcoeffcienten i et "normalt år" beregnes til 20-24 kg N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> på sandjord og 25-30 kg N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> på lørdjord.

	n	gns. afstrømning i 1989 i % af middelværdien for 1980-88	gns. arealkoefficient af N i 1989 i % af middelværdien for 1980-88
Lerjord	18	48%	41%
Sandjord	10	61%	51%

Tabel 6.4: Afstrømning og arealkoefficient i 1989 i procent af middelværdien for perioden 1980-88 i vandløb på hhv. lerjord og sandjord. n=antal vandløb og gns=gennemsnittet.

Når der tages hensyn til forskellen mellem ler- og sandjord (figur 6.8), kan der vises en sammenhæng mellem procent dyrket areal og koncentrationen af N (figur 6.9). I vandløb i sandjordsoplande steg koncentrationen fra de to laveste dyrkningsklasser til et højere niveau med mere end 76% dyrket areal. På lerjord var der især forskel mellem den laveste og de fire højeste dyrkningsklasser. Ud over dyrkningsgraden i oplandet er der en række andre faktorer, som er bestemmende for koncentrationen i vandløbene, bl.a. afgrødefordeling og dræningsintensitet.



Figur 6.9: Vandføringsvægtet koncentration i vandløb fra oplande med lille udledning af N fra punktkilder inddelt efter jordtype og graden af dyrkning i oplandet. Symbolforklaring se figur 6.7.

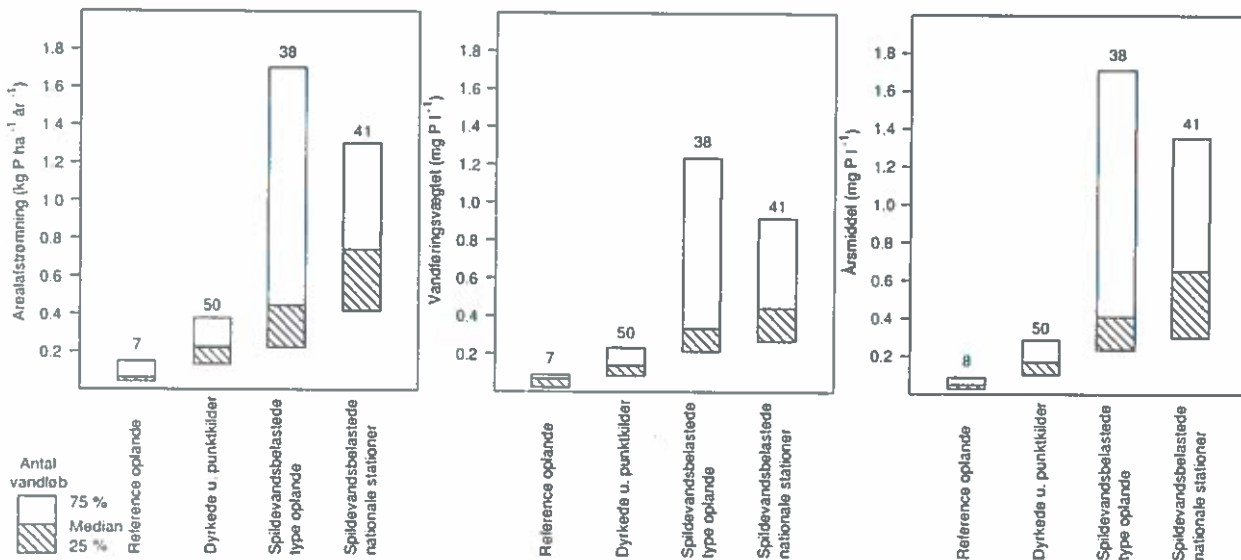
I forbindelse med undersøgelserne i de seks særlige landovervågningsoplande er kvælstofudvaskningen fra rodzonen for 1989 beregnet (Blicher-Mathiesen et al. 1990). Udvasningen fra et sandjordsopland er beregnet til  $78 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ , mens den for tre lerjordsoplande gennemsnitlig var  $41 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ . Disse værdier er betydeligt højere end de fundne arealkoefficienter for dyrkede oplande på omkring  $12 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ , og afspejler at det kun er en del af det udvaskede kvælstof fra rodzonen, som afstrømmer via vandløbene. Afhængig af jordtypen og graden af dræning føres en større eller mindre af det udvaskede kvælstof til grundvandet. Ligeledes er det afhængig af en række processer, hvor meget af den udvaskede kvælstof, som omdannes eller tilbageholdes, førend den transporteres med vandløbene. De mange overvågningsvandløb vil sammen med NPO-forskningsprojekter, de særlige landovervågningsoplande og grundvandsovervågningen øge det faglige grundlag til vurdering af kvælstofudvaskningen fra de dyrkede arealer.

### Fosfor

Arealkoefficienten og koncentrationen af P var henholdsvis ca. 4 og ca. 3 gange højere i de dyrkede oplande uden punktkilder end i referencevandløbene (figur 6.10).

Den forhøjede arealkoefficient og koncentration må tilskrives landbrugsdriften og bidrag fra spredt bebyggelse. Det er usikkert, hvordan fordelingen er mellem de to kilder.

I et vandføringsmæssigt "normalt år" vil arealkoefficienten af P fra dyrkede arealer og referenceoplande være højere, formentlig omkring det dobbelte p.g.a. en dobbelt så stor afstrømning.



Figur 6.10: Arealkoefficient, vandføringsvægtet og årsmiddelkoncentration af P i vandløb i referenceoplande og i dyrkede oplande uden punktkildeudledninger samt i spildevandsbelastede vandløb. Symbolforklaring se figur 6.7.

#### 6.4 Koncentration og arealkoefficient fra oplande med punktkildeudledninger i forhold til dyrkede oplande

Da udledninger fra punktkilderne især påvirkede vandløbene med P er primært effekten af tilførsel af P fra disse vurderet.

#### Dambrugsbelastede vandløb

Dambrugsbelastede vandløb er defineret som de vandløb, hvor P-udledningen fra dambrug udgør mere end 50% af den samlede transport fra oplandet. Samtidig skal udledninger fra øvrige punktkilder være mindre end 25%.

De ni oplande, som opfylder kriteriet, er placeret i Jylland (kort 12) med tre i Ribe Amt, to i hhv. Ringkjøbing og Århus Amt og et i hhv. Nordjyllands og Vejle Amt.

I de ni oplande findes 2-40 dambrug, ialt 117. Alle oplande findes i områder med sandjord, og er karakteriseret ved en stor afstrømning (tabel 6.5). Det dyrkede areal var lidt mindre end generelt, og skovarealet var lidt større.

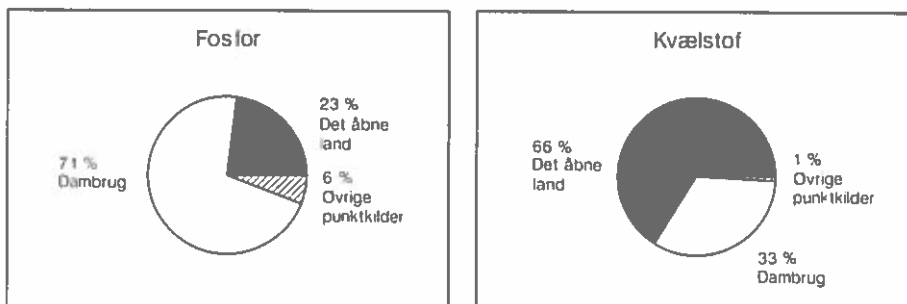
	n	gns	25%	median	75%
Oplandsareal (km <sup>2</sup> )	9	153	33,4	118	177
% dyrket areal	9	79	69	78	89
% skovareal	9	18	10	19	25
<b>Afstrømning</b>					
(l s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> )	9	13,3	9,1	11,6	18,4
<b>Arealkoefficient (kg ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>)</b>					
Totalfosfor (P)	9	0,76	0,40	0,78	1,1
Totalkvælstof (N)	9	13,4	8,1	12,6	18,6
<b>Vandføringsvægtet koncentration (mg l<sup>-1</sup>)</b>					
Totalfosfor (P)	9	0,171	0,114	0,175	0,229
Totalkvælstof (N)	9	3,4	2,1	3,4	4,0
<b>Årsmiddel koncentration (mg l<sup>-1</sup>)</b>					
Totalfosfor (P)	9	0,178	0,136	0,167	0,222
Totalkvælstof (N)	9	4,0	1,9	4,0	5,7

Tabel 6.5: Beskrivelse af dambrugsbelastede vandløb. n = antal vandløb.

Udledningerne fra dambrug udgjorde i gennemsnit 71% af P-transporten og 33% af N-transporten fra oplandene (figur 6.11). Hovedparten af kvælstoftransporten kom fra det åbne land.

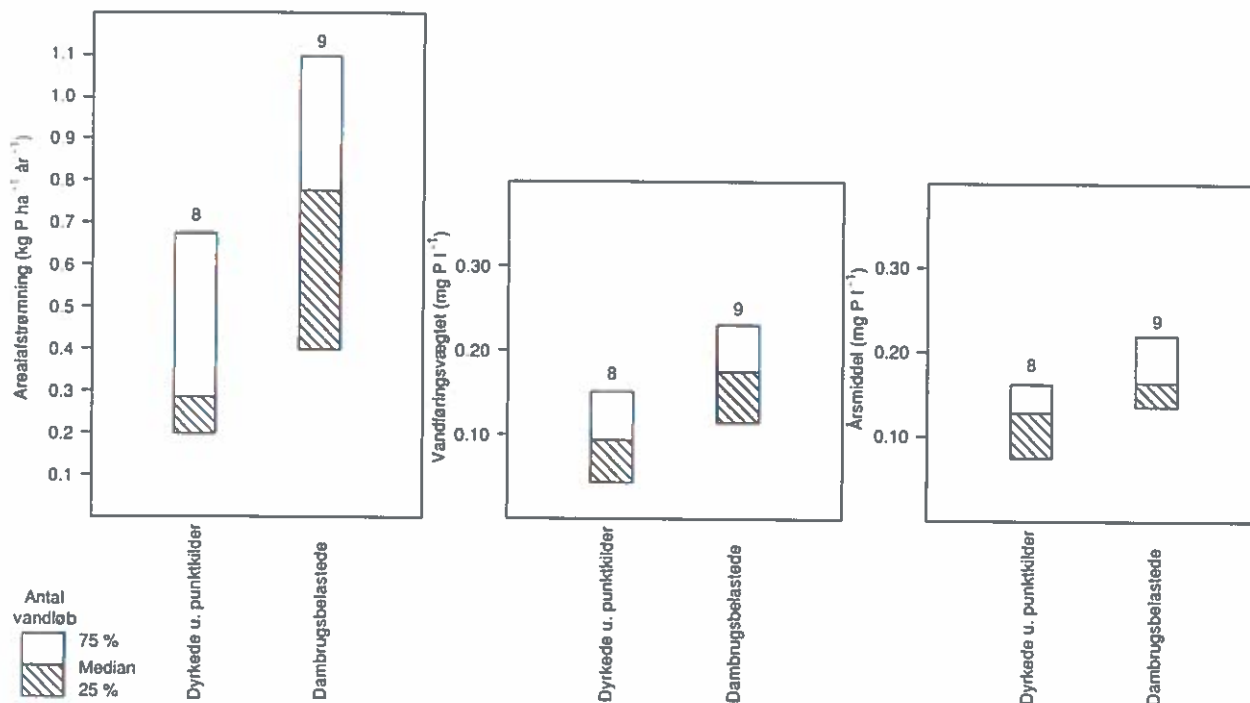
Arealkoefficienten for P var stor, mens koncentrationsniveauet kun var lidt forhøjet i forhold til de dyrkede oplande uden punktkildeudledninger.





Figur 6.11: Opdeling af den samlede transport i de 9 dambrugsbelastede vandløb på bidrag fra det åbne land, fra dambrug og fra de øvrige punktkilder.

Den store afstrømning var delvis medvirkende til den store arealkoefficient, men en sammenligning mellem dyrkede oplande med tilsvarende stor afstrømning og dambrugsoplandene viser, at der i dambrugsoplandene var ca. dobbelt så høj arealkoefficient og koncentration af P (figur 6.12).



Figur 6.12: Areal-koefficient, vandføringsvægtet og årsmiddeltkoncentration af P i dyrkede oplande uden punktkildeudledninger og med stor vandafstrømning (>8 l s<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup>) og i dambrugsbelastede vandløb. Symbolforklaring se figur 6.7.

### Spildevandsbelastede vandløb

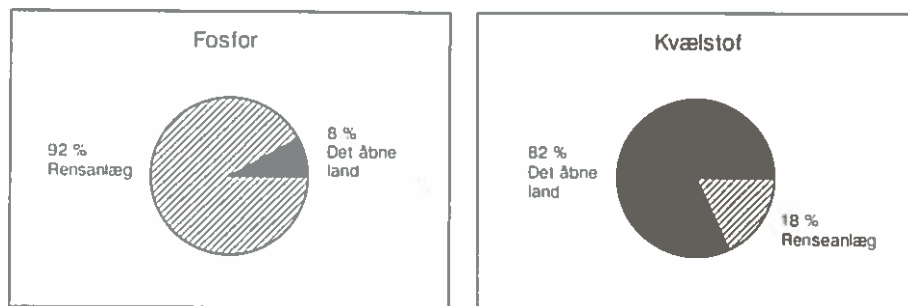
Spildevandsbelastede vandløb er defineret som de vandløb, hvor P-belastningen fra spildevandsanlæg i oplandet udgør mere end 50% af den samlede P-transport. Samtidig skal udledninger fra dambrug udgøre mindre end 25%.

Der er ialt 79 vandløb af denne type. 56 ligger på Øerne og 23 i Jylland (kort 12). Specielt i det nordøstlige er de fleste af vandløbene karakteriseret som spildevandsbelastede. Endvidere kan bemærkes, at der især er på den jyske østkyst, at der findes spildevandsbelastede vandløb. 35 er beliggende i oplande med overvejende sandjord og 44 i oplande med lerjord. Karakteristika for de spildevandsbelastede vandløb er beskrevet i tabel 6.6.

	n	gns	25%	median	75%
<b>Oplandsareal (km<sup>2</sup>)</b>					
Typeoplande	38	78	10	25	62
Nationale stationer	41	171	56	97	144
<b>% dyrket areal</b>					
Typeoplande	38	75	70	84	90
Nationale stationer	41	79	75	80	86
<b>% skovareal</b>					
Typeoplande	38	11	3	8	15
Nationale stationer	41	10	5	8	13
<b>Afstrømning (l s<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup>)</b>					
Typeoplande	38	4,6	2,9	3,6	5,9
Nationale stationer	41	5,2	3,3	4,4	6,2
<b>Arealkoefficient (kg P Ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>)</b>					
Typeoplande	38	1,46	0,21	0,44	1,7
Nationale stationer	41	1,1	0,41	0,74	1,3
<b>Vandføringsvægtet koncentration (mg P l<sup>-1</sup>)</b>					
Typeoplande	38	1,12	0,194	0,327	1,23
Nationale stationer	41	0,745	0,271	0,441	0,926
<b>Årsmiddel koncentration (mg P l<sup>-1</sup>)</b>					
Typeoplande	38	1,39	0,234	0,396	1,73
Nationale stationer	41	0,979	0,299	0,639	1,35

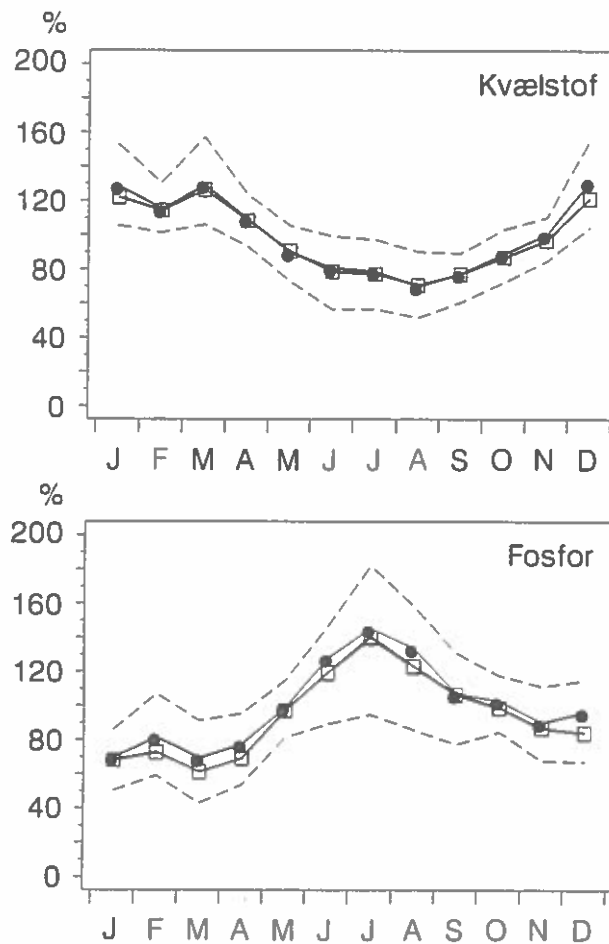
Tabel 6.6: Beskrivelse af spildevandsbelastede vandløb. n = antal vandløb.

Spildevandsbelastningen udgjorde som gennemsnit 92% af P-transporten og 18% af N-transporten fra oplandene (figur 6.13). Hovedparten af N-transporten kom fra det åbne land. I en del af vandløbene var de målte eller beregnede P-udledninger fra spildevandsanlæg i 1989 større end den målte stoftransport fra oplandet. Det kan dels skyldes en midlertidig tilbageholdelse i vandløbssystemet, hvor P er udledt til vandløbet, men endnu ikke er transporteret forbi vandløbsstationen. Endvidere kan en betydelig udskylning af P fra vandløbsbunden i nogle vandløb være sket mellem to prøvetagningsdatoer, således at den reelle transport er underestimeret. I 1989 var der i mange vandløb en fosfortilbageholdelse på vandløbsbunden i perioden fra maj til midt i december. I sidste halvdel af december skete der en udskylning af den ophobede pulje. Det er ikke i alle vandløb, prøvetagningen har ramt i denne periode.



Figur 6.13: Opdeling af den samlede transport i de 79 spildevandsbelastede vandløb på bidrag fra det åbne land og fra spildevandsanlæg.

Da de udledte stofmængder fra punktkilderne var nogenlunde konstante over året, mens vandføringen i mange vandløb var meget variabel, varierede især koncentrationen af P i mange af de spildevandsbelastede vandløb betydeligt (figur 6.14), således at koncentrationen i vinterperioden var forholdsvis lav p.g.a. stor vandføring og fortynding, mens koncentrationen i sommerperioden var høj p.g.a. ringe fortynding.



Figur 6.14: Sæsonvariation i koncentration af N og P i spildevandsbelastede vandløb. Månedsmiddel i procent af årsmiddelkoncentration. Gennemsnit ● median □ , 25% og 75% er angivet.

I de spildevandsbelastede vandløb var der en meget højere koncentration af P end i de øvrige vandløb (figur 6.10). I mange af de danske vandløb kan størstedelen af fosfortransporten tilskrives tilførsel fra spildevandsanlæg, jf. afsnit 4.4. I forbindelse med Vandmiljøplanen vil der ske en reduktion i tilførsel af P fra de større spildevandsanlæg, men mange af vandløbene vil, såfremt der ikke foretages indgreb over for de små anlæg, stadig være påvirket af tilførslen fra spildevandsanlæg.

### 6.5 Sammenfatning

I dette kapitel er sammenlignet arealkoefficienter og koncentration af hhv. N og P i dyrkede oplande og referenceoplande (tabel 6.7). Arealkoefficienten og koncentrationen var 3-6 gange højere i de dyrkede oplande. De forhøjede arealkoefficienter og koncentrationer må tilskrives landbrugsdriften og for P's vedkommende også udledninger fra spredt bebyggelse.

	n	Arealkoefficient (kg ha <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup> )		Vandføringsvægtet koncentration (mg l <sup>-1</sup> )	
		gns	median	gns	median
<b>KVÆLSTOF</b>					
Referenceoplande	7	2,9	1,9	1,9	1,6
Dyrkede oplande	143	13,2	12,2	7,6	7,2
<b>FOSFOR</b>					
Referenceoplande	7	0,07	0,05	0,055	0,058
Dyrkede oplande	50	0,27	0,21	0,163	0,138

Tabel 6.7: Sammenstilling af arealkoefficient og koncentration af hhv. N og P i vandløb fra referenceoplande og fra dyrkede oplande. n=antal vandløb og gns=gennemsnit.

I 1989 var arealkoefficienten af N fra dyrkede oplande gennemsnitligt 13 kg N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> og ens for både sand- og lerjordsoplande. På baggrund af gennemsnittet for 80'erne vurderes arealkoeffici-

enten i et "normalt" år til 20-24 kg N ha<sup>-1</sup> på sandjord og 25-30 kg N ha<sup>-1</sup> på lerjord.

Der var betydelig højere arealkoefficient og koncentration af P i vandløb, som modtog tilførsel fra dambrug eller fra spildevandsanlæg.

I de kommende år vil der som følge af tiltagene i Vandmiljøplanen og recipientkvalitetsplanerne ske en reduktion af udledningerne af N og P til vandløbene. Ved at følge udviklingen i arealkoefficienterne og koncentrationerne af N og P i de forskellige oplandstyper beskrevet i dette kapitel kan de enkelte samfundssektors opfyldelse af planerne registreres, ligesom effekten på miljøtilstanden kan vurderes.

Samlet vil denne overvågning af både små og store oplande med forskellig arealudnyttelse og jordbund samt forskellig grad af påvirkning fra punktkilder forbedre og styrke det faglige grundlag for miljøpolitiske prioriteringer og beslutninger.



## 7. UDVIKLINGSTENDENSER I KONCENTRATIONEN OG TRANSPORTEN AF KVÆLSTOF I DANSKE VANDLØB

Koncentrationen og transporten af kvælstof (N) i de danske vandløb har betydning for miljøtilstanden i søer samt de kystnære og mere åbne marine farvande (Miljøstyrelsen, 1984).

Hovedparten af N i vandløbene stammer fra udvaskningen fra landbrugsjorden, som en følge af gødsningen med handels- og husdyrgødning. Kun en del af N-udvaskningen fra rodzonen afstrømmer direkte til vandløbene. I et nedbørs- og afstrømningsmæssigt normalt år afstrømmer ca. 33% direkte til overfladevand, og de resterende ca. 67% siver mod grundvandet og udsættes undervejs for tabsprocesser (Miljøstyrelsen, 1984). Disse tal gælder som et landsgennemsnit og afvigelser på landsplan kan forekomme afhængig af jordens beskaffenhed

I dette kapitel beskrives udviklingen i koncentrationen og transporten af N, målt som nitrat-N, i danske vandløb gennem 23 års perioden 1967-1989. Den konstaterede udvikling sammenholdes med ændringerne i forbruget af handelsgødning og produktionen af husdyrgødning i samme periode.

### 7.1 Datagrundlag

Resultaterne i dette kapitel er baseret på en analyse af koncentrations- og transportdata for N, målt som nitrat-N, fra ialt 62 danske vandløb fordelt på tre regioner: region 1: Ringkøbing og Ribe amter, region 2: Viborg, Århus og Vejle amter og region 3: Fyns amt (tabel 7.1). Indenfor de enkelte regioner er vandløbene valgt således, at de udgør et repræsentativt udsnit med hensyn til oplandsstørrelse. De relativt få vandløb i region 1 gør konklusionerne her forholdsvis mere



usikre. Datamaterialet i de øvrige regioner af landet er ikke tilstrækkeligt til at gennemføre analyser af udviklingstendenser.

ANTAL VANDLØB	
region 1	5
region 2	33
region 3	24

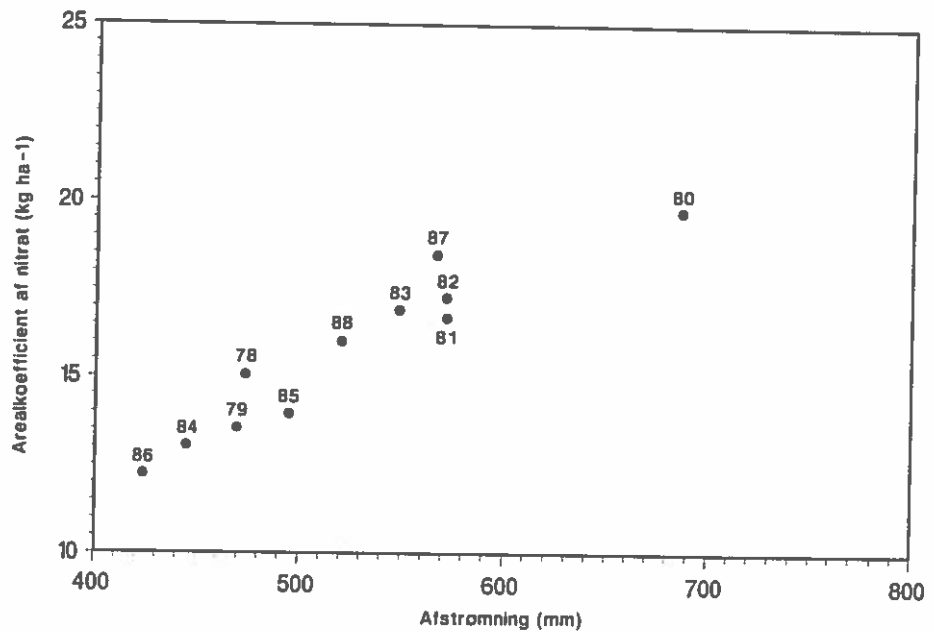
Tabel 7.1: Antal vandløb fra de tre regioner der er indgået i analysen. Region 1: Ringkøbing og Ribe amter, region 2: Viborg, Århus og Vejle amter, region 3: Fyns amt.

Tre vandløb har et næsten komplet datamateriale for perioden 1967-1989. Det er Skjern å ved Ahlergårde, Gudenåen ved Tvillum bro og Odense å ved Nørre Broby. Resten af vandløbene har hovedsageligt kun data fra perioden 1978-1989.

I kapitlet vurderes udelukkende arealkoefficienten og gennemsnitskoncentrationen af N i hydrologiske år, dvs. perioden juni-maj.

I afstrømningsrige år er arealkoefficienten af N større end i afstrømningsfattige år (figur 7.1). Det samme gælder for gennemsnitskoncentrationen af N, såfremt vandløbet ikke er belastet med spildevand fra større punktkilder. Det er derfor nødvendigt i analysen af udviklingstendenser at korrigere for denne afstrømningsafhængighed.

Det har ikke vist sig nødvendigt at korrigere for tør- og våddeposition af kvælstof, da der ikke kunne påvises signifikante effekter af disse faktorer på arealkoefficient og koncentrationsniveauet af N.



Figur 7.1: Samhørende værdier af arealkoefficienter af nitrat-N og afstrømning i Skjern å ved Ahlergård 1978/79-1988/89.

## 7.2 Statistisk metode

Arealkoefficienter og gennemsnitskoncentrationer er beregnede størrelser, der er baseret på målte stikprøver af koncentration og målt/beregnet vandføring. Derfor er disse størrelser behæftet med en vis usikkerhed. Denne usikkerhed taget i betragtning har det været muligt at opstille modeller, der fuldt ud beskriver sammenhængen mellem afstrømning og niveauet af arealkoefficient/gennemsnitkoncentration. Ud fra disse modeller kan fundne arealkoefficienter og gennemsnitskoncentrationer afstrømningskorrigeres.

Gennemsnitskoncentrationen er beregnet som et tidsvægtet geometrisk gennemsnit af de målte koncentrationer i det hydrologiske år. Stoftransporten er beregnet ved lineær interpolationsmetoden.

Følgende model er udviklet og anvendt

$$\log C = a_c + b_c \log Q_v + U_c \quad (7.1)$$

hvor C betegner gennemsnitskoncentrationen,  $Q_v$  betegner afstrømningen i månederne oktober - april.  $a_c$  og  $b_c$  er konstanter.  $U_c$  er støj. I  $U_c$  indgår de uregelmæssigheder i de beregnede gennemsnitskoncentrationer som afstrømningen ikke kan forudsige. Disse uregelmæssigheder skyldes hovedsageligt usikkerhed på beregning af gennemsnitskoncentrationen ud fra stikprøverne. Det har vist sig, at  $U_c$  er tilnærmelsesvis normal fordelt. Variansen på  $U_c$  synes at være ens for overvejende landbrugsbelastede vandløb uden store søer i oplandet. Er der søer i oplandet, er variansen på støjen generelt større.

For arealkoefficienterne er følgende model udviklet og anvendt

$$A = a_A + b_A Q_v + U_A \quad (7.2)$$

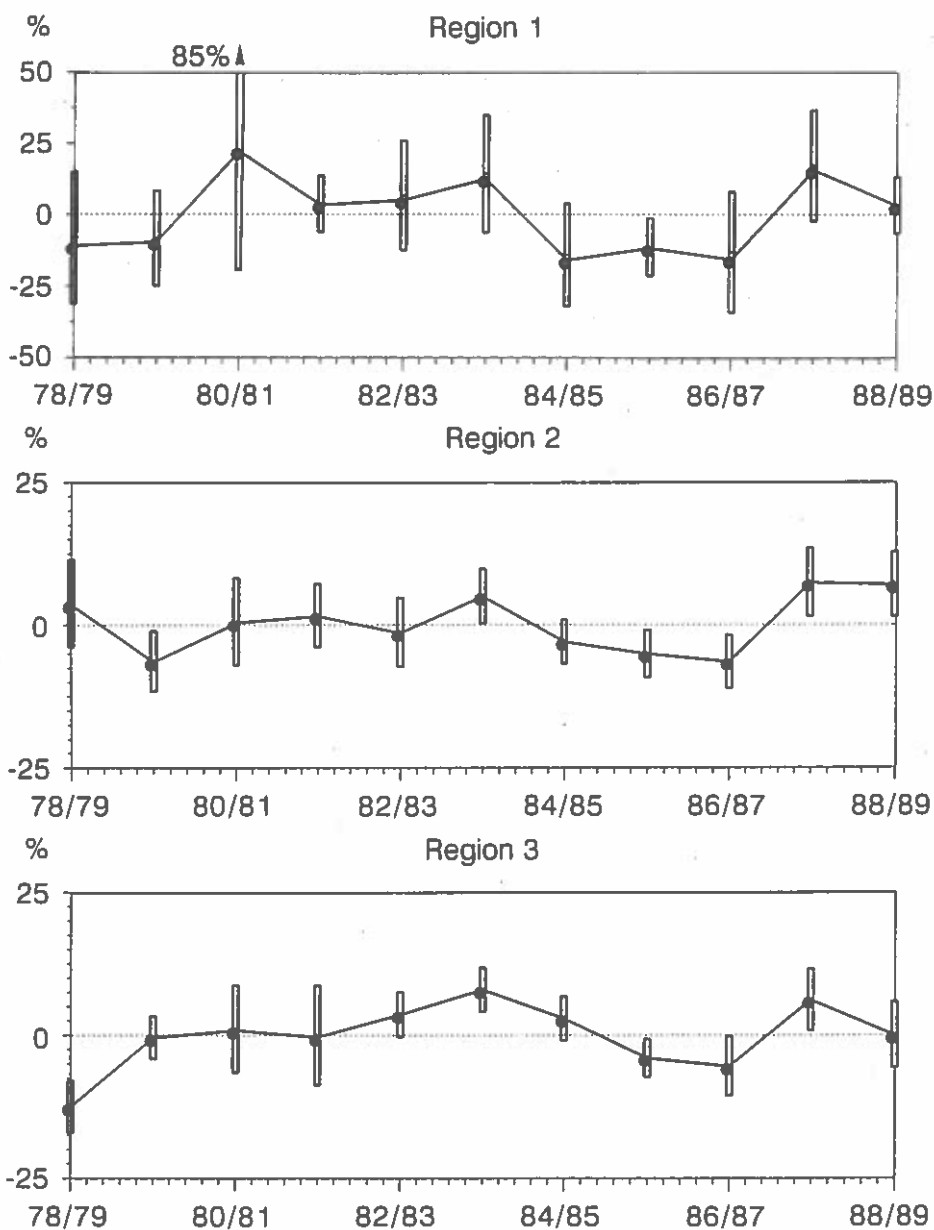
hvor A betegner arealkoefficienten.  $a_A$ ,  $b_A$  er konstanter.  $U_A$  er støj, der kan antages tilnærmelsesvis normal fordelt. Variansen af  $U_A$  synes at variere fra vandløb til vandløb.

Ved hjælp af modellerne (7.1) og (7.2) er det muligt at afstrømningskorrigere de fundne gennemsnitskoncentrationer og arealkoefficienter. Udviklingstendenser i form af ændringer i  $a_c$ ,  $b_c$ ,  $a_A$ ,  $b_A$  kan analyseres ved sædvanlige statistiske tests (Sokal og Rohlf, 1981).

### 7.3 Udviklingen i koncentrationsniveauet af N i danske vandløb i perioden 1978/79 - 1988/89

De afstrømningskorrigerede N-koncentrationer, i de overvejende landbrugsbelastede vandløb uden

store søer i oplandet, har i perioden 1978/79-1988/89 været tilnærmelsesvis konstant. Afvigelserne de enkelte år var på max  $\pm 10\%$  i forhold til gennemsnittet for perioden (figur 7.2). Det kan specielt bemærkes, at der generelt ikke har været hverken en stigende eller en faldende tendens i koncentrationsniveauet i nogen af de tre regioner i denne periode. Det kan også bemærkes, at koncentrationsniveauet i 1988/89 ligger på samme niveau som i den foregående 10-års periode.

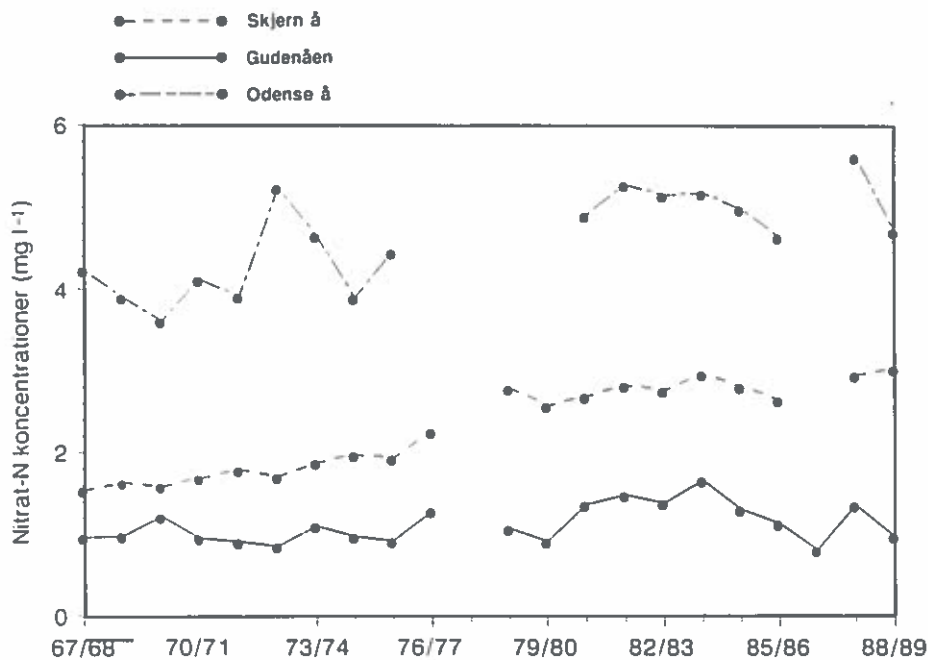


Figur 7.2: Udviklingen i koncentrationsniveauet af nitrat-N i perioden 1978/79-1988/89 angivet med 95% konfidensgrænser.

Vandløb, som er belastet af store punktkilder i oplandet, har hver især haft deres eget udviklingsforløb i koncentrationsniveauet af N, og er derfor ikke indgået i denne analyse.

#### 7.4 Udviklingen i koncentrations- og transportniveauet af N i tre store vandløb med en 23 års tidsserie

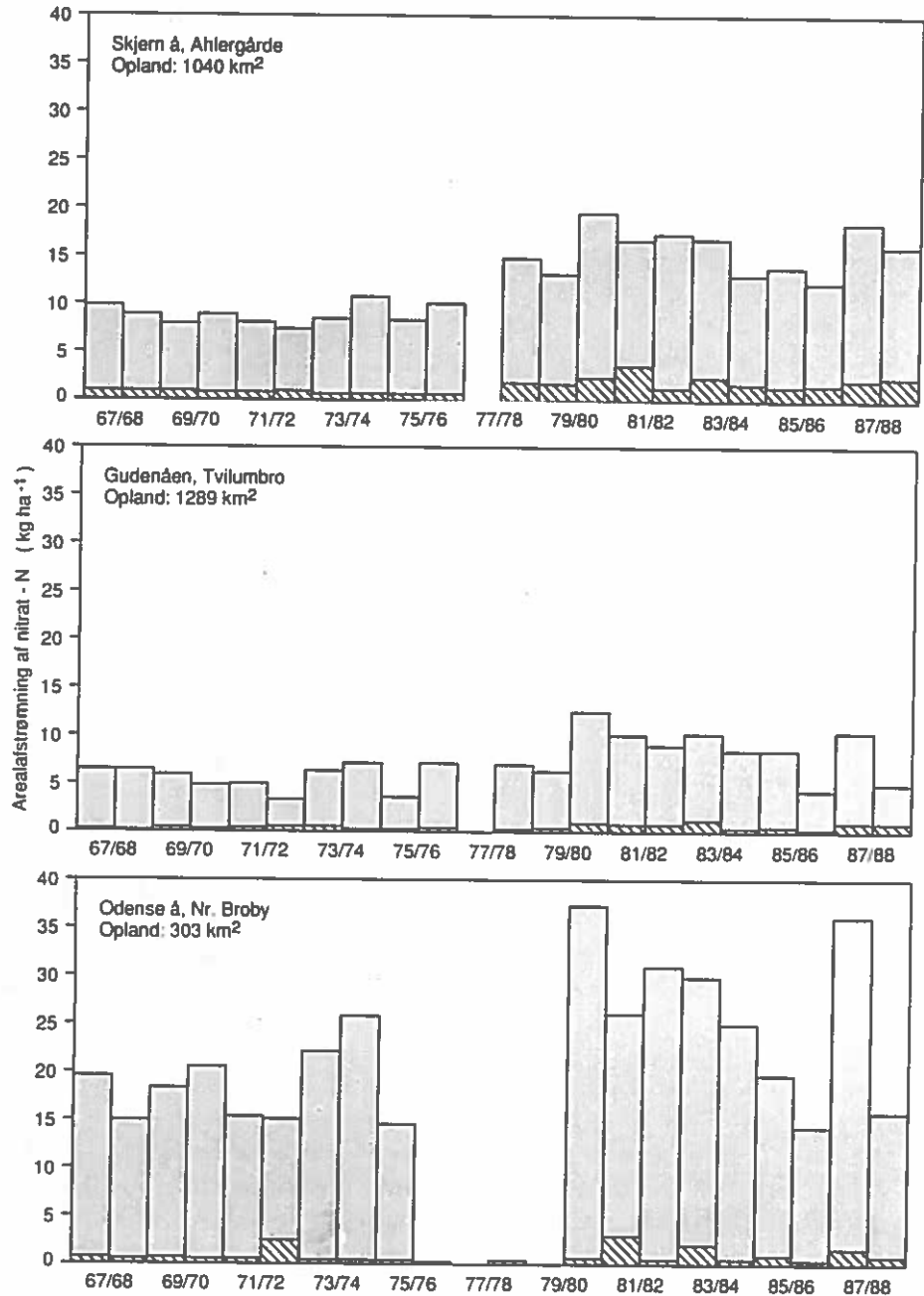
Skjern å, Gudenåen og Odense å afvander relativt store oplande (300-1300 km<sup>2</sup>). Gudenåen er det eneste af vandløbene med større søer i oplandet. Det kan forklare at der i Gudenåen findes et lavere niveau af N-koncentration og arealkoefficient end i de to andre vandløb (figur 7.3 og 7.4).



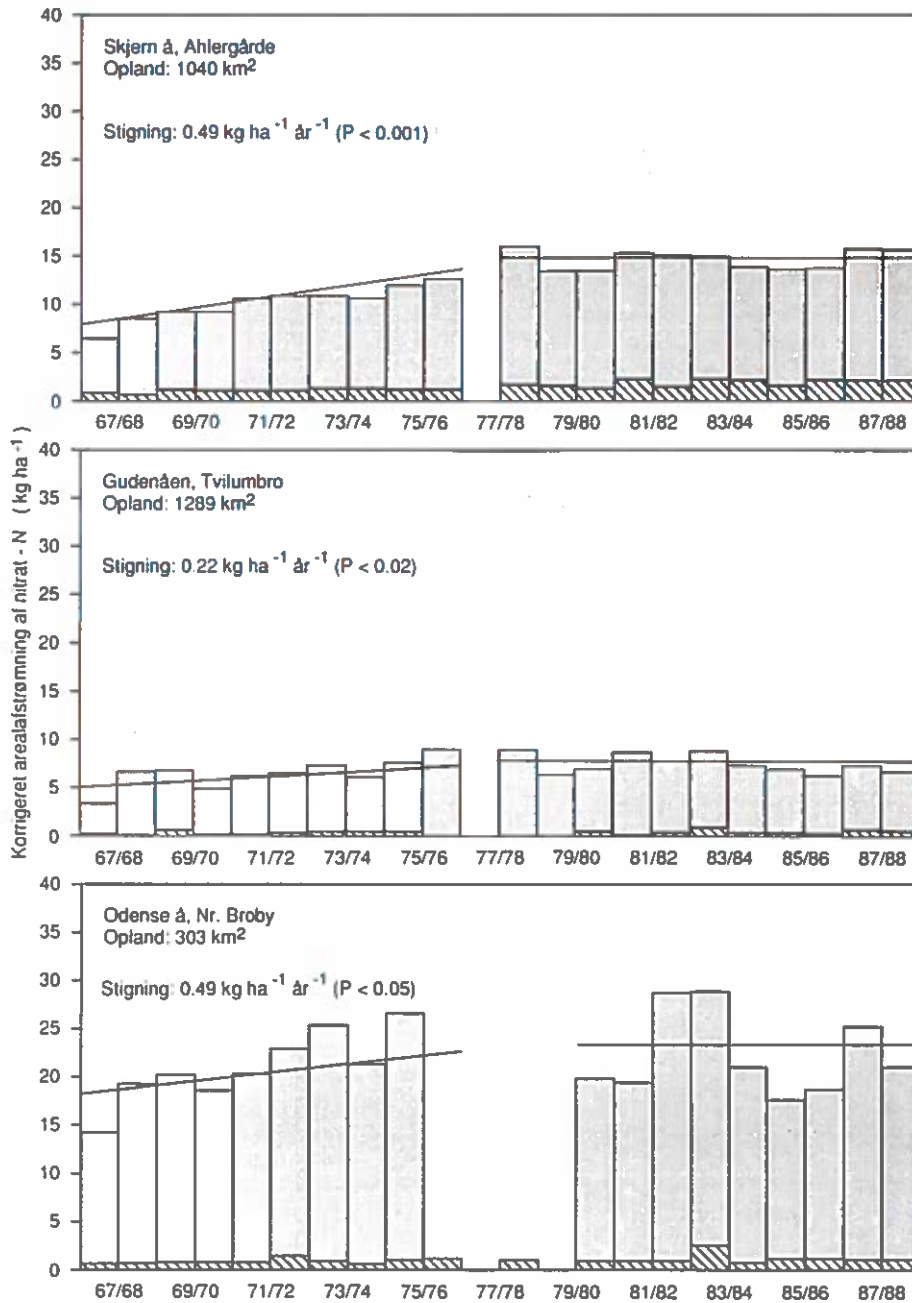
Figur 7.3: Gennemsnitskoncentrationerne af nitrat-N i årene 1967/68-1988/89.

De tre vandløb indgik i analysen i foregående afsnit. Det kan derfor antages, at disse vandløb i perioden 1978/79 - 1988/89 havde et konstant ni-

veau i den afstrømningskorrigerede N-koncentration og arealkoefficient. I dette afsnit vurderes udviklingen i begge disse størrelser i perioden forud for 1978/79.



Figur 7.4: Arealkoefficienten af nitrat-N i årene (og somrene) 1967/68-1988/89.



Figur 7.5: Afstrømningskorrigerede arealkoefficienten af nitrat-N i årene (og somrene) 1967/68-1988/89, samt stigninger i årene 1967/68-1978/79.

I alle tre vandløb var der i perioden 1967/68 - 1978/79 en stigning i koncentrationsniveauet af N på  $2.5 \pm 1.1\%$  pr. år (tabel 7.2). Tilsvarende var der en relativ stigning i arealkoefficienten på  $3.1 \pm 1.5\%$  pr. år. Den årlige absolutte stigning varierede dog noget fra vandløb til vandløb. Stigningen for Skjern å og Odense å var ca.  $0.49 \text{ kg ha}^{-1}$  pr. år og for Gudenåen ca.  $0.22 \text{ kg ha}^{-1}$  pr. år (tabel 7.2). I alle tre vandløb var der en stigning i transporten i sommermånederne på ca.  $0.02 \text{ kg ha}^{-1}$  pr. år.

	KONCENTRATION	AREALKOEFFICIENT	
		juni-aug.	hele året
Skjern å	} $2.5 \pm 1.1\%$ }	} $0.024 \pm 0.023 \text{ kg ha}^{-1}$ }	$0.49 \pm 0.22 \text{ kg ha}^{-1}$
Gudenå			$0.22 \pm 0.13 \text{ kg ha}^{-1}$
Odense å			$0.49 \pm 0.48 \text{ kg ha}^{-1}$

**Tabel 7.2:** Stigning i den afstrømningskorrigerede koncentration og arealkoefficient af N i peioden 1967/68-1978/79. Alle stigninger er signifikante.

I Skjern å skete der et niveauskift i de målte koncentrationer i 1978 i forhold til den foregående periode (figur 7.3). Dette skyldes antageligt, at der dette år skiftedes analyselaboratorium. I perioden 1967/68 - 1976/77 anvendtes samme laboratorium for alle tre vandløb. Den systematiske stigning i niveauet af arealkoefficienter og koncentrationer i denne periode kan derfor ikke forklares ved skift i analyselaboratorium.

### 7.5 Udviklingen i kvælstofgødningsforbrug

Produktionen af N i form af husdyrgødning er i perioden 1967/68-1988/89 faldet i Østdanmark og tilnærmelsesvis konstant i Vestdanmark (figur 7.6A). I samme periode er forbruget af N i form



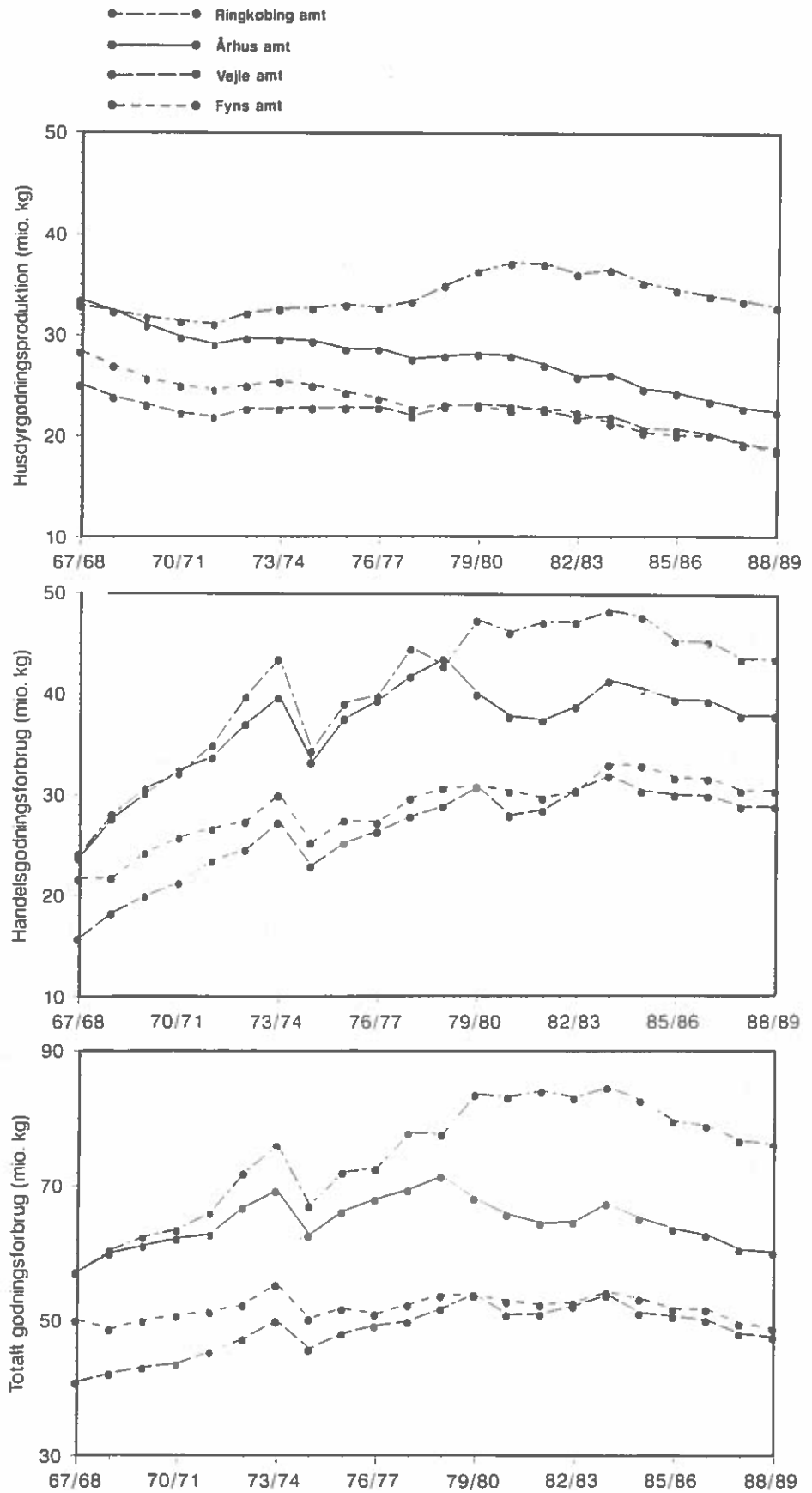
af handelsgødning steget (figur 7.6B). Forbruget har dog ikke været jævnt stigende gennem hele perioden, det har nærmest været konstant siden 1979/80. Det samlede forbrug af kvælstofgødning er steget i perioden 1967-79 og herefter svagt faldende (figur 7.6C).

Udviklingen i forbruget af kvælstofgødning har således tilnærmelsesvis fulgt udviklingen i koncentrations- og arealkoefficientsniveauet af N i danske vandløb (tabel 7.3). Der må derfor siges at foreligge stærke indicier for, at det øgede forbrug af kvælstofgødning i perioden 1967/68-1978/79 har resulteret i en øget udvaskning af N fra de dyrkede arealer. Stigningen i N-udvaskningen har i samme periode resulteret i et stigende koncentrations- og arealkoefficientsniveau af N i de danske vandløb.

	HANDELS GØDNING	HUSDYR GØDNING	GØDNING IALT
region 1	77%	2%	36%
region 2	83%	-14%	25%
region 3	41%	-19%	7%

Tabel 7.3: Stigning i forbruget af kvælstofgødning.

Husdyrgødningsproduktionen er her fundet ved at beregne gødningsproduktionen pr. dyreenhed pr. år ud fra givne normtal (Kilde: Danmarks Statistik). Denne beregningsmetode giver for lave værdier for husdyrgødningsproduktionen svarende til, at de anvendte normtal er for små (Nielsen, 1990). Derudover må det forventes at disse normtal har ændret sig i perioden 1967/68 - 1988/89. Derfor skal den i figur 7.6 viste udvikling i husdyrgødningsproduktionen tages med at vist forbehold.



Figur 7.6: Udviklingen i forbruget af kvælstofgødning i Ringkøbing, Århus, Vejle og Fyns amter i perioden 1967/68-1988/89. Kilde: Landbrugsstatistikken.

## 7.6 Diskussion og sammenfatning

En analyse af datamateriale fra 62 vandløb i Danmark dækkende 3 regioner: Vestjylland, Østjylland og Fyn viser, at det afstrømningskorrigerede koncentrationsniveau af N i vandløb har været nogenlunde konstant i perioden 1978/79-1988/89. Det samme er også tilnærmelsesvis gældende for forbruget af kvælstofgødning.

Der har i perioden 1967/68-1978/79 været en signifikant stigning på ca. 2.5% pr. år i koncentrationen af N, målt som nitrat-N, i tre store, danske vandløb (Skjern å, Gudenå og Odense å). En tilsvarende stigning på ca. 3.1% pr. år har fundet sted i arealkoefficienten af N i de tre vandløb. Det er sandsynliggjort, at denne stigning skyldes et øget forbrug af kvælstofgødning i samme periode.

Resultaterne passer godt med de sammenhænge imellem gødningsforbrug/arealanvendelse og arealkoefficient/koncentration af N i vandløb, der er fundet herhjemme og i en række andre lande: Danmark (Fyns amt, 1990), kapitel 6 i denne rapport; Irland (Neill, 1989); Sverige (Jernlås, 1982), (Diehl et al., 1987); Finland (Rekolainen, 1989); Polen (Taylor et al., 1986); Ungarn (Pinter og Jolanski, 1982).

## 8. SØUNDERSØGELSER

Målsætningerne for de danske søer er fastlagt i de amtskommunale recipientkvalitetsplaner. Såfremt målsætningerne ikke er opfyldt, er der i de fleste af planerne også peget på hvilket tiltag, der skal iværksættes for, at målsætningerne skal kunne opfyldes. Vandmiljøplanen er en mere general plan, som ikke er rettet direkte mod eutrofieringen af søer. Udledningskravene fra f.eks. spildevandsanlæg er i denne plan derfor ofte også meget mere lempelige end kravene i recipientkvalitetsplanerne. I Vandmiljøplanen peges der da også på, at de specifikke krav i recipientkvalitetsplanerne er gældende, såfremt disse er skrapere end i Vandmiljøplanen.

Vurderingen af effekterne på miljøtilstanden i søer af tiltagene i medfør af Vandmiljøplanen og dermed også i medfør af recipientkvalitetsplanerne er baseret på meget intensive undersøgelser i 37 overvågningssøer samt på data fra yderligere ca. 350 søer, som har været undersøgt mere ekstensivt.

De 37 overvågningssøer (tabel 8.5) blev udvalgt efter følgende kriterier:

- de skulle dække de forskellige arealanvendelser og belastningstyper
- de skulle være repræsentative for danske søer i morfometrisk henseende
- der skulle helst eksistere en forudgående længere tidsserie for miljøtilstanden.

Dataene fra de 350 søer er anvendt til at vurdere repræsentativiteten af overvågningssøerne, og til at give en beskrivelse af den øjeblikkelige miljøtilstand i danske søer samt deres udvikling i

de seneste årtier. Sammen med informationer fra intensive studier i et mindre antal søer er disse data desuden blevet anvendt til at tilvejebringe informationer om samspillet mellem næringsstofftilførslen og koncentrationerne af næringsstoffer i søerne samt af samspillet mellem koncentrationen af næringsstof og sammensætningen af det biologiske samfund.

I afsnit 8.2-8.4 er de danske søer karakteriseret, og søernes reaktion på ændringer i næringsstofftilførslen er diskuteret. I afsnit 8.5 er der foretaget en vurdering af repræsentativiteten af overvågningssøerne på grundlag af informationerne i sødatabasen, og i afsnit 8.6 er overvågningsresultaterne fra 1989 omtalt, ligesom amternes og DMU's vurdering af behovet for supplerende tiltag for at forbedre miljøtilstanden er beskrevet.

### 8.1 Datagrundlag

Til analyserne er der anvendt data fra 35 af de ialt 37 overvågningssøer, idet to søer, Damhussøen og Utterslev mose, beliggende i Københavns kommune først er medtaget på Overvågningsprogrammet for 1990. Desuden er der benyttet data fra sødatabasen på Danmarks Miljøundersøgelser. Disse data stammer især fra de amtskommunale og kommunale tilsyn, men omfatter også data fra projekter udført på Danmarks Miljøundersøgelser. Databasens indhold og omfang er nærmere beskrevet i Kristensen et al. (1989 og 1990).

Opgørelse af belastning til søerne er baseret på de amtskommunale rapporteringer. Dog er bidraget fra våd- og tørdeposition harmoniseret. For N benyttes værdien  $18,5 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ , som inklude-

rer både afsætning af  $\text{NH}_3$  og  $\text{NO}_x$  inkl.  $\text{NO}_2$  (Hovmand og Bille Hansen, 1988 og Hovmand, 1990) og for P-værdien  $0,15 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$  (Miljøstyrelsen, 1988). For to søer, St. Søgård sø og Jels Oversø, forefindes der kun belastningsopgørelser for de sidste 7 måneder af 1989. Den totale belastning i disse søer er opgjort ved at multiplicere den målte belastning med forholdet mellem den totale vandtransport i hovedtilløbene til søerne og vandtransporten i de 7 måneder, hvor der er foretaget vandkemiske undersøgelser.

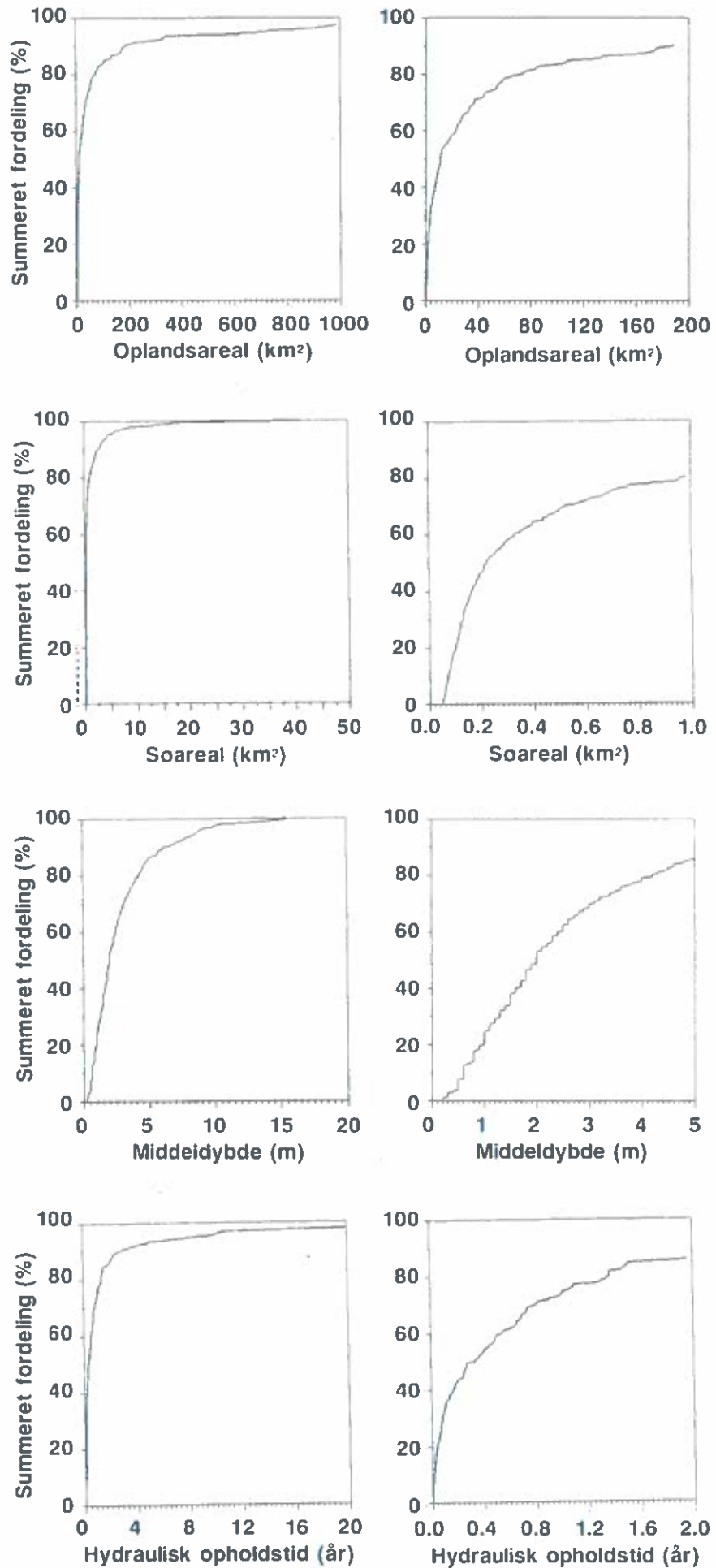
## 8.2 Karakteristik af den danske sø og dens miljøtilstand

### Den danske søtype

I Danmark er der 468 søer, der er større end 5 ha samt et stort antal søer og vandhuller under 5 ha (Danmarks Statistik, 1968). Den typiske danske sø (>5 ha) er karakteriseret ved at være lille, lavvandet og ved have en kort hydraulisk opholdstid (figur 8.1 og tabel 8.1). Den gennemsnitlige oplandsareal var  $97 \text{ km}^2$ , medens medianen lå på kun  $11 \text{ km}^2$ . Den største sø, Arresø, havde et søareal på  $42 \text{ km}^2$ , hvilket dog er langt fra gennemsnitsstørrelsen og medianen for søerne i databasen, som hhv. var  $1.1$  og  $0.22 \text{ km}^2$ .

	Antal	Middel	Median	25%-fraktil	75%-fraktil	Maksimum	Minimum
Oplandsareal ( $\text{km}^2$ )	238	97	11	2,5	54	1500	0,16
Areal ( $\text{km}^2$ )	361	1,1	0,22	0,11	0,70	42	0,05
Middeldybde (m)	257	2,9	2,0	1,1	3,6	16,3	0,2
Maksimumsdybde (m)	272	6,1	3,7	2,0	7,9	37,4	0,2
Hydraulisk opholdstid (år)	223	1,6	0,3	0,07	1,07	27	<0,01

Tabel 8.1: Morfometriske data for søer i sødatabasen (større end 5 ha).



**Figur 8.1:** Summeret fordeling af forskellige morfometriske parametre samt oplandsarealet i søerne i DMU-databasen. I højre kolonne er en mindre del af venstre kolonne opskaleret.

I Danmark er der kun få dybe søer. Middeldybden varierede således mellem 0,2 og 16,3 m. Medianen var blot 2 m og middelværdien 2,9 m. Den største maksimumsdybde findes i Furesøen og er på 37 m.

Den hydrauliske opholdstid udviste stor variation, men var i gennemsnit kun 1.6 år og i median 0.3 år. I søer på lerjord var opholdstiden i de hurtigt gennemstrømmede søer meget varierende igennem sæsonen men ofte lang om sommeren.

### Miljøtilstand

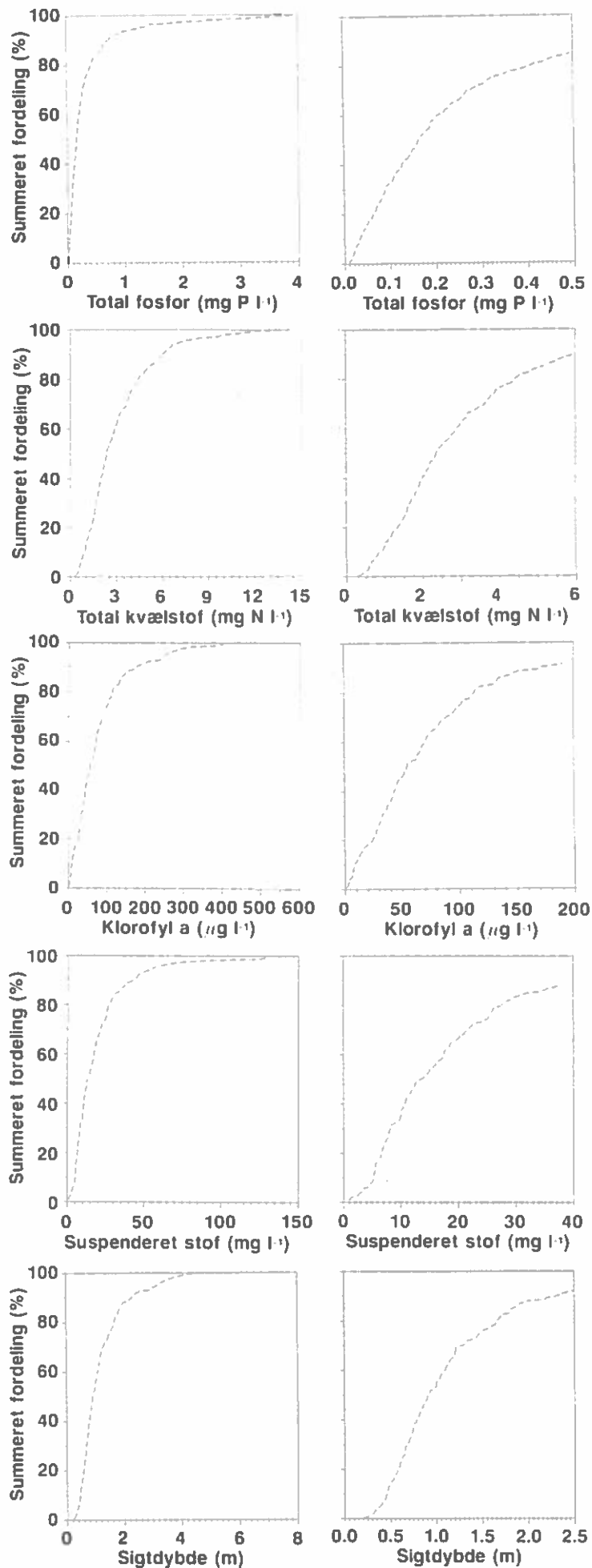
Søerne var generelt meget næringsrige med høje værdier af P og N i søvandet, hvilket betyder høje biomasser af planktonalger (målt som klorofyl a) og dermed uklart vand (lav sigtdybde) (figur 8.2 og tabel 8.2).

	n	Middel	Median	25%-fraktil	75%-fraktil	Maksimum	Minimum
Total fosfor ( $\mu\text{g P l}^{-1}$ )	291	302	146	63	285	10000	8
Total kvælstof ( $\text{mg N l}^{-1}$ )	291	2.97	2.12	1.25	3.90	15.9	0.29
Klorofyl a ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	120	80	54	20	95	601	0.2
Sigtdybde (m)	314	1.21	0.91	0.65	1.54	6.3	0.2
Suspenderet stof ( $\text{mg l}^{-1}$ )	118	18	12	7	23	130	1

Tabel 8.2: Oversigt over næringsstofniveauet, klorofylindholdet, sigtdybden og mængden af suspenderet stof i danske søer (årsmiddel).

P-niveauet var således  $302 \mu\text{g P l}^{-1}$  i gennemsnit for 291 søer, og medianen  $146 \mu\text{g P l}^{-1}$ , medens P-niveauet til sammenligning typisk var under  $20\text{--}40 \mu\text{g P l}^{-1}$  i søer i naturområder. Total N var i gennemsnit  $3 \text{ mg N l}^{-1}$ , og medianen  $2,1 \text{ mg N l}^{-1}$ , medens den i søer i naturområder typisk var under  $0,5\text{--}1 \text{ mg N l}^{-1}$ .

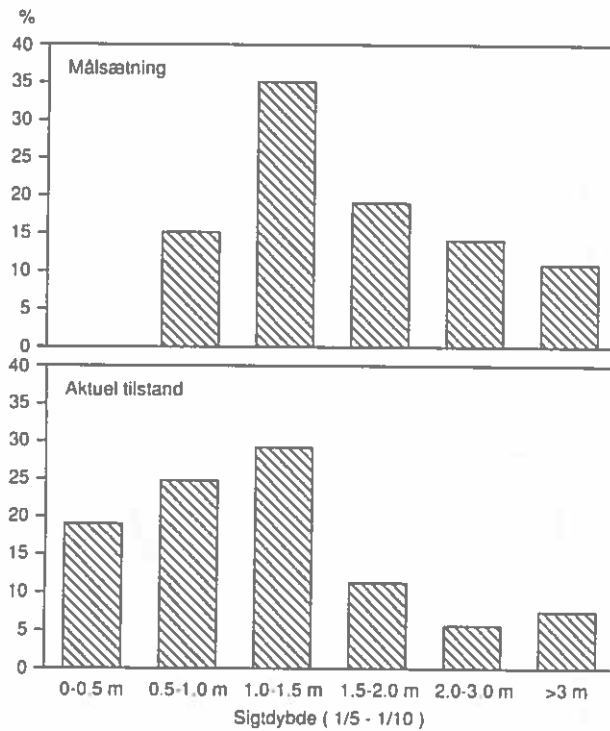




Figur 8.2:  
Summeret fordeling af forskellige eutrofieringsparametre i søerne i DMU-databasen. I højre kolonne er en mindre del af venstre kolonne opskaleret.

På grund af det høje næringsstofniveau var klorofylindholdet meget højt med en median og en middelværdi, der var 5-20 gange større end niveauet i søer i naturområder. Medianen var  $54 \mu\text{g l}^{-1}$  og middelværdien  $80 \mu\text{g l}^{-1}$ .

Sigtdybden varierede mellem 0,2 og 6,3 m, men som følge af en generel stor biomasse af planktonalger og højt suspenderet stofindhold, var sigtdybden gennemgående lav med en middelværdi på 1,2 m og en median på 0,9 m. Sigtdybden var især lav i de lavvandede søer, som ofte er særligt hårdt belastede og desuden meget påvirkede af lyssvækkelse fra resuspenderede partikler (Kristensen og Jeppesen, 1988).

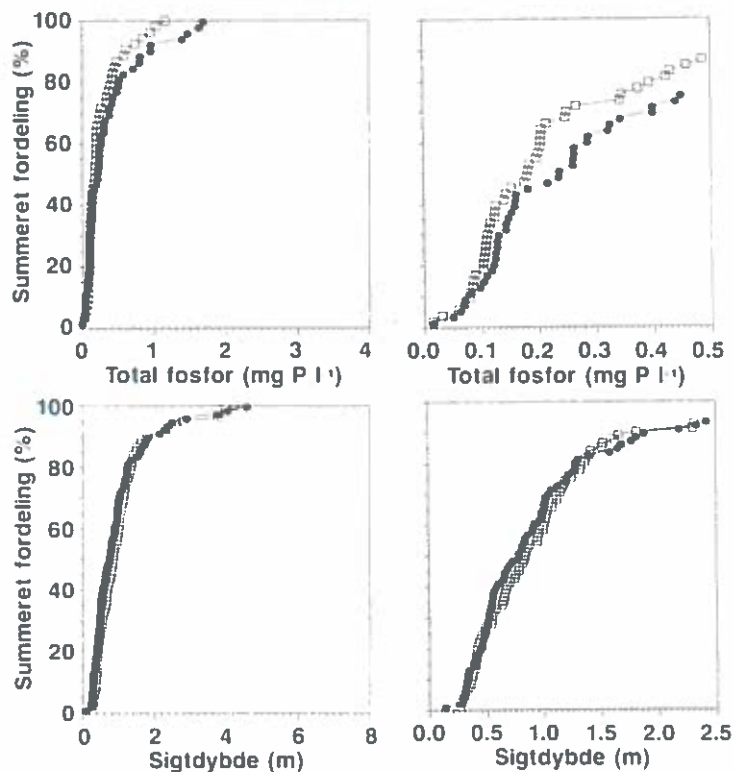


Figur 8.3: Sammenligning mellem den aktuelt målte sommersigtdybder og de i recipientkvalitetsplanerne fastsatte minimumskrav til sommersigtdybden. Sammenligningen bygger på ialt 95 søer fra Nordjyllands, Aarhus, Vejle og Storstrøms amt. Det ses af figuren, at i en stor del af søerne er sigtdybden lavere end den er målsat til ifølge recipientkvalitetsplanerne. (Omarbejdet efter Kristensen og Jeppesen, 1988).

Miljøtilstanden i søerne var i midten af 80'erne således generelt væsentligt dårligere end de kravværdier, som er opstillet af amterne i recipientkvalitetsplanerne (figur 8.3).

### 8.3 Udviklingen i miljøtilstanden i søerne

På grundlag af sødatabasen er der foretaget en vurdering af udviklingen i miljøtilstanden i danske søer fra 70'erne (1972-79) og til slutningen af 80'erne (1985-89). Analysen inkluderer kun søer, for hvilke der forefindes data fra begge perioder. Desuden er der stillet krav om, at der mindst skal være data fra 2 måneder i perioden maj-september. Der er først udregnet månedsgennemsnit for perioden og herefter sommergennemsnit ud fra månedsværdierne (maj-september).



Figur 8.4: Sommeret fordeling af P-koncentrationen og sigtdybden i perioden 1972-79 (●-●) og 1985-89 (□-□) i alle søer, hvorfra der findes data fra begge de nævnte perioder. I højre kolonne er en mindre del af venstre kolonne opskaleret. Figuren skal forstås således, at i 100% af søerne var eksempelvis fosfor i 1985-89 mindre end 1,2 mg P l<sup>-1</sup>, i 50% af søerne var P-koncentrationen i samme periode såvel mindre end som større end 0,18 mg P l<sup>-1</sup> og i 25% mindre end 0,11 mg P l<sup>-1</sup> osv.

Der er sket en signifikant reduktion i P-koncentrationen ( $P < 0,05$ ). I de 55 søer, som indgår, er median-P reduceret fra 0,24 til 0,18 mg P l<sup>-1</sup>.

Der var tendens til en svag forbedring i sigtddybde, som dog ikke var signifikant ( $P > 0,05$ ) (figur 8.4).

Årsagen til at sigtddybden kun forbedres lidt eller slet ikke, selvom P-koncentrationen faldt med gennemsnitlig 17%, kan forklares ved, at P-koncentrationen i mange af søerne, også efter reduktionen i P-tilførslen, var højere end det niveau, hvorunder der kan ske en markant forbedring i sigtddybden (se afsnit 8.6). For en del søers vedkommende kan den manglende forbedring i miljøtilstanden imidlertid også skyldes forsinkelse som følge af dels intern belastning, dvs. P-frigivelse fra den pulje i sedimentet, som blev ophobet, medens søen var hårdere belastet, og dels også træghed i det biologiske system (Jeppesen et al., 1990a; Kristensen et al., 1990). Der kan derfor i nogle tilfælde være behov for et indgreb over for næringsstoffrigivelsen fra sedimentet eller indgreb i det biologiske system, især mht. fisk.

Det kan således konkluderes, at P-niveauet er faldet i søerne fra 70'erne til slutningen af 80'erne, men at der som helhed ikke er sket mærkbare forandringer i vandets gennemsigtighed. I slutningen af 80'erne var tilstanden derfor fortsat dårlig. I afsnit 8.6 er der foretaget en nærmere vurdering af behovet for og konsekvenserne af yderligere tiltag over for P-tilførslen, således at søerne kan opfylde målsætningerne, som typisk stiller krav om et lavt fosforniveau, en høj sigtddybde og om, at søerne rummer en alsidig flora og fauna.

#### 8.4 Sammenhængen mellem næringsstofbelastning og miljøtilstand

Det biologiske samfund i søerne ændres betydeligt med ændringer i næringsstofniveauet og følgelig med ændringer i næringsstofftilførslen til søerne. En del af de næringsstoffer, som tilføres fra omgivelserne, sedimenterer og indlejres permanent i søbunden (P og N) eller tabes ved denitrifikation (N). Disse stoffer vil følgelig ikke være tilgængelige for den biologiske produktion i søerne. Som gennemsnit for 97 danske søer blev der således fundet et tab på  $3.3 \text{ g P m}^{-2}$  søoverflade  $\text{år}^{-1}$ , hvilket svarer til 25% af belastningen (median  $1.1 \text{ g P m}^{-2} \text{ år}^{-1}$  og 36%) og i 69 søer et tab på  $29 \text{ g N m}^{-2} \text{ år}^{-1}$  eller 43% af belastningen (median  $17 \text{ g N m}^{-2} \text{ år}^{-1}$  og 41%) (Kristensen et al., 1990 og Jensen et al., i trykken). Tabet af N og P var dog ikke ens i alle søer, men varierede bl.a. med middeldybden og den hydrauliske opholdstid. Blandt 21 testede modeller kunne sammenhængen mellem P-belastningen og P-koncentrationen ( $P_{sø}$ ) i de 97 søer bedst og lige godt beskrives ved 4 modeller, hvoraf den ene er den velkendte Vollenweider-model (Vollenweider, 1976; Kristensen et al., 1990):

$$P_{sø} = P_i(1 + tw^{0.5})^{-1}, \quad (1)$$

hvor  $tw$  er den hydrauliske opholdstid (år) og  $P_i$  er den vandføringsvægtede indløbskoncentration af total P og  $P_{sø}$  total P i søvandet (begge årsmiddelt). Sammenhængen mellem N-belastningen og N-koncentrationen i søvandet kunne beskrives ved følgende model:

$$N_{sø} = 0.34 N_i tw^{-0.16} z^{0.17}, \quad (2)$$

hvor Z er middeldybden (m) og de øvrige som for P.

Ud fra disse modeller kan N- og P-koncentrationen i søvandet ved forskellige belastninger beregnes under forudsætning af, at søen er i ligevægt med den aktuelle belastning. Med kendskab til P-koncentrationen kan vandets sigtdybde beregnes. Der er således opstillet følgende modeller mellem P-koncentrationen og sommersigtdybden:

$$\text{sigtdybde(m)} = 0.44 P_{sø}^{-0.54} \quad (3)$$

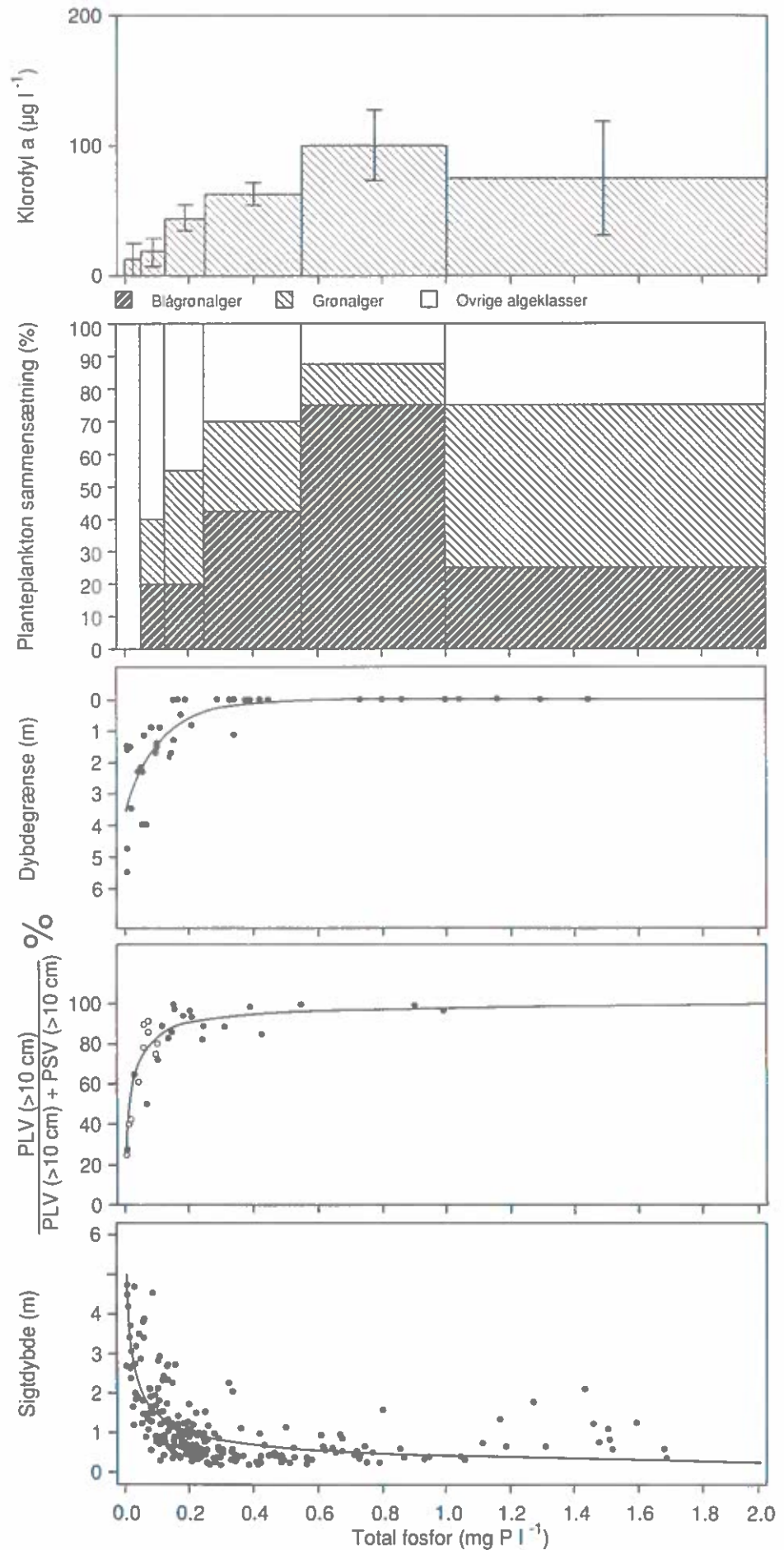
$$\text{sigtdybde(m)} = 0.36 P_{sø}^{-0.29} Z^{0.51} \quad (4)$$

Den sidste relation gav det bedste resultat generelt for danske søer (Kristensen et al., 1990).

Der er en nøje sammenhæng mellem P-koncentration og det biologiske samfund i søen.

Den rene og lavvandede sø, som har lav P-koncentration, er karakteriseret ved stor udbredelse af bundplanter. Primærproduktionen foregår i tilknytning hertil og til mikroskopiske alger på planternes og søbundens overflade, medens mængden af planktonalger er lav og ofte domineret af gulalger. Søen er klarvandet. Fiskebestanden er domineret af rovfiskene gedde og aborre, medens mængden af planktivore fisk, som skalle og brasen, er lav (figur 8.5).

Med stigende næringsstofftilførsel produceres der flere bundplanter, smådyr og fisk. Samtidigt sker der imidlertid en række kvalitative forandringer samt forskydninger mellem producenter (planktoniske alger og fasthæftede alger, bundplanter) og konsumenter (dyreplankton, bunddyr og fisk).



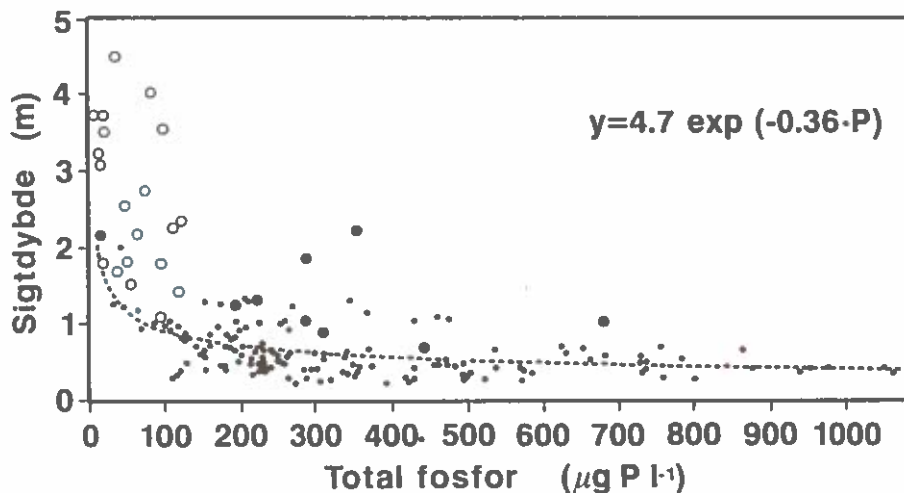
Figur 8.5: Sammenhæng mellem middelklorofyl a-koncentration, den procentvise fordeling af dominante plantep planktonklasser, dybdegrænse for bundplanternes udbredelse, forholdet mellem planktivore fisk (PLV) og planktivore fisk + rovfisk (PLV+PSV), middelsigtdybde om sommeren mod middeltotal P-koncentration om sommeren (fra Jeppesen et al., i trykken og Kristensen et al., 1990).

Produktionen i søvandet bliver derved i stigende grad større end omsætningen. Hermed igangsættes en række selvforstærkende processer, som yderligere forværrer forholdene.

Således øges mængden af alger på planternes overflade (epifyter) og siden også mængden af planktonalger i søvandet. Dermed svækkes lystilgangen til bundplanterne, hvorved dybdegrænsen for undervandsplanterne reduceres (Phillips et al., 1978; Sand Jensen, 1980). Der er således fundet en eksponentiel aftagende dybdegrænse for bundplanterne med stigende P-koncentration (figur 8.5), således at bundplanterne i gennemsnit kun når ud på 1 m's vanddybde ved et P-niveau på  $150 \mu\text{g P l}^{-1}$ .

Tilbagegangen i undervandsplanter er alvorlig, fordi en del af stabiliteten i økosystemet dermed reduceres (Scheffer, 1990). Bundplanterne har således stor betydning for næringsstoffrigivelsen til søvandet. Planterne stabiliserer således bundmaterialet, som derved ikke så let ophvirvles med P-frigivelse tilfølgelse. Desuden optager planterne næringsstoffer, hvorved koncentrationen af disse stoffer bliver mindre i søvandet, når planterne er tilstede, og følgelig udvikles der også færre planktonalger. Desuden er bundplanterne attraktive som fasthæftningssubstat og skjul for en række filtratorer, bl.a. dyreplankton. Dermed øges antallet af filtratorer og følgelig også græsningstrykket på planteplanktonet (Jeppesen et al., 1989 og 1990a). Det er således konstateret, at søer med udbredt undervandsvegetation generelt har en højere sigtdybde ved en given P-koncentration end søer uden eller med få undervandsplanter (figur 8.6).





Figur 8.6: Sammenhængen mellem middelsigtdybde og middeltotal P-koncentration (maj-september) i lavvandede søer ( $z < 3$  m). o=søer større end 3 ha og stor dækningsgrad af bundplanter. ●=søer mindre end 3 ha og stor dækningsgrad af bundplanter. ·=søer uden bundplanter eller ukendt antal (fra Jeppesen et al., 1990a).

Der igangsættes også andre selvforstærkende processer, når P-tilførslen øges. Betydningen af rovfisk mindskes. Således forringes geddens muligheder bl.a. som følge af, at vandet bliver uklart, når mængden af planktonalger øges. Desuden har tilbagegangen i arealudbredelsen af undervandsplanter stor betydning. Alt andet lige øges mængden af rovfiskene gedde og aborre således, når planterne er tilstede, idet skjulemulighederne øges, og graden af kannibalisme mindskes.

Mange undervandsplanter favoriserer også aborren i forhold til skalle og brasen. De yngste årgange af disse fisk har overlappende fødevalg, bl.a.

dyreplankton, men aborren er bedre til at søge føde imellem planterne end skalle og brasen (Winfield og Townsend, 1988). På det åbne vand er det lige omvendt. Her er skalle og brasen aborren overlegen. En tilbagegang i mængden af undervandsplanter vil altså favorisere de planktivore fisk som skalle og brasen, både på grund af bedre konkurrencebetingelser om føde og på grund af en mindre predation, sidstnævnte som følge af at rovfiskene mindskes i antal. I overensstemmelse hermed er der konstateret et markant skift i fiskebestandens sammensætning, der med stigende P-koncentration ændres mod totaldominans af planktivore fisk, når P-koncentrationen bliver højere end ca. 80-150  $\mu\text{g P l}^{-1}$  (figur 8.5).

Forøgelsen i mængden af planktivore fisk betyder en forøgelse i predationstrykket på dyreplanktonet, som derved får sværere ved at kontrollere planktonalgerne. Desuden sker der et skift til delvis uspiselige blågrønalger, som yderligere forstærker denne tendens. I P-intervallet 0,5-1,0 mg P  $\text{l}^{-1}$  var blågrønalgerne således dominerende i mere end 70% af sommerprøverne og i godt 40% af prøverne i intervallet 0,25-0,5 mg P  $\text{l}^{-1}$  (figur 8.5).

Når færre planktonalger omsættes i vandfasen, øges bundfældningen, og planktonalgerne omsættes følgelig i søbunden med iltforbrug og ofte stor P-frigivelse tilfølgende. Dette stimulerer så igen væksten af planktonalger, hvilket yderligere skubber til de i forvejen selvforstærkende miljøforværende processer.

Resultatet bliver uklart vand og dominans af blågrønalger eller grønalger, samt dominans af planktivore fisk.

Når næringsstofftilførslen bliver overordentlig stor, optræder der biologiske sammenbrudsamfund, hvor søerne skifter mellem en klarvandet og en uklar tilstand i sidstnævnte tilfælde ofte med dominans af grønalger (figur 8.5). Dette skyldes dels betydelige år- til årvariationer i fiskebestandens mængde og aldersstruktur på grund af periodiske fiskedrab og vekslende rekrutteringssucces hos fiskene. Herved opstår der en betydelig variation i predationstrykket på dyreplanktonet og dermed i græsningstrykket på planktonalgerne. Desuden skyldes ustabiliteten, at den biologiske struktur bliver ensidig og kun består af få arter på hvert fødekædeniveau (Jeppesen et al., 1990b).

Relationerne i figur 8.5 og 8.6 peger således på, at P-koncentrationen i de eutrofierede lavvandede søer skal bringes ned under  $80-150 \mu\text{g P l}^{-1}$ , hvis der skal ske markante forandringer i det biologiske samfund i retning af en bedre balance mellem rovfisk og byttefisk, færre planktonalger og især færre blågrønalger samt flere bundplanter og bedre sigtdybde i vandet. Under denne grænse vil de omtalte selvforstærkende kredsløb, som før forværrede miljøtilstanden, kunne vendes, og dermed i stedet medvirke til at forbedre miljøtilstanden.

For de dybe danske søer eksisterer der ikke tilsvarende gode informationer om den biologiske tilstand, som for de lavvandede søer. Ændringerne i de biologiske samfund sker formentligt mere gradvist end i de lavvandede søer, fordi betydningen af undervandsplanterne som stabiliserende faktor ikke er så udtalt. Men det er vanskeligere at bryde dominansen af blågrønalger i de dybe søer. Således fandt Sas (1989), at en markant re-

duktion i dominansen af disse alger først fandt sted under ca. 20-40  $\mu\text{g P l}^{-1}$  i en række dybe europæiske søer, medens dominansen af blågrønalger reduceres ved 100-200  $\mu\text{g p l}^{-1}$  i de lavvandede søer (Jensen et al., 1990, Jeppesen et al., 1990a).

P-niveauet skal derfor være betydeligt lavere end 80-150  $\mu\text{g P l}^{-1}$  i de dybe søer, for at der kan opnåes en tilsvarende forbedring i miljøtilstanden som i lavvandede søer.

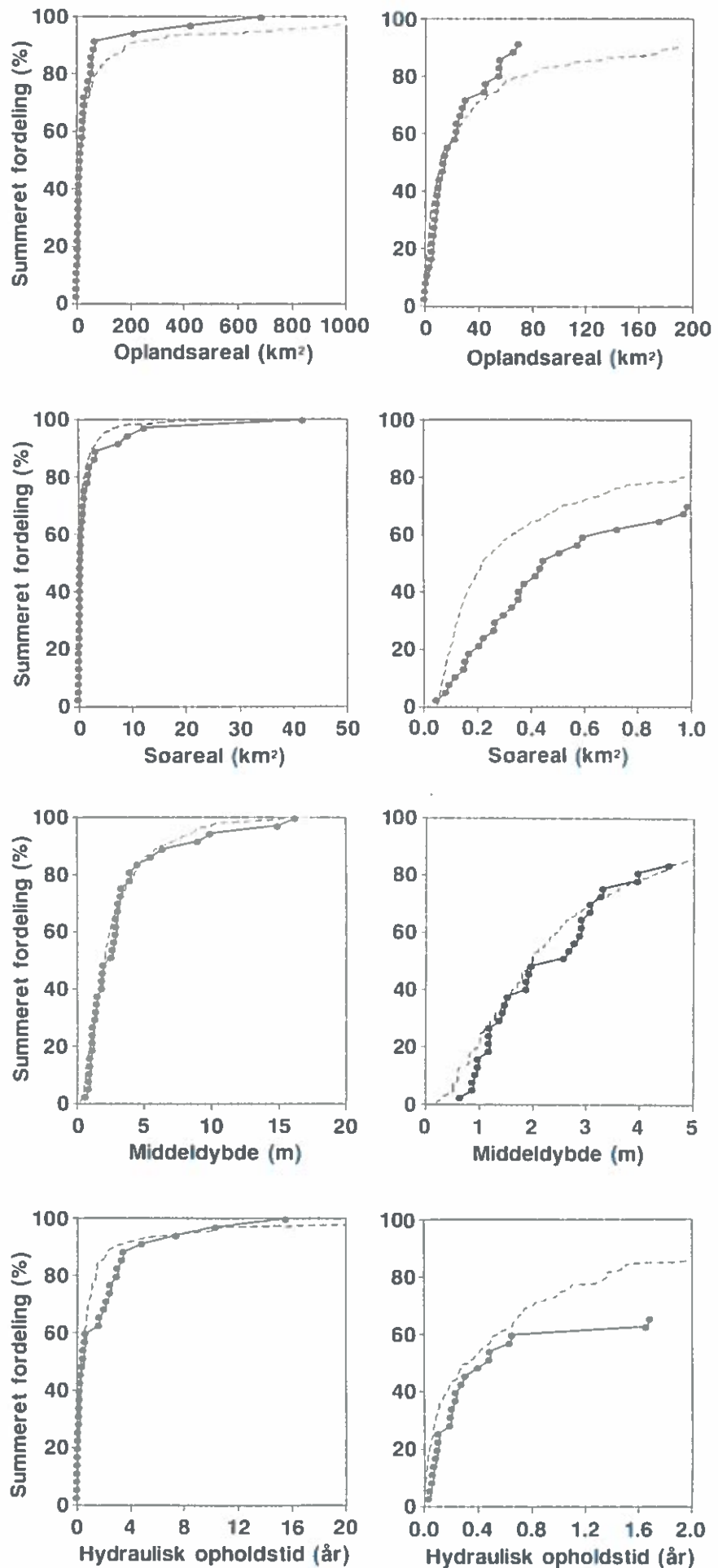
Resultaterne i dette kapitel peger på en betydelig vekselvirkning mellem fosfor og biologisk struktur, således fastslået, at P kan påvirke den biologiske struktur og omvendt, men med vekslende intensitet ved forskellige fosforniveauer. Det understreger betydningen af at inddrage biologiske undersøgelser på flere fødekædeniveauer, og det er netop, hvad der er sket i Overvågningsprogrammet til Vandmiljøplanen. Overvågningsprogrammet forventes yderligere at kunne bidrage til en forståelse af disse vekselvirkninger.

### 8.5 Repræsentativiteten af overvågningssøerne

#### Morfometri og oplandskarakteristik

Repræsentativiteten af de 37 overvågningssøer (kort 1) i morfometrisk henseende er vurderet i forhold til søerne i databasen. (figur 8.7 og tabel 8.3).

Middeldybden, maksimumsdybden og den hydrauliske opholdstid er af nogenlunde samme størrelse i de to datasæt, medens der var større afvigelse i både søarealet og i oplandets størrelse.



Figur 8.7:  
Summeret fordeling af forskellige morfometriske parametre samt oplandsarealet i overvågningssøerne (●—●) i sammenligning med søerne i DMU-databasen (---). I højre kolonne er en mindre del af venstre kolonne opskaleret.

	Antal	Middel	Median	25%-fraktil	75%-fraktil	Maksimum	Minimum
Oplandsareal (km <sup>2</sup> )							
danske søer	238	97	11	2,5	54	1500	0,16
overvågningssøer	36	57	14	7,0	45	690	0,38
Areal (km <sup>2</sup> )							
danske søer	361	1,1	0,22	0,11	0,70	42	0,05
overvågningssøer	37	2,6	0,45	0,24	1,53	42	0,05
Middeldybde (m)							
danske søer	257	2,9	2,0	1,1	3,6	16,3	0,2
overvågningssøer	37	3,5	2,6	1,2	3,7	16,3	0,7
Maksimumsdybde (m)							
danske søer	272	6,1	3,7	2,0	7,9	37,4	0,2
overvågningssøer	37	7,7	4,5	2,6	8,6	37,4	1,5
Hydraulisk opholdstid (år)							
danske søer	223	1,6	0,3	0,07	1,07	27	<0,01
overvågningssøer	35	2,0	0,5	0,11	2,5	16	0,04

Tabel 8.3: Sammenligning af morfometriske data for overvågningssøer og for søer i sødatabasen (større end 5 ha).

I overvågningssøerne var medianmiddeldybden 30% større, medianmaksimumsdybden 22% større og den hydrauliske opholdstid i median 66% større end det, der kendetegner danske søer generelt (tabel 8.3). Søernes areal afveg mest, idet arealet i overvågningssøerne i gennemsnit var 2.5 gange større og som median 2 gange større end i søerne i databasen. Omvendt var middeloplandsarealet 40% mindre, men medianen dog 27% større end i søerne i databasen.

Det kan således konkluderes, at søerne både i morfometrisk henseende og med hensyn til oplandets størrelse er rimeligt repræsentative for danske søer (>5 ha). Overvågningssøerne er generelt lidt dybere. De har en lidt længere hydraulisk opholdstid og et større søareal end de danske søer generelt.

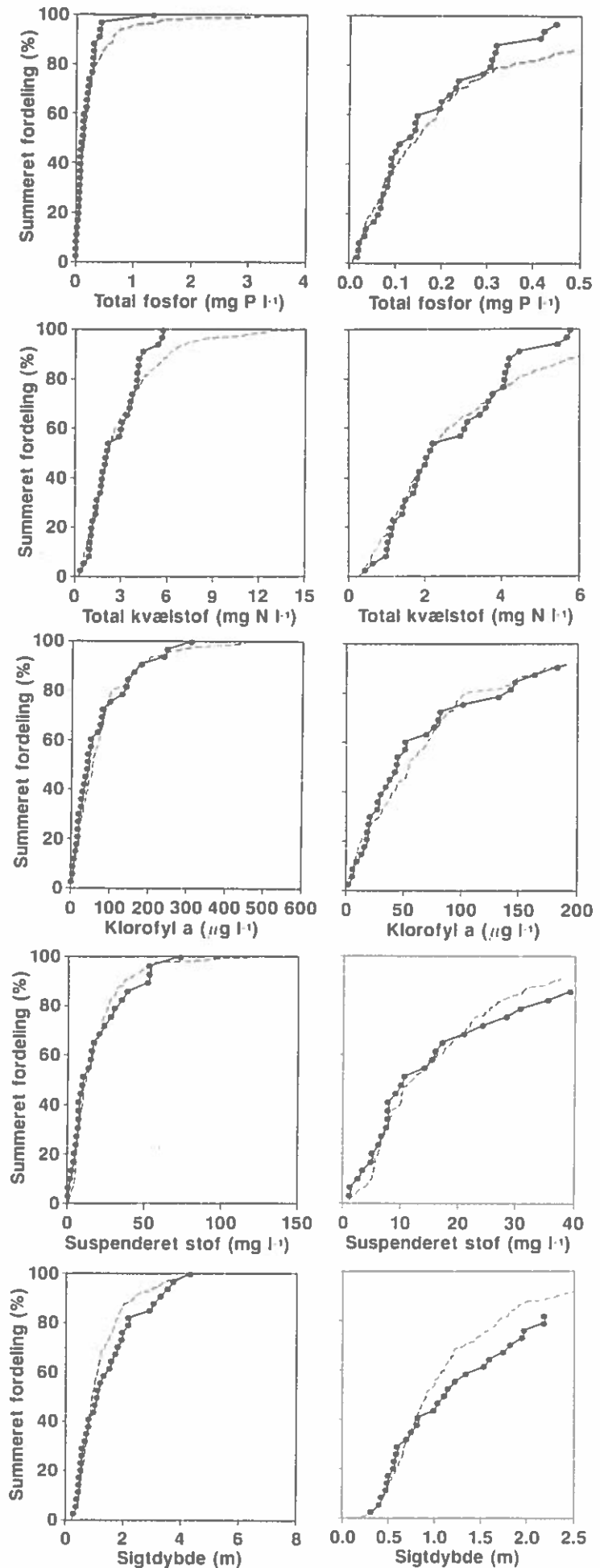
Næringsstofniveau, klorofylindhold og sigtddybde

Repræsentativiteten af overvågningsøerne for niveauet af både P, N sigtddybde og klorofyl a i danske søer var overordentlig god, hvis medianværdierne anvendes som vurderingsgrundlag, medens der var lidt større afvigelser på middelværdierne, især for total P (figur 8.8 og tabel 8.4).

I overvågningsøerne var P-koncentrationen i median på årsbasis således 134  $\mu\text{g P l}^{-1}$  mod 146  $\mu\text{g P l}^{-1}$  i 291 danske søer. Sigtddybden var en smule højere i overvågningsøerne, medens både total N, klorofyl a og suspenderet stof var af samme størrelse. Medianværdien var hhv. 1,1 m, 2,2 mg N  $\text{l}^{-1}$ , 45  $\mu\text{g klorofyl a l}^{-1}$  og 11 mg suspenderet stof  $\text{l}^{-1}$ .

	n	Middel	Median	25%-fraktil	75%-fraktil	Maksimum	Minimum
Total fosfor ( $\mu\text{g P l}^{-1}$ )							
danske søer	291	302	146	63	285	10000	8
overvågningsøer	35	200	134	71	292	1352	21
Total kvælstof (mg N $\text{l}^{-1}$ )							
danske søer	291	2.97	2.12	1.25	3.90	15.9	0.29
overvågningsøer	35	2.68	2.16	1.43	4.09	5.80	0.46
Klorofyl a ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )							
danske søer	120	80	54	20	95	601	0.2
overvågningsøer	33	77	45	20	118	314	3
Sigtddybde (m)							
danske søer	314	1.21	0.91	0.65	1.54	6.3	0.20
overvågningsøer	34	1.50	1.13	0.59	2.04	4.3	0.32
Suspenderet stof (mg $\text{l}^{-1}$ )							
danske søer	118	18	12	7	23	130	1
overvågningsøer	29	19	11	7	29	74	1

Tabel 8.4: Oversigt over næringsstofniveauet, klorofylindholdet, sigtddybden og mængden af suspenderet stof i danske søer (årsmiddel).



Figur 8.8:  
Summeret fordeling af forskellige eutrofieringsparametre i overvågningssøerne (●—●) og i søerne i DMU-databasen (---). I højre kolonne er en mindre del af venstre kolonne opskaleret.



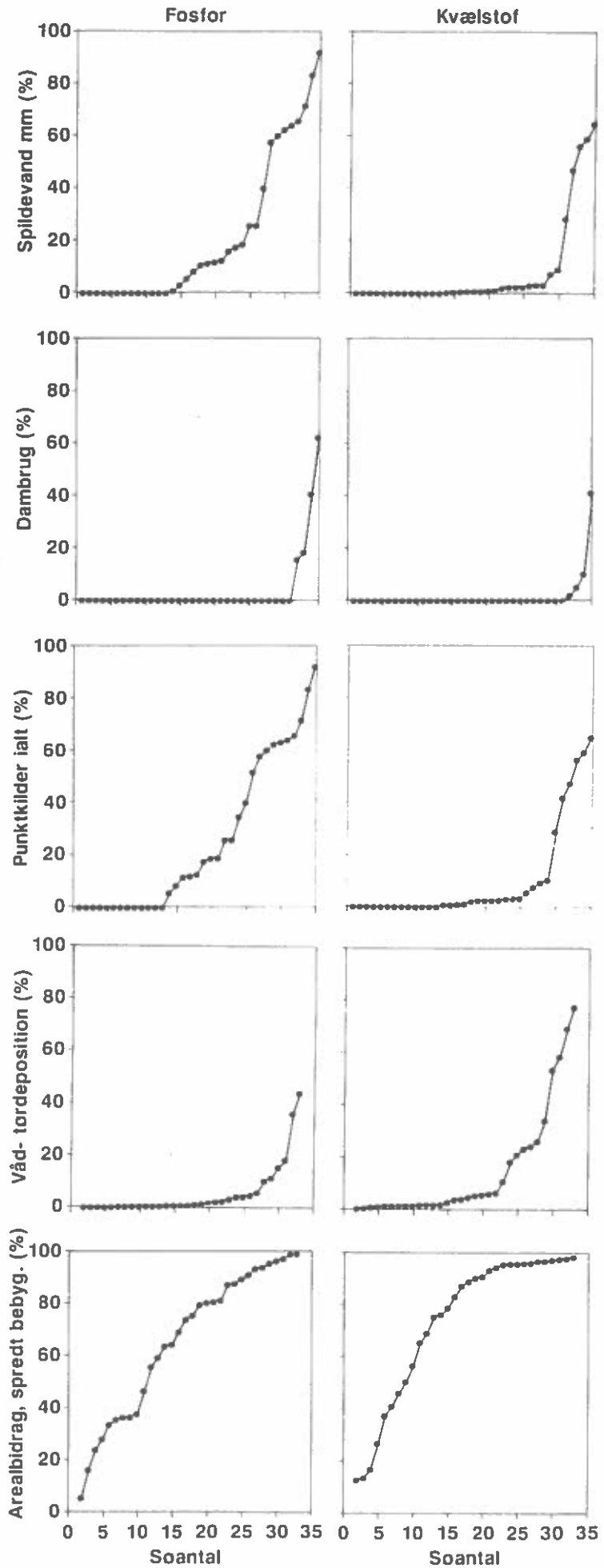
## 8.6 Overvågningsøerne i 1989

### Belastningsfordeling

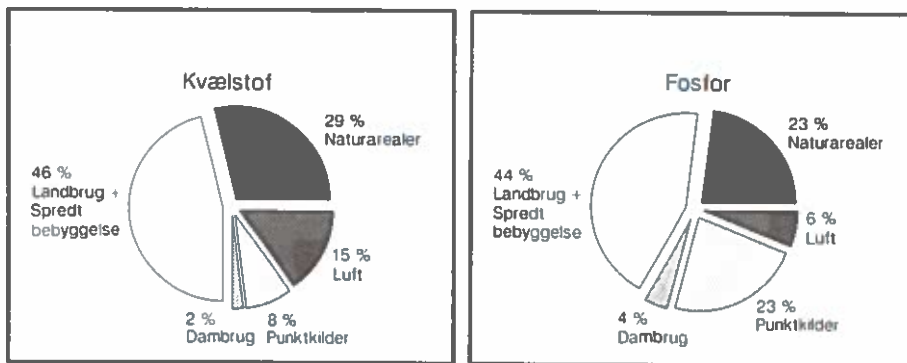
Belastningsfordelingen for N og P er angivet i figur 8.9 og i figur 8.10. For begge stoffers vedkommende var bidraget fra det åbne land den væsentligste enkeltkilde. I gennemsnit kom 66% af P og 74% af N fra det åbne land. Bidraget fra det åbne land kan, under forskellige forudsætninger, opdeles yderligere på bidrag fra spredt bebyggelse og dyrkede arealer samt et baggrundsbidrag, bestemt ud fra data fra naturområderne (se kapitel 6). Anvendes et baggrundsbidrag på  $0.07 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$  og på  $3 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$  kan bidraget fra de dyrkede arealer inkl. spredt bebyggelse og evt. resterende ulovlige udledninger opgøres til hhv. 46% for N's vedkommende og til 44% for P.

Der hersker meget tvivl om, hvor stor en andel den spredte bebyggelse udgør heraf. I de fleste af de amtskommunale opgørelser er det antaget, at der udledes spildevand fra 3 personer (3 PE) pr. hus og med et næringstofbidrag på hhv.  $1.31 \text{ kg P PE}^{-1} \text{ år}^{-1}$  og  $4 \text{ kg N PE}^{-1} \text{ år}^{-1}$ . Det er endvidere antaget, at 50% af dette når frem til søerne.

Benyttes disse tal, udgør bidraget fra spredt bebyggelse for P's vedkommende i gennemsnit 30% af de 44% og for N blot 2% af de 46%. Imidlertid er der i flere vandløb fundet et negativt bidrag af P fra det åbne land, når bidragene fra punktkilder og spredt bebyggelse er fratrukket den samlede transport. Dette tyder umiddelbart på, at antagelsen om, at 50% af bidraget fra spredt bebyggelse når frem til vandløbet, generelt er overvurderet, og bidraget fra de dyrkede arealer tilsvarende er undervurderet.



**Figur 8.9:**  
Summeret fordeling af forskellige belastningskilder til overvågningssøerne. Spildevand m.m. omfatter spildevand fra byer og industri (-dambrug) og bidrag fra regnvandsudløb samt overløbsbygværker, hvor disse er opgjort.



Figur 8.10: Medianværdier for belastningsfordelingen af N og P til overvågningssøerne.

Det må dog understreges, at 1989 var et nedbørsfattigt år, hvor spildevand fra spredt bebyggelse formentlig i højere grad end ellers er sivet ned i jorden eller tilbageholdt i vandløb.

På et punkt afviger søoplandene fra landsgennemsnittet som er beskrevet i kapitel 4, nemlig på betydningen af punktkildebidraget. Som helhed er dette væsentligt lavere i søoplandene, fordi der i henhold til recipientkvalitetsplanerne var etableret P-rensning på spildevandsanlæg i mange af oplandene til søer før 1989 eller punktkilderne var afskåret. Punktkildebidraget var således i gennemsnit kun 8% for N og 23% for P, selvom de i enkelt oplande bidrog med helt op til hhv. 65% og 92% af den totale belastning (figur 8.9).

Dambrugsbidraget kan udgøre et betydeligt enkeltbidrag i oplande med intensiv dambrugsdrift. I de 4 søoplande med dambrug bidrog dambrugene med op til 41% (N) og 61% (P) af den samlede belastning (figur 8.9). Da der ikke var dambrug i oplandene

til de øvrige 31 søer, var det gennemsnitlige bidrag fra dambrug til de 35 søer imidlertid relativt lavt, hhv. 2% (N) og 4% (P). Bidraget fra luften, som afsættes via våd- og tørdeposition på søernes overflade, udgjorde en betydelig andel af den samlede belastning i flere søoplande (figur 8.9), især i naturområder og i områder med et lille opland i forhold til søernes areal. I gennemsnit udgjorde bidraget 6% (P) og 15% (N) af den totale belastning.

### Miljøtilstand og den fremtidige udvikling

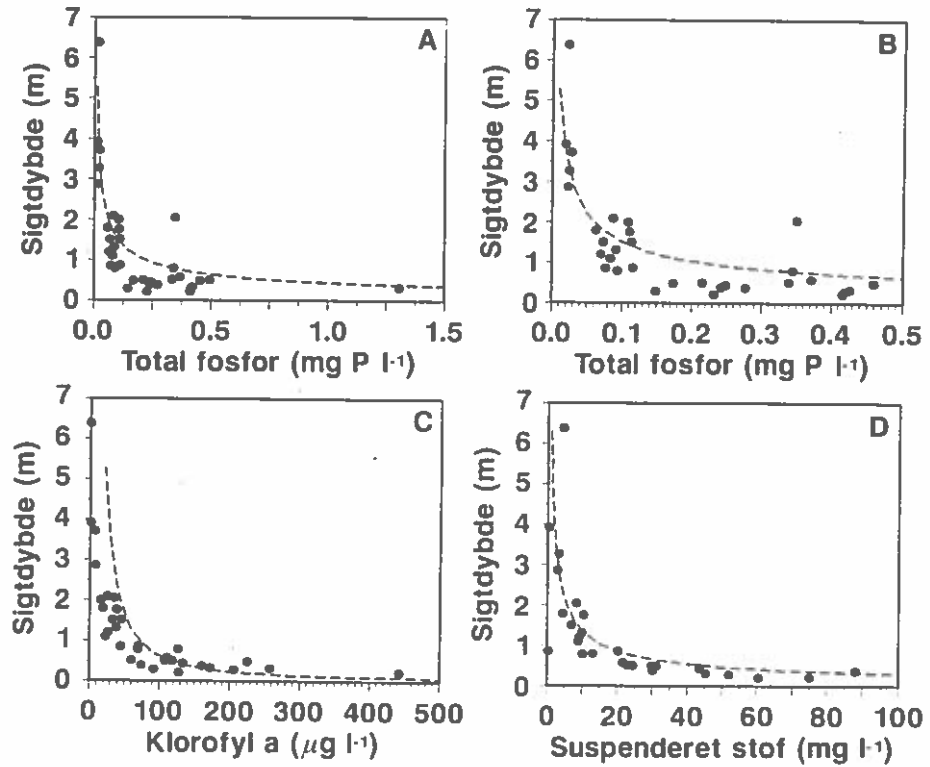
Som beskrevet i afsnit 8.4 var eutrofieringsvariablene total P, total N, klorofyl a og sigtdybden på nogenlunde samme niveau i overvågningssøerne som i danske søer generelt. Beskrivelsen af de danske søers miljøtilstand (afsnit 8.2) kan derfor også overføres på overvågningssøerne.

Denne rapport omfatter ikke beskrivelser af de biologiske samfund, som først medtages i 1991, men det må antages, at sammensætningen af den biologiske struktur i vid udstrækning følger relationerne, som er opstillet i afsnit 8.4 dog med det forbehold, at relationerne ikke kan beskrive indsvingningsforløbet efter en belastningsreduktion.

Bortset fra søerne i naturområder var P-niveauet samt indholdet af suspenderet stof således højt, og sigtdybden lav i overvågningsøerne i 1989 (figur 8.11). Amtskommunernes målsætninger for søerne var derfor kun sjældent opfyldt (tabel 8.5).

Sø	Målsætning		Sigtdybde (m)		Fosfor (mg P l <sup>-1</sup> )		Klorofyl a		Forslag til yderligere tiltag
	krav	opfyldt 1989	krav	1989	krav	1989	krav	1989	
Holm sø	A1	ja				0,018		2	Forsuringstruet
Søby sø	A1,A2	ja		3,8		0,022		5	
Haglese	A1	ja		2,9		0,025		11	
Madum sø	A1	ja	>3	6,3		0,026		4	
Nors sø	A	(ja)		3,3		0,028		6	Belastning fra landbrug bør reduceres
Ravn sø	B,A2	nej	>3	3,7		0,032		10	Yderligere indgreb overfor spv. og sp.beb.
Hornum sø	A2,B	nej	2	1,9		0,066		23	Krav, der fører til mindsket risiko for blågrønalgler og badeforbud
Søholm sø	A1	nej	>2-3*	1,3		0,072		30	
Fårup sø	B	nej	2	1,6		0,071		36	Tiltag overfor spv., dambrug, sp.beb. åb.land
Søndersø	A3	nej		0,9		0,079		51	Vandindv. skal reduceres, hvis tilstand skal forbedres hurtigt.
Kvie sø	A1	nej		1,1		0,086		26	
Furesøen	A1	nej		2,3	0,04	0,09		33	Spv. (0,25 mg P l <sup>-1</sup> ) 90% reduktion i bidrag fra ovl.byg.
Tisse	B			0,9		0,091		68	
Bryrup Langsø	C,A2	nej	2	2,0		0,095		30	Tiltag overfor dambrug, spv. og sp. beb.
Røgbølle sø	A1	ja	>1	2,0		0,097	<50	17	
Bastrup sø	B	nej	1,5	1,4		0,098		40	
Ørn sø	B,A2	nej	1,8	1,6		0,106		52	Yderligere tiltag overfor dambrug og spv.
Engelsholm sø	B	nej	1,2	0,9				73	Sp.beb., åb.land
Hejrede sø	A1	nej	0,6	0,3		0,15	150	95	Indgreb overfor sp.beb. og åb. land overvejes
Hinge sø	B,C	nej		0,6		0,17		119	Bidrag fra sp.beb. og åb.land bør reduceres
Borup sø	B	nej	>1	0,4	0,05	0,22		124	
Damhussoen	B	nej	>1,5	1,3	<0,007	0,15		14	Indgreb mod spv. til Damhusåen
Arreskov sø	A1	nej		0,3		0,23		129	Fortsætte undersøgelser for iværksættelse af yderligere tiltag
Bagsværd sø	B	nej	>1m	0,4	0,04	0,25		79	Indgreb over for forsinkelser måske sedimentfjernelse
Arrese	B	nej		0,5		0,26		142	Indgreb over for spv., ovl.byg., åb. land inkl. sp.beb. overvejes
Kilen	A1,B	nej	1	0,4		0,29		163	
Lemvig sø	B	nej		0,6		0,33		60	
Langesø	B	nej	>1,5-2**	0,8		0,33		130	Oplandsundersøgelser for forslag til yderligere tiltag
Tystrup sø	B			2,2		0,35		38	
Fuglsø	C	ja		0,6		0,38		119	
Dons Nørresø	B	nej	0,6	0,3		0,42		445	Forsinkelse pga. intern belastning
Søgård sø	B	nej	0,8	0,3		0,42		209	Forsinkelse pga. intern belastning
Vesterborg sø	B	nej	>0,7	0,4		0,43	<100	175	Spv. afskæres, evt. yderligere tiltag overfor sp.beb. og åb.land
Utterslev mose	B	nej	>0,1	1,2	<0,1	0,46		32	Indgreb mod spv.
Jels Overse	B	nej		0,5'		0,46'		215	Krav til sp.beb. og punktkilder
St. Søgård sø	B	nej		0,7'		0,52'		110'	Krav til sp.beb. og punktkilder
Gundsømagle sø	C->B		1	0,4	0,065	1,28		259	Indgreb over for spv., sp.beb., åb. land samt sørestaurering planlægges

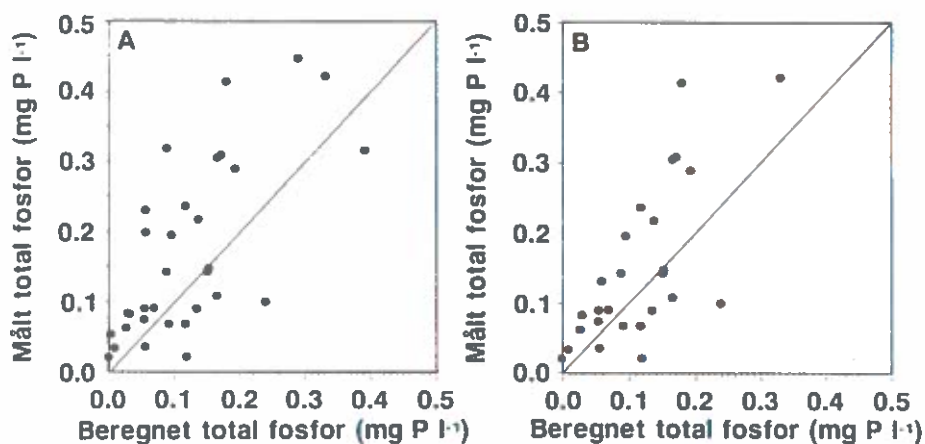
Tabel 8.5: Oversigt over målsætninger og dertil knyttede krav til miljøtilstand samt amtskommunernes forslag til yderligere tiltag over for næringsstofftilførslen i overvågningssøerne. Søerne er rangeret efter stigende fosforkoncentration i søvandet (sommermiddel). De angivne værdier for klorofyl a og sigtdybde er ligeledes middelværdien for sommeren (1/5-1/10). \* 1/6-30/9, \*\* skønnet af Fyns amt i forbindelse med afrapportering af Overvågningsprogrammet for 1989, men ikke formuleret i forbindelse med recipient- og regionplanlægningen.



Figur 8.11: Sammenstilling af forskellige eutrofieringsvariable for overvågningssøerne i 1989. A: Sigtdybde mod total P (årsmiddel). Endvidere er relationerne for danske søer vist (---) (formel 3). B: Udsnit af samme. C: Sigtdybde med klorofyl a. Relationerne for danske søer (Kristensen et al., 1990) er angivet med (---). D: Sigtdybde mod suspenderet stof. Relationer for danske søer (Kristensen et al., 1990) er angivet med (---).

Der er derfor foretaget en analyse af konsekvenserne af forskellige yderligere tiltag over for næringsstofftilførslen til søerne. Hertil krævedes et kendskab til sammenhængen mellem belastning og P-koncentration og mellem P-koncentrationen og vandets sigtdybde. De opstillede modeller for

danske søer blev derfor vurderet på 1989-dataene fra overvågningssøerne. Vollenweider-modellen (afsnit 8.2, formel 1) giver på hele datamaterialet en dårlig beskrivelse af søkoncentrationen (figur 8.12A). Der blev opnået en betydelig forbedring, hvis de søer udelades, som i de seneste år har været udsat for en belastningsreduktion, og hvor det derfor må antages, at søkoncentrationen er forhøjet, som følge af intern belastning. Herved blev variationen ikke større end for danske søer generelt (se Kristensen et al., 1990). Model (1) blev derfor anvendt til beregning af niveauet af P i søvandet, når søen er i ligevægt med enten den nuværende eller en lavere fremtidig belastning.

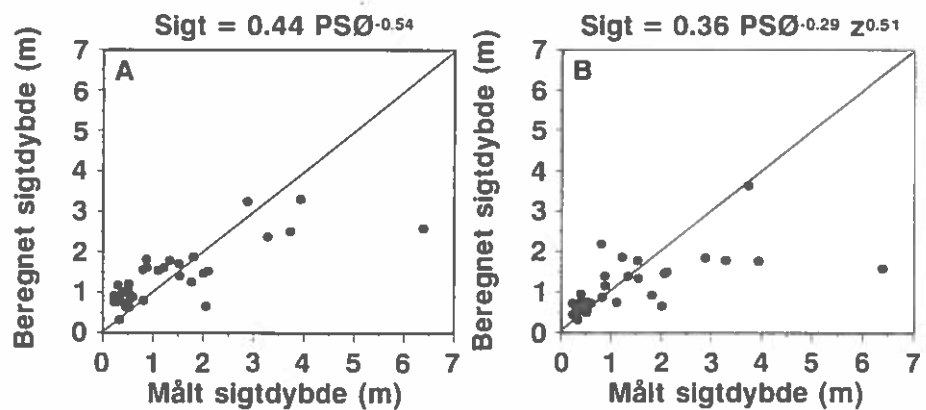


Figur 8.12: Sammenligning af den målte P-koncentration i søvandet med værdier beregnet ved hjælp af Vollenweider-relationen (formel (1)) (begge årsmiddeler).

A: Alle søer, dog minus Gundsømagle, der ligger på (1.3, 3.5).

B: Kun søer, der forventes at være nogenlunde i ligevægt med den øjeblikkelige belastning.

Sammenhængen mellem P-koncentrationen og sigt- dybden for overvågningssøerne beskrives tilfreds- stillende med model (3) (afsnit 8.2), der gi- ver en bedre overensstemmelse med måleresultater- ne for 1989 end model (4) (figur 8.13). Madum sø afviger dog noget fra relationen ved at udvise bedre sigt- dybde om sommeren end beregnet, hvilket imidlertid stemmer godt overens med, at søen har udbredt undervandsvegetation (se figur 8.6).



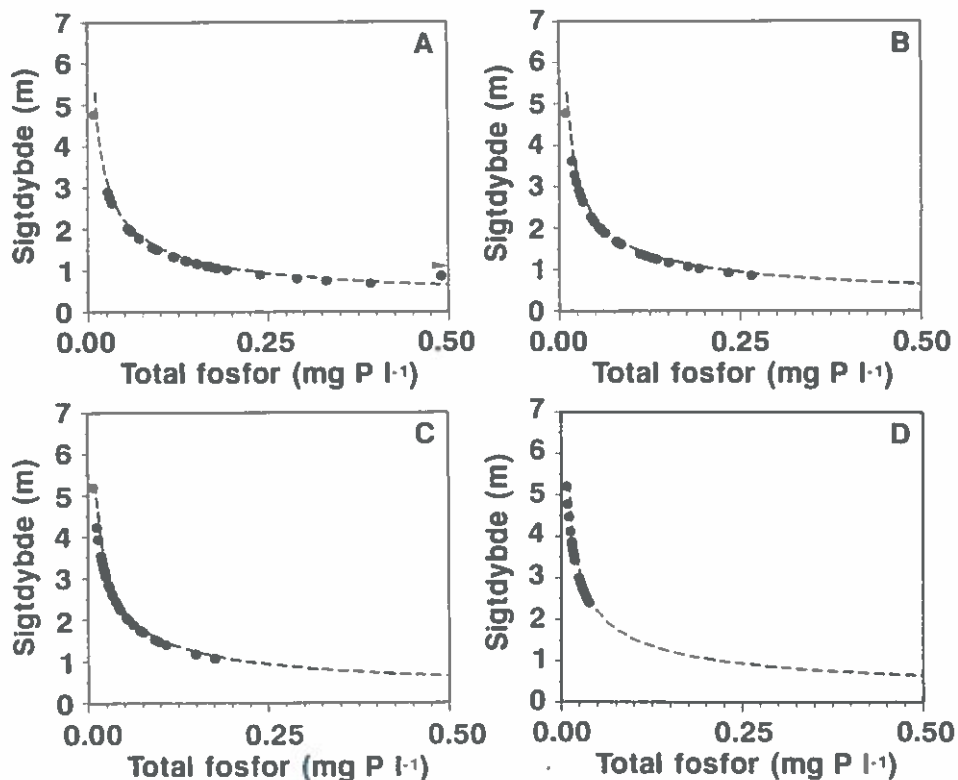
Figur 8.13: Målt sigt- dybde med sigt- dybden bereg- net ved hjælp af formel 3 (A) og formel 4 (B) (begge sommermiddel).

Model 1 og 3 blev derfor anvendt til vurdering af konsekvenserne af forskellige tiltag overfor P- tilførslen (figur 8.14 og figur 8.15).

Afskæres alle punktkilder inkl. regnvandsudløb og overløbsbygværker, ændres medianfosforniveauet i tilløbsvandet fra 0,197 mg P l<sup>-1</sup> til 0,113 mg P l<sup>-1</sup> og i søvandet fra 0.109 til 0.076 mg P l<sup>-1</sup>. Herved vil sigt- dybden øges fra 1,5 m til 2,0 m. Sigtdybden vil i nogle søer fortsat være under 1 m, og den laveste sigt- dybde vil være så lav som

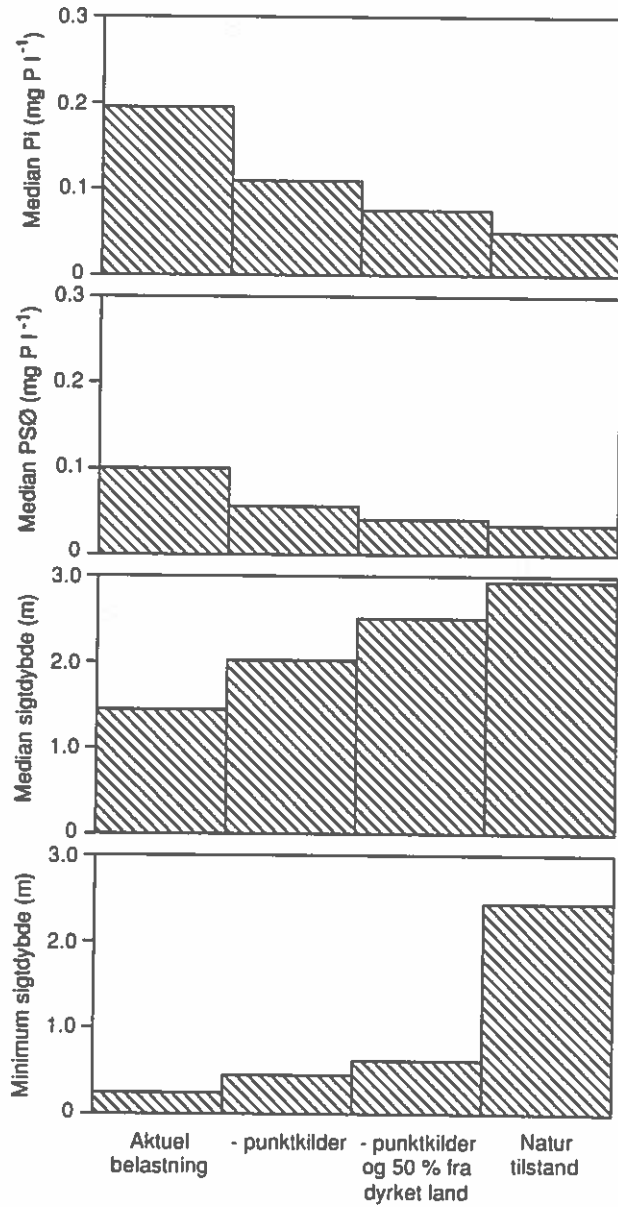


0,5 m. Hvis der yderligere sker en 50% reduktion i P-tilførslen fra de dyrkede marker og spredt bebyggelse, vil mediankoncentrationen i søen falde til  $0,058 \text{ mg P l}^{-1}$ . Herved øges mediansigt dybden til 2,5 m og minimumsværdien til 0,6 m, og kun en enkelt sø vil have en sigt dybde på under 1 m. Fjernes de sidste 50% af bidraget fra de dyrkede arealer, inkl. spredt bebyggelse, så kun baggrundsbidraget er tilbage, vil søkoncentrationen falde til  $29 \mu\text{g P l}^{-1}$ . Sigtdybden øges til en median på 3 m, og mindsteværdien vil nu være 2,5 m.



Figur 8.14: Vurdering af konsekvenserne af forskellige tiltag over for P-tilførslen, på P-koncentrationen i søvandet og dermed vandets sigt dybde. Formel (1) og (3) er benyttet ved beregningerne.

- A: Nuværende belastning (1989).
- B: Som A men uden punktkildebidrag.
- C: Som B men med 50% reduktion af tilførslen fra dyrkede marker og spredt bebyggelse.
- D: En belastning svarende til niveauet i naturolande i 1989.



Figur 8.15: Beregnede værdier for medianen af P-koncentrationen i indløbsvandet ( $P_i$ ) og i søvandet ( $PSØ$ ) samt median og minimumsigt dybde i overvågningssøerne ved forskellige indgreb over for P-tilførslen (se nærmere i figur 8.14).

Den generelle målsætning i Vandmiljøplanen sigter mod en P-reduktion til  $1,5 \text{ mg P l}^{-1}$  i afløbet fra spildevandsanlæg med mere en 5000 PE. Dette vil i

sig selv ikke betyde nogen væsentlig forbedring i de danske søers tilstand, fordi de fleste større punktkilder i forvejen enten er afskåret fra søerne, eller der er, eller er ved at blive iværksat P-rensning med krav på 0,3-0,5 mg P l<sup>-1</sup>. Disse krav omfatter ofte også anlæg ned til 200-500 PE eller derunder.

Selvom der sættes meget effektivt ind over for punktkilderne, viser ovennævnte analyse, således at der generelt først for alvor vil ske en forbedring i miljøtilstanden i søerne, hvis der samtidigt sættes markant ind over for bidraget fra spredt bebyggelse og de dyrkede marker. Desværre er der som nævnt ovenfor stor usikkerhed om størrelsen af bidraget fra spredt bebyggelse, hvorfor det er vanskeligt at vurdere, om den største effekt pr. investeret krone kan opnåes ved begrænsning af bidraget fra spredt bebyggelse eller fra de dyrkede marker.

Det er ligeledes vanskeligt at vurdere, om, og i bekræftende fald, i hvor høj grad indsatsen over for N-tilførslen fra de dyrkede arealer vil smitte af på P-tilførslen, men forøgelsen i antallet af vintergrønne marker, braklægnings i miljøfølsomme områder og etablering af bræmmer langs vandløbene vil formentlig medvirke til en reduktion i bidraget fra de dyrkede arealer.

Som det fremgår af ovenstående, er der behov for at få mere viden om kildefordelingen af P fra dyrkede arealer og spredt bebyggelse og på virkningerne af de forskellige tiltag i landbruget, før man kan vurdere, hvordan miljøtilstanden i søerne vil udvikle sig. Men en ting er sikkert: Der skal sættes endog meget effektivt ind over

for spildevandstilledninger inkl. overløbsbygværker og regnvandsudløb og over for tilførslen fra de dyrkede arealer inkl. spredt bebyggelse før, søerne igen kan blive klarvandede og opfylde målsætningerne om en alsidig flora og fauna, hvilket også er konklusionen i mange af de amtskommunale rapporter (se også tabel 8.5).



## 9. REFERENCER

- Akademiet for de Tekniske Videnskaber: Vand. Betænkning fra Vandudvalget, 1963, 52 s.
- Andersen, J.M., P. Nordemann og F. Bach, 1990: Vandkvalitet i kilder i Århus amt i 1988. Rapport fra Miljøkontoret, Århus amtskommune. 34 s.
- Blicher-Mathiesen, G., R. Grant, C. Jensen og H. Nielsen 1990: Landovervågningsoplande - Næringsstofudvaskning fra rodzonen. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1989. Faglig rapport fra Danmarks Miljøundersøgelser, nr. 6 (Hovedrapport) i trykken.
- Bruhn, A. og B. Kronvang, 1990: Stoftransport i vandløb, beregningsmetodik og prøvetagningsfrekvens. Danmarks Miljøundersøgelser, Afd. for Ferskvandsøkologi, 1990, 62 s. + appendiks.
- Danmarks Meteorologisk Institut, 1990: Danmarks Klima 1989. DMI, 1990. 130 s.
- Danmarks Statistik, 1968: Danmarks areal. Danmarks Statistik, København. 228 pp.
- Danmarks Statistik, 1988: Statistisk årbog 1988, årgang 92/vol. 92, Danmarks Statistik, København 1988, 518 s.
- Danmarks Statistik, 1989A: Landbrugsstatistik 1988. Danmarks Statistik, København 1989, 252 s.
- Diehl, S., Täpp, P., Enell, M., Leonardson, L., 1987: Skaldervikens eutrofiering - en studie av närsaltstransporter och föroreningskällor i Rönneåns vattendragssystem 1978-84. Vatten 43: 13-25.

Fyns amt, 1990: Havet omkring Fyn. - Rapport fra Fyns amt, 288 s.

Hovmand, M.F. og J. Bille Hansen, 1988: Ionbalance i skovøkosystemer, med måling af atmosfærisk tilførsel II. - Rapport fra Miljøstyrelsens Luftforureningslaboratorium, 124 s.

Hovmand, M.F., 1990: Vandmiljøplanens Overvågningsprogram. Atmosfærisk nedfald. Datarapport 1988/89. - Danmarks Miljøundersøgelser. Luftforureningskilder og Luftforurening.

Jensen, J.P., P. Kristensen & E. Jeppesen, in press: Relationships between nitrogen loading and in-lake concentrations in shallow Danish lakes. - Verh. int. Ver. Limnol.

Jensen, J.P., E. Jeppesen, P. Kristensen & S.N. Nielsen, 1990: Biologiske strukturmodeller for lavvandede søer. Status for fase 1 og 2. Rapport til Miljøstyrelsen, 53 sider samt figurbilag.

Jeppesen, E., J.P. Jensen, P. Kristensen, M. Søndergaard, E. Mortensen, O. Sortkjær, A.-M. Hansen og J. Windolf, 1989: Bundplanters betydning for miljøkvaliteten i søer. - Vand & Miljø 8: 345-349.

Jeppesen, E., J.P. Jensen, P. Kristensen, M. Søndergaard, E. Mortensen, O. Sortkjær & K. Olrik, 1990a: Fish manipulation as a lake restoration tool in shallow, eutrophic, temperate lakes 2: threshold levels, long-term stability and conclusions. - Hydrobiologia (in press).

Jeppesen, E., P. Kristensen, M. Søndergaard & J.P. Jensen, submitted: Resilience in the recovery of shallow Danish lakes due to internal loading and homeostasis in biological structure. Duration, determining factors and methods used for reduction. - Mem. Ist. Ital. Idrob.

Jeppesen, E., M. Søndergaard, O. Sortkjær, E. Mortensen & P. Kristensen, 1990b: Interactions between phytoplankton, zooplankton and fish in a shallow, hypertrophic lake: a study of phytoplankton collapses in Lake Søbygård, Denmark. *Hydrobiologia* 191: 149-164.

Jernlås, R., 1982: Kväveutlakningens förändring vid reducerad gödsling. *Ekohydrologi* 11, Avdelingen för vattenvård, Swedish University of Agricultural Sciences, Division of Water Management.

Kristensen, P. og E. Jeppesen, 1988: Vore søer har det skidt. - *Kasketot* 80: 20-25.

Kristensen, P., J.P. Jensen og E. Jeppesen, 1988: Revurdering af simple sømodeller. NPO-projekt 4.5. - Midtvejsrapport til Miljøstyrelsen: 15 sider samt oversigtsbilag.

Kristensen, P., J.P. Jensen og E. Jeppesen, 1990: Eutrofieringsmodeller for søer. NPO-projekt 4.5. Slutrapport til Miljøstyrelsen (i trykken).

Kronvang, B. og N. Thyssen, 1987: Transport af kvælstof i vandløb. - *Vand & Miljø* 3: 111-114. Publ. nr. 71 fra MF.

Löfgren, S. og H. Olsson, 1990: Tilförsel av kväve och fosfor till vattendrag i Sveriges inland, Rapp. no. 3692, Naturvårdsverket, 100 s.



Mikkelsen, H.E., 1990: Analyse af danske dataserier for nedbør og temperatur. Indlæg ved XVII Nordisk Meteorologisk møde, Ivalo, Finland 16. august 1990. Statens Planteavlsvforsøg, Afd. for Jordbrugsmeteorologi, Tjele.

Miljøstyrelsen, 1984: NPO-redegørelsen. Miljøstyrelsen, aug. 1984, 218 s.

Miljøstyrelsen, 1988: Fosfor - kilder og virkninger. Redegørelse fra Miljøstyrelsen, nr. 2, 1988, 118 s.

Miljøstyrelsen, 1989: Vandmiljøplanens Overvågningsprogram. Miljøprojekt nr. 115. 64 s.

Neill, M., 1989: Nitrate concentrations in river waters in the south-east of Ireland and their relationship with agricultural practice. Wat. Res. Vol. 23, No. 11: 1339-1355.

Nielsen, H., 1990: Kvælstofstrømme i dansk landbrug. Danmarks Miljøundersøgelser, faglig rapport fra DMU nr. 3, 33 s. + tabeller.

Nordisk Ministerråd og Nordisk Statistisk Sekretariat, 1990: Nordisk statistisk årbog 1989/90, Nordisk Statistik Sekretariat (Ed.), NORD 1990: 5, vol. 28, 423 s.

Olesen, J.E., 1990: Jordbrugsmeteorologisk årsoversigt 1989. Tidsskrift for Planteavl specialserie, Beretning nr. 52055-1990.

Phillips, G.L., D. Eminson & B. Moss, 1978: A mechanism to account for macrophyte decline in progressively eutrophicated waters. Aquat. Bot. 4: 103-126.

- Pinter, G.G. and G. Jolanski, 1982: Case study on non-point source plant nutrient load calculations. Effects of waste disposal on ground water and surface water (Proceeding of the Exeter symposium 1982).
- Pitkänen, H., P. Kangas, V. Miettinen, P. Ekholm, 1988: The state of the Finnish coastal waters in 1979-1983. Vesi- Ja Ympäristöhallinnon Julkaisuja koskevat tilaukset: Valtion painatuskeskus PL 516, 00101 Helsinki. Pub. (90). På engelsk.
- Rebsdorf, Aa. og N. Thyssen, 1986: Baggrundskoncentrationer af fosfor og relationen mellem partikulært fosfor og jern i jyske kilder og kildebække: Foreløbige resultater. I: Nordisk Hydrologisk Program (NHP), rapport nr. 14, 1986: "Partikulært bundet stoftransport i vand og jorderosion": 135-146.
- Rekolainen, S., 1989: Phosphorus and nitrogen load from forest and agricultural areas in Finland. Aqua. Fennica 19,2: 95-107.
- Sand-Jensen, K., 1980: Balancen mellem autotrofe komponenter i tempererede søer med forskellig næringsstofbelastning. Vatten 2: 104-115.
- Sas, H. (Ed.), 1989: Lake restoration by reduction of nutrient loading. Expectation, experiences, extrapolation. Acad. Ver. Richardz GmbH. 497 pp.
- Scheffer, M., 1990: Multiplicity of stable states in freshwater systems. Hydrobiologia, in press.

Sokal, R.R. og Rohlf, F.J., 1981: Biometry. The principles and practice of statistics in biological research. Second edition. W.H. Freeman Company, New York.

Taylor, R., Florezyk, H., Jakubowska, L., 1986: Runoff of nutrients from river watersheds used for agricultural purposes. Environment Protection Engineering, vol. 12 nr. 4: 51-65.

Vollenweider, R.A., 1976: Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. Mem. Ist. Ital. Idrobiol. 33: 53-83

Winfield, I.J. & C.R. Townsend, 1988: Factors affecting prey selection by young bream *Abramis brama* and roach *Rutilus rutilus*: insights provided by parallel studies in laboratory and field. Environ. Biol. fishes 21: 279-292.

**BILAG 1: OVERSIGT OVER AMTSRAPPORTER**

**BORNHOLMS AMT**

Vandmiljøovervågning: Resultater af overvågning på Bornholm i 1988 og 1989, som led i Vandmiljøplanens nationale overvågningsprogram.

H. Jespersen, B. Nielsen, K. Nielsen.

Bornholms amtskommune, 1990

69 bl. (kopi).

**FREDERIKSBORG AMT**

Vandmiljøovervågning: Kilder, vandløb, søer: Vandmiljøplanen: samlenotat + 24 separate charteques indeholdende 21 vandløb og 3 søer.

Frederiksborg amt, 1990

16 s. + 24 løse charteques (vandløb og søer) i 2 kassetter.

Vandmiljøovervågning: Vandløb.

Frederiksborg amtskommune, 1990

charteque.

**FYNS AMT**

Havet omkring Fyn: Stoffilførsel, forureningstilstand, udviklinger, årsagssammenhænge 1976-1989: Statusrapport.

Fyns amt, 1990

288 s.

Lillebælt 1989: Vandmiljøovervågning: Vejle amt, Fyns amt, Sønderjyllands amt: Lillebæltsamarbejdet.

Sønderjyllands amtskommune, Vejle amtskommune, Fyns amt, 1990

21 s. + 6 løse sider.

Vandmiljøovervågning: De ferske vandområder: Arreskov Sø 1989.

Fyns amt, 1990

59 s.

Vandmiljøovervågning: De ferske vandområder: Lange Sø 1989.

Fyns amt, 1990

53 s.

Vandmiljøovervågning: De ferske vandområder: Søholm Sø 1989.

Fyns amt, 1990

51 s.

Vandmiljøovervågning: De ferske vandområder: Vandløb, kilder og dræn 1989: Rapport + bilag.

Fyns amt, 1990

93 s. + ringbind (bilag).

Vandmiljøovervågning: Punktkilder: Renseanlæg, industriudledninger, regnvandsbetingede udløb 1989.

Fyns amt, 1990

75 s.

Vandmiljøplanens overvågningsprogram: Landovervågningsoplände: LOOP 4 Lillebæk: udarbejdet for Fyns Amt og Miljøstyrelsen.

Vandmiljøprojektgruppen, Danmarks Geologiske Undersøgelse, 1988  
og 1989  
3 bd.

**KØBENHAVNS AMT**

Søer: Afrapportering 1989: Vandmiljøplanens overvågningsprogram:  
Rapport + bilag.  
Københavns amt, 1990  
2 ringbind.

Vandløb: Afrapportering 1989: Vandmiljøplanens overvågnings-  
program.  
Københavns amt, 1990  
ringbind.

**KØBENHAVNS KOMMUNE**

Damhussøen: Notat  
Københavns Kommune, 1990  
charteque.

Ferskvandsrecipienter i Københavns kommune: 4 kort 1:10.000.  
Stadsingeniørens direktorat  
charteque med 4 kort.

Harrestrup Å: Belastningsopgørelse udarbejdet for Hovedstads-  
rådet.  
COWiconsult, 1989  
35 s.

Vandløbssystemet i Københavns Kommune: Notat.  
Københavns kommune, 1990  
charteque.

Utterslev Mose 1950-1987: Arbejdsdokument: Tidligere og nuvæ-  
rende recipientkvalitet.  
COWiconsult, 1989  
125 s.

Utterslev Mose: Notat.  
Københavns kommune, 1990  
charteque.

**NORDJYLLANDS AMT**

Punktkilder: Vandmiljøovervågning.  
Nordjyllands amtskommune, 1990  
ringbind.

Sammenfatning af Nordjyllands Amts rapportering maj 1990: Vand-  
miljøovervågning.  
Nordjyllands amtskommune, 1990  
61 bl.

Søer 1989: Vandmiljøovervågning.  
Nordjyllands amtskommune, 1990  
ringbind.

Vandløb og kilder 1989: Vandmiljøovervågning: rapport + bilag.  
Nordjyllands amtskommune, 1990  
ringbind.

Vandmiljøplanens overvågningsprogram: Landovervågningsoplande:  
LOOP 2 Oddebæk: Udarbejdet for Nordjyllands amtskommune og  
Miljøstyrelsen.  
Vandmiljøprojektgruppen, Danmarks Geologiske Undersøgelse, 1988  
og 1989.  
3 bd.

#### RIBE AMT

Ferske vande: Vandmiljøovervågning:  
Ribe amtskommune, 1990  
rapport + bilag.

Marine områder: Vandmiljøovervågning.  
Ribe amtskommune, 1990  
Rapport.

Punktkilder: Kommunale renseanlæg: Vandmiljøovervågning.  
Ribe amtskommune, 1990  
ca. 40 s.

Punktkilder: Regnvandsbetingede udløb: Vandmiljøovervågning.  
Ribe amtskommune, 1990  
ca. 40 s.

Punktkilder: Særskilte industriudledninger: Vandmiljøovervågning.  
Ribe amtskommune, 1990  
ca. 45 s.

#### RINGKJØBING AMT

Landovervågningsoplandet Barslund Bæk LOOP 5: Afleveringsrapport.  
Hedeselskabet, Hydrometriske undersøgelser, 1990  
14 s.

Søer 1989: Kilen, Lemvig Sø, Søby Sø: Vandmiljøovervågning.  
Ringkjøbing amtskommune, 1990  
ringbind.

Vandløb og kilder 1989: Vandmiljøovervågning.  
Ringkjøbing amtskommune, 1990  
ringbind.

Vandmiljøplanens overvågningsprogram: Landovervågningsoplande  
Barslund Bæk LOOP 5: Udarbejdet for Ringkjøbing og Viborg amtskommuner og Miljøstyrelsen.  
Vandmiljøprojektgruppen, Danmarks Geologiske Undersøgelse, 1989.  
3 bd.

#### ROSKILDE AMT

Søovervågning: Gundsømagle Sø, Borup Sø: Vandmiljøovervågning.  
J.V. Rasmussen.  
Roskilde amtskommune, 1990  
ringbind.

Vandløb: Nationale stationer, regionale stationer. Kilder: Vandmiljøovervågning.  
Roskilde amtskommune, 1990  
ringbind.

#### STORSTRØMS AMT

Fiskebestanden Hejrede Sø: Standardiseret undersøgelse sommeren 1989: Rapport til Storstrøms amtskommune.  
Mohr-Markmann, Fiskebiologisk Rådgivning, 1989.  
ringbind.

Fiskebestanden i Røgbølle Sø: Standardiseret undersøgelse sommeren 1989: Rapport til Storstrøms amtskommune.  
Mohr-Markmann, Fiskebiologisk Rådgivning, 1989  
ringbind.

Hejrede Sø 1989.  
Storstrøms amtskommune, 1990  
ringbind.

Kilder og kildebække.  
Storstrøms amtskommune, 1990  
17 bl.

Landovervågning: LOOP 1: Højvads Rende: Afrapportering 1. maj 1990: tekstdel, rev. juni, + datadel 1.  
Storstrøms amtskommune, 1990.  
2 ringbind (tekstdel + datadel 1).

Maribosøerne 1973-1988: Vurdering af søernes tidligere og nuværende tilstand: Udarbejdet for Storstrøms amtskommune.  
Carl Bro A/S, 1990  
ringbind.

Røgbølle Sø 1989.  
Storstrøms amtskommune, 1990  
ringbind.

Undersøgelse af forureningstilstanden i Vesterborg Sø 1980-81.  
Peter Dall, Sven Aagaard, Jørn Kirkegaard.  
Storstrøms amtskommune, 1982  
70 s. ca.

Vandmiljøplan: Vandløb 1989: Stoftransport og forureningsgrad.  
Storstrøms amtskommune, 1989  
3 ringbind.

Vandmiljøplanens overvågningsprogram: Landovervågningsoplande LOOP 1 Højvads Rende: Udarbejdet for Storstrøms amtskommune og Miljøstyrelsen.

Vandmiljøprojektgruppen, Danmarks Geologiske Undersøgelse, 1989. 3 bd.

Vesterborg Sø 1989.

Storstrøms amtskommune, 1990  
ringbind.

#### **SØNDERJYLLANDS AMT**

Landovervågning: Vandmiljøovervågning: Teknisk rapport.  
Sønderjyllands amtskommune, 1990  
ringbind.

Punktkilder 1989: Udledning af spildevand: Renseanlæg, industri, dambrug, overløb og regnvand: Teknisk rapport.  
Sønderjyllands amtskommune, 1990  
ringbind.

Søovervågning: Vandmiljøovervågning: Teknisk rapport.  
Sønderjyllands amtskommune, 1990  
ringbind.

Vandløb og kildevæld: Vandmiljøovervågning: Teknisk rapport.  
Sønderjyllands amtskommune, 1990  
ringbind.

Vandmiljøplanens overvågningsprogram: Landovervågningsoplande: LOOP 6 Bolbro Bæk: Udarbejdet for Sønderjyllands amtskommune og Miljøstyrelsen.  
Vandmiljøprojektgruppen, Danmarks Geologiske Undersøgelse, 1989. 3 bd.

#### **VEJLE AMT**

Kilder.  
Vejle amtskommune, 1990  
ca. 35 s.

Landovervågning: Horndrup Bæk: Landbrugsdrift og næringsstofudvaskning: Vandmiljøovervågning.  
Vejle amtskommune, 1990.  
53 s.

Overvågningssøerne: Dons Nørresø 1977-88, Søgård Sø 1980-88.  
Henriette Lang Sørensen, Egon Dall.  
1989  
62 s.

Overvågningssøerne: Fårup Sø 1978-88, Engelsholm Sø 1981-87.  
Lisbet Daell Kristensen, Egon Dall.  
1989  
44 s.

Overvågningssøerne 1989: Fårup Sø, Engelsholm Sø, Dons Nørresø, Søgård Sø.  
Vejle amtskommune, 1990  
2 ringbind.



Samlet kildeopsplitning for stoftransport i Vejle amt: Appendix.  
Vejle amtskommune, 1990  
ca. 90 s.

Smådyrsfaunaen og forureningstilstanden på stoftransportstati-  
oner 1989.  
Viggo Mahler.  
Bio/consult, 1990  
ca. 103 s.

Stoftransport i vandløb 1976-86: Bilagsrapport 1.  
Bilagsrapport 2.  
Hedeselskabet, Hydrometriske undersøgelser, 1989  
39 s. + 232 s. + 551 s.

Stoftransportberegninger 1987 - vandløb og punktkilder.  
Tage Sørensen, Rådg. Ing., 1989.  
144 s.

Vandforureningstilstanden i Vejle amt: 1987-88. 1 kort. 1989  
Vejle amtskommune, 1989

Vandmiljøovervågning: Samlenotat 1989.  
Vejle amtskommune, 1990  
59 s.

Vandmiljøplanens overvågningsprogram: Landovervågningsoplade:  
LOOP 3 Horndrup Bæk.  
Vandmiljøprojektgruppen, Danmarks Geologiske Undersøgelse, 1988  
og 1989.  
3 bd.

Vejle amt 1989: Stoftransport: Vandmiljøovervågning.  
Vejle amt, 1990  
ringbind.

#### **VESTSJÆLLANDS AMT**

Foreløbig rapport over Overvågningsprogrammet for søer i  
Vestsjællands amt 1989: 1. udkast.  
Vestsjællands amtskommune, 1990  
ringbind.

Maglesø ved Brorfelde 1989: Phyto- og zooplankton: Notat udført  
for Vestsjællands amtskommune.  
Kirsten Olrik, Suzanne Bosselmann, Arnold Nauwerck.  
Miljøbiologisk Laboratorium, 1990  
27 s. + ca. 40 s. bilag.  
Resultaterne bliver publ. senere i en samlerapport.

Phyto- og zooplankton i Maglesø ved Brorfelde.  
Kirsten Olrik, Arnold Nauwerck.  
Miljøbiologisk Laboratorium, 1987  
52 bl. + ca. 15 bl. bilag.  
Resultaterne bliver publ. i en samlerapport senere.

Phyto- og zooplankton i Tissø 1987: Rapport til Vestsjællands amtskommune.

Kirsten Olrik, Annie Sørensen, Suzanne Bosselmann.

Miljøbiologisk Laboratorium, 1988.

56 bl. + ca. 20 bl. bilag.

Resultaterne bliver publ. i en samlerapport senere.

Stoftransport 1989: Ringbind I-IV.

Vestsjællands amtskommune, 1990

4 ringbind.

Tystrup Sø 1989: Phyto- og zooplankton: notat udført for Vestsjællands amtskommune.

Bodil Aavad Jacobsen, Peter Simonsen, Kirsten Olrik.

Miljøbiologisk Laboratorium, 1990

19 bl. + ca. 40 bl. bilag.

Resultaterne bliver publ. i en samlerapport senere.

Vandmiljøovervågning: Tre kilder i Vestsjællands amt.

Vestsjællands amtskommune, 1989.

30 s.

Vandmiljøplanen: Opland til søer og målestationer: Kort.

Vestsjællands amtskommune, 1990

kort.

Vegetationsundersøgelser i Maglesø ved Holbæk, Tissø og Tystrup Sø 1989: Artslister og kort.

Vestsjællands amtskommune, 1990.

ca. 20 s.

Resultaterne bliver publ. senere i en samlerapport.

#### VIBORG AMT

Fisk i Hinge sø, 1988.

Rådgivende biologer Hansen & Wegner.

Teknisk rapport.

Viborg amtskommune, Århus amtskommune.

Kildeopsplitning og samlet opgørelse over stoftilførslen til Limfjorden 1989: Bilagsrapport.

Limfjordskomiteen, Hedeselskabet, Hydrometriske undersøgelser, 1990

ringbind.

Miljøtilstanden i Hinge Sø 1989 og udviklingstendenser 1974-1989: Rapport + bilag.

Eva Marcus, Annette Petersen, Bent Søholm Jepsen, Claus Krog Mikkelsen, Peter Poulsen, Lars Møller Jensen.

Hedeselskabet, 1990

72 s. + bilag ca 170 s.

Nors Sø 1989: Vandmiljøovervågning.

Henrik Oksfeldt Enevoldsen.

Bio/consult, 1990

49 s. + ca. 40 s. bilag.

Stoftransportberegninger for Limfjorden, udført for Limfjordskomiteen 1989. Bilagsrapport.  
Limfjordskomiteen, Hedeselskabet, Hydrometriske undersøgelser, 1990  
ringbind.  
Bilagsrapport 1989.

Vandløb og kilder 1989: Vandmiljøovervågning.  
Viborg amtskommune, 1990  
2 ringbind.

Vandmiljøplanens overvågningsprogram: Samlerapport for 1989:  
Vandmiljøovervågning.  
Viborg amtskommune, 1990  
22 s.

#### ÅRHUS AMT

Bryrup Langsø 1989: Teknisk rapport.  
J. Windolf.  
Århus amtskommune, 1990  
92 s. + bilag.

Fisk i Bryrup Langsø.  
Rådgivende biologer Hansen & Wegner.  
Teknisk rapport.  
Århus amtskommune, 1989.

Fisk i Ravn sø.  
Rådgivende biologer Hansen & Wegner.  
Teknisk rapport.  
Århus amtskommune, 1989.

Fisk i Ørn sø.  
Rådgivende biologer Hansen & Wegner.  
Teknisk rapport.  
Århus amtskommune, 1989.

Horndrup Bæk (LOOP 3) 1988-89: Stoftransport og vandløbsbiologi:  
Teknisk rapport.  
Århus amtskommune, 1990.  
137 s.

Næringssalttilførsel til havområder fra Århus amt: Tilførsel i 1989 fordelt på kilder samt beregnet tilførsel efter gennemførelse af planlagt spildevandsrensning: Teknisk rapport.  
J. Møller Andersen.  
Århus amtskommune, 1990  
52 s.

Ravn Sø 1989: Teknisk rapport.  
J. Windolf.  
Århus amtskommune, 1990  
108 s. + bilag.

Recipientundersøgelser og spildevandsudledning ved Fornæs  
1986-89: Teknisk rapport.

G. Fallesen, Christian A. Jensen, K. Nielsen.  
Århus amtskommune, 1990  
61 s. + bilag.

Smådyr i Ørn Sø 1988: Teknisk rapport.

Per N. Grøn.  
Bio/consult, 1990  
75 s.

Smådyrsfaunaen i Bryrup Langsø 1988: Foreløbigt tryk.

Simon B. Leonhard, Per N. Grøn.  
Bio/consult, 1990  
84 s.

Smådyrsfaunaen i Ravn Sø 1988: Foreløbigt tryk.

Simon B. Leonhard.  
Bio/consult, 1990  
105 s.

Stationering og oplandskarakteristik: Vandmiljøplanens overvågningsprogram: Vandløb og søer: Teknisk rapport.

J. Windolf.  
Århus amtskommune, 1990  
28 s.

Stoftransport fra punktkilder i 1989 - Århus amt: punktkilder: renseanlæg, industrielle udledninger, bysamfund med hustanke, regnvandsbetingede udløb, dambrug: Vandmiljøovervågning: Teknisk rapport.

Paul Chr. Erichsen.  
Århus amtskommune, 1990  
63 s.

Stoftransport og -koncentrationer i vandløb frem til 1990, Århus amt: Teknisk rapport: Foreløbig rapport + appendix II.

L. Wiggers Nielsen, Jens Møller Andersen, Poul Nordemann.  
Århus amtskommune, 1990  
191 s. + ca. 20 s. bilag + appendix ca. 100 s.

Vandkvalitet i kilder i Århus amt i 1988.

Jens Møller Andersen, Poul Nordemann, Flemming Bach.  
Århus amtskommune, 1990.  
34 s.  
42 kilder undersøgt.

Vandmiljø: Overvågning af grundvandet Fillerup, GRUMO NR. 70.12: Teknisk rapport.

Århus amtskommune, 1990  
ringbind.

Vandmiljø: Overvågning af grundvandet Homå, GRUMO NR. 70.14: Teknisk rapport.

Århus amtskommune, 1990  
ringbind.

Vandmiljø: Overvågning af grundvandet Hvinningdal, GRUMO NR.  
70.13: Teknisk rapport.  
Århus amtskommune, 1990  
ringbind.

Vandmiljø: Overvågning af grundvandet Nordsamsø, GRUMO NR.  
70.11: Teknisk rapport.  
Århus amtskommune, 1990  
ringbind.

Ørn Sø og Funder Å 1989: Teknisk rapport.  
J. Windolf.  
Århus amtskommune, 1990  
151 s.

△

142

## DANMARKS MILJØUNDERSØGELSER

Danmarks Miljøundersøgelser er en forskningsinstitution i Miljøministeriet.

Opgaverne er at varetage og rådgive om dataindsamling og øge kendskabet til de processer og sammenhænge i naturen, der er af betydning for såvel anvendelsen som beskyttelsen af Danmarks natur- og miljøverdier.

Desuden skal Danmarks Miljøundersøgelser udvikle værktøjer og metoder, der kan sikre en sammenhængende og konsekvent politisk prioritering samt formidle resultaterne af forskningen og rådgive offentlige myndigheder og private virksomheder.

Den overordnede ledelse af Danmarks Miljøundersøgelser varetages af en bestyrelse, mens den daglige ledelse varetages af direktør og vicedirektør. Institutionen er i øvrigt organiseret med et økonomi- og personalesekretariat, et forsknings- og udviklingssekretariat og syv forskningsafdelinger.

### **Direktion:**

Direktør Henrik Sandbech  
Vicedirektør John Tychsen  
Direktionssekretær Jytte Keldborg

**Økonomi- og personalesekretariat:**  
Sekretariatschef Marianne Viltøft

**Forsknings- og Udviklingssekretariat:**  
Vicedirektør John Tychsen

**Adresse:** Danmarks Miljøundersøgelser  
Thoravej 8, 2450 København NV  
Tlf. 31 19 77 44  
Telefax: 38 33 26 44 og 31 19 76 92

### **Forskningsafdelinger:**

Afd. for Forureningskilder og Luftforurening  
Forskningschef: vakant  
Frederiksborgvej 399, 4000 Roskilde  
Tlf. 42 37 11 37. Telefax: 42 37 21 03

Afd. for Miljøkemi  
Forskningschef: vakant  
Mørkhøj Bygade 26, 2860 Søborg  
Tlf. 31 69 70 88. Telefax: 31 69 88 07

Afd. for Havmiljø og Mikrobiologi  
Forskningschef: Merete Reuss  
Jægersborg Allé 1B, 2920 Charlottenlund  
Tlf. 31 61 14 00. Telefax: 31 61 09 06

Afd. for Ferskvandsøkologi  
Forskningschef: Torben Moth Iversen  
Lysbrogade 52, 8600 Silkeborg  
Tlf. 86 81 07 22. Telefax: 86 81 14 13

Afd. for Terrestrisk Økologi  
Forskningschef: Hans Løkke  
Vejlsøvej 11, bygn. J., 8600 Silkeborg  
Tlf. 86 81 60 99. Telefax 86 81 49 90

Afd. for Flora- og Faunaøkologi  
Forskningschef: Helmuth Strandgaard  
Grenåvej 12, 8410 Rønne  
Tlf. 86 37 25 00. Telefax: 86 37 24 35

Afd. for Systemanalyse  
Forskningschef: John Holten-Andersen  
Thoravej 8, 2450 København NV  
Tlf. 31 19 77 44. Telefax: 38 33 26 44

Konsulent i systemeksport: Hans Flyger  
Frederiksborgvej 399, 4000 Roskilde  
Tlf. 42 37 11 37. Telefax: 42 37 21 03

3 OCT 1960

