



Danmarks Miljøundersøgelser
Miljøministeriet

Fosfor i jord og vand

– udvikling, status og perspektiver

Faglig rapport fra DMU, nr. 380



[Tom side]



Danmarks Miljøundersøgelser
Miljøministeriet

Fosfor i jord og vand

– udvikling, status og perspektiver

Faglig rapport fra DMU, nr. 380
2001

Brian Kronvang (red.)

Hans L. Iversen

Jørgen Ole Jørgensen

Irene Paulsen

Afdeling for Vandløbsøkologi

Jens Peder Jensen

Afdeling for Sø- og Fjordøkologi

Daniel Conley

Afdeling for Havmiljø

Thomas Ellermann

Afdeling for Atmosfærisk Miljø

Karin D. Laursen

Miljøstyrelsen

Lisbeth Wiggers

Århus Amt

Lisbeth Flindt Jørgensen

Jens Stockmarr

Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse

Datablad

Titel:	Fosfor i jord og vand – udvikling, status og perspektiver	
Forfattere:	Brian Kronvang (red.) ¹ , Hans L. Iversen ¹ , Jørgen Ole Jørgensen ¹ , Irene Paulsen ¹ , Jens Peder Jensen ² , Daniel Conley ³ , Thomas Ellermann ⁴ , Karin D. Laursen ⁵ , Lisbeth Wiggers ⁶ , Lisbeth Flindt Jørgensen ⁷ , Jens Stockmarr ⁷	
Afdelinger:	¹ Afdeling for Vandløbsøkologi, ² Afdeling for Sø- og Fjordøkologi, ³ Afdeling for Havmiljø, ⁴ Afdeling for Atmosfærisk Miljø, ⁵ Miljøstyrelsen, ⁶ Århus Amt, ⁷ Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse	
Serietitel og nummer:	Faglig rapport fra DMU nr. 380	
Udgiver:	Danmarks Miljøundersøgelser ©, Miljøministeriet	
URL:	http://www.dmu.dk	
Udgivelsestidspunkt:	December 2001	
Faglig kommentering:	Jens M. Andersen, DMU; Jørgen Windolf, Fyns Amt; Lars M. Svendsen, DMU; Skov- og Naturstyrelsen	
Tegninger og layout: Omslagsfoto:	Grafisk Værksted, DMU, Silkeborg Anker Laubel, DMU	
Bedes citeret:	Kronvang, B (red.), Iversen, H.L., Jørgensen, J.O., Paulsen, I., Jensen, J.P., Conley, D., Ellermann, T., Laursen, K.D., Wiggers, L., Jørgensen, L.F. & Stockmarr, J. 2001: Fosfor i jord og vand – udvikling, status og perspektiver. Danmarks Miljøundersøgelser. 90 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 380. Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse.	
Sammenfatning:	Denne rapport er resultatet af bl.a. den landsdækkende overvågningsindsats i overfladevand, grundvand og landovervågningsoplande der begyndte i 1989 som en opfølgning af Vandmiljøplan I. Rapporten sætter fokus på tilstand og udvikling hvad angår fosforudledningen fra de enkelte sektorer, fosforindholdet i overfladevand og grundvand, samt den økologiske betydning af fosfor i vandløb, søer, fjorde og andre kystvande.	
Emneord:	Fosfor, landbrug, renseanlæg, dambrug, industri, ophobning i jord, økologi, vandløb, søer, fjorde, havet	
Finansiel støtte:	Ingen ekstern finansiering.	
ISBN:	87-7772-647-2	
ISSN (trykt):	0905-815X	
ISSN (elektronisk):	1600-0048	
Papirkvalitet:	Cyclus Print	
Tryk:	Silkeborg Bogtryk, EMAS registreret nr. DK-S-0084	
Sideantal:	90	
Oplag:	1000	
Pris:	kr. 100,- (inkl. 25 % moms, ekskl. forsendelse)	
Internet-version:	Rapporten kan også findes som PDF-fil på Danmarks Miljøundersøgelses hjemmeside http://faglige-rapporter.dmu.dk	
Købes i boghandelen eller hos:	Danmarks Miljøundersøgelser Vejløvej 25 Postboks 314 8600 Silkeborg Tel: 89 20 14 00 Fax: 89 20 14 14 e-mail: dmu@dmu.dk www.dmu.dk	Miljøbutikken Information & Bøger Læderstræde 1 1201 København K Tel: 33 95 40 00 Fax: 33 92 76 90 e-mail: butik@mem.dk www.mem.dk/butik

Indhold

Sammenfatning og konklusion 5

English summary and conclusion 11

1 Om temarapporten 17

2 Fosforforureningen overvåges i et landsdækkende program 19

3 Forekomst og effekt af fosfor i jord og vand 21

3.1 Fosfor er et naturligt forekommende stof

3.2 Fosfor er nødvendigt for afgrøden

3.3 Fosfor i overfladevand

3.4 Fosfor tabes på mange måder fra jorden til vandmiljøet

3.5 Fosfor kan give uønsket en stor og uønsket algevækst i vandløb, søer og fjorde

4 Natur- og kulturskabte forholds betydning for fosfor 27

4.1 De naturgivne forhold i Danmark

4.2 Menneskeskabte påvirkninger

4.3 Landbrugets udvikling

4.4 Udvikling i byernes spildevandsrensning

5 Indgreb mod udledninger af fosfor siden starten af 1970'erne 35

6 Punktkildernes betydning for fosforforureningen af overfladevand 37

6.1 Fosforudledninger fra punktkilder til vandmiljøet

6.2 Byernes renseanlæg

6.3 Særskilte industrielle udledninger

6.4 Dambrug

6.5 Regnvandsbetingede udledninger

6.6 Udledninger fra spredt bebyggelse i det åbne land

7 Landbrugets fosforhusholdning og tab af fosfor fra landbrugsjord 45

7.1 Fosforbalancer i dansk landbrug

7.2 Fosforstatus i landbrugsjord

7.3 Fosfortab fra landbrugsjord til vandmiljøet

8 Atmosfærisk deposition af fosfor 55

9 Kilderne til fosfor i overfladevand og Danmarks fosforbalance 57

9.1 Vandløb

9.2 Søer

9.3 Fjorde og kystvande

9.4 Udviklingen i Danmarks fosforbalance

10 Fosfor i grundvand og overfladevand 63

10.1 Grundvand

10.2 Kilder og kildebække

10.3 Vandløb

10.4 Søer

10.5 Fjorde

10.6 Åbne farvande

11 Målsætning og målsætningsopfyldelse i overfladevand 83

11.1 Vandløb

11.2 Søer

11.3 Fjorde

Referencer 87

Danmarks Miljøundersøgelser

Faglige rapporter fra DMU

[Tom side]

Sammenfatning og konklusion

Fosfor overvåges i vandmiljøet

I NOVA-2003 (Det Nationale Program for Overvågning af Vandmiljøet) sker der en løbende overvågning af fosforforureningen i atmosfære, grundvand, vandløb, søer, fjorde og havområder. De omfattende data herfra samt fra forskning og amternes miljøtilsyn er hovedgrundlaget for denne temarapport om fosfor fra Danmarks Miljøundersøgelser. Overvågningsdata giver mulighed for både at opgøre kilderne til fosfor, forureningen med fosfor i de forskellige vandområder og de økologiske effekter heraf. Overvågningsdata udgør oftest grundlaget for indsats hvis målsætningen for et vandområde ikke er opfyldt.

Fosfor får stadig større betydning for tilstanden i vandmiljøet

Danmark har næsten løst problemet med forurening af vandområder med organisk stof og næringssalte fra spildevand og er godt på vej med en reduktion af kvælstof fra markerne. Derimod er der ikke sket nogen reduktion i fosforudvaskningen fra de dyrkede arealer, som nu er den største kilde til forforbelastningen af vore vandområder. Det har i mange år været gængs viden at fosfor er det vigtigste begrænsende næringsstof for væksten af alger i de danske søer. I vandløb har fosfor derimod ikke særlig stor betydning for de økologiske forhold fordi der er en meget stor transport gennem systemerne. Fosfor er dog begrænsende for væksten af bundlevende alger i foråret.

I fjorde og kystvande har kvælstof oftest været begrænsende for algevæksten undtagen i korte perioder af foråret i nogle fjorde. Det har ændret sig i de sidste 10 år. Den store reduktion af fosforudledninger fra byer og industri har nu medført at fosfor er blevet mere begrænsende for algevækst i fjorde og kystvande. Dette kan blive modvirket hvis fosforudledningen fra andre kilder – herunder især landbruget – stiger i de kommende år.

Hvor kommer fosfor fra – kildernes betydning

Kilderne til fosforforureningen af det danske vandmiljø har ændret sig betydeligt siden 1989. Punktkilderne, dvs. byernes renseanlæg, industrier, dambrug og spredt bebyggelse, udgjorde i 1989 næsten 90 % af den samlede fosfortilførsel til havet. I 1999 var andelen reduceret til

ca. 40 %. I samme periode er betydningen af fosfortabet fra dyrkede arealer til ferskvand derfor også steget fra at udgøre omkring 20 % i slutningen af 1980'erne til omkring 50 % i slutningen af 1990'erne.

Fosfor og spildevand

Fosforudledningerne fra byernes renseanlæg til overfladevand udgjorde 4.470 tons i 1989 fordelt med 1.770 tons til ferskvand og 2.700 tons direkte til havet. Siden da er fosforudledningen reduceret til 581 tons i 1999, en reduktion på 87 %, som følge af udbygningen af byernes renseanlæg. De samlede fosforudledninger fra industrien til overfladevand er i samme periode reduceret med 94 % og fra ferskvandsdambrug med 65 %. Hertil kommer at udledningerne fra den spredte bebyggelse uden for kloakerede områder er blevet reduceret med mindst 26 % på grund af det øgede brug af fosfatfrit vaskepulver i husholdningerne. Samtidig foregår der nu en forstærket indsats for yderligere at reducere fosforudledningerne fra spredt bebyggelse i det åbne land.

	1989	1999
Udledninger fra renseanlæg	4.470 tons	581 tons
Særskilte industrielle udledninger	1.195 tons	69 tons
Udledninger fra ferskvandsdambrug	238 tons	83 tons
Udledninger fra havdambrug	60 tons	35 tons
Udledninger fra regnvandsbetingede udløb	– 200-300 tons –	
Udledninger fra spredt bebyggelse	300 tons	221 tons
Gennemsnitligt tab fra naturarealer	– 61 tons –	
Gennemsnitligt tab fra landbrugsarealer	– 1.300 tons –	

Udviklingen i de totale udledninger af fosfor til overfladevand fra punktkilder og gennemsnitligt tab fra regnvandsbetingede udløb, naturarealer og landbrugsarealer i perioden 1989 til 1999.

Fosfor og landbrug

Fosforudledningerne fra landbruget er ikke faldet siden 1989. Nye intensive målemetoder har afsløret at der er et større fosfortab fra dyrkede arealer i vandløbsoplande end der blev målt med traditionelle metoder for bare 10 år siden. Landbruget har reduceret forbruget af fosfor i handelsgødningen fra 47.600 tons i 1985 til 19.300 tons i 1999. I samme periode er produktionen af fosfor i husdyrgødning steget med 5.600 tons. Forskellen mellem tilførsel og fraførsel på landbrugsjorden er faldet fra et overskud på 15 kg fosfor pr. hektar dyrket areal i 1980 til 11 kg fosfor pr. hektar i 1999. Der sker således hvert år en nettotilførsel af fosfor til landbrugsjord og heraf tabes da omkring 0,5 kg fosfor pr. hektar tabes til overfladevand. Billedet er dog ikke ens over hele landet og for alle brugstyper. De store fosforoverskud er i husdyrbrugene, mens der ofte er underskud i de rene planteavlsbrug.

Overskuddet af fosfor i dansk landbrug afspejler sig i jordens indhold af plantetilgængeligt fosfor. Fosfortallet er steget siden 1950'erne. Flertallet af de danske marker har i dag et højt fosfortal bedømt ud fra afgrødernes fosforbehov. Fra overvågningen og især udenlandske undersøgelser er der indikationer på at der nedvaskes mere fosfor fra sådanne marker, men sikre er vi ikke. Så her er en afgørende mangel i viden omkring fosfor problematikken. Fosforophobning og fosfortab fra landbrugsjord kan nemlig ikke håndteres som ved spildevandsanlæg med rensning og øjeblikkelig virkning. Fosfortilstanden i dyrkningsjorden ændres kun langsomt, så en ændret fosfortilførsel vil først efter en årrække påvirke fosfortabene til vandmiljøet.

Fosfor fra atmosfæren

Den årlige atmosfæriske deposition af fosfor på landjorden er ikke særlig stor ($0,16 \text{ kg P ha}^{-1}$), specielt ikke når vi sammenligner med landbrugets overskud af fosfor pr. hektar landbrugsjord som er på ca. 10 kg i slutningen af 1990'erne. Over havet er depositionen af fosfor kun på $0,08 \text{ kg P ha}^{-1}$ idet hovedkilden til fosfor i atmosfæren er ophvirvling af støv fra marker mv. Selvom den atmosfæriske deposition af fosfor generelt er af meget lille betydning kan den lokalt være af betydning som kilde i enkelte søer.

Danmarks fosforbalance

Danmarks fosforbalance viser at der er et stort forbrug af fosfor i landbruget. Selvom landbruget har reduceret forbruget af fosfor markant siden midten af 1980'erne, er der behov for yderligere reduktioner hvis fosfortabet fra de dyrkede marker skal nedbringes. I forbindelse med dette er der behov for at kunne zonere Danmark i landområder eller oplande hvor fosfor udgør en særlig risiko for vandmiljøet. Dernæst skal de enkelte jordtyper kunne klassificeres set i forhold til bl.a. deres fosforindhold, dræningstilstand, hældning mv. for at kunne udtrykke deres potentiale for at tabe fosfor (opløst og partikelbundet). Dette emne er der et stort behov for at undersøge dybere – blandt andet fordi de regionale myndigheder skal bruge viden herom ved fastsættelse af målsætning og indgreb mod forureningskilderne.

Fosfor i grundvand

I drikkevand er der for fosfor en grænseværdi på $150 \mu\text{g P l}^{-1}$. Grænseværdien overskrides sjældent og der er generelt ingen problemer med fosfor fra menneskeskabte kilder. Fosfor i grundvand stammer derimod fra naturlige aflejringer. Fosforindholdet er generelt lavest i det iltede, øvre grundvand og højest i det dybere reducerede grundvand.

Fosfor i vandløb

I skovvandløb og vandløb på hedearealer er fosforindholdet i gennemsnit på omkring $50 \mu\text{g P l}^{-1}$. I vandløb på dyrkede arealer er fosforindholdet i gennemsnit to en halv gange større, nemlig $128 \mu\text{g P l}^{-1}$. Forskellen mellem dyrkede arealer og naturarealer slår igennem både på opløst og partikelbundet fosfor. Når det drejer sig om tabet af fosfor er forskellen endnu mere udpræget. Der tabes således i gennemsnit $0,08 \text{ kg P ha}^{-1}$ fra naturoplande mod $0,51 \text{ kg P ha}^{-1}$ fra landbrugsoplande. Der er altså en meget stor forskel i fosfortab mellem naturarealer og landbrugsarealer. En forskel som må hænge sammen med forskelle i fosforpuljerne i jorden og forskelle i afstrømningsforhold, fx som følge af dræning.

Fosfor i søer

Fosfor er det næringsstof som i de fleste søer begrænser algevæksten. Reduktionen i fosforudledningen fra punktkilder har medført et fald i den gennemsnitlige koncentration af fosfor i 27 ferskvandssøer fra 207 til $134 \mu\text{g P l}^{-1}$ i perioden 1989-99. Faldet i fosforindholdet i søerne har resulteret i en lille forbedring i algemængden og derfor også sigtddybden på ca. 20 cm. Det er dog stadigvæk kun ca. 30 % af de danske søer som opfylder de fastsatte natur- og miljømålsætninger. Altså skal der ske en yderligere reduktion i fosfortilførslen til de fleste søer. Modelbaserede scenarier viser at der kun kan opnås en lille forbedring i sigtddybden ved at reducere fosforudledningen med spildevand med yderligere 75 %. En opfyldelse af målsætningerne vil kræve en stor reduktion af den diffuse fosfortilførsel fra det åbne land i søoplandene. Hvordan dette skal nås inden for overkommelig tid, er svært at se. I forbindelse med gennemførelse af indsatsplaner for søer vil det være nødvendigt at vide noget mere om hvor meget af fosforbelastningen som er på partikelbundet form, og om biotilgængeligheden i søen.

Fosfor i fjorde, kystvande og åbne farvande

Også i fjordene er den årlige gennemsnitskoncentration af fosfor faldet betydeligt, fra $68 \mu\text{g P l}^{-1}$ til $38 \mu\text{g P l}^{-1}$, i perioden 1989-99. Reduktionen af fosforkoncentrationen har i gennemsnit for de danske fjorde resulteret i en lavere algebiomasse. Det resultat giver sig også udslag i at fosfor på bekostning af kvælstof er blevet begrænsende for algebiomassen i større dele af året i mange fjorde og kystvande. I de mere åbne farvande er der ikke de store ændringer i fosforkoncentrationen fordi tilførslerne fra land her udgør et mindre bidrag. Her er kvælstof fortsat det mest begrænsende næringsstof for algeproduktionen.

Hvad mangler der af viden for at understøtte fremtidens indsatsplaner vedrørende fosfor

Danmark er på mange måder et foregangsland når det drejer sig om at nedbringe forureningen med næringsstoffer i vandområderne, både når det drejer sig om grundvand og overfladevand. Med de mange gennemførte reguleringer af de forurenende sektorer er der nået store fremskridt med nedbringelse af kvælstof- og fosforudledninger med spildevand. Her er målet om en 50 % reduktion i kvælstofudledningen og en 80 % reduktion i fosforudledningen generelt nået. Også fosforudledningen med spildevand fra spredt bebyggelse mindskes i disse år ved nedsivning eller rensning i de oplande, hvor der kommer en væsentlig forurening herfra. Hertil kommer at de mange tiltag mod kvælstofudvaskningen fra landbrugsarealer også er begyndt at virke.

Derimod mangler der en indsats mod fosfortabet fra landbrugsarealer – en indsats der først og fremmest skal ske ved selve kilden. Tilførslen af fosfor til de fleste marker i Danmark bør reduceres så meget at der ikke sker en ophobning af fosfor i jorden (tilførsel = fraførsel) og at fosforindholdet ikke holdes højere end nødvendigt for en optimeret vækst af afgrøderne. Det vil også være nødvendigt med en flerstrengt strategi afhængig af de enkelte markers evne til at holde på fosfor og om markerne ligger i oplande der tilleder fosfor til følsomme recipienter. En sådan strategi kræver mere viden om mulighederne for bedre fosforhusholdning i form af fosfor i husdyrfoder, om separering af fosfor fra gylle, og om hvilke fysiske og dyrkningsmæssige faktorer der påvirker tabet af fosfor fra marken. Der mangler også viden om hvordan fosfor transporteres fra mark til overfladevand, og hvilke mekanismer der indvirker herpå i over- og underjord samt i bufferzoner, en viden som kun kan indhentes via forskning. Det er alle vidensbehov som er nødvendige for at kunne lave en målrettet indsats mod fosforforurening.

English summary and conclusions

Phosphorus in the aquatic environment is regularly monitored

In Denmark, phosphorus pollution of the atmosphere, groundwater, watercourses, lakes, estuaries and marine waters is continually monitored under NOVA-2003, the Danish Aquatic Monitoring and Assessment Programme. The comprehensive data generated by the monitoring programme together with research findings and data from environmental supervision by the Counties comprise the main foundation for this National Environmental Research Institute report on phosphorus. The monitoring data enable determination of the sources of the phosphorus, the degree of phosphorus pollution in the various water bodies and the ecological effects thereof. The monitoring data usually serves as the basis for remedial measures in cases where the quality objective for a water body is not met.

The impact of phosphorus on the aquatic environment is gaining in significance

Denmark has nearly solved the problem of nutrient and organic matter pollution of the aquatic environment from wastewater and is well on the way to reducing nitrogen loading from farmland. In contrast, however, no reduction has been achieved in phosphorus leaching from cultivated land, which now comprises the greatest source of phosphorus loading of the Danish aquatic environment. For many years it has been commonly known that phosphorus is the main limiting nutrient for algal growth in Danish lakes. In watercourses, in contrast, phosphorus is of no great significance for ecological conditions because there is considerable transport through the systems. Phosphorus does limit the growth of benthic algae in the spring, however.

In estuaries and coastal waters, algal growth has usually been limited by nitrogen except during brief periods in the spring in some estuaries. This has changed over the past 10 years. As a result of the major reductions achieved in phosphorus discharges from urban areas and industry, phosphorus has now become increasingly limiting for algal growth in estuaries and coastal waters. This can be counteracted if phosphorus discharges from other sources – in particular from agriculture – increase in the coming years.

Where does phosphorus come from – the significance of the various sources

The sources of phosphorus pollution of the Danish aquatic environment have changed considerably since 1989. The point sources, i.e. urban wastewater treatment plants, industries, freshwater fish farms and sparsely built-up areas, accounted for almost 90% of total phosphorus input to the sea in 1989, whereas the figure had decreased to approx. 40% by 1999. During the same period phosphorus loss from cultivated areas to inland waters has increased from around 20% of the total at the end of the 1980s to around 50% at the end of the 1990s.

Phosphorus and wastewater

Phosphorus discharges to surface waters from urban wastewater treatment plants amounted to 4,470 tonnes in 1989. Of this, 1,770 tonnes were discharged to inland waters, while the remaining 2,700 tonnes were discharged directly to the sea. Since 1989, phosphorus discharges have been reduced significantly due to upgrading of the wastewater treatment plants and in 1999 amounted to 581 tonnes, corresponding to an 87% reduction. The total phosphorus discharges to surface waters from industry have been reduced by 94% during the same period, while those from freshwater fish farms have been reduced by 65%. In addition, discharges from sparsely built-up areas outside the sewerage catchments have been reduced by at least 26% due to increased household use of phosphate-free detergents. At the same time, efforts have been enhanced to further reduce phosphorus discharges from sparsely built-up areas in rural areas.

	1989	1999
Discharges from wastewater treatment plants	4,470 tonnes	581 tonnes
Separate industrial discharges	1,195 tonnes	69 tonnes
Discharges from freshwater fish farms	238 tonnes	83 tonnes
Discharges from marine fish farms	60 tonnes	35 tonnes
Discharges from stormwater outfalls	– 200-300 tonnes –	
Discharges from scattered dwellings	300 tonnes	221 tonnes
Average loss from uncultivated areas	– 61 tonnes –	
Average loss from agricultural areas	– 1.300 tonnes–	

Development in total phosphorus discharges to surface waters from point sources and average loss from uncultivated areas and agricultural areas over the period 1989-99.

Phosphorus and agriculture

Phosphorus discharges from agricultural sources have not decreased since 1989. New intensive monitoring methods have revealed that the phosphorus losses from the cultivated areas in watercourse catchments are greater than was measured using traditional methods as little as 10 years ago. Agricultural consumption of phosphorus in commercial fertilizer has been reduced from 47,600 tonnes in 1985 to 19,300 tonnes in 1999. During the same period, phosphorus production in livestock

manure increased by 5,600 tonnes. The input-output balance has fallen from a surplus of 15 kg P ha⁻¹ cultivated land in 1980 to ca. 10 kg P ha⁻¹ at the end of the 1990s. As an annual average of 0.5 kg P ha⁻¹ is lost to surface waters, net input of phosphorus to the soil thus takes place each year. The phosphorus surplus is mainly seen on the livestock farms, whereas there is often a deficit on pure crop farms.

The phosphorus surplus in Danish agriculture is reflected in the soil's content of plant-available phosphorus, the soil phosphorus content having increased since the 1950s. The majority of Danish fields currently have a high soil phosphorus content judged from the crops' phosphorus requirements. The monitoring data and especially foreign studies indicate that phosphorus leaching is greater from such fields, although this has not been documented for the various soil types. This represents a decisive deficit in our understanding of the phosphorus problem. Phosphorus accumulation and phosphorus loss from farmland cannot be dealt with in the same way as wastewater, where the treatment measures implemented have an immediate impact. The phosphorus content of arable land changes only very slowly and it therefore takes many years before a change in phosphorus input is reflected by a change in phosphorus loss to the aquatic environment.

Phosphorus from the atmosphere

The annual atmospheric deposition of phosphorus on land is not particularly great (0.16 kg P ha⁻¹), especially not in comparison with the agricultural phosphorus surplus on farmland, which was about 10 kg P ha⁻¹ at the end of the 1990s. Phosphorus deposition on the sea amounts to only 0.08 kg P ha⁻¹ since the main source of phosphorus in the atmosphere is dust whirled up from fields, etc. Even though atmospheric deposition of phosphorus is generally of minor significance, it can be of considerable significance locally in individual lakes.

Phosphorus balance for Denmark

From the phosphorus balance for Denmark as a whole it is apparent that considerable phosphorus is used in agriculture. Even though the agricultural sector has reduced consumption of phosphorus considerably since the mid 1980s, further reduction is needed if phosphorus loss from the cultivated fields is to be reduced. In this connection, Denmark needs to be zoned in regions or catchments where phosphorus poses a particular risk to the aquatic environment. In addition, the individual soil types could be classified in relation to such factors as their phosphorus content, drainage state, slope, etc. in order to be able to express their potential to lose phosphorus (soluble and particulate). There is a considerable need to investigate this topic further, among other reasons because the regional authorities need to use this knowledge when setting quality objectives for water bodies and when deciding what measures to take against sources of phosphorus pollution.

Phosphorus in groundwater

The limit level for phosphorus in drinking water is $150 \mu\text{g P l}^{-1}$. This is rarely exceeded, and anthropogenic phosphorus sources generally do not pose any problem. In contrast, the phosphorus in groundwater mainly derives from natural deposits. The phosphorus content is generally lowest in the oxic upper groundwater and highest in the deeper anoxic groundwater aquifers.

Phosphorus in streams

In streams draining uncultivated catchments (e.g. forest and heathlands) the phosphorus concentration averages around $50 \mu\text{g P l}^{-1}$. In watercourses in cultivated catchments the mean phosphorus content is two and a half times greater, namely $128 \mu\text{g P l}^{-1}$. The difference between cultivated catchments and uncultivated catchments is apparent with regard to both dissolved and particulate phosphorus. Considering annual average phosphorus loss, the difference is even more pronounced, the loss from uncultivated catchments averaging $0.08 \text{ kg P ha}^{-1}$ as compared with $0.51 \text{ kg P ha}^{-1}$ from cultivated catchments. This very great difference in phosphorus loss is probably due to differences in the soil phosphorus pools as well as to differences in runoff conditions, for example as a consequence of drainage and erosion.

Phosphorus in lakes

In most Danish lakes the limiting nutrient for algal growth is phosphorus. The reduction in phosphorus discharges from point sources has led to a decrease in the annual mean concentration of phosphorus in 27 inland lakes from 207 to $134 \mu\text{g P l}^{-1}$ over the period 1989-99. The downward trend in the phosphorus concentration in the lakes has resulted in a slight improvement in algal abundance and a 20 cm reduction in Secchi depth. Nevertheless, only approx. 30% of the Danish lakes meet their ecological and environmental quality objectives. The phosphorus content of the majority of the lakes thus needs to be reduced further. Model scenarios show that only a slight improvement in Secchi depth can be obtained by reducing phosphorus discharges in wastewater by a further 75%. If the quality objectives are to be met, phosphorus input from the countryside in the lake catchments will have to be reduced considerably. How this could be achieved within a practicable time frame is difficult to imagine. Implementation of catchment management plans necessitates a much greater understanding of how much of the phosphorus load is in particulate form, and about its bioavailability in the lake.

Phosphorus in estuaries, coastal waters and the open marine waters

The annual mean phosphorus concentration in the estuaries has also decreased considerably – from $68 \mu\text{g P l}^{-1}$ to $38 \mu\text{g P l}^{-1}$ over the period 1989-99. On average, the reduction in phosphorus concentration has resulted in lower algal biomass in the Danish estuaries. This is also reflected in the fact that phosphorus has replaced nitrogen as the limit-

ing nutrient for much of the year in many estuaries and coastal waters. In the more open marine waters the phosphorus concentration has remained largely unchanged because phosphorus inputs from land are of minor significance. Here nitrogen remains the main limiting nutrient for algal production.

What further information is needed to support future action to deal with the phosphorus problem?

In many ways, Denmark is a pioneer as regards reducing nutrient pollution of the aquatic environment, both with respect to groundwater and surface waters. With the many measures implemented to regulate the polluting sectors, considerable progress has been made on reducing wastewater discharges of nitrogen and phosphorus. The targets of a 50% reduction in nitrogen discharge and an 80% reduction in phosphorus discharge have generally been attained. Wastewater discharges of phosphorus from sparsely built-up areas has also been reduced during the same period by implementation of soakaways or treatment measures in those catchments where the level of such pollution is high. Moreover, many of the measures to curtail nitrogen leaching from farmland have also begun to take effect.

In contrast, efforts need to be enhanced to limit phosphorus loss from farmland – efforts that primarily need to be directed at the source itself. The input of phosphorus to most fields in Denmark should be reduced sufficiently to hinder accumulation of phosphorus in the soil (addition = removal) and to ensure that the soil phosphorus content is not maintained at a higher level that is necessary for optimal growth of the crops. Moreover, a multifaceted strategy will be necessary depending on the capacity of the individual fields to retain the phosphorus and on whether the fields are located in catchments that supply phosphorus to vulnerable recipients. Such a strategy necessitates greater knowledge about the possibilities for better phosphorus housekeeping through improved use of phosphorus in livestock fodder and about separation of phosphorus from manure slurry, as well as about which physical and cultivation factors affect phosphorus loss at the field level. Information is also lacking about how phosphorus is transported from fields to surface waters, as well as about the mechanisms that affect such transport in surface soil and in the subsoil, as well as in buffer zones. Such knowledge can only be obtained through research. Improved knowledge of all these aspects is necessary to facilitate concerted efforts to deal with phosphorus pollution of the aquatic environment.



Foto: Martin Søndergaard, DMU

1 Om temarapporten

Fosfor er et nødvendigt næringsstof for planter og dyr. Men et for højt indhold af fosfor kan have negativ indflydelse på natur- og miljøtilstanden i vandmiljøet. For meget fosfor forårsager en øget algevækst der påvirker naturtilstanden i negativ retning især i søer og fjorde.

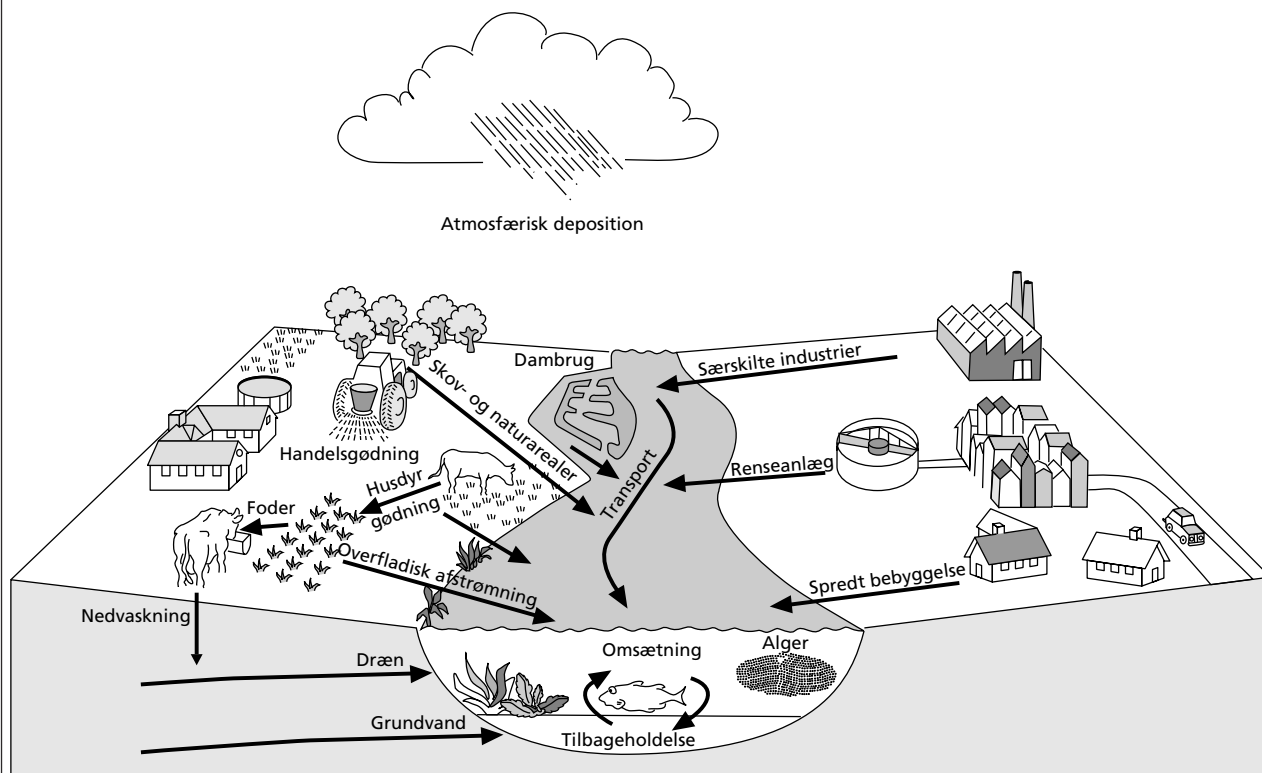
I 1987 blev den første Vandmiljøplan vedtaget med en målsætning om reduktion af fosfortabet til de ferske og marine vandområder med 80 %. Hvad angår fosfor var tiltagene i Vandmiljøplanen rettet mod udledningerne fra gårde (gårdbidrag) og fra punktkilder, det vil sige spildevand fra byer og industri. Med Dambrugsbekendtgørelsen fra 1989 blev fosforudledningerne fra dambrug også reguleret.

Samtidig med vedtagelsen af Vandmiljøplanen blev der igangsat en landsdækkende overvågning af fosforudledningerne fra de forskellige kilder og fosforindholdet i grundvand, vandløb, søer, fjorde og det åbne hav (NOVA).

Denne temarapport giver en status for hvordan forureningen med fosfor i jord og vand har udviklet sig i Danmark. Rapporten gennemgår hvor meget udledningerne af fosfor fra punktkilderne til de ferske og marine vande er reduceret. I rapporten gennemgås også udviklingen i landbrugets anvendelse af fosfor i handels- og husdyrgødning og ophobning i landbrugsjorden. Et fosforoverskud i landbrugsjorden kan resultere i tab til grundvand og overfladevand. På baggrund af målingerne i de særlige Landovervågningsoplande under NOVA programmet belyser vi hvor meget fosfor der tabes fra landbrugsjord til vandmiljøet.

Resultaterne af belastningerne af vandmiljøet med fosfor fra forskellige kilder opgør vi ved at dokumentere udvikling og tilstand med hensyn til fosforindholdet i vandløb, søer, fjorde og åbne hav. Vi ser på de økologiske effekter af fosfor i vandmiljøet og til slut beskriver vi i udvalgte eksempler hvad der skal til for at forbedre tilstanden i søer og fjorde.

Boks 1 Kilder til fosfor i vandmiljøet



Fosfor i vandmiljøet stammer fra det vi kalder punktkilder (spildevand) og diffuse kilder.

Punktkilder

Fosfor fra punktkilderne udledes som ordet siger normalt fra et veldefineret område til vandmiljøet, og spildevandet herfra kan normalt renses. Som punktkilder betragtes følgende:

- Byernes rensningsanlæg
- Industrielle udledninger
- Regnvandsbetingede udledninger
- Udledninger fra ferskvands- og havdambrug
- Udledninger fra spredt bebyggelse det være sig enkeltejendomme, sommerhuse mv. i det åbne land

Diffuse kilder

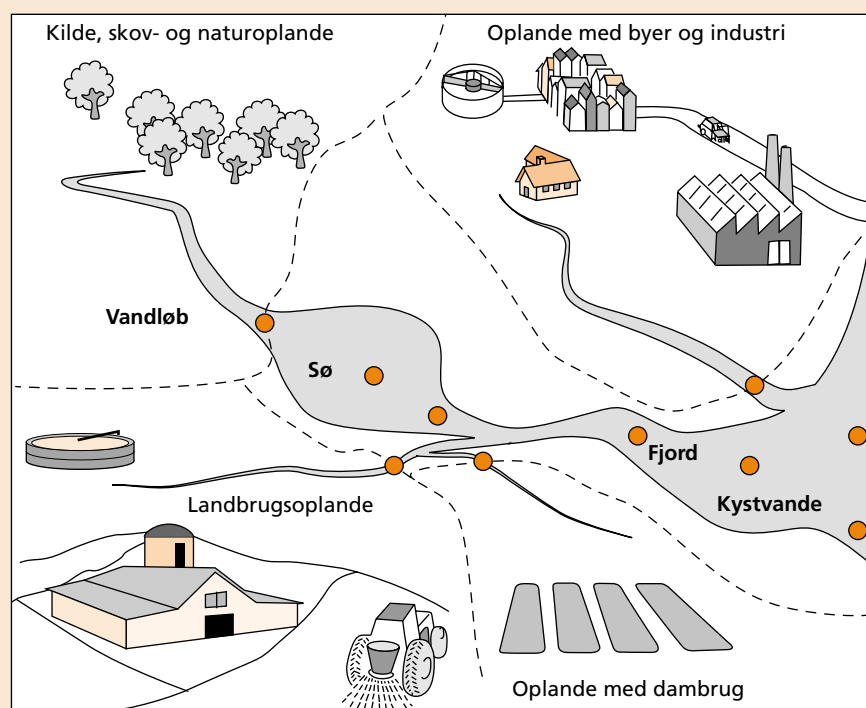
Med ordet 'diffuse kilder' menes fosforkilder som ikke udledes et bestemt sted eller hvor udledningen sker på mange måder. Til de diffuse kilder hører fosfortabet fra landbrugsarealer og fra udyrkede skov- og naturarealer. Overfor de diffuse kilder kan der normalt ikke iværksættes rensningstiltag, men fosfor kan tilbageholdes i fx bufferzoner langs vandløb og søer.

2 Fosforforureningen overvåges i et landsdækkende program

Brian Kronvang

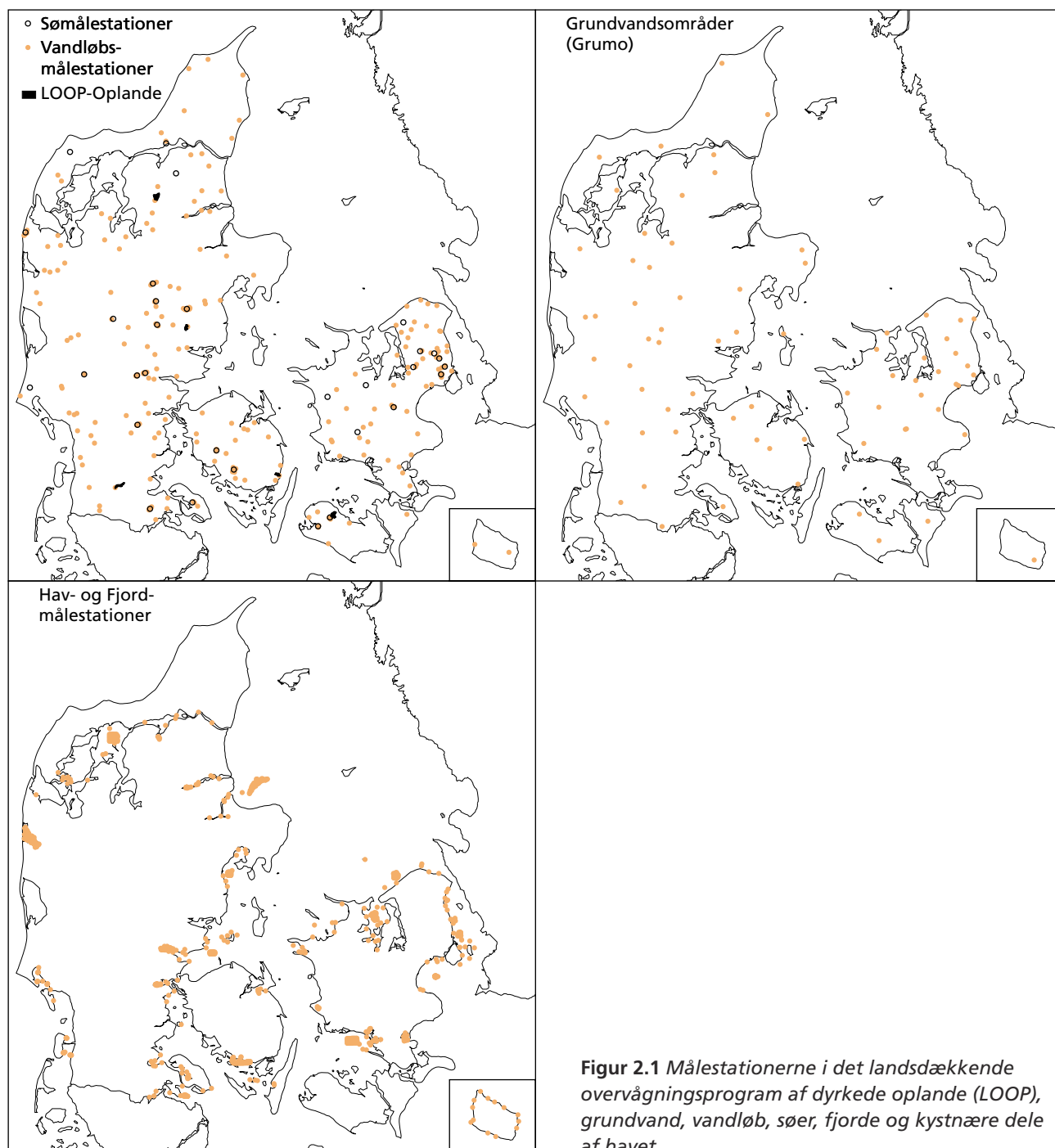
Siden 1988 er forureningen med bl.a. fosfor i det danske vandmiljø blevet overvåget i et landsdækkende program – NOVA. Det overordnede formål med det landsdækkende overvågningsprogram er at eftervise effekterne af de reguleringer og investeringer der er iværksat i forbindelse med vedtagelsen af Vandmiljøplanerne fra 1987 og 1998. Overvågningsprogrammet gennemføres i vid udstrækning af de danske amter ved en systematisk årlig indsamling af data fra vandmiljøet og de forurenende sektorer. Overvågningsprogrammet vil selv sagt også medvirke til at belyse effekterne af andre miljøtiltag, herunder opfyldelsen af målsætningerne i de amtslige planer for vandområderne. Det landsdækkende overvågningsprogram er et supplement til amternes miljøtilsyn der går helt tilbage til starten af 1970'erne.

Overvågningen omfatter målinger af fosforbelastningen fra forskellige kilder som renseanlæg, industrier og dambrug. Hertil kommer målinger af fosfor i jordvand, drænvand og grundvand under dyrkede arealer. Endelig sker der en omfattende overvågning af fosfor og de økologiske forhold ved en lang række målestationer i vandløb, søer, fjorde og åbne farvande (figur 2.1).



Boks 2 Overvågningsindsatsen i Danmark er stor

Overvågningen af forureningen med fosfor gennemføres indenfor forskellige geografiske niveauer rækende fra mindre oplande til hele landet. Overvågningen er helhedsorienteret ved at den omfatter både påvirkningen fra de forurenende sektorer, tilstanden og effekterne i vandmiljøet.



Figur 2.1 Målestationerne i det landsdækkende overvågningsprogram af dyrkede oplande (LOOP), grundvand, vandløb, søer, fjorde og kystnære dele af havet.

3 Forekomst og effekt af fosfor i jord og vand

Brian Kronvang
Jens P. Jensen
Daniel Conley

3.1 Fosfor er et naturligt forekommende stof

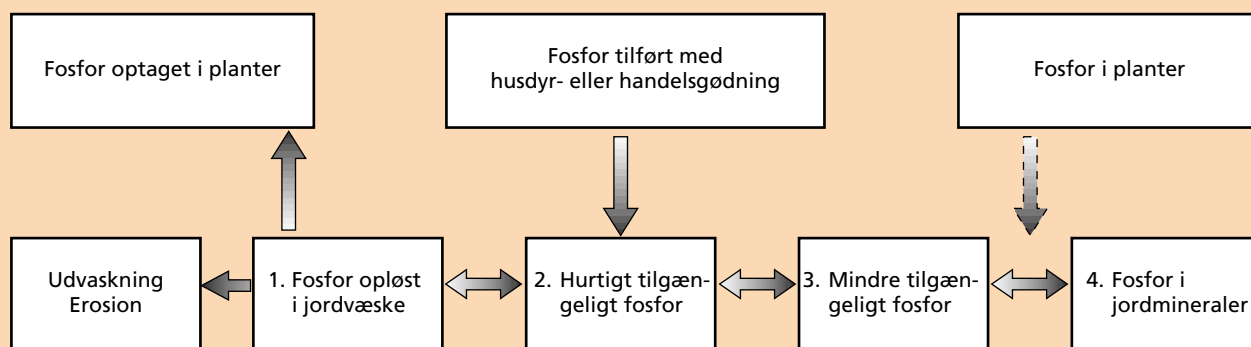
Fosfor (P) er et naturligt forekommende grundstof i jorden. Frit fosfor findes ikke i naturen idet fosfor reagerer meget villigt med andre stoffer. I naturen findes fosfor fortrinsvis som fosfater, i uorganisk form er orthofosfat (PO_4^{3-}) almindeligst. I jord findes fosfor bundet til organisk stof (organisk-P) mens en anden del er bundet til jordens mineraliske bestanddele (uorganisk-P). En meget lille del af fosforpuljen i jord findes opløst i jordvandet.

3.2 Fosfor er nødvendig for afgrøden

Danske landbrugsjorde indeholder generelt en stor mængde fosfor. I pløjelaget er indholdet anslået til 1.000-2.000 kg P pr. hektar, hvilket svarer til 400-800 mg P pr. kg jord (Borggaard et al., 1991). Det naturlige fosforindhold er anslået til 100 mg P pr. kg i sandjord og 300-400 mg P pr. kg i lerjord (Borggaard et al., 1991). Fosfor indgår i en række kemi-

Boks 3 I jorden findes der mange forskellige fosforpuljer

Uorganisk fosfor er i jorden primært bundet til aluminium- og jernforbindelser samt kalcium. Derfor er uorganisk fosfor mest knyttet til ler- og siltpartikler i jorden. Sandjord har derfor en mindre evne til at binde fosfor end lerjord. Jordens organiske fosforpulje er bundet i humus, uomsatte planterester og mikroorganismer. Planterne optager fosfor som fosfationer fra jordvæsken. Da jordvæsken kun indeholder en lille mængde fosfor er planterne afhængige af at der løbende frigøres fosfat fra de organiske og uorganiske puljer i jorden. Alternativt skal der tilføres fosfor i form af handels- og husdyrgødning. En del af det ekstra tilførte fosfor vil ikke blive optaget af planterne. Det bliver enten nedvasket eller bundet til jordens organiske og uorganiske stof. Med tiden vil det ekstra tilførte fosfor blive mindre tilgængeligt for planterne.



Boks 4 Hvordan måles jordens plantetilgængelige fosforindhold

Fosfortilstanden i landbrugsjord svarer til jordens evne til at forsyne planterødder med opløst fosfor. Fosfortal bestemmes ved udtræk med 0,5 M NaHCO₃. En enhed i fosfortal svarer til 1 mg fosfor pr. 100 g jord. Det svarer til ca. 25 kg fosfor pr. hektar landbrugsareal. Kun når der er overskud af tilgængeligt fosfor i jorden kan man være sikker på at planterne får fosfor nok. Et fosfortal på 2-4 betragtes som et middelniveau mens et fosfortal på over 4 er højt (Knudsen, 2000).

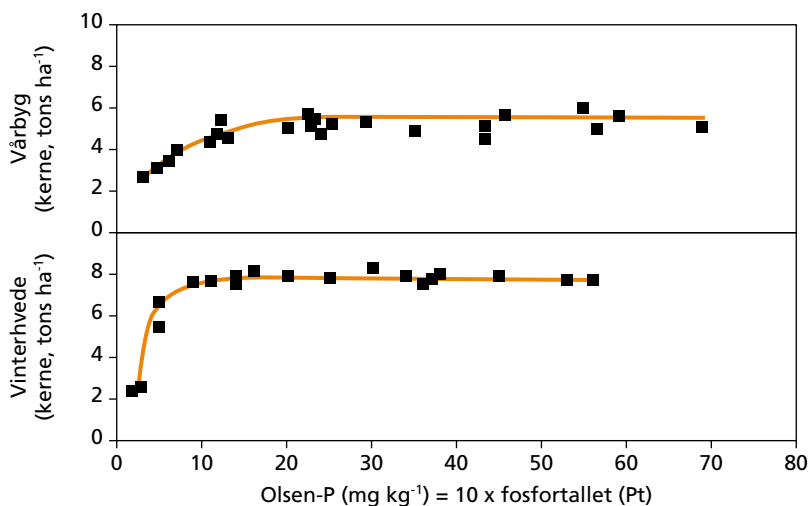
Fosfortal	Niveau	Anbefaling fra Landbrugets Rådgivningscenter
Under 1	Meget lavt	Tilførsel af større mængder fosfor fx i slam suppleret med årlig tilførsel af let tilgængeligt fosfor
1-2	Lavt	Tilførsel af 20-40 procent mere fosfor end bortførslen med afgrøder
2-4	Middel	Tilførsel af hvad der svarer til bortførsel med afgrøder
4-6	Højt	Tilførsel af 25-50 procent af bortførsel med afgrøder
Over 6	Meget højt	På kort sigt ikke behov for tilførsel af fosfor

ske forbindelser i planterne. Planternes vækst afhænger derfor af jordens evne til at forsyne planterne med fosfor. Dette kan udtrykkes ved jordens indhold af letopløseligt fosfor, også kaldet fosfortilstanden. I Danmark måles fosfortilstanden i landbrugsjord som fosfortallet (Pt) (Munkholm og Sibbesen, 1997).

Jordens evne til at binde og frigive fosfor afhænger af jordtypen. Ved en ny fosfortilførsel kan en svær lerjord således binde mere fosfor end en lerblandet sandjord, før den samme koncentration af opløst fosfor opnås i jordvæsken (Heckrath et al., 2000).

Mangel på plantetilgængeligt fosfor i jorden vil kunne påvirke udbyttet. I figur 3.1 er der vist et eksempel herpå for udbyttet af vårbyg og vinterhvede der falder kraftigt med dårligere fosfortilstand (lavt fosfortal).

Figur 3.1 Sammenhæng mellem jordens fosfortilstand målt som Olsen-P (10 x fosfortallet) og udbyttet af afgrøder på en engelsk mark (omtegnet fra Johnston og Poulton, 1997).

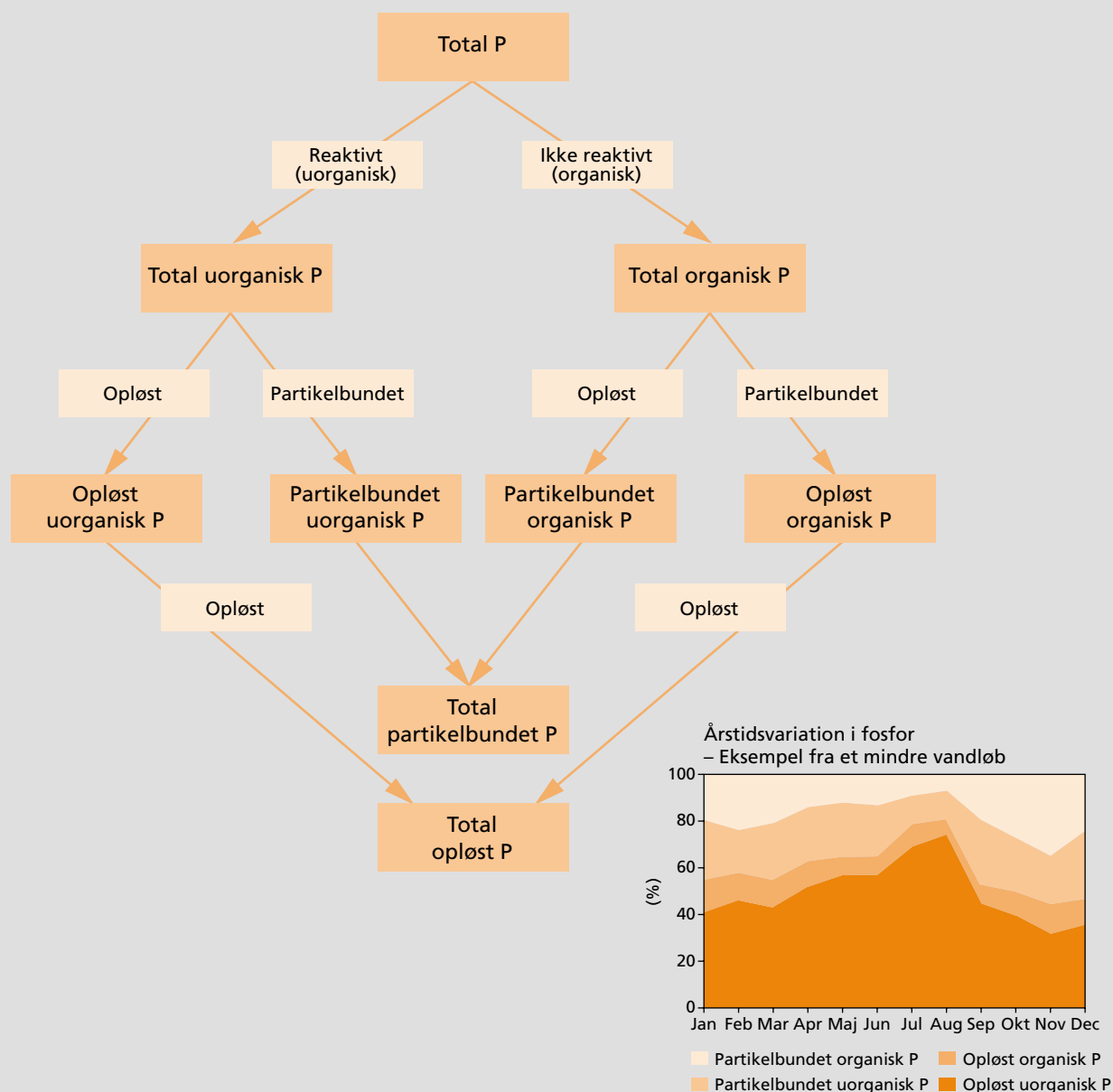


3.3 Fosfor i overfladevand

I overfladevand findes fosfor både i levende organismer, bundet til organiske og uorganiske jordpartikler samt på opløst form, hovedsageligt som uorganisk fosfor (boks 5). Forekomsten af de enkelte fraktioner af fosfor i vandmiljøet varierer over året og fra vandområde til vandområde afhængig af betydningen af de kilder der belaster vandområdet med fosfor.

Boks 5 Der findes fire fosforfraktioner i vand og indholdet varierer over året

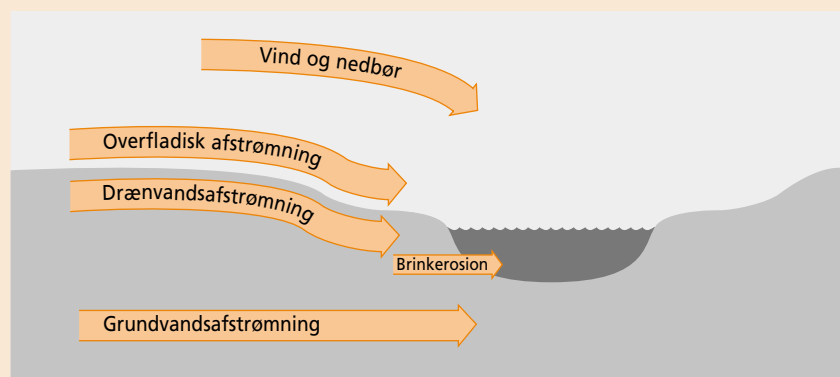
I større vandløb hvor en stor del af fosfor leveres fra punktkilder som udledninger fra rensningsanlæg, vil opløst uorganisk-P være den dominerende fosforfraktion. Derimod vil fosforindholdet i mindre vandløb ofte være domineret af partikelbundet P. I mindre vandløb stammer hovedparten af fosfor fra diffuse kilder – hovedsageligt landbrugsarealer, spredt bebyggelse og skov- og naturarealer.



3.4 Fosfor tabes på mange måder fra jorden til vandmiljøet

Fosfor kan på mange måder blive transporteret fra land til vand. Vi kan overordnet tale om to transportmekanismer: Nedvaskning og erosion.

Boks 6 Transportveje for fosfor fra land til vand



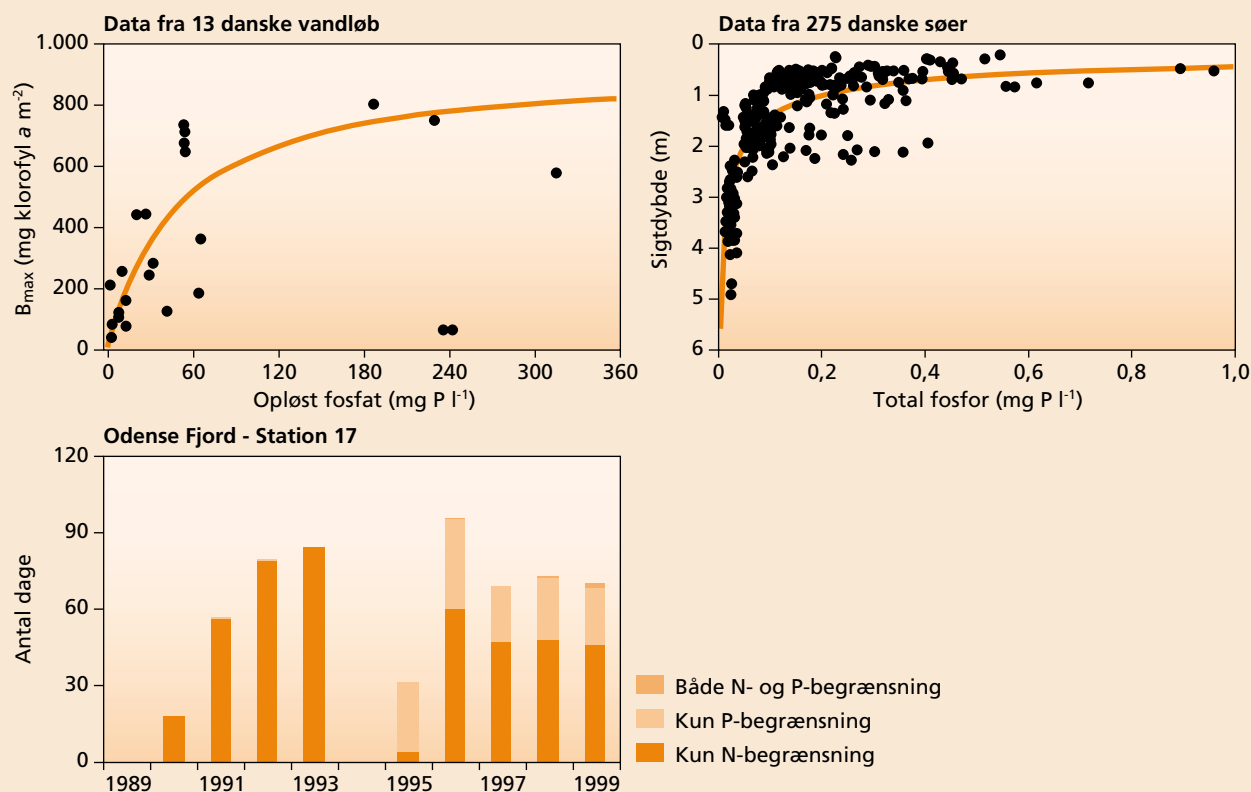
Fra jorden til vandmiljøet kan fosfor tabes ved nedvaskning af både opløst-P og partikelbundet-P fra topjorden til underjorden. Transporten sker ved at regnvand siver ned i jorden og tager opløst-P i jordvæsken med sig ned mod dybere jordlag. Her kan det opløste fosfor igen blive bundet til overfladen af ler- og siltpartikler eller blive transporteret videre til grundvandet. Fosfor bundet

til jordpartikler kan også blive nedvasket fra topjorden igennem store porer eller sprækker i jorden. Det er hvad vi kalder makropore strømning. Hvis jorden er drænet ved hjælp af drænrør, som det er tilfældet på de mere lerede marker og lavbundsarealer, vil det nedvaskede opløste eller partikelbundne fosfor hurtigt kunne transporteres ud til vandløb. Det opløste fosfor der nedvaskes til grundvand vil eventuelt senere kunne nå frem til overfladvand alt afhængig af om fosfor i de dybere jordlag kan bindes til jorden. Visse aflejringer i jorden indeholder en del naturligt fosfor så naturligt fosfor kan også tilføres overfladevand med grundvand under de rette forhold.

Fosfor kan også transporteres fra marken til vandmiljøet ved erosion af jorden. Regnvandets kraft kan, når det rammer jorden, flytte jordpartikler og hvis jorden i forvejen er vandmættet eller den er frosset vil regn- og smeltevand transportere opløst-P og fosfor bundet til jordpartikler med sig. En del af dette fosfor vil nå frem til overfladevand hvis jorden støder op til og hælder ned mod en grøft, et vandløb eller en sø. En anden måde fosfor kan transporteres til overfladevand er ved erosion af brinkerne langs grøfter og vandløb, samt ved vinderosion på markerne.



Boks 7 Økologisk betydning af fosfor i vandløb, søer og fjorde



Vandløb

I vandløb er især væksten af småalgerne der vokser på bunden (mikrobentiske alger) begrænset af fosforindholdet i vandet (Kjeldsen, 1998). Det gælder specielt i forårsperioden hvor de bundlevende alger når deres maksimale omfang i vandløb. Store mængder af bundlevende alger kan i særlige tilfælde medføre uønskede døgnvariationer i koncentrationen af opløst ilt i vandløbsvandet som negativt kan påvirke dyrelivet.

Søer

Fosfor er begrænsende for algevæksten i de fleste danske søer. I de fleste lavvandede og dybe søer er fosfor begrænsende for væksten af de fritsvævende alger i søvandet (plankton alger). En øget mængde alger gør søvandet mere uklart (mindre sigtdybde). Man kan altså ikke se så langt ned mod søbunden i en fosforforurenet sø som i en ren sø. Det uklare vand forhindrer væksten af højere planter på søbunden – undervandsplanterne forsvinder. Det er sket i de fleste danske søer. Søen er kommet ud af sin naturlige balance og blevet fattigere på dyre- og planteliv. En stor fosforbelastning og algevækst øger også risikoen for uønsket forekomst af giftige blågrønalger, iltsvind og i værste fald fiskedød i sommerperioden.

Fjorde

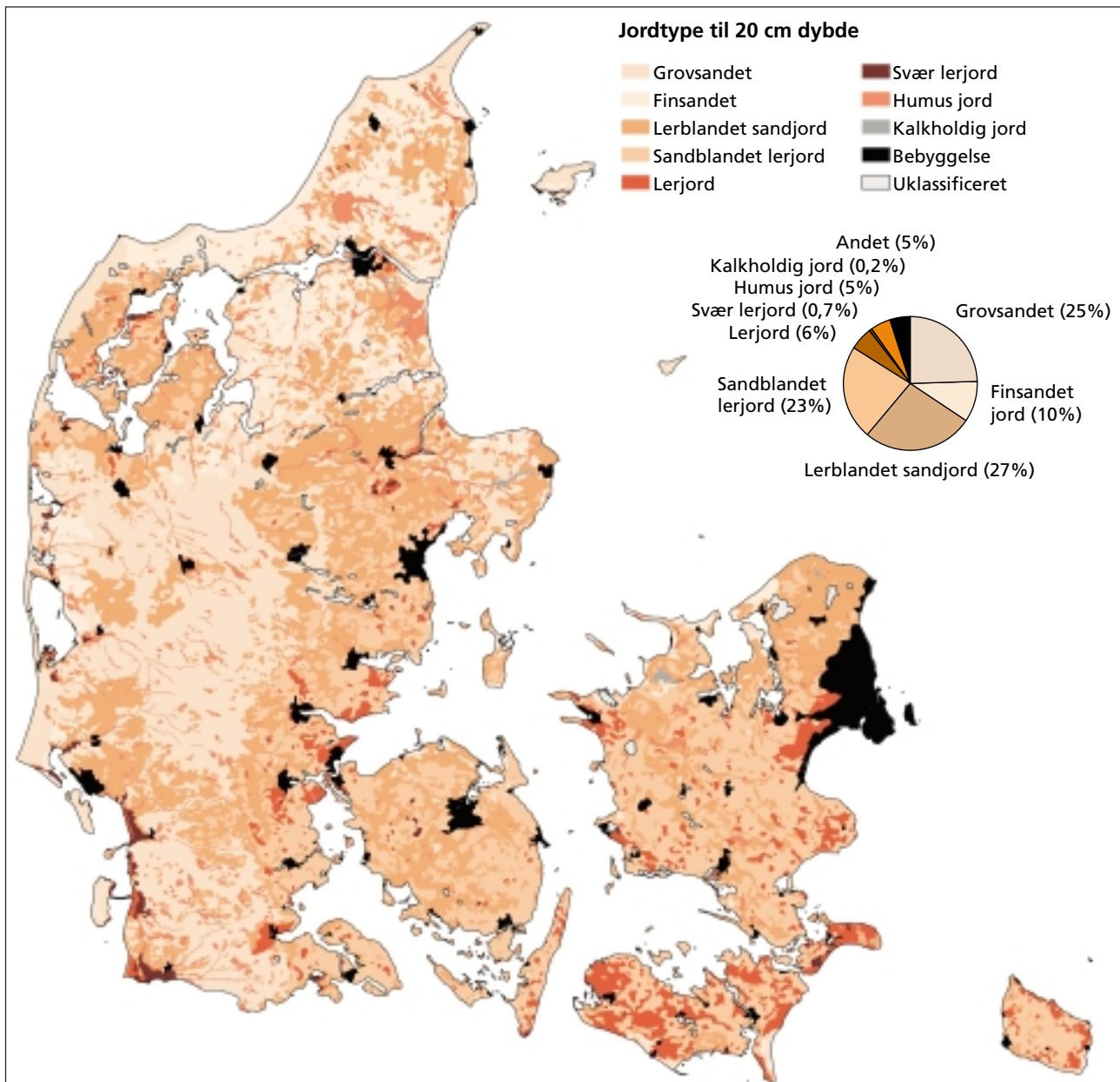
Fosfor er også begrænsende for algevæksten i fjorde og bugter i dele af året. Fosfor har tidligere især været begrænsende for algevækst i forårsperioden. Men i takt med byernes forbedrede rensning af spildevandet for fosfor er der sket en ændring hen mod at fosfor i stadig større dele af året er blevet begrænsende for algevækst.

3.5 Fosfor kan give en stor og uønsket algevækst i vandløb, søer og fjorde

I overfladevand vil en forøget tilførsel af fosfor i forhold til den naturbetingede forårsage en øget planteproduktion. Det gælder især for algerne der ofte er begrænset af forekomsten af fosfor. En forøget algevækst kan medføre forstyrrelser i økosystemet – forstyrrelser som er mest synlige i de stillestående vande (søer og fjorde). De strømmende vande, vandløb, har et hurtigt vandskifte og kan derfor både dæmpe effekterne af og borttransportere en eventuel uønsket stor algeproduktion.

4 Natur- og kulturskabte forholds betydning for fosfor

Brian Kronvang
Irene Paulsen



Boks 8 Landsdækkende kort over jordartsforholdene i topjorden (dybde 0-25 cm)

Jordartskortet er fremstillet på baggrund af en landsdækkende kortlægning af landbrugsarealerne i 1970'erne. Jordarterne er beskrevet i 8 klasser spændende fra de grovsandede områder der har den dårligste evne til at binde fosfor, til de svære lerjorde der har bedst bindingsevne overfor fosfor. I lagkagediagrammet kan man se at de rene sandjorder udgør 35 % og de rene lerjorder 6,7 % af Danmarks areal.

4.1 De naturgivne forhold i Danmark

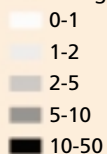
De naturgivne forhold i Danmark har stor betydning for det diffuse fosfortab til vandmiljøet. Det drejer sig både om direkte effekter i form af det naturlige fosforindhold i jord og om dets påvirkning af grundvand og overfladevand. Hertil kommer indirekte effekter i form af jordens evne til at binde fosfor tilført i forbindelse med landbrugsdriften, samt betydningen af jordbunden og terrænets hældning for følsomheden for erosion.

Klimaet i Danmark har stor betydning for fosfortabet fra punktkilder og diffuse kilder til vandmiljøet. Igen er der tale om både direkte og indirekte effekter. De direkte effekter er nedbørens betydning for tab af fosfor fra jord via jorderosion og nedvaskning. Stigende og kraftigere faldende nedbørsmængder vil alt andet lige forøge risikoen for fosfortab fra jord. Hertil kommer at nedbørsmængderne også har direkte betydning for fosforudledninger fra regnvandsbetingede udløb.

Boks 9 Højdekort

Danmark er et land uden de store højdeforskelle. Alligevel er der regionale forskelle i hvor meget landskaberne hælder. Jo større hældning, jo større er mulighederne for jorderosion og tab af fosfor med overfladisk afstrømning. I Danmark har ca. 96 % af landet en hældning mindre end 6 %, mens under 1 % af landet hælder mere end 12 % (Hasholt et al., 1990).

Hældning (grader)

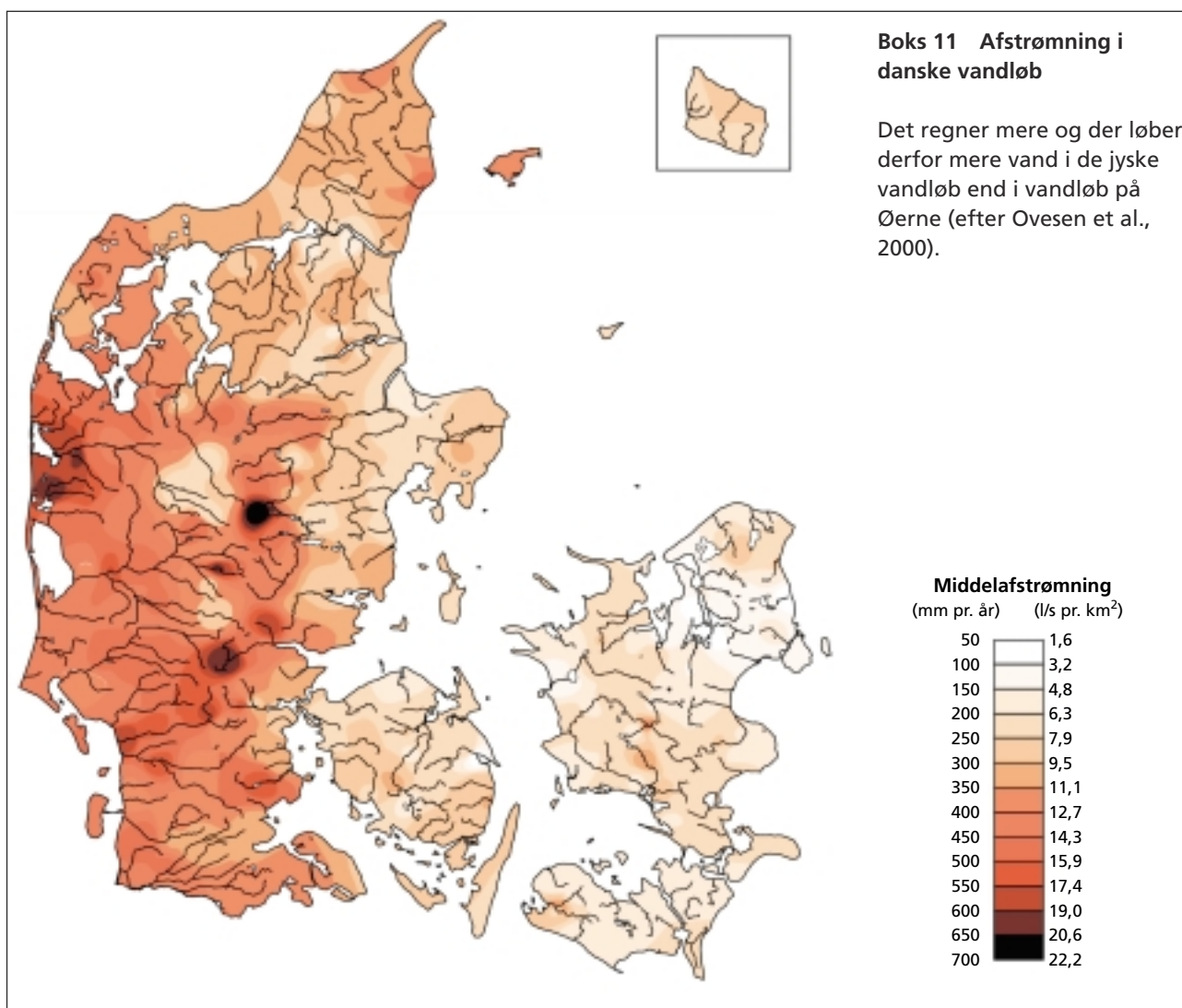


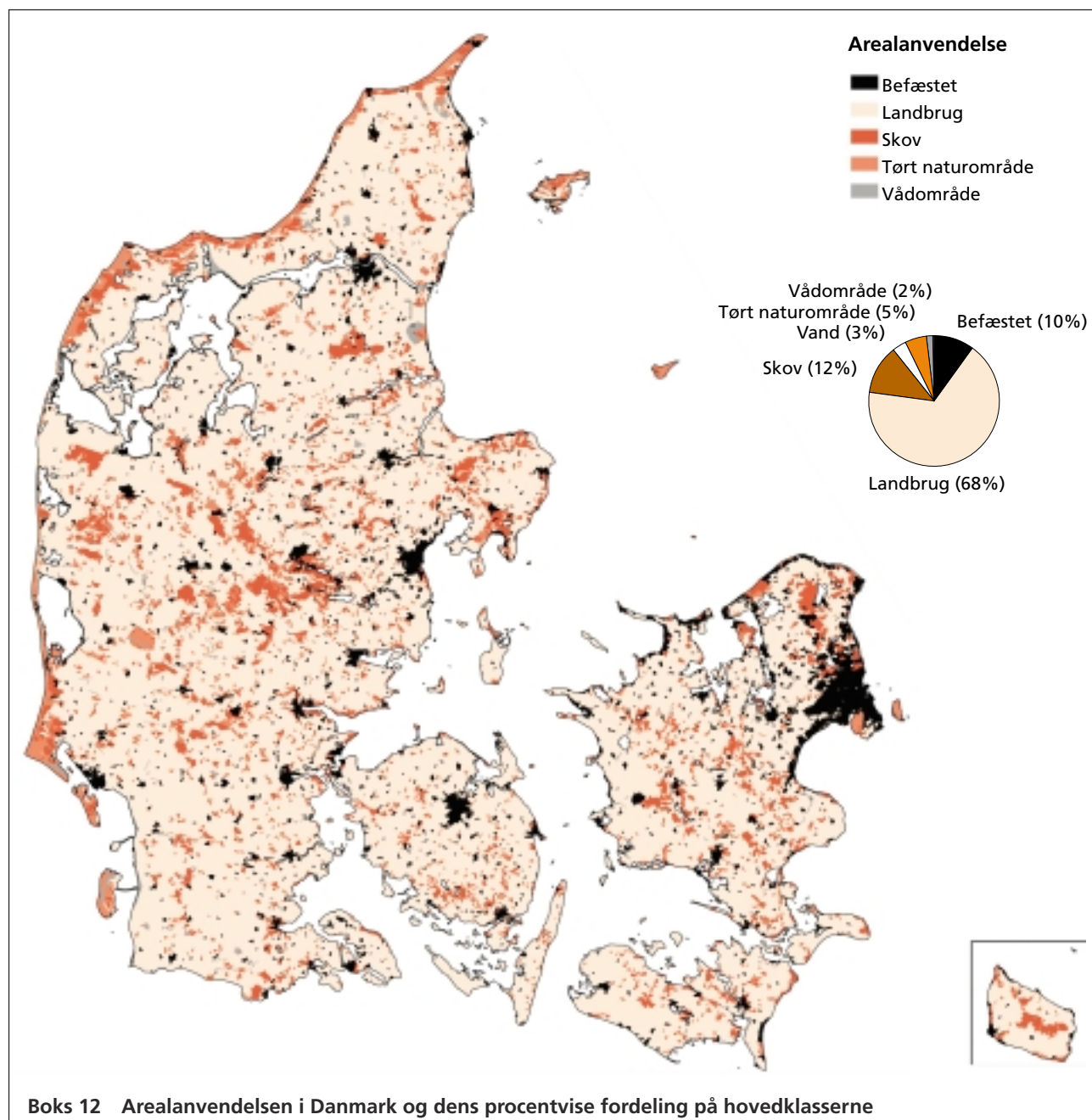
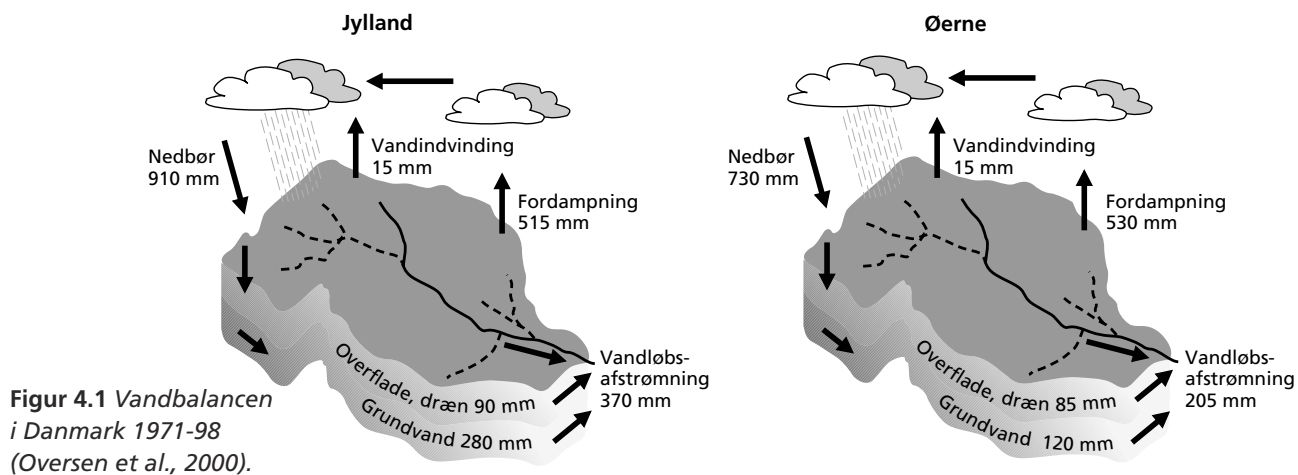
Boks 10 Danmark har mange vandløb, søer og fjorde

Danmark er gennemskåret af ca. 64.000 km vandløb. Heraf er 35.000 km naturlige vandløb og resten gravede afvandingskanaler og grøfter. Vandløbene har forskellige størrelser som det er vist i tabel 1. I Danmark har vi omkring 2.800 søer større end 5 hektar og mere end 120.000 damme og småsøer større end 0,01 ha (100 m²). Danmark er afgrænset af en ca. 7.700 km lang kystlinie som mange steder danner småfjorde og bugter.

Vandløbsbredde	0-2½ meter	2½-8 meter	> 8 meter	Total
Længde	48.000 km	14.500 km	1.500 km	64.000 km

De indirekte effekter er mest relateret til vandmængden i vandløb. Ferskvandsafstrømningen i vandløb er styret af klimaet i form af nedbør og fordampning – vandbalancen (figur 4.1). På grund af fortyndingseffekten vil et vandløb på Sjælland med lille vandafstrømning ved samme fosforbelastning fra et renseanlæg få et højere fosforindhold end et vestjysk vandløb med stor afstrømning.





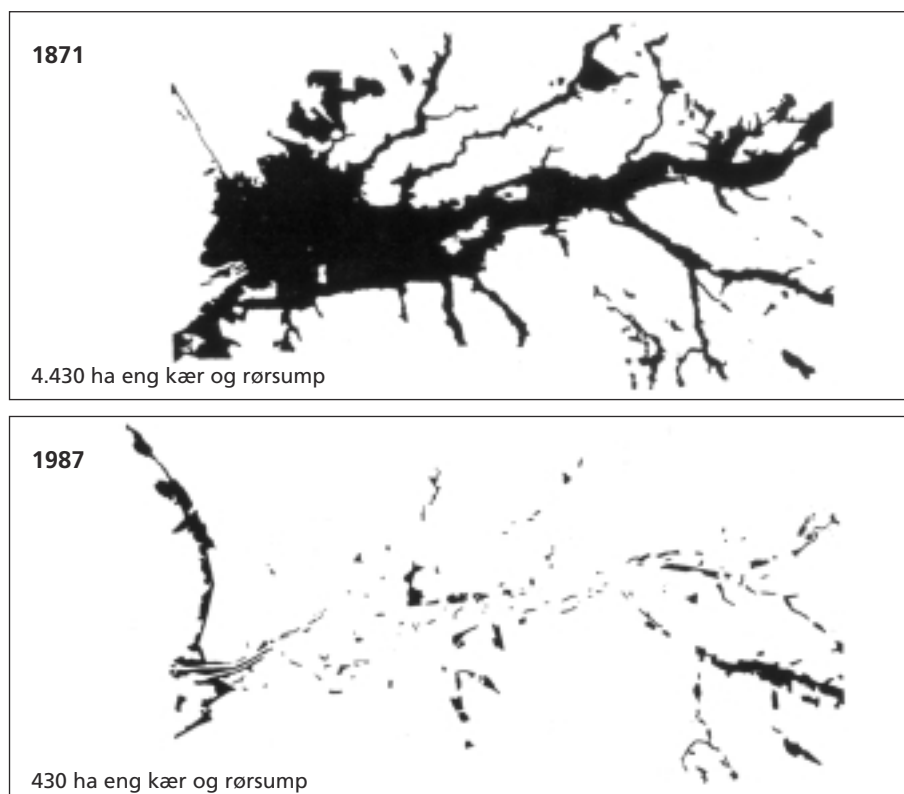
4.2 Menneskeskabte påvirkninger

Arealanvendelsen

Arealanvendelsen spiller en stor rolle for hvort stort et fosfortab der er til overfladevand. I skov- og naturområder er fosfortabet nemlig meget mindre end i dyrkede områder (se kapitel 10). I bebyggede områder vil der desuden altid være et vist fosfortab relateret til udledninger fra renseanlæg, industrier og regnvandsbetingede udledninger fra befæstede arealer. I Danmark anvendes 68 % af det samlede areal til landbrug, 12 % er skov og 10 % er bymæssige bebyggelser.

Afvandingens konsekvenser

Menneskelig aktivitet og forstyrrelse af naturen medfører også for fosfor betydningsfulde ændringer i kredsløbet. Søer, vådområder og ådale er fra naturens hånd miljøer hvor fosfor opsamles enten via deponering af fosfor bundet i sedimenter og organisk stof eller gennem optag i plantebiomassen. Gennem de sidste 200 år er denne funktion af store dele af de danske søer, vådområder og ådale blevet forandret på grund af afvanding og landbrugsmæssig opdyrkning af arealerne i intensiv produktion. Siden 1800-tallet er omkring halvdelen af lavbundsarealet i Danmark blevet afvandet til dyrkningsformål. Naturtyper som søer, moser og ferske enge er derfor i stor stil forsvundet fra landskabet. Fx er 159 søer der udgør et areal på mere end 14.000 hektar blevet tørlagt i de sidste 100 år (Skov- og Naturstyrelsen, 1987). Endvidere er mange moser og ferske enge forsvundet fra ådalene, som vist i eksemplet fra den nedre del af Skjern Å i figur 4.2.



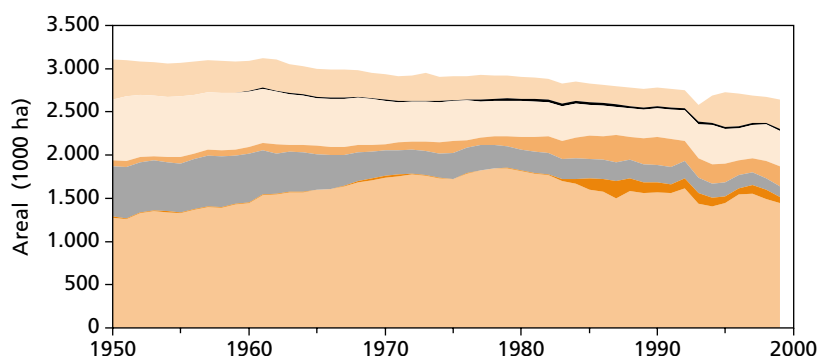
Figur 4.2 Eksempel på afvandingens konsekvenser for reduktion i ferske enge, kær og rørsump i den nedre del af Skjern Å (efter Skjern Å-arbejdsgruppen, 1988).

4.3 Landbrugets udvikling

Der er sket en mindre nedgang i det dyrkede areal igennem de sidste 100 år fra godt 32.200 km² i 1901 til 26.500 km² i 1999. Der er sket en stor ændring i hvilke afgrøder der dyrkes på arealet. Omkring år 1900 udgjorde brakarealet og de permanente græsarealer næsten 25 % af landbrugsarealet mod omkring 10 % i 1999. Udviklingen siden 1950 i det dyrkede areal og de forskellige afgrøder er vist i figur 4.3. Siden 1950 er det især arealer med korn, bælgssæd og frøafgrøder der har udvist en stigning på bekostning af arealet med rodfrugter.

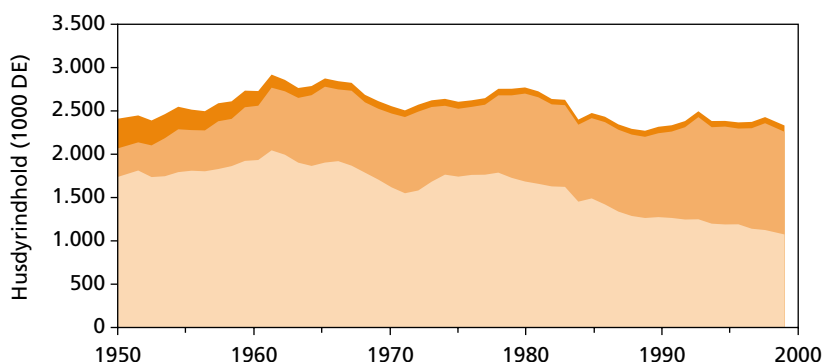
Figur 4.3 Afgrødefordelingen i dansk landbrug fra 1950-99.

Græs uden for omdriften
Gartneriprodukter
Græs og grønfoder i omdriften
Frø
Rodfrugter
Bælgssæd
Korn



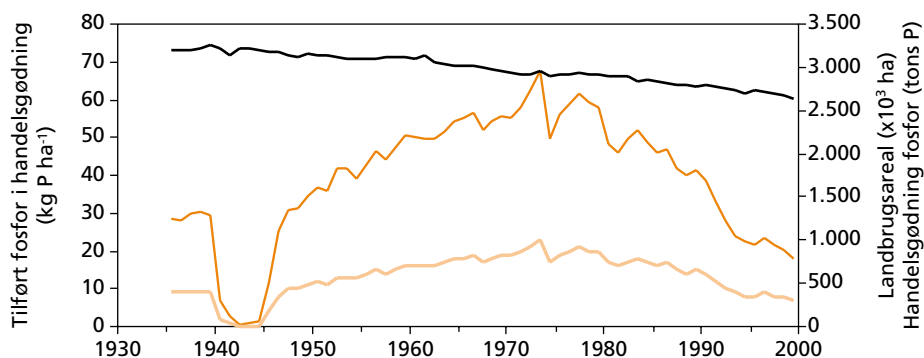
Figur 4.4 Antallet af kvæg, svin og andre husdyr (antal dyreenheder) i dansk landbrug i perioden 1950-99.

Andet
Svin
Kvæg



Figur 4.5 Landbrugsarealet og landbrugets forbrug af fosfor i handelsgødning i perioden 1935-99.

Landbrugsareal (ha)
Tilført fosfor med handelsgødning (kg P ha⁻¹)
Fosfor i handelsgødning (tons)

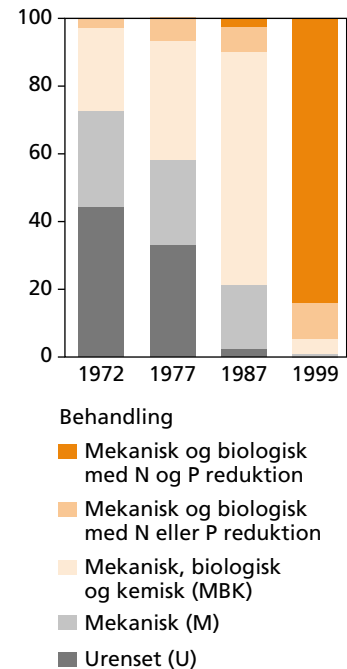


Siden 1950 er der ikke sket den store ændring i det samlede husdyrhold i dansk landbrug målt i antallet af dyreenheder (figur 4.4). Husdyrholdets sammensætning er dog ændret betydeligt med en stor nedgang i kvægholdet og en stor stigning i svineholdet (figur 4.4). Da fosforindholdet i husdyrgødning fra svin er større end fra kvæg, betyder det at den samlede mængde fosfor i husdyrgødning er steget. Fra starten af 1930'erne og op til midten af 1970'erne steg forbruget af fosfor i handelsgødningen stærkt, kun afbrudt af et fald under 2. Verdenskrig (figur 4.5). Forbruget toppede med næsten 70 mio. kg i 1974 svarende til godt 20 kg fosfor pr. hektar. Siden 1974 er forbruget af fosfor i handelsgødning faldet så det i dag i gennemsnit for hele landet er på ca. 8 kg fosfor pr. hektar landbrugsjord (figur 4.6).

4.4 Udvikling i byernes spildevandsrensning

Spildevand der tilføres de kommunale renseanlæg stammer for ca. halvdelen vedkommende fra industrier og for den anden halvdel vedkommende fra husstande. Mængden af spildevand der tilledes de danske renseanlæg er ikke steget nævneværdigt siden 1977. De tilledte mængder spildevand svarede i 1999 til ca. 9,6 mio. personækvivalenter (PE). I perioden 1977-99 er mange små renseanlæg blevet nedlagt til fordel for større anlæg med mere avancerede rensemetoder. I 1977 var der således ingen renseanlæg med en kapacitet større end 100.000 PE hvor der i 1999 er 25 renseanlæg med en kapacitet større end 100.000 PE der samlet renser 44 % af Danmarks spildevand.

Siden starten af 1970'erne er der sket store fremskridt med rensningen af spildevandet. Allerede i perioden 1972-87 foregik der som følge af de amtskommunale recipientkvalitetsplaner en stor udbygning af renseindsatsen (figur 4.6). I den periode blev mængden af spildevand der renses mekanisk, biologisk og kemisk mere end tredoblet. Siden 1987 er der som følge af Vandmiljøplan I sket en yderligere udbygning af renseindsatsen så næsten 80 % af spildevandet i dag renses både for organisk stof, kvælstof og fosfor (figur 4.6).



Figur 4.6 Ændringen i renseniveau på de kommunale renseanlæg i Danmark i perioden 1972-99.

5 Indgreb mod udledninger af fosfor siden starten af 1970'erne

Brian Kronvang

På regionalt plan og landsplan er der igennem de sidste 30 år gennemført mange tiltag til begrænsning af fosforforureningen i vandløb, søer og havet. I tabel 5.1 er tiltagene listet i kronologisk orden med de vigtigste reguleringer målrettet mod fosforforureningen.

Desuden er medtaget de vigtigste internationale reguleringer i form af Danmarks tiltræden af internationale konventioner samt forskellige EU-direktiver. Udover tiltagene i tabel 5.1 har amter og kommuner siden 1970'erne gennemført en lang række tiltag der bl.a. regulerer fosforforureningen i form af regionplaner, spildevandsplaner og spildevandsrensning for fosfor (se fx Fyns Amt, 2000). Der blev også i 1970'erne og 80'erne gjort en betydelig indsats for at bringe udledninger af møddingsvand mv. til ophør. Dette har lokalt været en væsentlig kilde til forurening med fosfor.



Foto: Bent Lauge Madsen, SMS

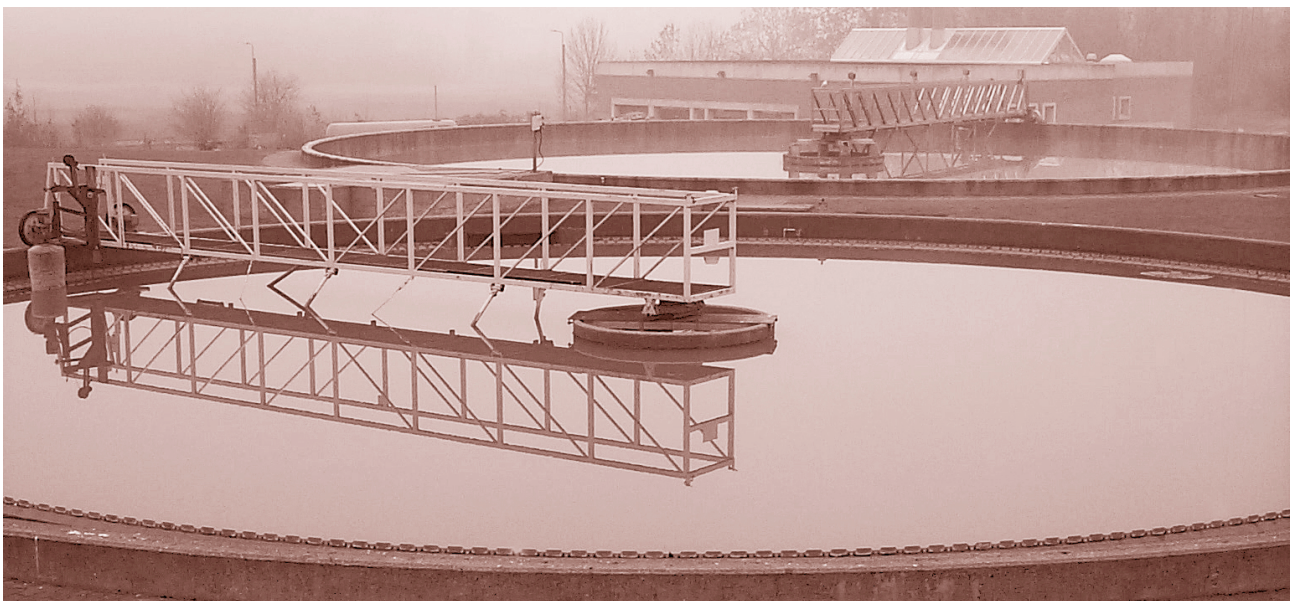


Foto: Patrik Fauser, DMU

Danske foranstaltninger	Årstal	
Miljøbeskyttelseslov	1974	Regulering af forurening af vandområder.
NPO-handlingsplanen	1985	Stop for ulovlige fosforudledninger fra landbrugsejendomme.
Handlingsplan mod forurening af det danske vandmiljø med næringsalte: Vandmiljøplan I	1987	Udlederkrav til renseanlæg vedr. fosfor: Eksisterende anlæg < 5.000 PE

Tabel 5.1 De vigtigste vedtagne foranstaltninger og deres reguleringer rettet mod fosfor.

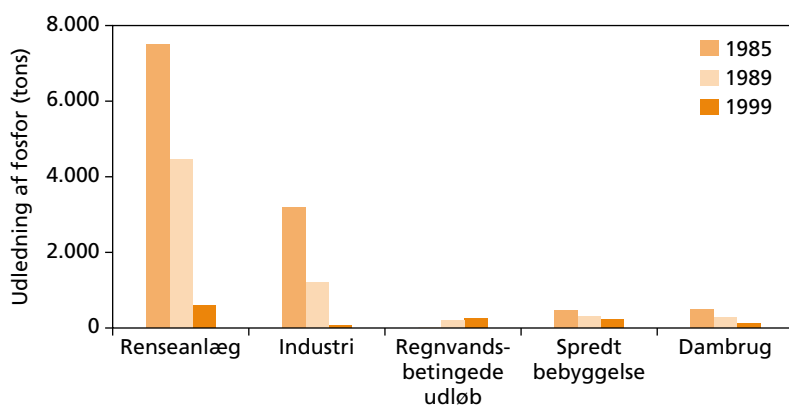
6 Punktkildernes betydning for fosforforureningen af overfladevand

Karin D. Laursen
Brian Kronvang

6.1 Fosforudledninger fra punktkilder til vandmiljøet

Udledningen af fosfor fra punktkilderne har ændret sig betydeligt siden den landsdækkende overvågning startede i 1989. Markante fald i fosforudledningen er der specielt fra renseanlæg og industri (figur 6.1). Faldet i udledningerne af fosfor fra renseanlæg startede allerede i 1970'erne, som følge af den store renseindsats på de kommunale renseanlæg (boks 13). Fra 1985 til 1989 er der således også et markant fald i fosforudledningen.

Også dambrugene har reduceret deres fosforudledning siden 1989 og endelig er udledningen af fosfor også faldet fra spredt bebyggelse på grund af indførelse af fosfatfrie vaskemidler og kloakeringer. Udledningen af fosfor fra regnvandsbetingede udløb har ikke ændret sig siden 1989. Fosforudledningen herfra er meget styret af regnmængderne det enkelte år.



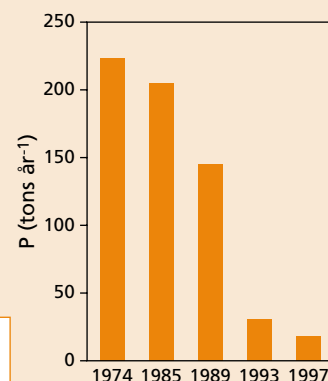
Figur 6.1 Ændring i den samlede fosforudledning fra punktkilderne til overfladevand i perioden 1985-99.

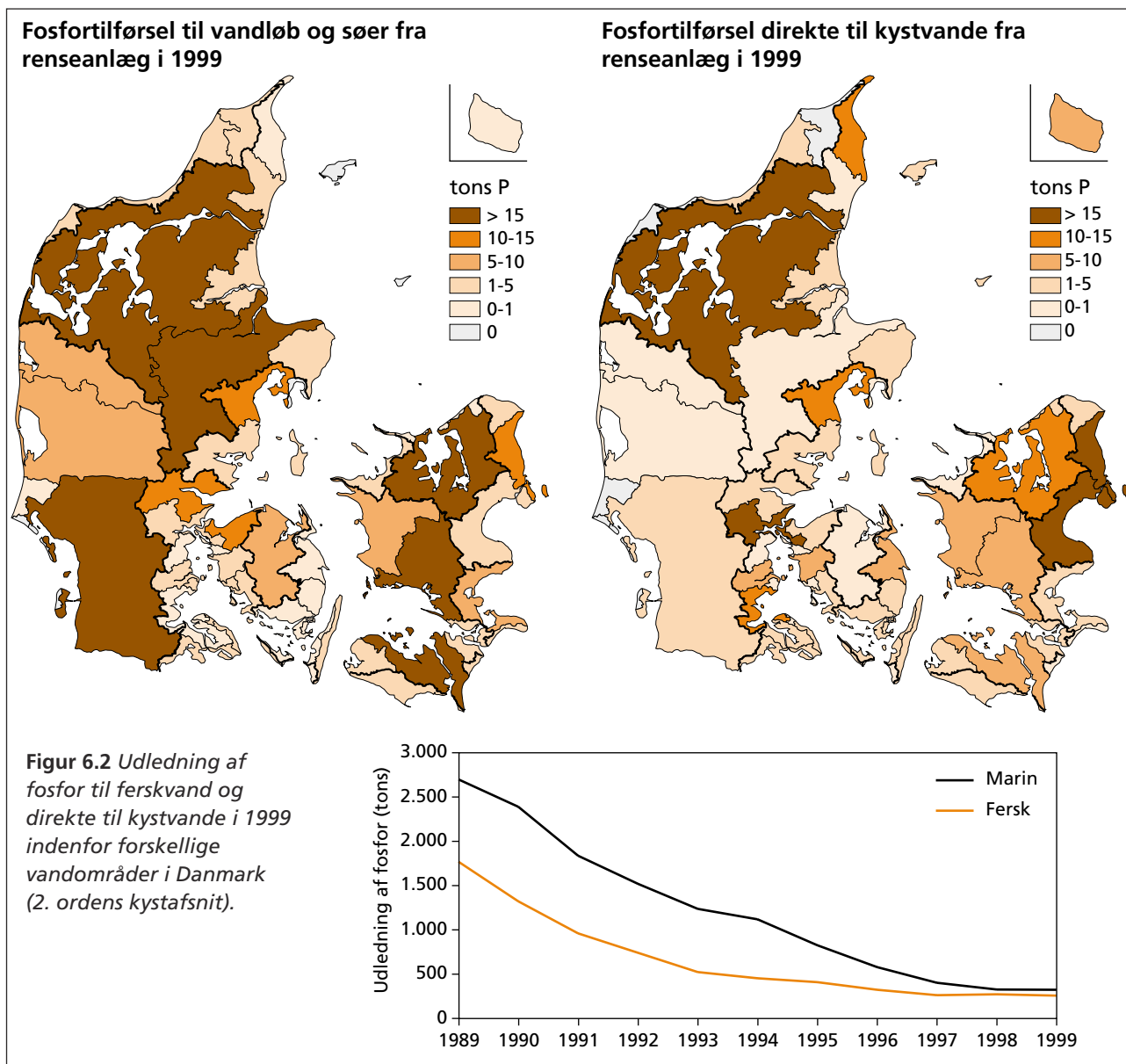
Boks 13 Hvad er der sket historisk med fosforudledningen fra byernes renseanlæg: Gudenå-systemet

Lokalt blev der af amterne sat fokus på fosforudledningen fra byernes renseanlæg allerede i 1970'erne. Det drejede sig om områder hvor fosforudledningen var et problem for søernes tilstand. Et godt eksempel herpå er Gudenåen der med sine mange søer er et særligt følsomt vandsystem for fosforbelastning. Her dannedes i 1979 Gudenå-komiteen som et samarbejde mellem tre amtslige recipientmyndigheder (Århus Amt, Vejle Amt og Viborg Amt), og de 35 kommuner i oplandet. Allerede op igennem 1970'erne blev der foretaget udbygning af byernes renseanlæg med kemisk fældning af fosfor hvilket også ses af nedgangen i fosforbelastningen af vandsystemet fra renseanlæg.

Fosforfjernelse fra spildevand i Gudenåens opland i 1997.

Ubehandlet spildevand 390 tons år ⁻¹	Renset spildevand 23 tons år ⁻¹	Rensegrad 94 %
--	---	-------------------

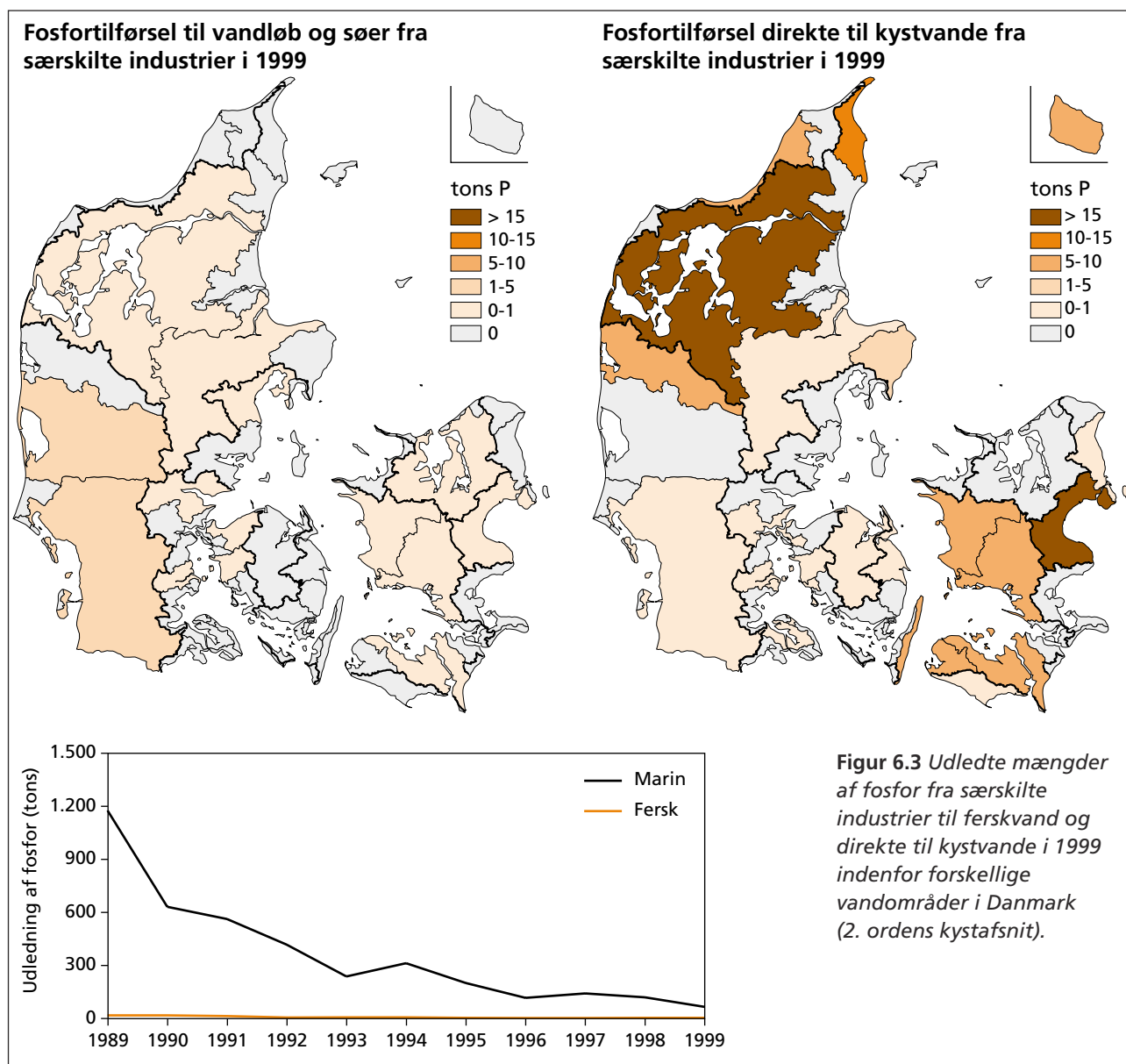




6.2 Byernes renselanlæg

Fosforudledningen fra byernes renselanlæg er faldet år for år siden 1989 både når det drejer sig om udledningen til ferskvand og udledningen direkte til kystvandene (figur 6.2). Fra 1989 til 1999 er der sket en samlet reduktion i fosforudledningen fra renselanlæg til ferskvand på 85 % og en reduktion på 88 % når det drejer sig om udledningen til kystvande. I 1989 skete den største fosforudledning direkte til kystvande mens der i 1999 næsten er lige stor fosforudledning til ferskvand og kystvande.

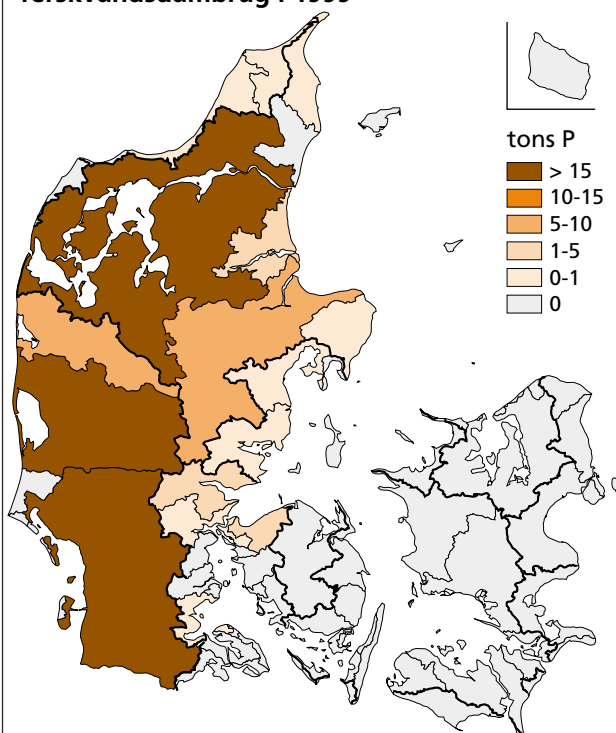
Udledningen af fosfor fra renselanlæg til ferskvand og kystvande i 1999 er forskellig fra vandområde til vandområde (figur 6.2). Fosforudledningen hænger nøje sammen med befolkningstætheden i de enkelte vandområder og hvor godt spildevandet renses.



6.3 Særskilte industrielle udledninger

I Danmark føres spildevandet fra industrier i langt de fleste tilfælde til de kommunale renseanlæg. Industrier med særskilt udledning fra egne renseanlæg var der i 1999 indberettet oplysninger for 150 virksomheder. Siden 1989 er den samlede spildevandsmængde faldet fra ca. 95 mio. kubikmeter til ca. 65 mio. kubikmeter i 1999. Udledningen af fosfor fra industrier med særskilt udledning er delvist på grund af reduceret spildevandsmængde og en forbedret renseindsats reduceret betydeligt siden 1989 (figur 6.3). Da industrier med særskilt udledning historisk er placeret tæt ved kysterne er det især fosforudledningen direkte til kystvande der er reduceret betydeligt (figur 6.3). Fosforudledningen er herfra faldet med 94 % siden 1989 og frem til 1999. Fosforudledningen fra industrier til ferskvand er også reduceret betydeligt siden 1989 (78 %), men målt i mængde har ændringen ikke været ret stor (figur 6.3). Udledningen af fosfor fra industrier med eget renseanlæg sker meget lokalt og er derfor kun af betydning i enkelte vandområder.

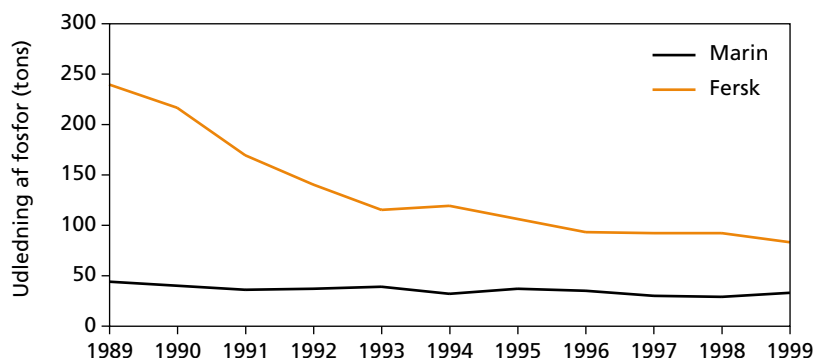
Fosfortilførsel til vandløb og søer fra ferskvandsdambrug i 1999



Figur 6.4 Udledte mængder af fosfor fra ferskvandsdambrug og havbrug i 1999 indenfor forskellige vandområder i Danmark.

Fosforudledning fra havbrug til kystvande i 1999 fordelt på amter

Amt	Antal havbrug	Beregnet udledning af total fosfor
Bornholm	1	0,0 tons P
Fyn	1	0,5 tons P
Storstrøm	7	10,6 tons P
Ringkøbing	8	3,8 tons P
Sønderjylland	5	2,6 tons P
Vejle	8	5,4 tons P
Vestsjælland	5	8,0 tons P
Viborg	2	3,0 tons P
Århus	1	0,9 tons P
Hele landet	38	34,8 tons P



6.4 Dambrug

Antallet af registrerede ferskvandsdambrug er faldet fra 510 dambrug i 1989 til 407 dambrug i 1999, et fald på ca. 20 %. Den årlige produktion af fisk er i samme periode faldet med ca. 1.700 tons fra ca. 34.400 tons i 1989 eller med ca. 5 %. Derimod er foderforbruget i dambrugene faldet med ca. 28 % siden 1989.

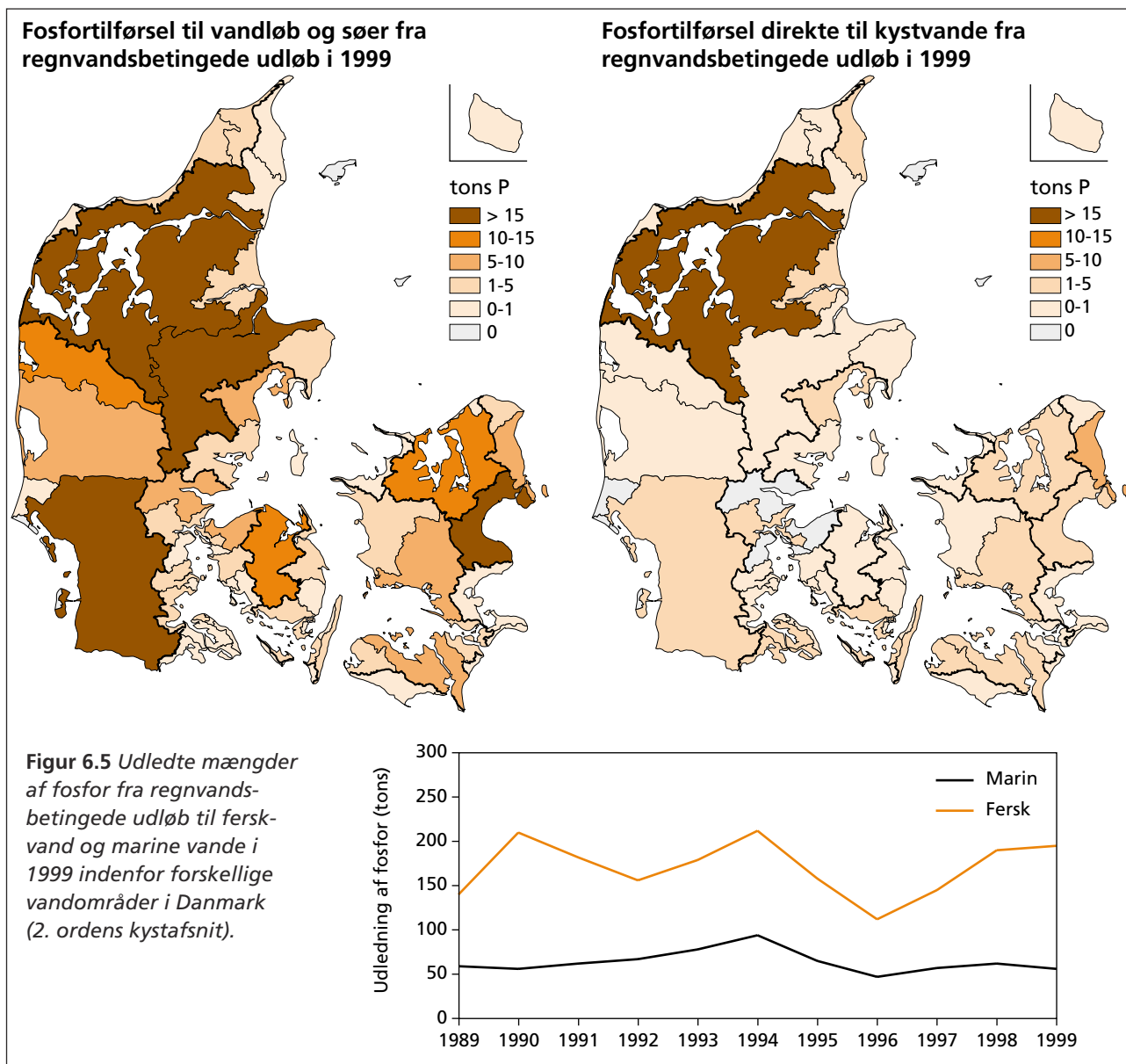
I Danmark havde vi i 1999 38 virksomheder med saltvandsbaseret fisk-opdræt, fordelt med 13 saltvandsdambrug og 25 havbrug. Havbrugene ligger i de indre farvande mens saltvandsdambrugene ligger ved kysten, heraf 8 ved Ringkøbing Fjord.



Foto: Bent Lauge Madsen, SNS

Fosforudledningen fra dambrug er teoretisk beregnet ud fra foderforbrug og produktion. Det faldende foderforbrug afspejler sig derfor i et kraftigt fald i fosforudledningen fra ferskvandsdambrug siden 1989 (figur 6.4). Faldet er på ca. 65 %. Fosforudledningen fra saltvandsdambrug er også faldet siden 1989 (figur 6.4). Faldet er her på ca. 25 %. I 1999 er der gennemført direkte målinger af fosforudledningen fra ferskvandsdambrug. Hvis erfaringerne herfra overføres til samtlige ferskvandsdambrug er udledningen af fosfor i 1999 beregnet til 31 tons hvilket er 52 tons lavere end ved den teoretiske beregning. Fosforudledningerne fra dambrug ser altså ud til at blive overvurderet i den teoretiske beregning.

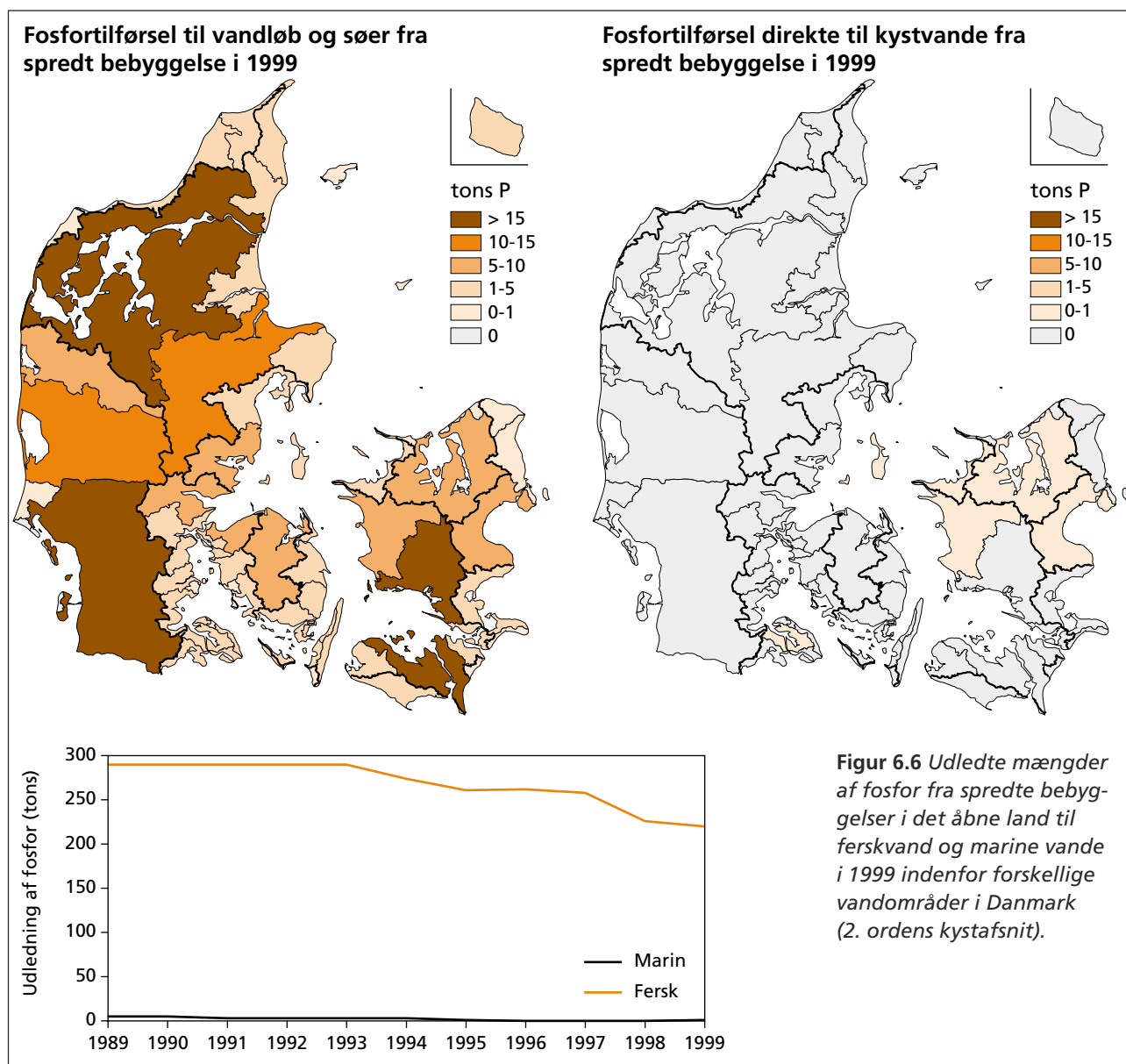
Udledningen af fosfor fra ferskvandsdambrug og havbrug er koncentreret til visse vandområder i Danmark (figur 6.4). Langt den største udledning sker fra ferskvandsdambrugene til de jyske vandløb.



6.5 Regnvandsbetingede udledninger

De regnvandsbetingede udledninger af fosfor stammer fra afstrømningen fra befæstede arealer og overløbsbygværker ved renseanlæg. Overløbsbygværker træder i funktion ved kraftige regnskyl hvor kapaciteten i renseanlæg ikke kan rumme de tilføre vandmængder. Derfor varierer fosforudledningen også fra år til år efter hvor store nedbørsmængderne har været (figur 6.5). I Danmark var der i 1989 13.900 regnvandsbetingede udløb mod 14.200 i 1999. I perioden 1989-99 er der ikke sket nogen reduktion i fosforudledningerne fra regnvandsbetingede udløb, hverken til ferskvand eller direkte til kystvande. Fosforudledningen har ligget mellem ca. 200 tons i det tørre år 1996 og 300 tons i det våde år 1994.

Udledningen af fosfor fra regnvandsbetingede udløb varierer meget fra vandområde til vandområde og er størst i vandområder med store byer.



6.6 Udledninger fra spredt bebyggelse i det åbne land

Spredt bebyggelse i det åbne land omfatter spildevandsudledninger fra ejendomme der enkeltvis eller samlet er på mindre end 30 person-ækvivalenter (PE). Spredt bebyggelse omfatter typerne:

- sommerhuse
- kolonihaver
- enkeltliggende huse og ejendomme
- små landsbyer
- andet (fx skoler, institutioner, restauranter, rastepladser)

I 1999 er det vurderet at den spredte bebyggelse omfatter i alt ca. 348.000 ejendomme i det åbne land. De 348.000 ejendomme fordeler sig med 31 % på sommerhuse, 59% på enkeltliggende ejendomme, 7 % på landsbyer, 3 % på kolonihaver og <1 % på andet.

De enkelte ejendomme i den spredte bebyggelse har forskellige renseforanstaltninger. Hovedparten af ejendommene, svarende til 56 %, har anlæg hvor spildevandet opfylder skærpede krav til fosforfjernelse oftest ved nedsivning. Den anden stor gruppe af ejendomme (44 %) har mekaniske anlæg med direkte udledning til overfladevand eller udledning via dræn.

Udledningen af fosfor fra spredt bebyggelse i det åbne land sker hovedsageligt til ferskvand og kun i mindre grad direkte til kystvande (figur 6.6). Den første grundige og landsdækkende opgørelse af fosforudledningen fra spredt bebyggelse stammer fra 1993. Siden 1993 er fosforudledningen fra spredt bebyggelse faldet fra ca. 290 tons til ca. 220 tons i 1999. Der må også forventes at være sket et fald siden 1989, især på grund af det øgede brug af fosfatfri vaskemidler i husholdningerne fra midten af 1980'erne. Det er således tidligere påvist ved målinger i indløb til renseanlæg at fosforindholdet faldt fra 1,5 kg fosfor pr. PE pr. år i 1987 til 1,0 kg fosfor pr. PE pr. år i 1993 (Miljøstyrelsen, 1994). Det må derfor forventes at den viste udvikling i fosforudledningerne er et minimumstal. Det reelle fald i fosforudledningerne kan derfor have været større end vist i figur 6.6.

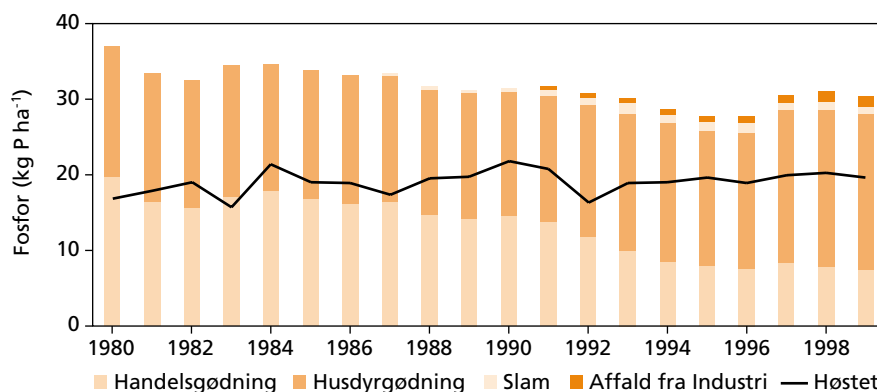
Udledningen af fosfor fra spredte bebyggelser i det åbne land varierer lidt fra vandområde til vandområde (figur 6.6).

7 Landbrugets fosforhusholdning og tab af fosfor fra landbrugsjord

Jørgen O. Jørgensen
Brian Kronvang
Irene Paulsen

7.1 Fosforbalancer i dansk landbrug

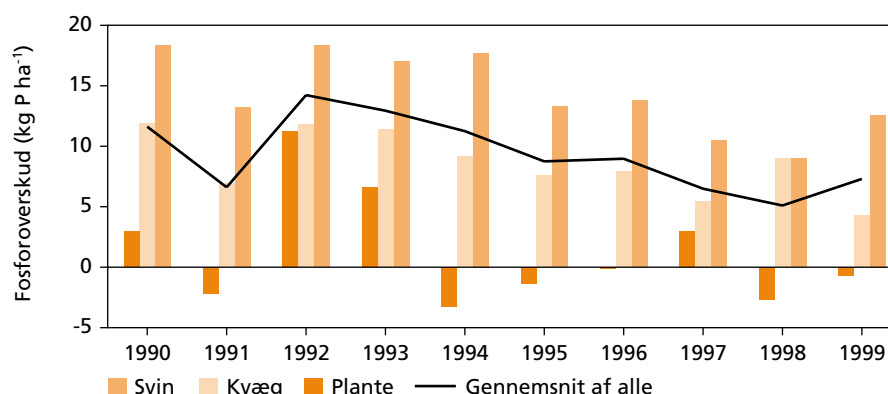
Landbrugets fosforbalance kan opstilles på baggrund af en landsdækkende statistik over de forbrugte mængder af fosfor og de fosformængder der fjernes med afgrøderne. Tilførsel af fosfor til markerne består af handelsgødning, husdyrgødning, slam fra renseanlæg og affald fra industrier (figur 7.1). Den samlede gennemsnitlige tilførsel af fosfor i landbruget er faldet med 17 % fra 1980 til 1999. I 1980 blev der gennemsnitligt tilført landbrugsjorden ca. 37 kg P ha⁻¹ hvilket i 1999 er faldet til ca. 30 kg P ha⁻¹ (figur 7.1). Forbruget af fosfor i handelsgødning er faldet kraftigt siden 1980 hvorimod der er sket en stigning i produktionen af fosfor i husdyrgødning (figur 7.1). Samtidig er der sket en stigning i landbrugets forbrug af fosfor i slam fra renseanlæg og affald fra industrier. Fraførslen af fosfor med afgrøderne har i perioden 1980-99 været svagt stigende fra omkring 17 kg P ha⁻¹ i 1980 til ca. 20 kg P ha⁻¹ i 1999 (figur 7.1). Overskuddet af fosfor i dansk landbrug udgjorde i gennemsnit ca. 15 kg P ha⁻¹ i 1980. Fosforoverskuddet er i slutningen af 1990'erne faldet til ca. 10 kg P ha⁻¹.



Figur 7.1 Det gennemsnitlige årlige forbrug af fosfor i handelsgødning, husdyrgødning, slam fra renseanlæg og affald fra industrier pr. hektar landbrugsjord samt fraførsel af fosfor med afgrøderne i perioden 1980-99.

Fosforbalancen er meget forskellig for de tre overordnede brugstyper i dansk landbrug, nemlig svinebrugene, kvægbrugene og de rene planteavlbrug. Fosforbalancen på brugstyper er blevet opgjort hvert år siden 1990 i seks mindre vandløbsoplande der i alt omfatter ca. 140 bedrifter (Grant et al., 2000). Fosforoverskuddet, dvs. tilførsel af fosfor minus fosfor fjernet med afgrøderne, er vist i figur 7.2 for de tre hovedbedriftstyper. Svinebrugene har igennem de 10 år haft det største fosforoverskud, der i årligt gennemsnit for hele perioden udgør

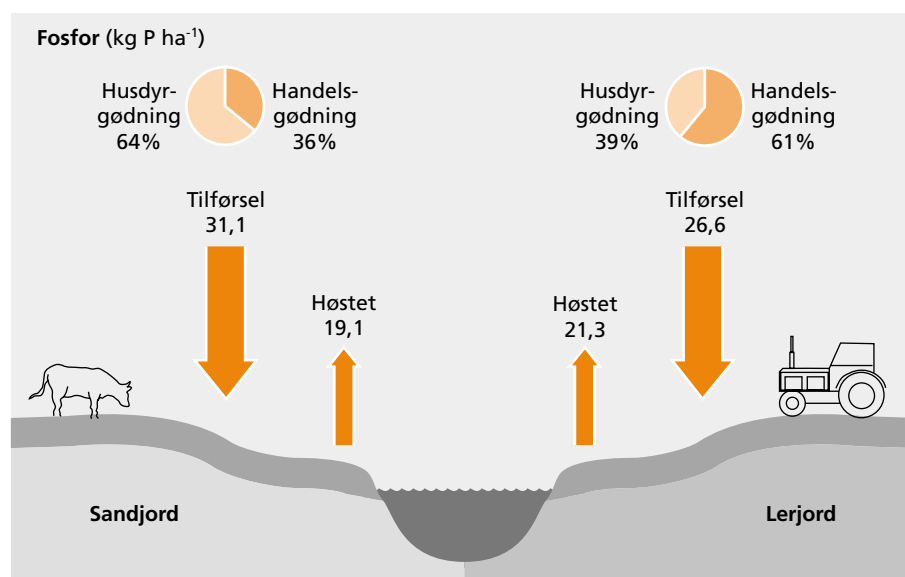
Figur 7.2 Fosforbalancen for tre hovedbedriftstyper i dansk landbrug i perioden 1990-99.



14 kg P ha⁻¹ landbrugsjord. Herefter følger kvægbrugene med et gennemsnit på 9 kg P ha⁻¹ og de rene planteavlsbrug med 1 kg P ha⁻¹. I flere af de undersøgte år er der et underskud af fosfor i de rene planteavlsbrug (figur 7.2).

Fosforbalancen er ikke kun skæv hvad angår bedriftstyperne i dansk landbrug. Der er også en regional skævhed som skyldes det generelt større husdyrhold på bedrifter med sandede jorder end på bedrifter med lerede jorder. I figur 7.3 er fosforbalancen vist for to vandløbsoplande med sandede jorder og tre vandløbsoplande med lerede jorder. Fosforoverskuddet er på 12,0 kg P ha⁻¹ i de sandede oplande og 5,3 kg P ha⁻¹ i de lerede oplande. Da en sandjord er dårligere til at binde fosfor end en lerjord kan problemet med det store overskud af fosfor på sandjord medføre et øget fosfortab til overfladevand. Problemet med fosfortabet fra landbrugsjorden til overfladevand behandles senere i dette kapitel.

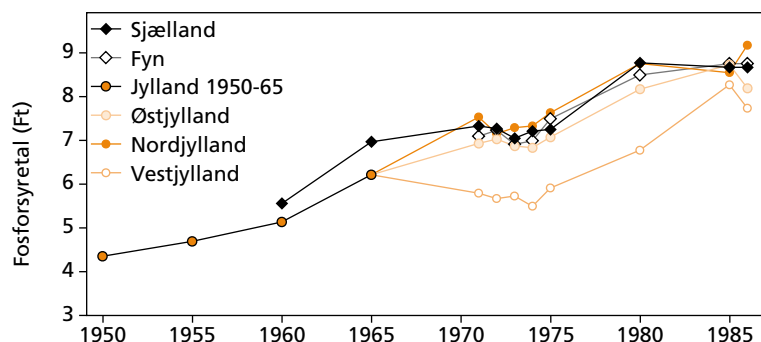
Figur 7.3 Gennemsnitlig årlig fosforbalance for 54 bedrifter i to sandede jyske oplande og 113 bedrifter i fire oplande i Jylland, på Fyn og på Sjælland med lerjorder i perioden 1989-99.



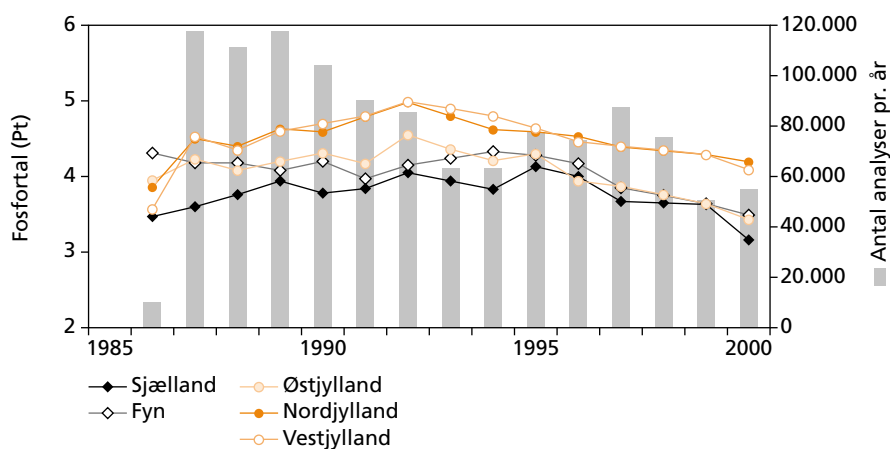
7.2 Fosforstatus i landbrugsjord

Siden 1950 har landbrugsjordens fosforstatus målt som plantetilgængeligt fosfor ændret sig radikalt (figur 7.4). I 1950 var mange landbrugsjorde underforsynet med fosfor i forhold til afgrødernes behov. Den årlige nettotilførsel af fosfor til landbrugsjorden har siden 1950 medført at de fleste landbrugsjorde i dag indeholder nok fosfor til at modsvare afgrødernes behov. I 1950 havde 7 % af landbrugsjordene hvad der svarer til en høj fosforstatus. Dette tal var i 1986 steget til 50 %. Andelen af jorde med lav fosforstatus er siden 1950 faldet fra 60 % til 20 % i 1986.

Jordens fosforstatus er steget mere i Jylland end på Øerne. Det ses tydeligt af figur 7.4. I 1987 skiftede landbruget fra at analysere for jordens fosforsyretilstand til at analysere for jordens fosfortal. Siden 1987 viser de gennemførte analyser af landbrugsjordens fosfortal en stigning frem til 1992 efterfulgt af et fald frem til 1999 (figur 7.5). Da der fra 1993 og frem ser ud til at ske et fald i antallet af marker hvor der analyseres for fosfor skal udviklingen fra 1992 og frem tages med forbehold.

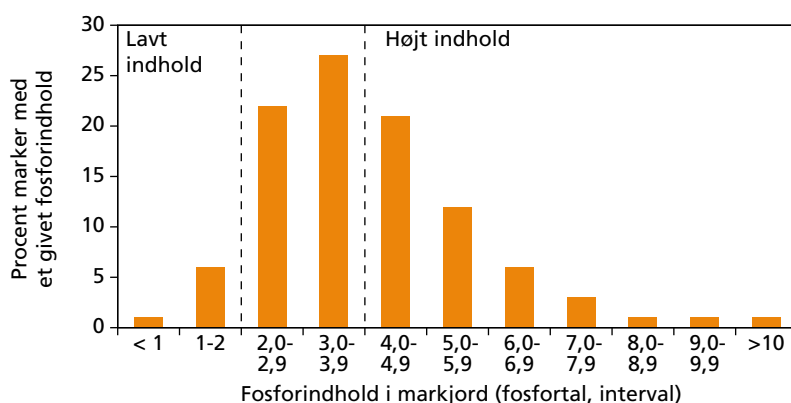


Figur 7.4 Ændring i landbrugsjordens fosforstatus (fosforsyretilstand) fra 1950 til 1986 i forskellige regioner af Danmark (efter Landsudvalget for Planlægning, flere årgange).



Figur 7.5 Ændring i jordens fosforstatus (fosfortal) i fem regioner af Danmark i perioden 1986-99. I figuren er antallet af marker der hvert år er blevet analyseret for fosforstatus også indtegnet som søjler (efter Landsudvalget for Planlægning, flere årgange).

Figur 7.6 Landbrugsjordens fosforstatus i 1999 (omtegnet efter Knudsen, 2000).



Analyser af ca. 337 marker der indgår i et landsdækkende kvadratnet har således vist en stigning i både overjordens og underjordens indhold af fosfor fra 1986 til 1998 (Rubæk et al., 2000). Stigningen i jordens indhold af total fosfor fra 1986 til 1998 er vist i tabel 7.1. Stigningen modsvarer en nettotilførsel på næsten 25 kg P ha⁻¹ år⁻¹ hvilket er mere end dobbelt så meget som den beregnede nettotilførsel ud fra balancebetragtninger. De ca. 50.000 fosfortalsanalyser der blev lavet af landbrugsjorden i 1999, viser at 37 % af markerne har et fosforindhold der enten er højt eller meget højt (figur 7.6).

Tabel 7.1 Ændring i total fosfor indholdet i dansk landbrugsjord i perioden 1986 til 1997/98 og hvad det modsvarer i nettotilførsel af fosfor (fra Rubæk et al., 2000).

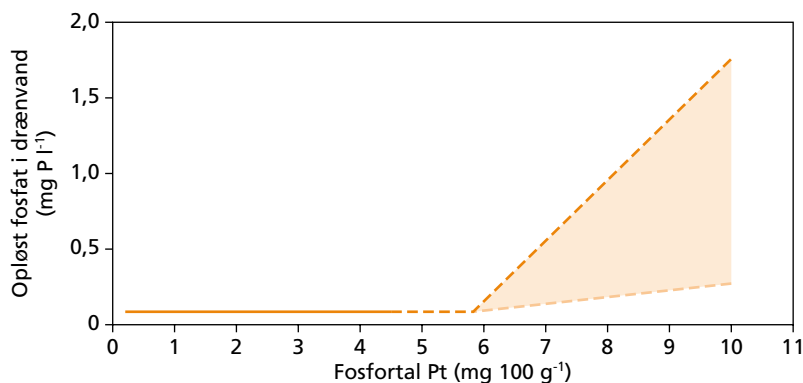
	Ændring i total fosfor koncentrationen i landbrugsjorden	Svarende til en årlig nettotilførsel af fosfor
0-25 cm's dybde	34 mg P kg ⁻¹ jord	11,6 kg P ha ⁻¹ år ⁻¹
25-50 cm's dybde	39 mg P kg ⁻¹ jord	13,4 kg P ha ⁻¹ år ⁻¹

7.3 Fosfortab fra landbrugsjord til vandmiljøet

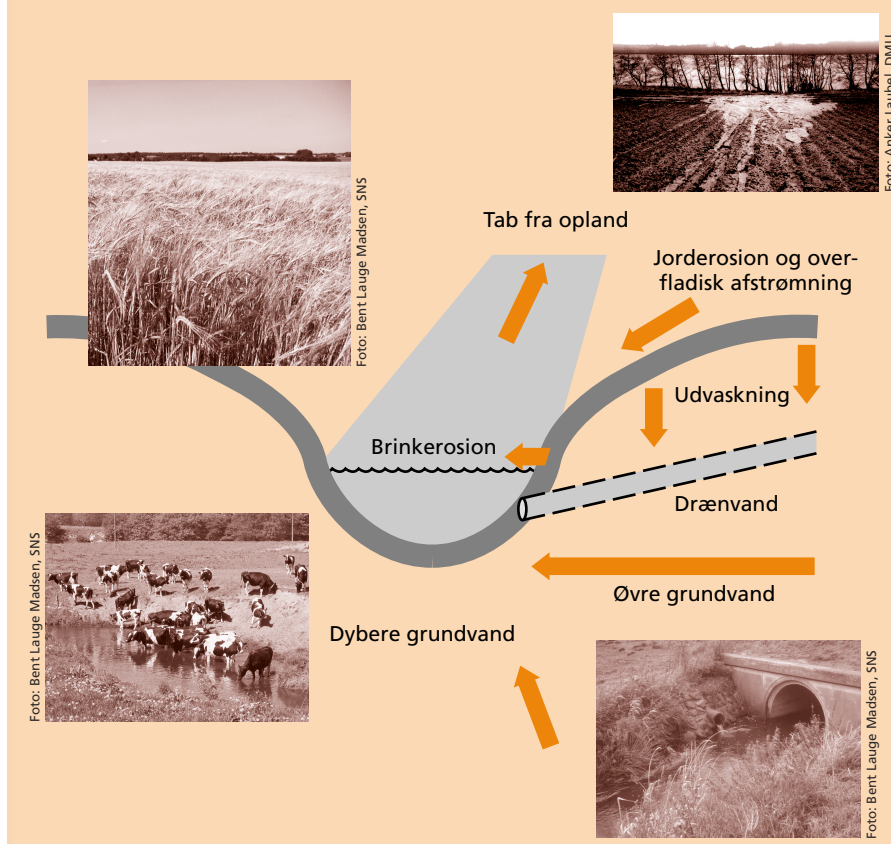
Fosfor nedvaskes fra landbrugsjord til dræn og grundvand

Fosfor nedvaskes fra pløjelaget på markerne ved vandets nedsivning i jorden. Når det drejer sig om opløst fosfat er der ved eksperimentelle undersøgelser på engelske landbrugsjorde konstateret en sammenhæng mellem fosforudvaskningen og jordens fosforstatus (figur 7.7). Ved en høj fosforstatus (fosfortal > 6) sker der på den undersøgte jord en stor stigning i udvaskningen af opløst fosfat.

Figur 7.7 Sammenhæng mellem jordens fosfortal og udvaskningen af opløst fosfat fra forskellige gødede parceller af en engelsk lerjord (omtegnet fra Heckrath et al., 1995).



Boks 14 Transportveje for fosfor fra jord til overfladevand



Fosfortabet fra landbrugsjord til vandmiljøet er meget komplekst fordi det sker via forskellige transportveje. Endvidere varierer betydningen af de forskellige transportveje betydeligt fra mark til mark og fra opland til opland. Endelig sker transporten af fosfor fra mark til vandmiljøet ofte under store men kortvarige regnhændelser eller sneafsmeltninger. Det er derfor betydeligt vanskeligere at opgøre fosfortabet fra landbrugsjord til vandmiljøet end for kvælstof.

Fra overvågningen af fosforindholdet i jordvand under 36 marker i Landovervågningen har vi opnået en viden om fosforudvaskningens størrelse på ler- og sandjord. Koncentrationen af opløst fosfat er for 26 af de undersøgte marker lav både på lerjord og sandjord (tabel 7.2). Udvaskningen af opløst fosfat er derimod mere end dobbelt så stor fra marker på sandjord fra marker på lerjord (tabel 7.2). At fosforudvaskningen er større på sandjord end på lerjord skyldes en kombination af en højere perkolation af vand og en mindre bindingskapacitet på sandjord end på lerjord.

Opløst orthofosfat	Sandjord	Lerjord
Gennemsnitlig koncentration	0,016 mg P l ⁻¹	0,011 mg P l ⁻¹
Gennemsnitlig udvaskning	0,082 kg P ha ⁻¹	0,039 kg P ha ⁻¹

Tabel 7.2 Gennemsnitlig årlig koncentration og udvaskning af opløst fosfat fra 19 marker på lerjord og 21 marker på sandjord i perioden 1989-99.

Koncentrationen af opløst fosfat i jordvand varierer normalt ikke meget fra år til år hvorimod udvaskningen kan variere meget fra år til år på grund af forskelle i nedbørsmængderne (figur 7.8).

På enkelte marker er der målt meget høje koncentrationer og udvaskninger af opløst fosfat (figur 7.9). Forklaringen herpå skal findes ved specielle forhold i de enkelte tilfælde. Oftest skyldes den store fosfor-

Boks 15 Fosfornedvaskning

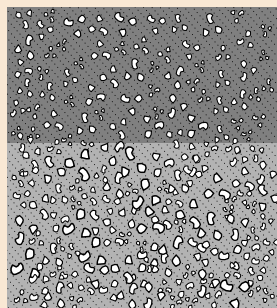
Hvor stor en del af det nedvaskede fosfor der forlader rodzonen og dermed når drænen eller øvre grundvand afhænger af en række fysisk-kemiske forhold:

1. Hvor stor bindingsevne der findes i underjorden, som ofte udtrykkes ved hjælp af indholdet af jern- og aluminium hydroxider i jordhorisonterne.
2. Jordens hydrauliske egenskaber, dvs. om der findes makroporer som sprækker, rod- og ormegange der hurtigt leder vand gennem jorden.

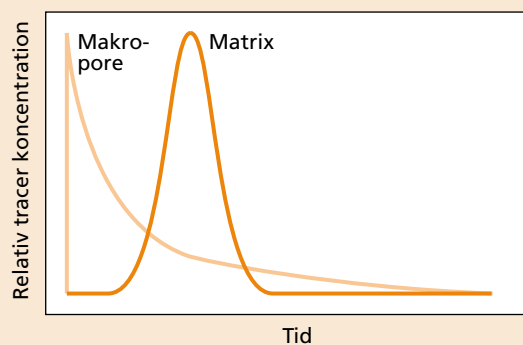
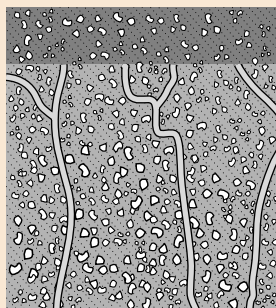
I det sidste tilfælde vil der være en åben forbindelse for en hurtig transport af både opløst og partikel bundet fosfor fra pløjelag og mod dybere jordhorisonter. I dette tilfælde vil der i forbindelse med kraftige regnbyger kunne måles en hurtig forøgelse af fosforkoncentrationen i det vand der strømmer gennem dræn.

Skematisk præsentation af matrix- og makroporestrømning igennem jord. En typisk kurve for hvor hurtigt vandet strømmer gennem jorden er også vist for de to typer af jord (omtegnet fra Heckrath et al., 2000).

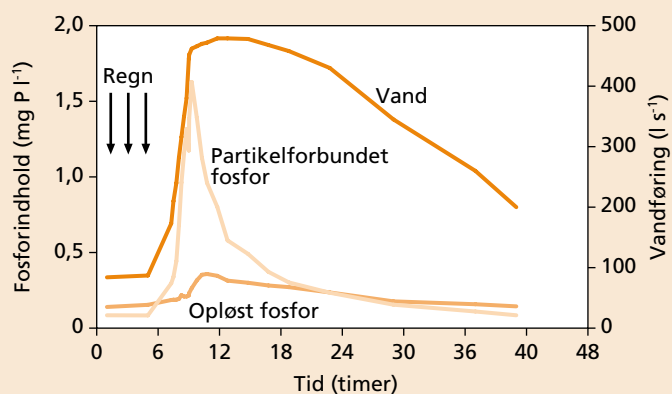
Matrix

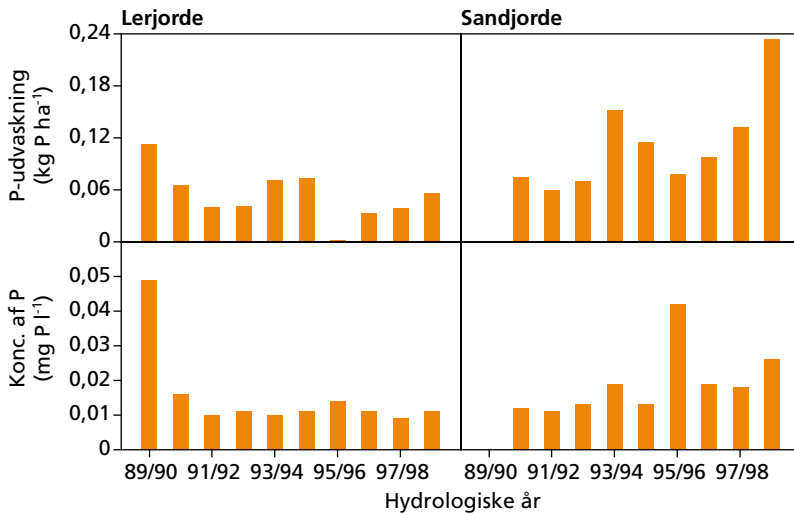


Makropore

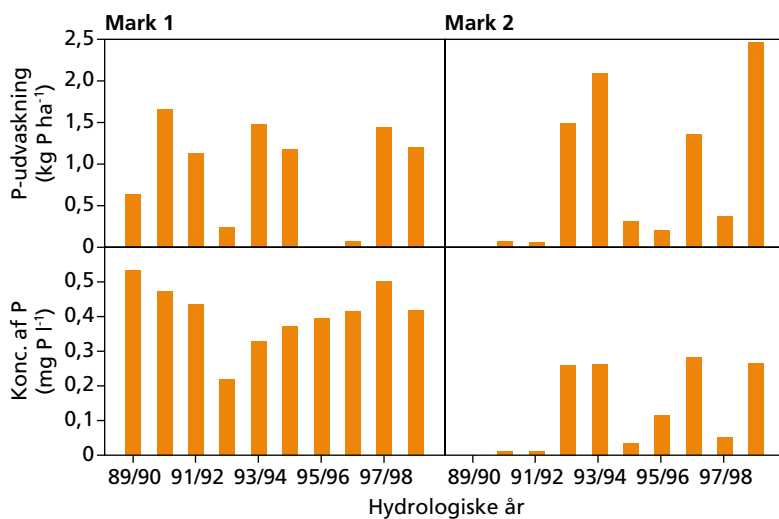


Under regn øges koncentrationen af partikel-bundet fosfor hurtigt og markant i vandløb mens koncentrationen af opløst fosfat stiger senere og ikke nær så markant.





Figur 7.8 Eksempel på årlige variationer i koncentration og udvaskning af opløst fosfat fra marker på sand- og lerjord med lavt fosforindhold i 2 oplande.



Figur 7.9 Eksempler på marker med et højt indhold af opløst fosfat i jordvand og stor udvaskning fra rodzonen.

udvaskning et for højt fosforindhold i jorden som det er tilfældet ved mark 1 hvor fosfortallet er over 10. I andre tilfælde skyldes det en stor tilførsel af husdyrgødning som ved mark 2 der gentagne gange har fået tilført store mængder fosfor (op til 155 kg P ha⁻¹).

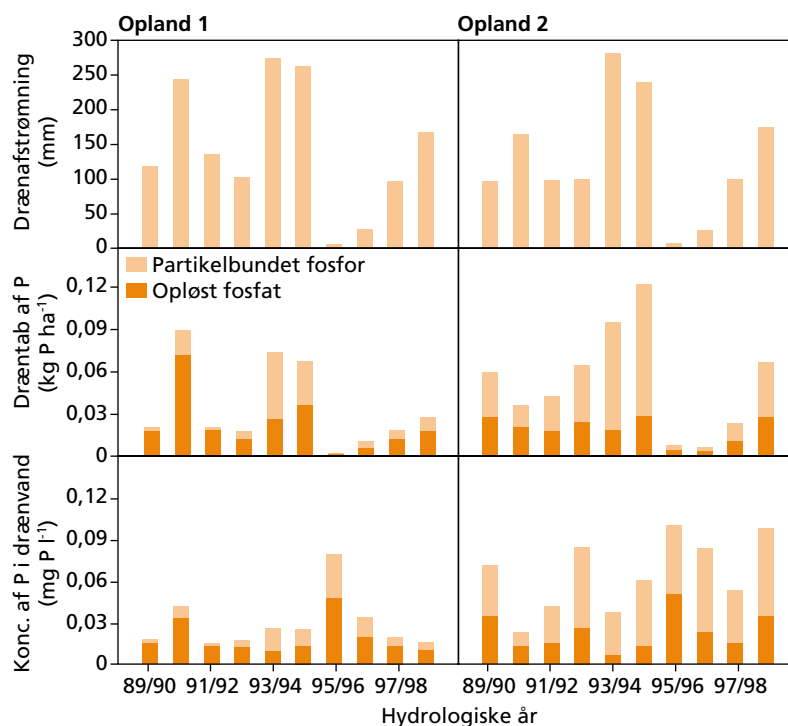
Fosfor kan transporteres fra landbrugsjord til overfladevand via drænvand

På drænedde marker er den normale vertikale vandstrømning i jorden brudt hvorved vand og fosfor hurtigt kan føres fra rodzonen til vandløb og søer. Dræning af marker med drænrør er hovedsageligt gennemført på lavtliggende vandlidende jorde og på lerjorde. Målinger fra 7 drænedde marker i to landovervågningsoplande har vist at tabet af opløst fosfat generelt er på niveau med de målte udvaskninger fra rodzonen (tabel 7.3). I dræn er det også muligt at måle tabet af partikelbundet fosfor. Dette er for det ene opland kun ca. halvdelen af tabet af opløst fosfat mens det i det andet opland er ca. dobbelt så stor som for opløst fosfat (tabel 7.3). Fra mark 1 hvor der som ovenfor beskrevet blev målt en stor fosforudvaskning er der konstateret et tilsvarende stort tab af opløst fosfat via drænvand (0,15 kg P ha⁻¹).

Tabel 7.3 Gennemsnitlig årligt tab af opløst fosfat og partikelbundet fosfor fra drænedde marker på lerjord i perioden 1989-99 målt i 3 dræn i opland 1 og 4 dræn i opland 2.

	Opland 1 (Lolland)	Opland 2 (Fyn)
Tab af partikelbundet fosfor	0,012 kg P ha ⁻¹	0,034 kg P ha ⁻¹
Tab af opløst fosfat	0,022 kg P ha ⁻¹	0,018 kg P ha ⁻¹

Figur 7.10 Gennemsnitlige årlige tab af opløst fosfat og partikelbundet fosfor via dræn på lerede marker med lavt fosforniveau indenfor to oplande.



Tabet af partikelbundet fosfor varierer normalt mere fra år til år end det er tilfældet for tabet af opløst fosfat (figur 7.10). Igen er den forklarende faktor år til år variationer i nedbørsmængderne, i figur 7.10 vist ved drænaftstrømningen i det enkelte år.

Fosfor kan tilføres overfladevand fra vand der strømmer af ovenpå jorden

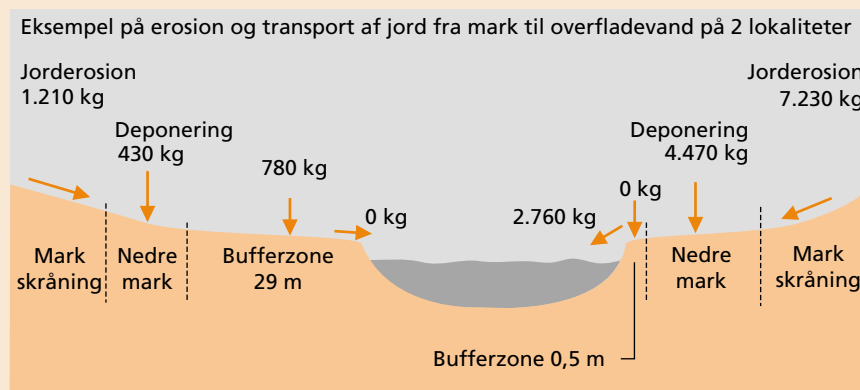
Jorderosion og det medfølgende tab af jord og fosfor til overfladevand indgår ikke i den landsdækkende overvågning. I et forskningsprojekt er jord- og fosfortabet fra over 100 skrånende marker over hele landet blevet grundigt undersøgt i en årrække siden 1993/94. Jord- og fosfortab fra marken forårsaget af jorderosion og overfladisk afstrømning foregår meget lokalt og er mest betydelig i vintre med megen snesmeltning som fx i vinteren 1993/94 (tabel 7.4). Meget regn i det tidlige efterår kan efterfulgt af kraftige regnbyger efter tilsåningen af vinterafgrøder dog også udløse erosion på markerne.

Tabel 7.4 Gennemsnitlig jord- og fosfortab fra skrånende marker i Danmark efter 5 vintre (1993/94 - 1997/98).

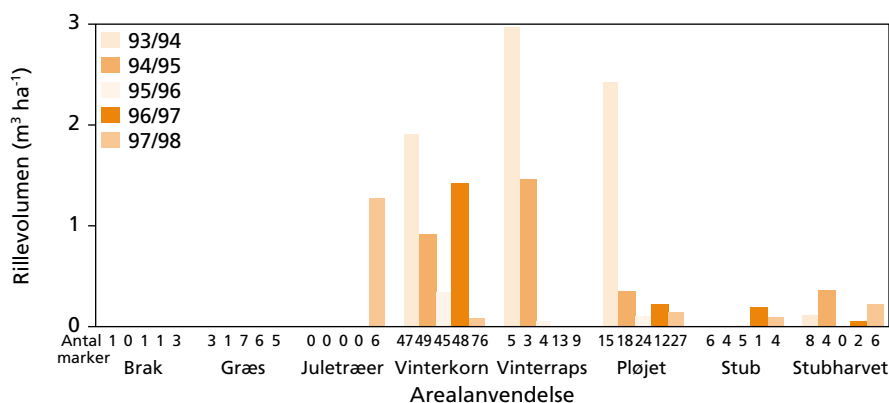
Vintre	1993/94	1994/95	1995/96	1996/97	1997/98
Antal marker	88	83	91	88	141
Jordtab (tons ha ⁻¹)	2,85	1,04	0,36	1,25	0,21
Fosfortab (kg P ha ⁻¹)	1,80	0,66	0,23	0,79	0,13

Boks 16 Jorderosion, overfladisk afstrømning og bufferzoner

En vigtig transportvej fra jord til overfladevand er vand som strømmer af ovenpå jorden i forbindelse med kraftige regnbyger og snesmeltning. I forbindelse med vandets strømning på skrånende marker løsrives der ved erosion jord fra marken. Samtidig kan der ske en frigivelse af opløst fosfat til regn- og smeltevand fra jorden. Hvis strømningen af vand på marken er kraftig nok og marken støder helt ned til et vandløb eller en sø kan store mængder jord og hertil bundet fosfor tabes til overfladevand. Beskyttelseszoner i form af brede bræmmer langs vandløb og søer kan lokalt have meget stor betydning for at mindske transporten af jord og fosfor til overfladevand idet den permanente vegetation bremser vandet og dermed skaber mulighed for at jordpartiklerne tilbageholdes i bræmmen.



Afgrødevalget på de skrånende marker som er udsat for erosion har stor betydning. På græsmarker forekommer jorderosion således næsten aldrig mens de mest udsatte marker er dem der er tilsået med vintersæd (figur 7.11). Betydningen af overfladeafstrømning på marker for tilførsel af partikelbundet fosfor og opløst fosfat er ikke opgjort for hele vandløbsoplande. Der er dog ingen tvivl om at den i lokalt erosionsudsatte områder kan være af stor betydning.



Figur 7.11 Omfanget af jorderosion i form af riller på skrånende marker i det tidlige forår efter 5 vintre og fordelt på forskellige arealanvendelser (fra Kronvang et al., 2000).

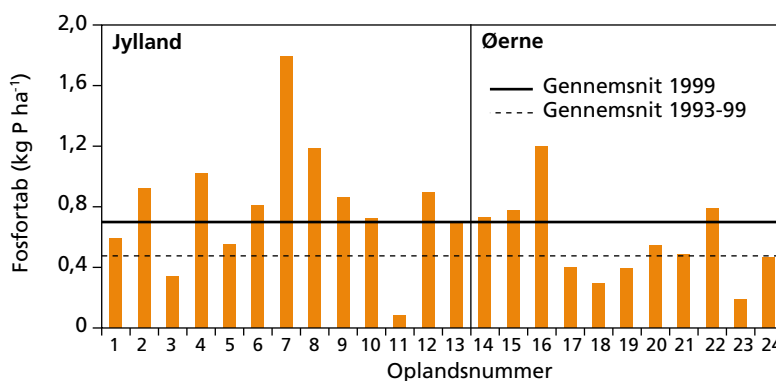
Tab af fosfor via brinkerrosion

Vandløbets egen erosion i brinkerne er en naturligt forekommende proces der løbende tilfører vandløbet fint og groft materiale fra oplandet. Meget tyder dog på at vore dages kunstigt udformede lige og kanaliserede vandløb med høje og stejle brinker er mere udsatte for brinkerrosion end naturlige vandløb. Da der samtidig gennem mange år har været dyrket tæt på vandløbskanten langs mange vandløb er der sket en stigning i jordens fosforindhold i bredzonen i forhold til det naturlige niveau. Stigningen skyldes både den direkte tilførsel af fosfor med kunstgødning og husdyrgødning, nedslæbningen af fosforholdig jord ved jordbearbejdningen og jorderosion fra højtliggende steder og ned mod vandløb. Der findes kun få enkeltstående undersøgelser af brinkerrosionens betydning for tilførsel af jord og fosfor til vandløb. I et vandløbsopland blev det opgjort at omkring halvdelen af den partikelbundne fosfortransport i vandløb stammede fra brinkerrosion (Kronvang et al., 1997; Laubel et al., 1999). Da brinkerrosion er en kontinuert forekommende proces, må det forventes at den generelt er af stor betydning for tilførsel af partikel bundet fosfor til de danske vandløb.

Fosfortab fra dyrkede arealer i vandløbsoplande

Ud fra intensive målinger af fosforkoncentrationen i vandløb (se forklaring i kap. 10) er det muligt meget præcist at beregne fosfortabet fra dyrkede arealer i et opland. I figur 7.12 er resultatet heraf vist for 25 danske vandløb for året 1999. I 1999 faldt der 193 mm mere nedbør end normalen for perioden 1961-90, og afstrømningen i vandløb var derfor 101 mm større end gennemsnittet for perioden 1971-1999. Da fosfor især føres til vandløb i perioder med regn, er det viste fosfortab fra dyrkede arealer i 1999 derfor formentlig større end hvad der kan forventes at gælde som gennemsnit for en længere periode. I figuren er der til sammenligning indlagt det gennemsnitlige fosfortab fra dyrkede arealer i perioden 1993-99 baseret på intensive målinger i ni vandløb. Fosfortabet fra dyrkede arealer ses af figur 7.12 at variere betydeligt fra opland til opland. Det gennemsnitlige fosfortab fra de 24 vandløb er på 0,70 kg P ha⁻¹ dyrket areal i 1999. Dette er 0,22 kg P ha⁻¹ større end gennemsnittet for årene 1993-99 hvori dog kun indgår målinger fra 9 vandløb. De nyeste målinger tyder således på at fosfortabet fra dyrkede arealer i Danmark er på ca. 0,5 kg P ha⁻¹.

Figur 7.12 Fosfortabet fra dyrkede arealer målt intensivt i 24 hovedsageligt mindre danske vandløb i 1999. Indsat er vist gennemsnit for 1999 og gennemsnittet for ni vandløb målt intensivt i perioden 1993-99.



8 Atmosfærisk deposition af fosfor

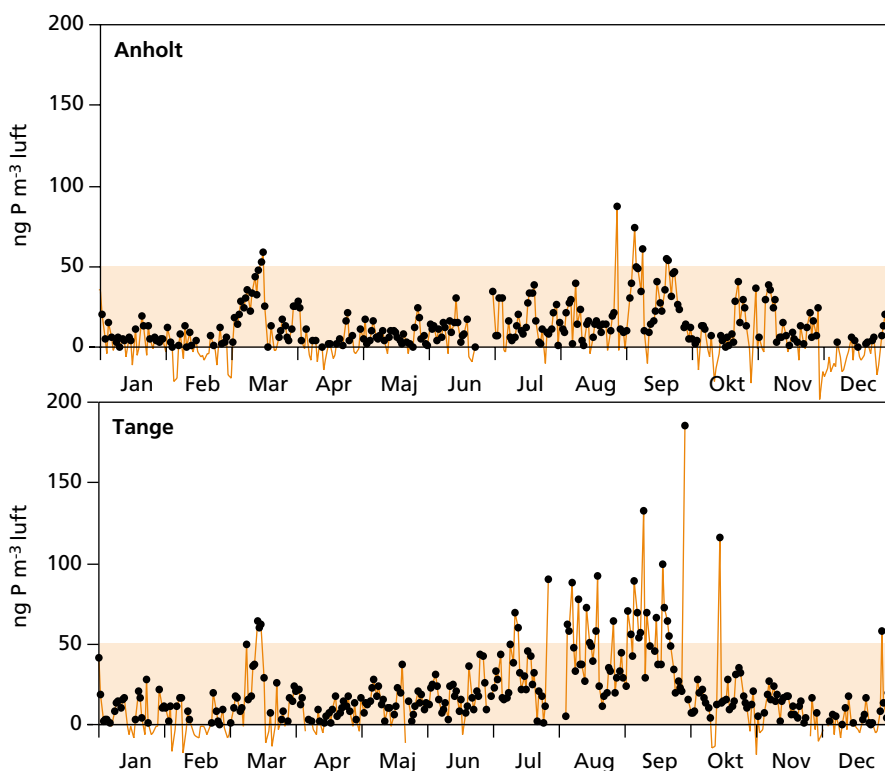
Thomas Ellermann
Brian Kronvang

Nedfaldet af fosfor med regn og partikler kan i større vandområder være af betydning for miljøtilstanden. Fosfor i atmosfæren stammer både fra menneskeskabte aktiviteter som forbrænding af kul og afbrænding af halm, og naturlige kilder i form af ophvirvling af jordstøv og biologisk materiale. Partiklerne i atmosfæren kan være såvel uorganiske (metalkomplekser) og organiske (fx pollen). De små partikler kan transporteres over store afstande. En del af det partikelbundne fosfor overgår til opløst form ved kontakten med vand i atmosfæren og denne fosfordel falder derfor ud sammen med nedbøren (våddeposition). Partiklerne med deres indhold af fosfor kan selvfølgelig også nedvaskes med nedbøren, men de kan også afsættes som tørdeposition på land og vand.

Våddepositionen af fosfor måles i nedbøren ved 8 målestationer i Danmark. Den totale deposition af fosfor opgøres ved hjælp af fosforindholdet i det opfangede vand i nedbørsopsamlere og målinger af nedbørsmængderne. Det er vanskeligt at måle tørdepositionen af fosfor idet det kræver opsamling af de afsatte fosforpartikler udenfor perio-



Foto: Inge Bendixsen, Fyns Amt

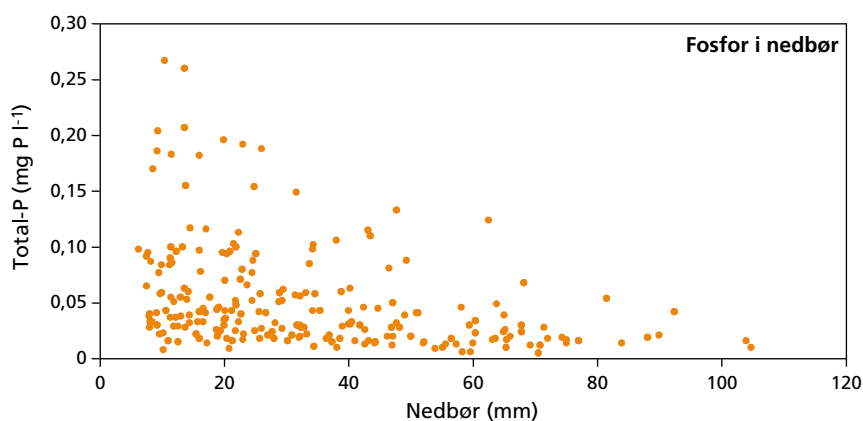


Figur 8.1 Døgnmiddelkoncentrationer af partikelbundet fosfor målt ved to målestationer i Danmark. Bemærk, at størstedelen af målingerne ligger under detektionsgrænsen på 20-50 ng P m⁻³ luft.

der med nedbør. Det er forsøgt at måle indholdet af partikelbundet fosfor ved 6 målestationer i 1999. Indholdet af partikelbundet fosfor var meget lavt med kun ca. 20-30 % af målingerne over detektionsgrænsen. De højeste værdier er målt i det tidlige forår og i sensommeren (figur 8.1). De forhøjede værdier i foråret kan måske skyldes støvophvirvling i forbindelse med forårsstorme eller ved forårets jordbearbejdning i landbruget. De forhøjede værdier i efteråret kan skyldes høst af afgrøder og markafbrænding af halm.

Nedbørens indhold af fosfor falder med stigende nedbørsmængder da fosforophobningen i atmosfæren sker i perioder uden nedbør (figur 8.2). Fosfordepositionen er størst over land og mindst over havet da kilden til fosfor er ophvirvlingen af støv fra landjorden. Fosfordepositionen på landjorden og over farvandene varierer derfor fra år til år afhængig af nedbørsmængderne. Depositionen på landjorden er typisk på $0,16 \text{ kg P ha}^{-1}$ mens den kun er ca. halvt så stor over de danske farvande ($0,08 \text{ kg P ha}^{-1}$).

Figur 8.2 Nedbørens indhold af total fosfor målt af Fyns Amt ved Oure i perioden 1989-99. Nedbøren er indsamlet og analyseret hver fjortende dag (fra Fyns Amt, 2000).



9 Kilderne til fosfor i overfladevand og Danmarks fosforbalance

Brian Kronvang
Karin D. Laursen

9.1 Vandløb

Fosfortilførslen til ferskvand stammede i slutningen af 1980'erne for 70 % vedkommende fra punktkilder, dvs. rensesanlæg, industri og dambrug. Over ti år er punktkildernes betydning for fosforbelastningen af ferskvand reduceret til 18 % på grund af den forbedrede rensning af spildevand (figur 9.1). Fosforbelastningen af vandløb fra spredt bebyggelse har i perioden ligget på mellem 10 % og 20 %. I 1999 var belastningen dog nede på 7 %, formentlig på grund af det våde år der gav en ekstra stor fosfortransport fra de dyrkede arealer. Den fosforbelastning der ikke stammer fra menneskelig påvirkning, kaldes baggrundsbidraget. Den er beregnet ved at gange fosfortabet fra skov- og naturarealer med hele landets areal. Baggrundsbidraget udgør normalt 10-20 % af den samlede fosforbelastning, men den svinger meget fra år til år alt afhængig af nedbørsmængderne.

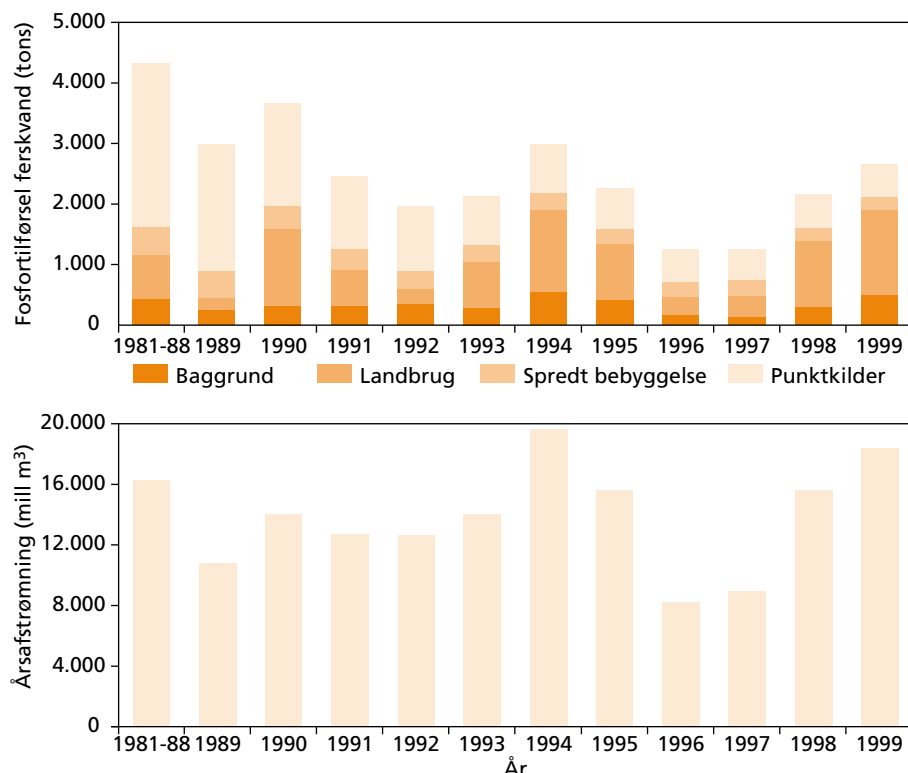
Boks 17 Beregning af fosfortab fra dyrkede arealer

Da fosfortabet fra dyrkede arealer inddrager mange forskellige processer og transportveje er det umuligt at opgøre mark for mark i et opland. Fosfortabet fra dyrkede arealer i vandløbsoplande beregnes derfor hvert år på baggrund af viden om omfanget af dyrkede arealer og naturarealer i det enkelte opland og oplysninger om udledningen af fosfor fra punktkilder og spredt bebyggelse (kildeopsplitning). I de nationale beregninger tages der i kildeopsplitningen også hensyn til tilbageholdelsen (retention) af fosfor i søer.

$$P_{\text{dyrket areal}} = P_{\text{transport}} - P_{\text{punktkilder}} - P_{\text{spredt bebyggelse}} - P_{\text{naturarealer}} + P_{\text{retention}}$$

De dyrkede arealers betydning som fosforkilde til ferskvand er steget markant siden 1989. I slutningen af 1980'erne udgjorde fosforbelastningen fra dyrkede arealer omkring 20 % mens den er steget til omkring 50 % i slutningen af 1990'erne. Stigningen skyldes fortrinsvis en stor reduktion i fosforudledningerne med spildevand. Dyrkede arealer som fosforkilde er altså blevet meget mere synlige og betydningsfulde for miljø- og naturtilstanden i vandløb. Klimaet og her især nedbørens store betydning for fosfortabet fra dyrkede arealer kan ses af figur 9.2. Den diffuse fosforbelastning (baggrund+landbrug+spredt bebyggelse) af ferskvand stiger således markant i år med stor vandafstrømning i vandløb til havet.

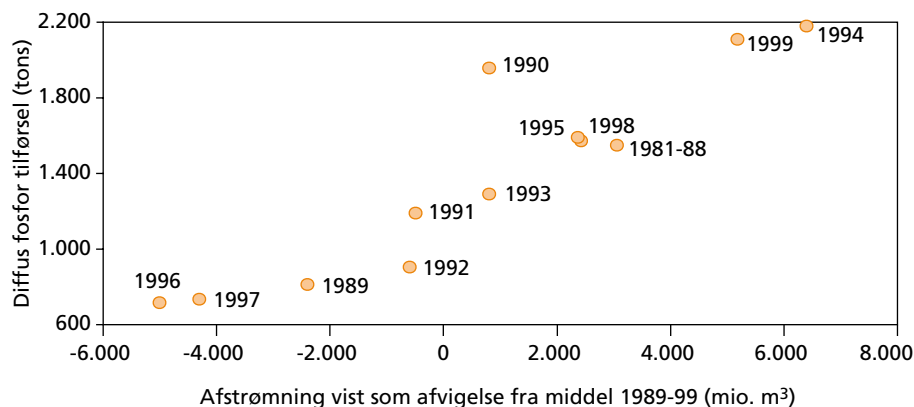
Figur 9.1 Kilderne til fosforbelastningen af danske vandløb og vandafstrømningen i perioden 1989-99.

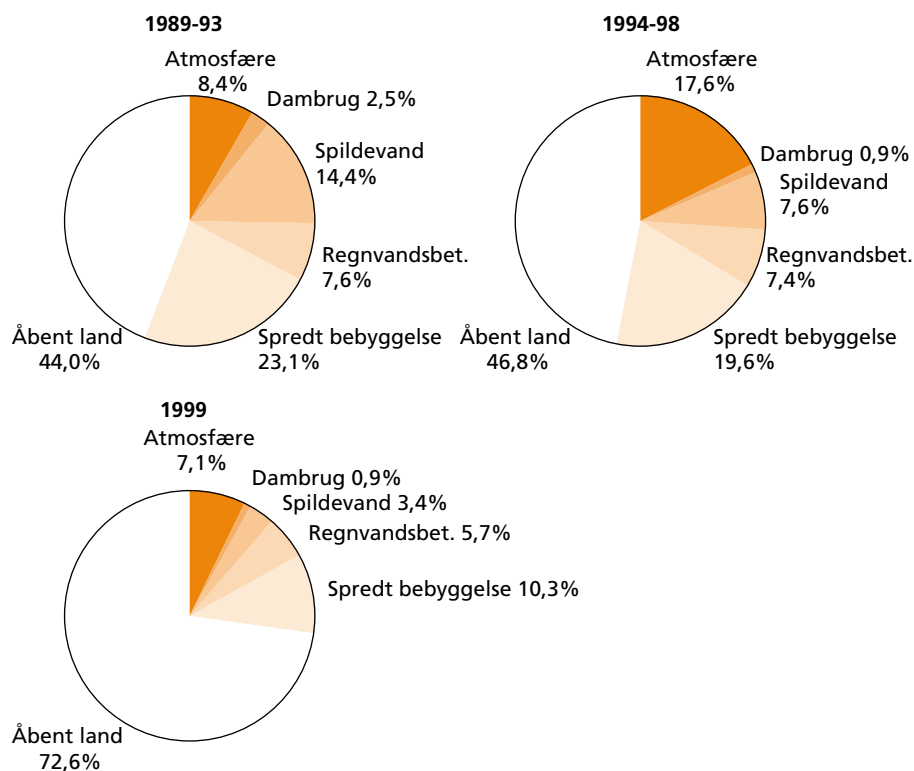


9.2 Søer

Kilderne til fosfor i søer varierer fra sø til sø afhængig af graden af den menneskelig påvirkning i oplandet og de rensningsforanstaltninger der er indført på spildevand. Et typisk billede af fosforkilderne til søer og udviklingen er opnået ved at følge 27 danske søer meget tæt siden 1989. Betragtes udviklingen over femårs perioder er der ikke de store ændringer at se i kildefordelingen (figur 9.3). Tydeligst er det at fosforbelastningen med spildevand er halveret fra at udgøre 14 % i den første periode (1989-93) til at udgøre 7 % i den sidste femårs periode (1994-98). Fosforbelastningen fra spredt bebyggelse er reduceret lidt mellem de to perioder mens bidraget fra atmosfæren relativt er steget.

Figur 9.2 Den diffuse fosforbelastning af vandløb stiger med stigende afstrømning. Opgørelsen er for hele Danmark.





Figur 9.3 Kildefordelingen af fosforbelastningen af 27 danske søer i femårsperioden 1989-93 og femårsperioden 1994-98.

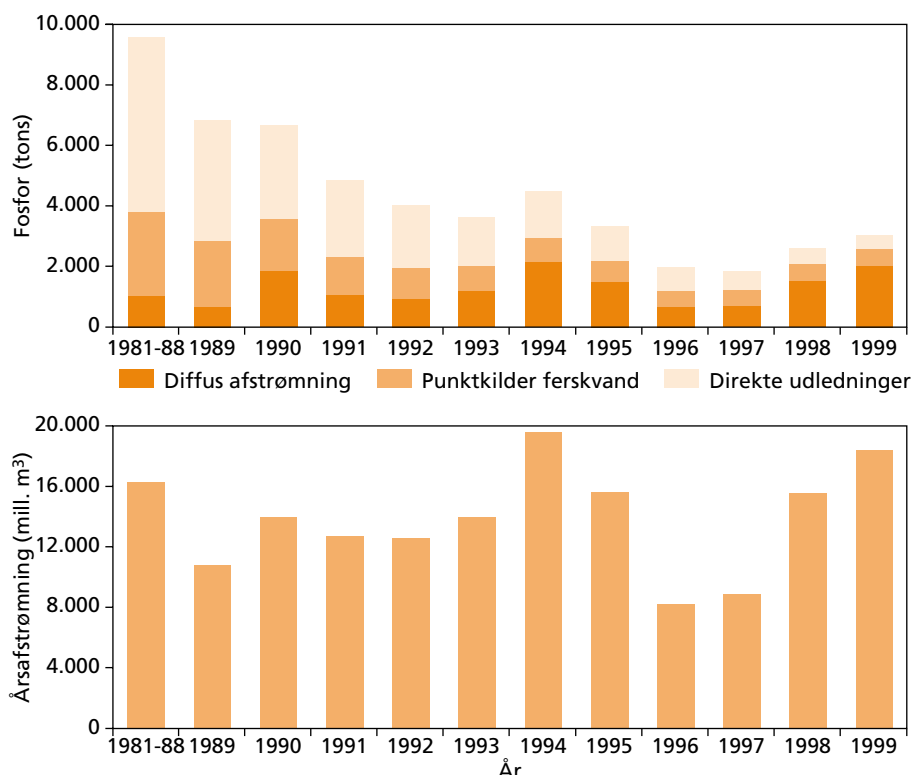
9.3 Fjorde og kystvande

Fosforbelastningen af kystvandene omkring Danmark har også ændret sig markant fra midten af 1980'erne og frem til 1999 (figur 9.4). Den totale fosforudledning fra punktkilder inkl. spredt bebyggelse til ferskvand er reduceret fra ca. 3.200 tons til ca. 760 tons svarende til en reduktion på 76 %. Samtidig er de direkte fosforudledninger til kystvandene reduceret fra ca. 5.750 tons til 440 tons eller med 92 %. Målet om en 80 % reduktion i udledningerne af fosfor fra punktkilder til overfladevand i Vandmiljøplan I er derfor mere end opfyldt i 1999 hvor udledningerne fra punktkilder er reduceret med 86 %. Kystvandene belastes også af fosfor fra havbrugsproduktionen. I 1999 udgjorde denne belastning ca. 35 tons fosfor. Kilderne til fosforbelastningen af kystvandene i 1999 er angivet i tabel 9.1 Tilførslen af fosfor fra diffuse kilder i det åbne land ses af figur 9.4 at variere fra år til år styret af hvor stor vandafstrømningen har været det enkelte år (se også figur 9.2).

Kilde	Fosforbelastning
Tilførsel via vandløb fra diffuse kilder i det åbne land	1.830 tons
Fosforudledning fra punktkilder til ferskvand	540 tons
Fosforudledning fra spredt bebyggelse til ferskvand	220 tons
Fosfortilførsel via vandløb til havet	2.590 tons
Fosforudledning med spildevand direkte til havet	440 tons
Havbrug	35 tons
Atmosfærisk deposition	840 tons
Total fosforbelastning af havet	3.905 tons

Tabel 9.1 Kilder til fosforbelastningen af havet omkring Danmark i 1999.

Figur 9.4 Udvikling i den samlede fosforbelastning af kystvandene siden midten af 1980'erne (1981-88) og frem til 1999, samt ferskvandsafstrømningen i samme periode.



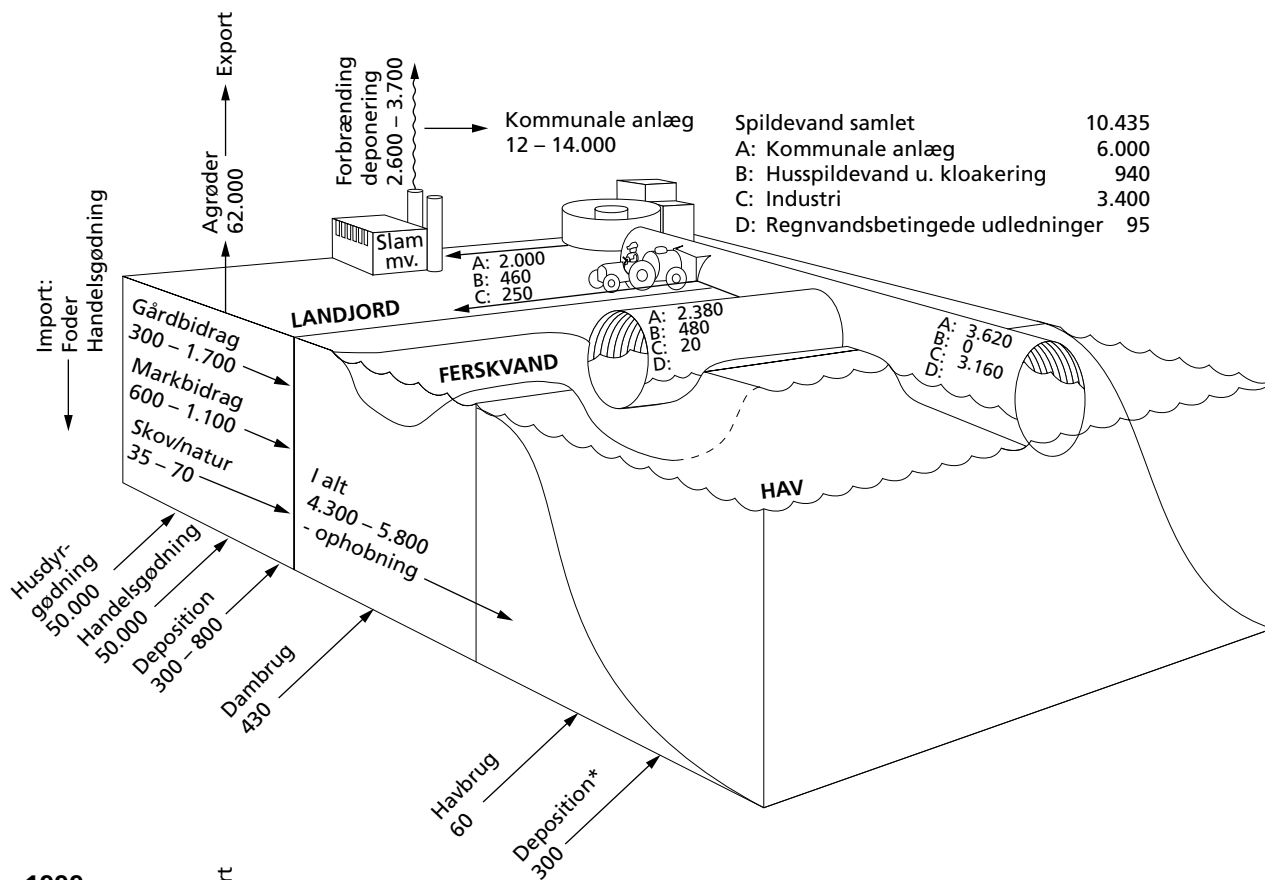
9.4 Udviklingen i Danmarks fosforbalance

Af figur 9.5 ses det tydeligt at der er sket store forandringer i Danmarks fosforbalance igennem de sidste 15 år. De største ændringer er at fosforudledningerne fra punktkilder til vandløb, søer, fjorde og havet er faldet stærkt siden midten af 1980'erne. På grund af den regionale udbygning af renseanlæg og den forbedrede renseindsats er fosforudledningerne med byernes spildevand til vandmiljøet reduceret med 86 % siden Folketinget vedtog Vandmiljøplan I. I samme periode er industriens udledninger af fosfor faldet med 98 % og ferskvandsdambrugen faldet med 81 %. På grund af øget kloakering og øget anvendelse af fosfatfrit vaskepulver i husholdningerne er der også sket en 76 % reduktion i fosforudledningerne fra den spredte bebyggelse (figur 9.5).

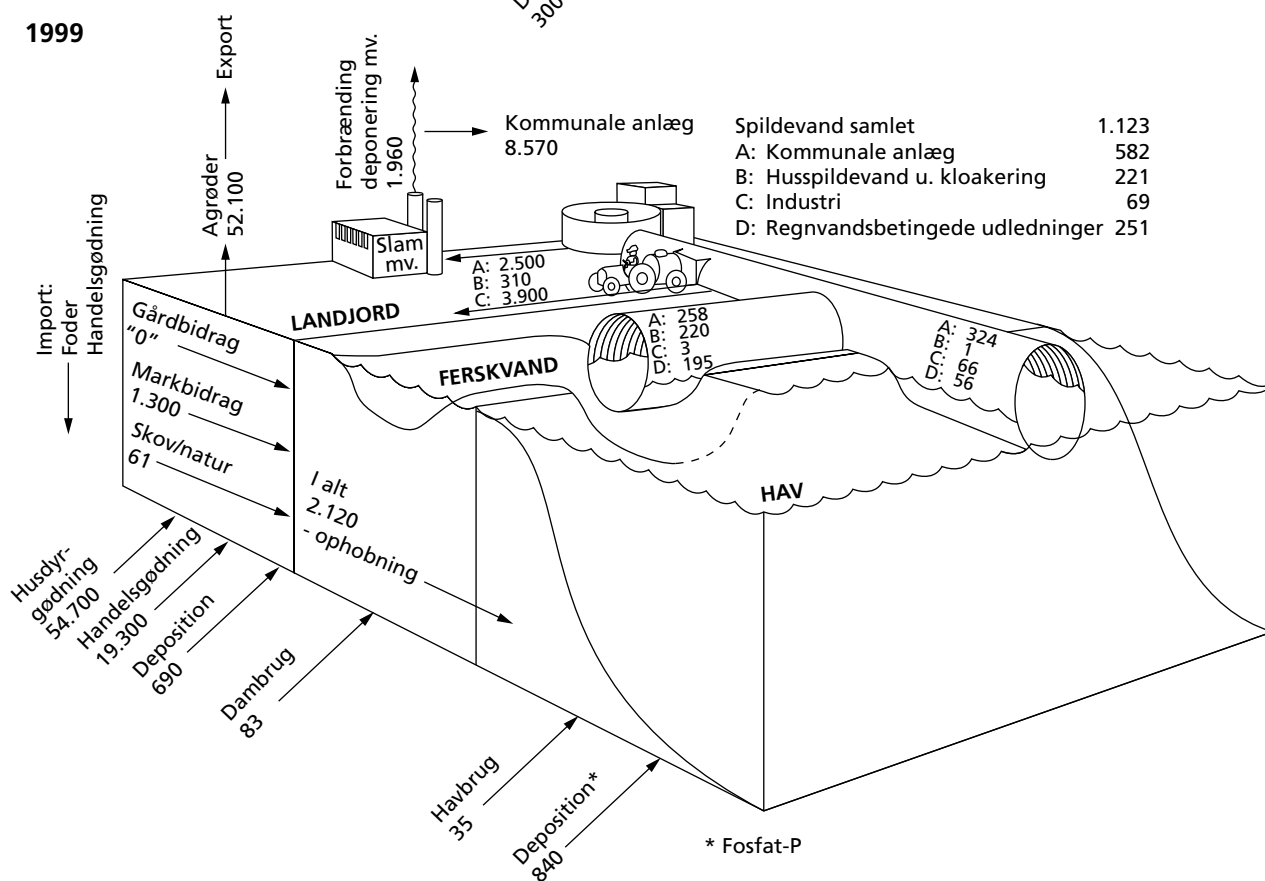
Landbruget har siden midten af 1980'erne reduceret sit forbrug af fosfor i handelsgødningen med godt 30.000 tons (figur 9.5). Omvendt er der på grund af det stigende svinehold sket en stigning på ca. 5.000 tons fosfor i landbrugets produktion og forbrug af fosfor i husdyrgødningen. På grund af den øgede rensning for fosfor i renseanlæg er produktionen af fosfor i slam steget betydeligt siden midten af 1980'erne. Der bringes nu ca. 5.000 tons fosfor ud på markerne i form af slam fra renseanlæg og industri. Samlet blev der i 1999 udbragt ca. 79.000 tons fosfor til den danske landbrugsjord. Med afgrøderne blev der fjernet ca. 52.000 tons fosfor hvilket efterlader et fosforoverskud på 27.000 tons. Målinger i vandløb viser at der i gennemsnit tabes ca. 1.300 tons fosfor fra de dyrkede arealer til ferskvand i Danmark. Den største del af fosforoverskuddet går altså til en opbygning af fosforpuljen i jord.

Figur 9.5 Ændringen i Danmarks fosforbalance fra midten af 1980'erne til slutningen af 1990'erne.

Før Vandmiljøplan I – ca. 1985 (fra Miljøstyrelsen, 1988)



1999



* Fosfat-P



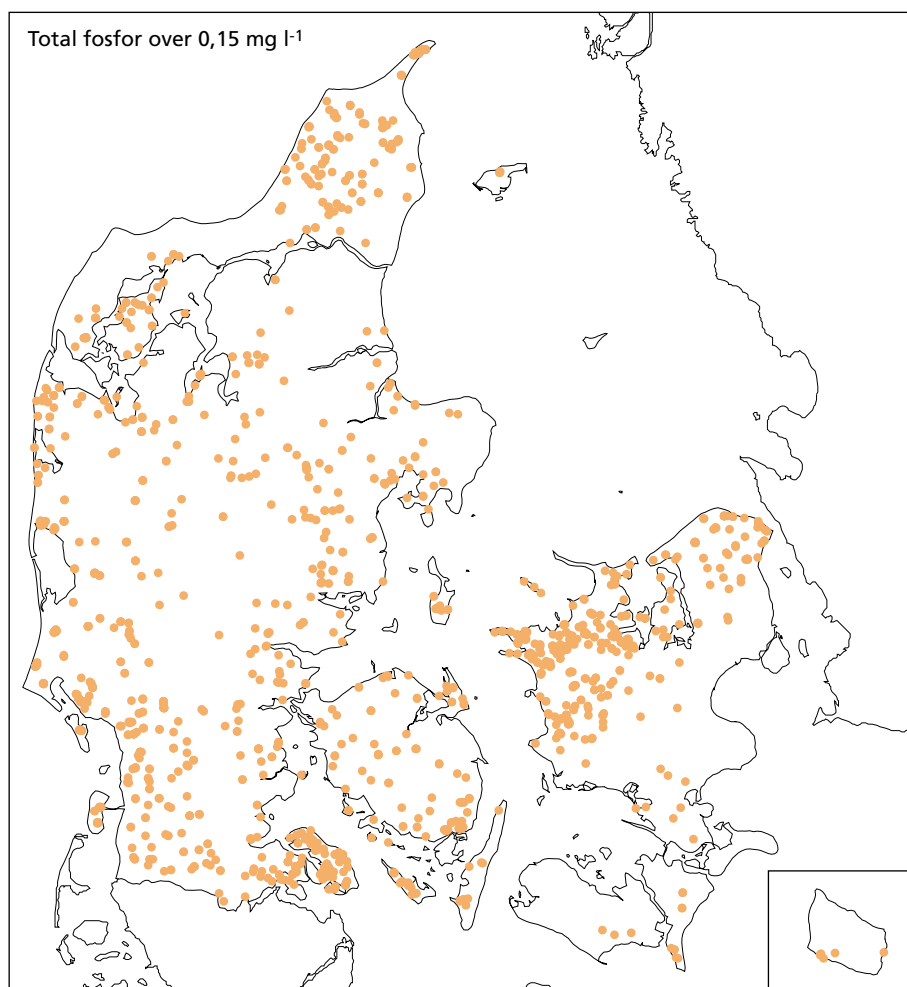
Gårdbidraget af fosfor, som i NPo-redegørelsen blev anslået til 4.000 tons fosfor og i Miljøstyrelsens Fosforredegørelse fra 1988 til 300-1.700 tons, er i princippet stoppet i Danmark. Gårdbidragets størrelse har dog været overestimeret, både i NPo-redegørelsen (Miljøstyrelsen, 1984) og i den seneste fosforredegørelse fra 1988 (Miljøstyrelsen, 1988). Der er således intet der tyder på at fosforkoncentrationen i vandløb der afvander mindre dyrkede oplande med et potentielt gårdbidrag, er faldet meget siden slutningen af 1980'erne. Gårdbidraget af fosfor må derfor antages at have været mindre end hidtil antaget i midten af 1980'erne.

10 Fosfor i grundvand og overfladevand

Daniel Conley
Hans L. Iversen
Jens P. Jensen
Lisbeth F. Jørgensen
Brian Kronvang
Jens Stockmarr

10.1 Grundvand

Fosforindholdet i det grundvand der tilføres overfladevand, skønnes for langt hovedpartens vedkommende at stamme fra det øvre grundvand (ilt- og nitrat redoxzonerne). Fosforindholdet i dybere grundvand, hvorfra hovedparten af Danmarks drikkevandsforsyning stammer, er meget afhængig af redoxforholdene. Et højt fosforindhold i indvindingsvandet fjernes dog ved vandværkernes iltningsprocedurer hvor fosfor bundfældes som jernfosfat og fraføres med okkerslammet. I drikkevand fra enkeltforsyninger uden vandbehandling kan fosfor dog forekomme i høje koncentrationer over grænseværdien for drikkevand ($0,15 \text{ mg P l}^{-1}$).

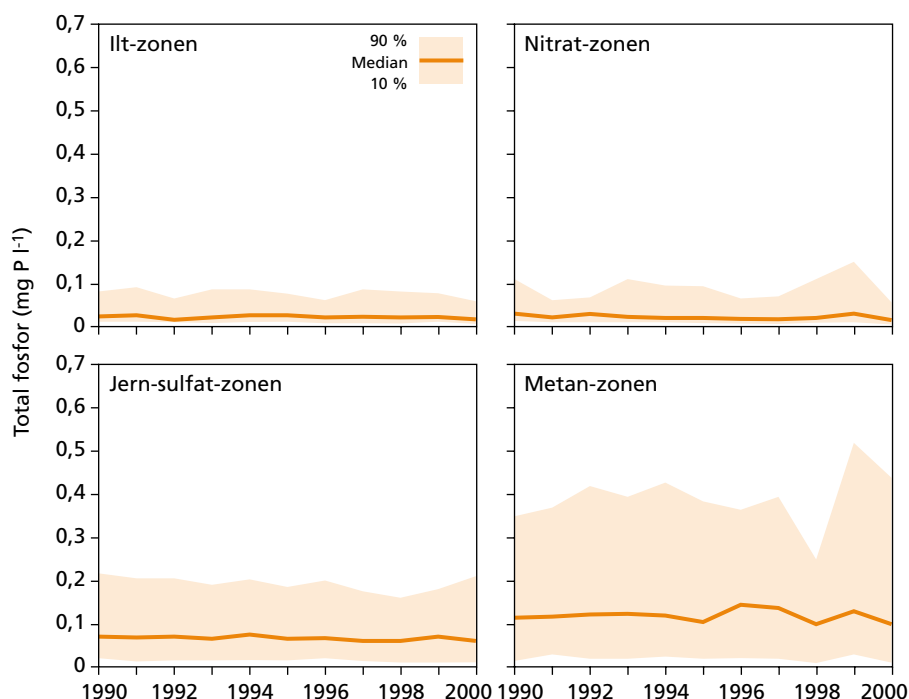


Figur 10.1 Forekomst af fosfor i vandværkernes boringskontrol 1990-99 hvor medianværdien overskrider grænseværdien for drikkevand ($0,15 \text{ mg P l}^{-1}$).

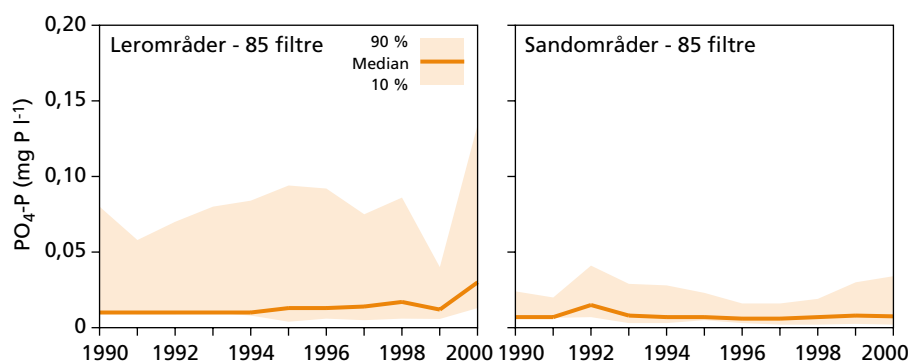
Den væsentligste kilde til fosfor i dybere grundvand er naturligt forekommende fosforit i fortrinsvis marine aflejringer. Det drejer sig om tertiære og kvartære aflejringer (fx Holstein i Sydvestjylland, Skærumhede i Vendsyssel og Nordøst- og Nordvestsjælland). Det er karakteristisk at fosforindholdet i grundvand målt i vandværksvand er lavt i kalkområderne af Danmark (Syd- og Østsjælland, Lolland-Falster, Møn, Djursland, Himmerland og delvist Thy). I vandværksboringerne er fosforindholdet over grænseværdien i ca. 20 % af de i alt ca. 8.000 boringer (figur 10.1).

Boringer med et højt fosforindhold falder fortrinsvis sammen med områder hvor der er et højt naturligt betinget fosforindhold i de geologiske aflejringer. Hertil kommer at fosforindholdet i grundvand er meget afhængig af redoxforholdene (figur 10.2). Under stærkt reducerede forhold i metan redoxzonen forekommer fosfor generelt i høje koncentrationer (median: 0,15 mg P l⁻¹), men med meget varierende koncentrationer i de enkelte boringer (0-0,6 mg P l⁻¹). I jern-sulfat redoxzonen er fosforindholdet i grundvandet noget lavere (median: 0,08 mg P l⁻¹) og med en mindre variation (0-0,2 mg P l⁻¹). I ilt- og nitrat redoxzonerne er fosforindholdet generelt lavt (median: 0,02 mg P l⁻¹) og med en lille variation mellem boringerne (0-0,1 mg P l⁻¹).

Figur 10.2 Koncentrationen af fosfor i vandværkernes boringskontrol 1993-99 opdelt på grundvand indvundet fra forskellige redoxzoner. I figuren er vist mediankoncentrationen i de enkelte år og spredningen målt som 10 og 90 percentiler.



Fosforindholdet i det øvre, nydannede grundvand er blevet målt siden 1989 i 36 markboringer (1,5-5 m under terræn) indenfor de 5 landovervågningsoplande (Grant et al., 1999). Fosforindholdet i det nydannede grundvand er generelt lavt både i sand- og lerjordsområderne (tabel 10.1). Der er ikke konstateret nogen udvikling i koncentrationen af fosfor igennem de 11 år overvågningen har stået på (figur 10.3).



Figur 10.3 Udvikling i koncentrationen af fosfor i det øvre, nydannede grundvand mellem 1,5 og 5 meter under terræn i 2 sandede og 3 lerede landovervågningsoplande.

Antal marker	Gennemsnitlig koncentration af opløst fosfat (mg P l ⁻¹)
Sandede oplande	0,013
Lerede oplande	0,009

Tabel 10.1 Koncentrationen af fosfor i øvre, nydannet grundvand under dyrkede marker i sand- og lerjordsområder i Landovervågningsoplande i Danmark.

10.2 Kilder og kildebække

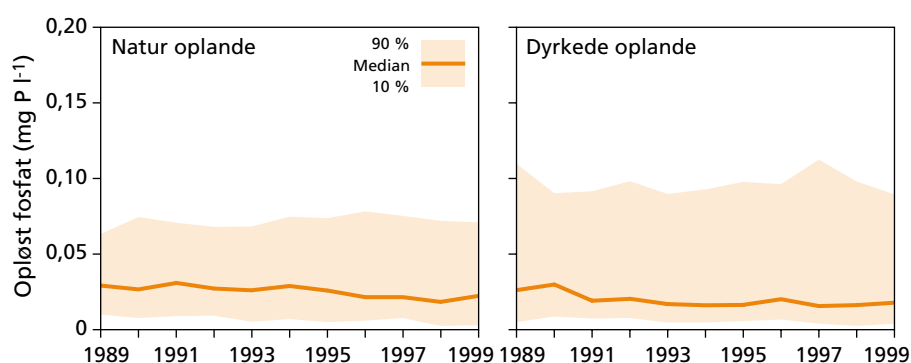
Kilder og kildebække er steder hvor grundvand trænger ud af terrænet og føder de øvre vandløbsender med vand og opløste stoffer. Opløst fosfat måles hvert år i 58 kilder og kildebække rundt omkring i Danmark. De 46 kilder og kildebække bedømmes til at modtage vand fra dyrkede områder mens de 12 ligger i udyrkede områder. Koncentrationen af opløst fosfat er generelt lav i kilderne (tabel 10.2). Det gælder både for kilder i dyrkede og udyrkede områder. Hvis beliggenheden af kilderne inddrages, ses der dog en forskel idet fosforkoncentrationen er højere i kilder beliggende i Jylland end i kilder på Øerne (tabel 10.2).

	Antal kilder	Gennemsnitlig koncentration af opløst fosfat (mg P l ⁻¹)
Kilder i udyrkede områder, Jylland	7	0,056
Kilder i dyrkede områder, Jylland	28	0,042
Kilder i udyrkede områder, Øerne	5	0,014
Kilder i dyrkede områder, Øerne	18	0,027

Tabel 10.2 Koncentrationen af opløst fosfat i kilder og kildebække beliggende i dyrkede og udyrkede områder i henholdsvis Jylland og på Øerne.

Enkelte kilder udviser høje koncentrationer af opløst fosfat både i dyrkede og udyrkede områder (figur 10.4). Dette forhold kan, som det er beskrevet i afsnittet om grundvand, henføres til et naturligt højt fosforindhold i marine aflejringer og redoxforholdene i de grundvandsmagasiner der føder kilderne. Generelt er der ikke sket nogen signifikant udvikling i kildernes indhold af opløst fosfat i perioden 1989-99 (figur 10.4).

Figur 10.4 Udviklingen i kilder og kildebækkes indhold af opløst fosfat i perioden 1989-99. I figuren er vist mediankoncentrationen i de enkelte år og spredningen målt som 10 og 90 percentiler.



10.3 Vandløb

Koncentrationen og transporten af fosfor i vandløb måles ved ca. 250 målestationer i Danmark. Målestationerne ligger i både små og store vandløb fordelt over hele landet. De mest kystnære målestationer i de store vandløb benyttes til at opgøre fosforbelastningen til de kystnære områder. Målestationerne i de små og mellemstore vandløb inde i landet benyttes til at opgøre og følge udviklingen i fosforkoncentrationen og fosfortransporten fra forskellige typer af oplande (naturoplande, landbrugsoplande og landbrugsoplande med større spildevandsanlæg eller dambrug).

Tabel 10.3 Koncentration af opløst og partikelbundet fosfor i vandløb der afvander forskellige oplandstyper vist som median af forholdene i 1999.

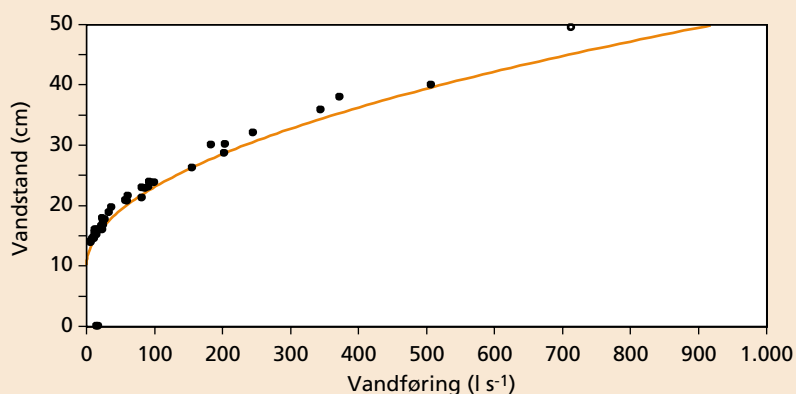
	Vandløb i skov- og naturoplande (n=9)	Vandløb i dyrkede oplande (n=62)	Vandløb i dyrkede oplande med punktkilder (n=78)
	($\mu\text{g P l}^{-1}$)	($\mu\text{g P l}^{-1}$)	($\mu\text{g P l}^{-1}$)
Opløst fosfat	22	57	73
Partikelbundet fosfor	38	64	86
Total fosfor	60	121	159

Indholdet af fosfor i vandløb er afhængig af de kulturskabte påvirkninger i oplandet

Koncentrationen af total fosfor er generelt mindst i vandløb i naturoplande, større i vandløb i landbrugsområder og størst i landbrugsområder med større punktkilder (tabel 10.3). Den mindste del af total fosforindholdet i vandløb består af opløst fosfat mens hovedparten er bundet til uorganiske og organiske partikler (tabel 10.3). Det laveste indhold af både opløst og partikelbundet fosfor findes i vandløb der afvander skov- og naturoplande efterfulgt af vandløb i landbrugsoplande og vandløb i landbrugsoplande med fosforudledninger fra punktkilder.

Boks 18 Måling af vandføring og fosfor i vandløb

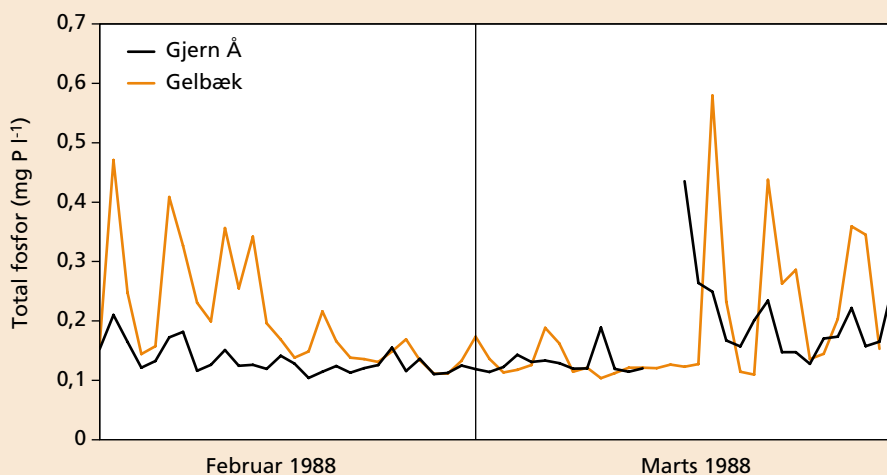
Ved en vandløbsstation måles vandstanden kontinuert mens vandføringen måles med faste intervaller (ugentligt til månedligt). Den daglige vandføring beregnes så ud fra stationspecifikke sammenhænge mellem vandstand og vandføring (Q/H-kurver). Fosforindholdet i vandløbet bestemmes typisk ud fra vandprøver udtaget med faste intervaller (månedligt eller hver fjortende dag). Transporten af fosfor over en given tidsperiode kan så beregnes som produktet af de målte fosforkoncentrationer og den daglige vandføring. Da der ikke er bestemt en fosforkoncentration hver dag interpoleres der lineært mellem måledagene for at beregne en daglig fosforkoncentration.



Fosforkoncentrationen i vandløb (specielt det partikelbundne fosfor) kan dog variere meget fra dag til dag i forbindelse med nedbør. Typisk er variationen større i små end i store vandløb. Det skyldes flere årsager:

- 1 At der er større udsving i vandføring ved nedbør over et lille opland end over et større opland med deraf følgende større risiko for brink- og bunderosion i små end i store vandløb.
- 2 At arealet af potentielle kildeområder i form af erosionstruede arealer typisk er større i oplandet til små vandløb end i oplandet til store vandløb.
- 3 At det mobiliserede fosfor fra de erosionstruede arealer lettere kan nå frem til små vandløb, der typisk støder helt op til markerne end til store vandløb der typisk er omgivet af ådale.
- 4 At der ved vandets transport gennem vandløbssystemet sker en deposition af fosfor på steder med strømlæ på vandløbsbunden (fx under vandplanter), i søer og på oversvømmede enge/vådområder.

Derfor indgår der i NOVA målestationer (25 i perioden 1998-2003) hvor fosforkoncentrationen måles med hyppige intervaller afstemt efter vandføringen i vandløbet.

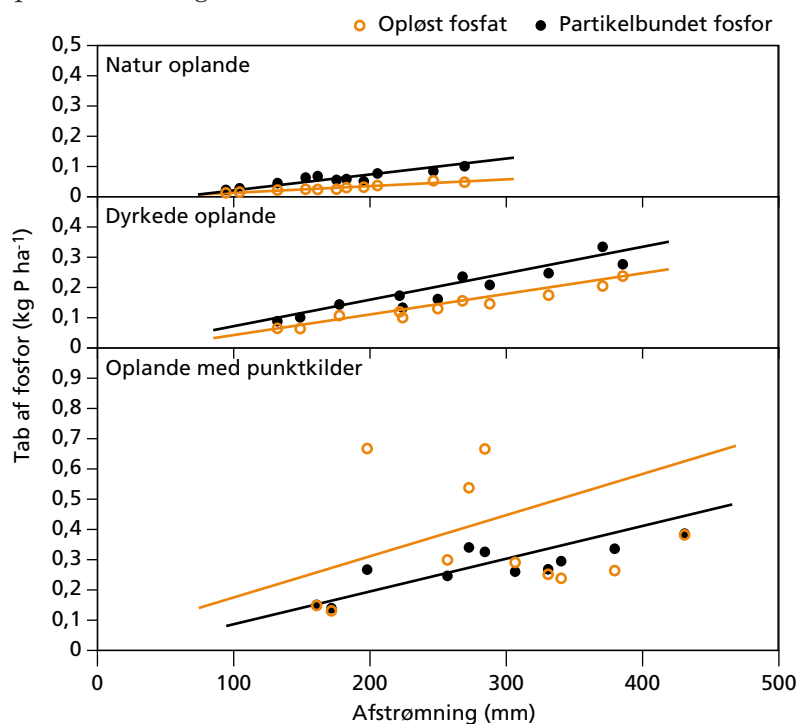


Daglig variation i Totalfosforkoncentrationen i et mindre og større vandløb i samme opland (Gelbæk og Gjern Å) i Gudenå-systemet.

Tabet af fosfor er meget afhængig af klimaet

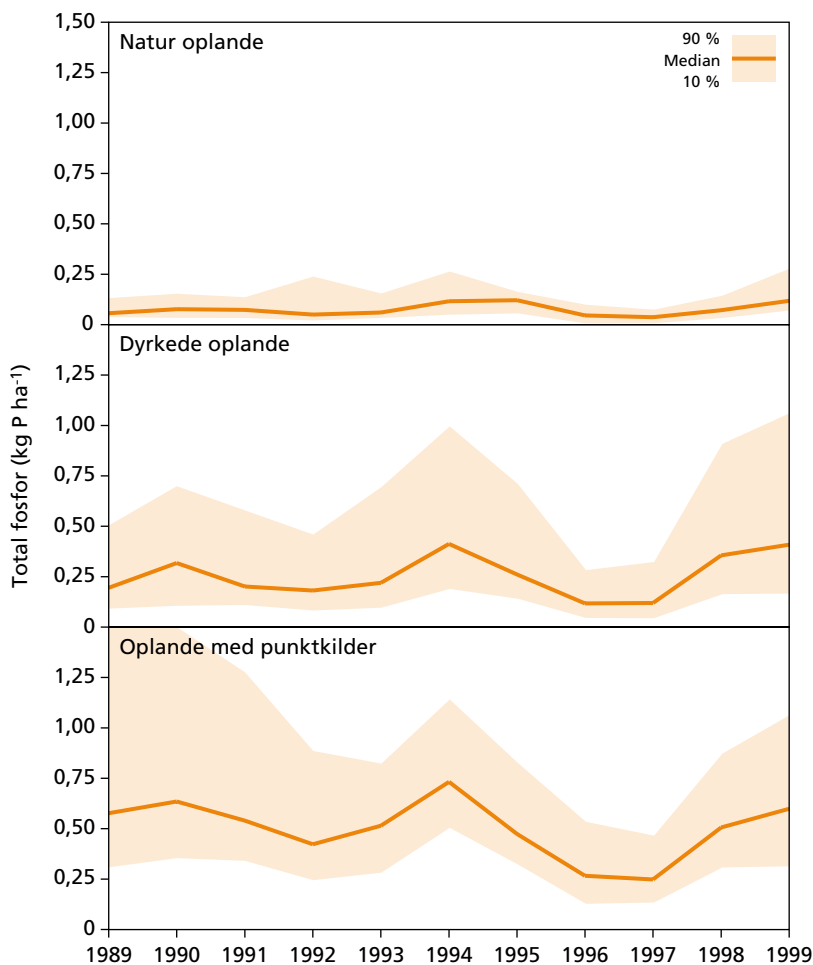
Eksporten af fosfor fra vandløbsoplande er meget afhængig af nedbøren og afstrømningen i de enkelte år. Der eksisterer derfor normalt en sammenhæng mellem årets målte afstrømning af vand og årets eksport af fosfor. I figur 10.5 er sådanne sammenhænge vist som gennemsnit for flere vandløb i de tre oplandstyper. Sammenhængen mellem fosforeksport og afstrømning er dog specifik for det enkelte opland idet den i høj grad er styret af de mulige kildeområder og transportveje for opløst og partikelbundet fosfor i hvert enkelt opland. I alle tilfælde stiger fosforeksporten fra vandløbsoplandet med stigende vandafstrømning. Dette forhold er mest udpræget for partikelbundet fosfor i natur- og opdyrkede oplande mens det i mindre grad gælder for opløst fosfat (figur 10.5).

Figur 10.5 Sammenhæng mellem det årlige tab af opløst fosfat og partikelbundet fosfor for vandløb der dræner skov- og naturoplande, dyrkede oplande uden større punktkilder og dyrkede oplande med større punktkilder.



Både de naturgivne forhold og de kulturskabte påvirkninger i oplandet har betydning for fosforeksporten. Når det drejer sig om de naturgivne forhold er det især jordbund og topografi der har betydning. Vedrørende de kulturskabte forhold er det faktorer relateret til landbrugsdrift, som jordens fosforindhold, jordbearbejdning, afgrødevalg og dræning, som har betydning sammen med faktorer som vandløbsvedligeholdelse og fosforudledninger fra spredt bebyggelse.

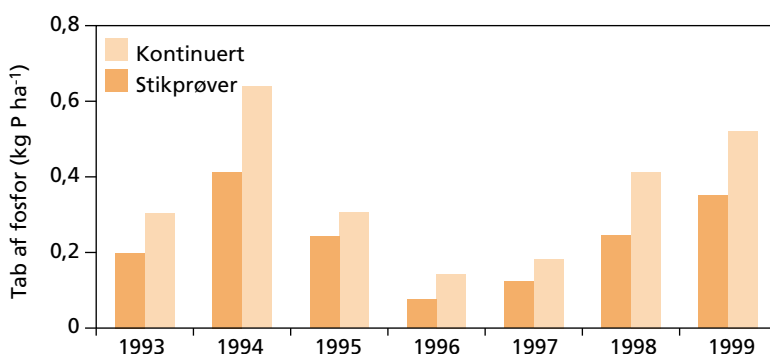
På trods af store år til år forskelle i fosfortransporten er der konsekvent et større fosfortab fra dyrkede oplande end fra skov- og naturoplande (figur 10.6). Som forventet viser figuren også at eksporten af fosfor fra oplande med punktkilder er størst.



Figur 10.6 Årligt oplandstab af total fosfor fra tre forskellige typeoplande i perioden 1989-99. I figuren er vist mediankoncentrationen i de enkelte år og spredning målt som 10 og 90 % percentiler.

I små vandløb er det nødvendigt at måle fosfor meget hyppigt

I ni vandløb under overvågningsprogrammet er fosfortransporten siden 1993 blevet beregnet på baggrund af en tilnærmet kontinuerlig udtagning af vandprøver med automatiske prøvetagere gennem hele året. Det særlige måleprogram har påvist at det årlige fosfortab fra vandløbsoplande er større end hidtil antaget ud fra det normalt anvendte prøvetagningsprogram med udtag af stikprøver hver måned eller fjortende dag (figur 10.7). Det årlige fosfortab fra de ni oplande var således i gennemsnit 0,12 kg P ha⁻¹ større end hidtil antaget for



Figur 10.7 Sammenligning mellem oplandstab af total fosfor beregnet ud fra intensiv automatisk prøvetagning og baseret på stikprøver (månedligt/fjortende dag) i ni mindre vandløb gennem 1993-99.

perioden 1993-99. Hovedparten af det større fosfortab kan tilskrives partikelbundet fosfor der især er i transport i de kortvarige perioder med stigning i vandføring i forbindelse med regn og snesmeltning.

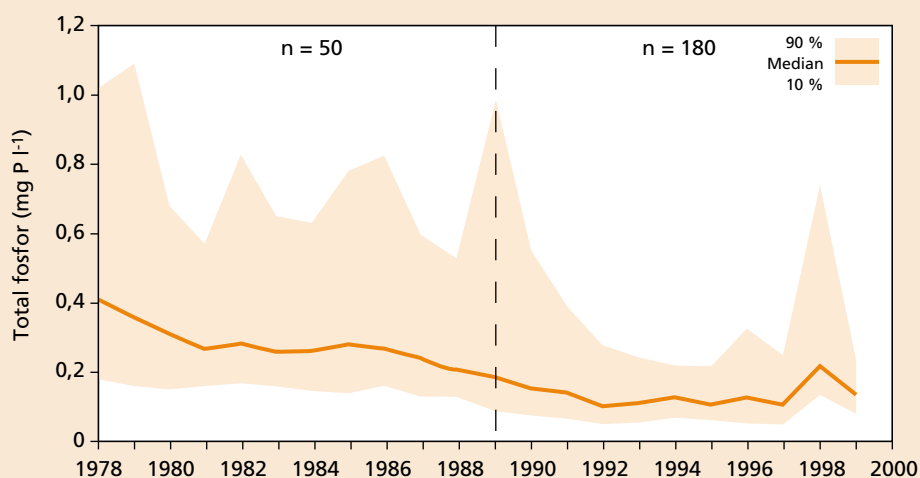
Siden 1998 er koncentrationen af fosfor målt intensivt i 23 danske vandløb der dækker alle regioner af landet. En sammenligning af det beregnede årlige oplandstab af total fosfor fra oplandene i 1999 viser markante forskelle mellem regionerne (tabel 10.4). Oplandstabet af fosfor var i 1999 således større fra oplande i Jylland end fra oplande på Øerne. Denne forskel kan henføres til forskelle i afstrømning mellem regionerne. Når der korrigeres for forskelle i afstrømning er der nemlig ikke så store forskelle i oplandstabet mellem Jylland og Øerne. Fosfortabet er større fra lerede end fra sandede oplande i de to regioner (tabel 10.4). Når fosfortabet korrigeres for afstrømningen er dette ikke længere tilfældet for vandløbene i Jylland.

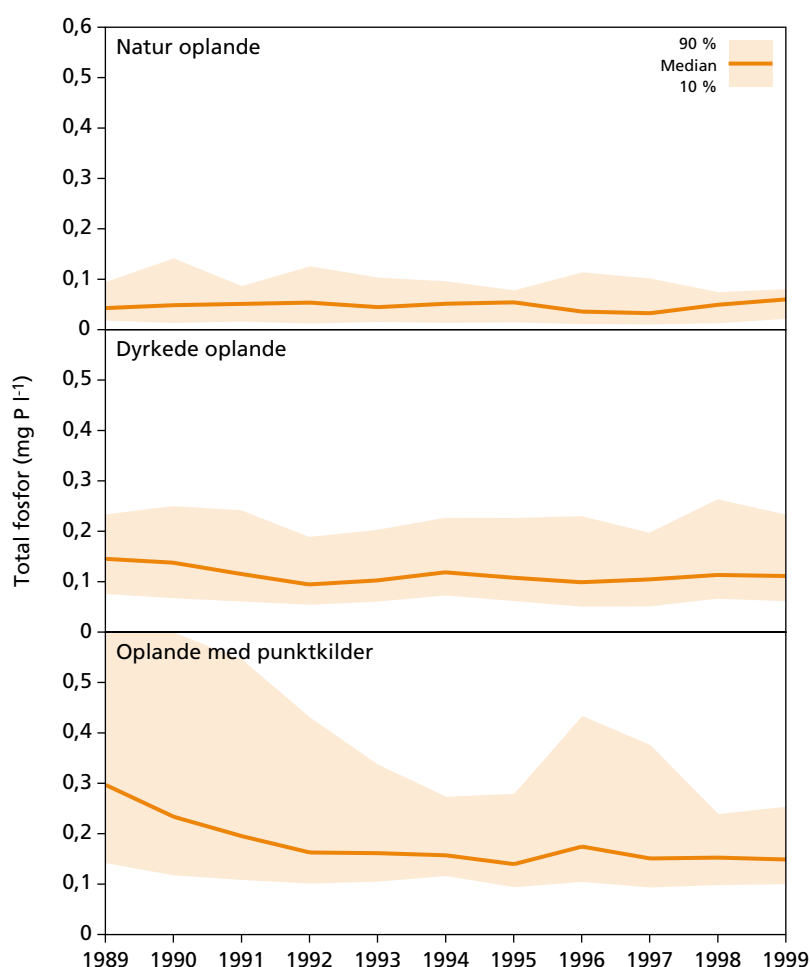
Tabel 10.4 Gennemsnitligt oplandstab og vandføringsvægtet koncentration af total fosfor fra vandløb på ler- og sandjord beliggende i Jylland og på Øerne.

	Antal vandløb	Median oplandstab af total fosfor (kg P ha ⁻¹)	Median vandføringsvægtet koncentration af total fosfor (mg P l ⁻¹)
Sandede oplande, Jylland	6	0,567	0,242
Lerede oplande, Jylland	7	0,838	0,143
Sandede oplande, Øerne	3	0,349	0,167
Lerede oplande, Øerne	7	0,455	0,288

Boks 19 Fosforkoncentrationen i danske vandløb er faldet meget siden 1970'erne

Hvis den årlige transport af fosfor i vandløb normaliseres i forhold til vandafstrømningen i det enkelte år (transport divideret med afstrømning) giver det mulighed for delvist at rense data for år til år ændringer i nedbøren. Den herved beregnede vandføringsvægtede fosforkoncentration i danske vandløb viser tydeligt at der er sket et stort fald i fosforudledningerne siden slutningen af 1970'erne.





Figur 10.8 Ændring i median vandføringsvægtet fosforkoncentration i vandløb der afvander skov- og naturoplande, dyrkede oplande uden større punktkilder og dyrkede oplande med punktkilder i perioden 1989-99. I figuren er spredningen vist som 10 og 90 % percentiler.

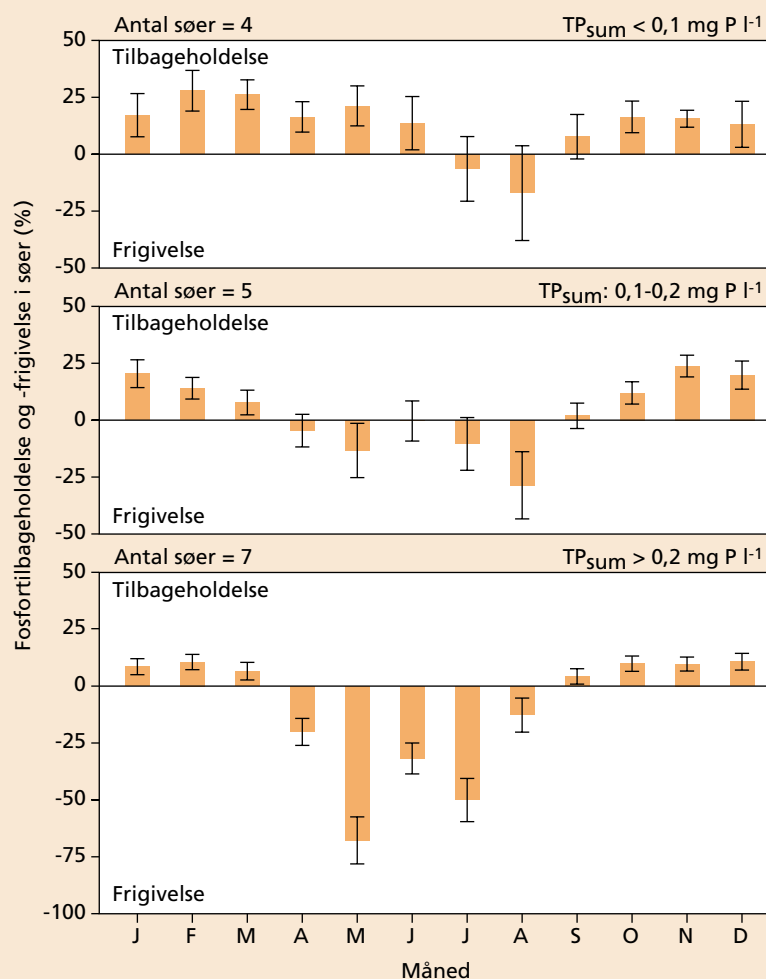
Udviklingen i fosforindholdet i danske vandløb

Siden 1989 er der ikke konstateret signifikante ændringer i fosforkoncentrationen i 7 vandløb der afvander skov- og naturoplande (figur 10.8). I 7 ud af 37 vandløb der afvander dyrkede oplande uden større punktkilder, er der konstateret et signifikant fald i fosforkoncentrationen mens der i 3 er beregnet en signifikant stigning. I 27 vandløb, svarende til 73 % af tilfældene, er der ikke konstateret nogen udvikling. Modsat forholder det sig i vandløb der afvander dyrkede oplande med punktkilder hvor der i alle vandløb kan konstateres et fald der er signifikant i 56 ud af de 91 testede vandløb.

10.4 Søer

I overvågningsprogrammet indgår 27 ferskvandssøer der er beliggende over hele landet. De 21 af søerne er lavvandede og 6 er dybe. På landsplan har vi i alt 74 søer større end 100 ha, 585 søer større end 5 ha og 3.186 søer større end 1 ha. Til sammenligning er der mere end 120.000 søer større end 0,01 ha (100 m²) i Danmark. Søer og damme er derfor en vigtig del af den danske natur.

Boks 20 Lagdeling og intern belastning i søer



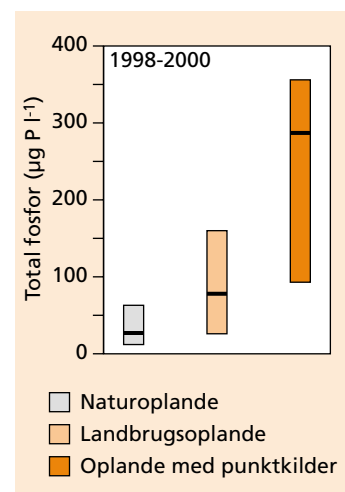
I dybere søer dannes der i løbet af sommeren en lagdeling af vandmassen ved opvarmningen af overfladevandet. Der opstår en temperaturgradient (termoklin) som adskiller det øvre varme vand (epilimnion) fra det kolde bundvand (hypolimnion). I lavvandede søer finder denne lagdeling ikke sted. Lagdelingen har stor indflydelse på den interne næringsstoffdynamik gennem året. I alle søer sker der en sedimentation af fosfor bundet til partikler og i alger fra vandfasen og ned til søbunden gennem hele året. En del af denne fosfor frigives igen om sommeren fra søsedimentet. Rene søer uden fortidig stor fosforbelastning vil netto tilbageholde fosfor på søbunden. I søer der er eller har været stærkt belastet med spildevand overstiger sedimentationen af fosfor fra søvandet fosforfrigivelsen fra bunden. På denne måde er der i mange danske søer opbygget en fosforpulje i søbundens sediment. Hvis søen på et tidspunkt bliver mindre belastet med fosfor på grund af rensning af spildevand i oplandet så ændres situationen så der netto sker en frigivelse af fosfor til søvandet fra sedimentet. Denne interne frigivelse kan fortsætte i mange år til fosforpuljen på søbunden er opbrugt. Betydningen af den interne fosforbelastning i 3 søklasser der adskiller sig med hensyn til fosforniveau, viser sig tydeligt når den månedlige fosfortilbageholdelse beregnes. I de rene søer (< 100 µg P l⁻¹) er der en nettotilbageholdelse af fosfor i 10 måneder og kun i juli og august finder der en lille nettofrigivelse sted fra søbunden. Derimod er der i de mest fosforrige søer (> 200 µg P l⁻¹) en stor nettofrigivelse af fosfor i 5 ud af 12 måneder.

Indholdet af fosfor i søer er afhængig af de kulturskabte påvirkninger i oplandet

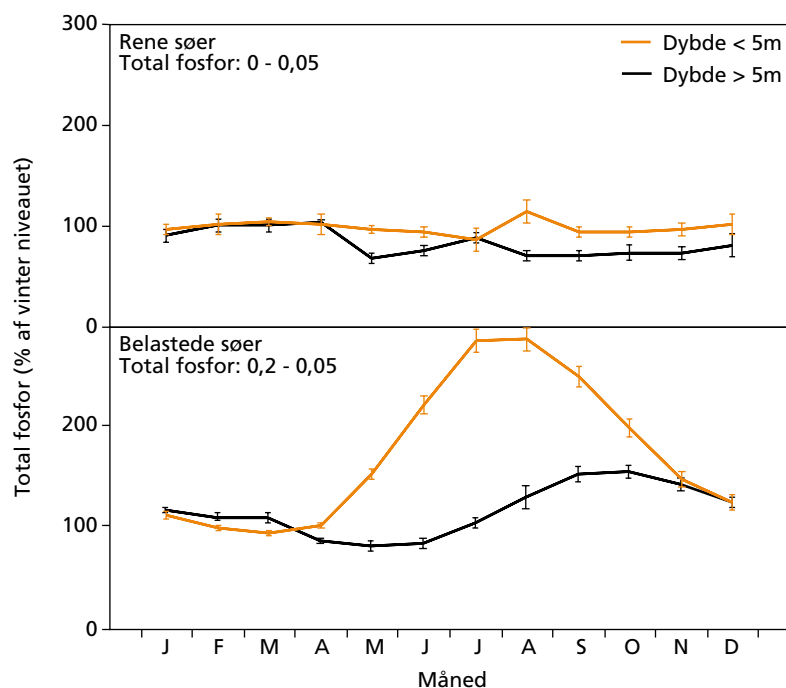
Indholdet af fosfor i søer er meget afhængig af hvordan oplandet til søen er udnyttet og om der er større byer med udledninger af spildevand. Af figur 10.9 ses således at koncentrationen af fosfor stiger stærkt fra søer i skov- og naturoplande til dyrkede oplande, og er en tak højere i søer der modtager spildevand fra punktkilder.

Søernes fosfordynamik

Der er stor forskel i sæsonvariationen i fosforkoncentrationen i søer (figur 10.10). I de helt rene søer er der et svagt fald i fosforkoncentrationen i forsommeren på grund af sedimentation af fosfor bundet i alger efterfulgt af et lille maksimum i august på grund af frigivelse fra sedimentet på søbunden. I de lagdelte dybere søer er der et fald i fosforkoncentrationen gennem hele sommeren på grund af sedimentation af alger. I de næringsrige søer er sæsonvariationen meget mere udtalt. Faldet i fosforkoncentrationen om foråret er stadig tydeligt både i de lavvandede og dybe søer (figur 10.10). I de lavvandede søer er fosforindholdet 2-3 gange højere i sommerperioden på grund af frigivelse af fosfor fra søbunden (intern belastning). Tilførsel af vand med høje fosforkoncentrationer vil i de hurtigt gennemstrømmede søer også medvirke til at øge fosforindholdet i søvandet. I de dybe søer er den maksimale fosforkoncentration meget mindre end i lavvandede søer og den optræder 2-3 måneder senere. Det senere maksimum i de dybe søer skyldes lagdelingen i søen der først brydes ved afkølingen af overfladevandet og den deraf følgende nedbrydning af lagdelingen når koldt ($<4^{\circ}\text{C}$) og dermed tungere vand synker ned mod bunden og søen omrøres. Så blandes den frigivne pulje af fosfor i bundvandet op i hele søens vandmasse.



Figur 10.9 Den gennemsnitlige koncentration af total fosfor vist for hele året og i søer der ligger i skov- og naturoplande, dyrkede oplande og dyrkede oplande med spildevand. Data er fra 1998-2000 og spredningen er vist som minimum og maksimum værdier.



Figur 10.10 Sæsonvariationen af fosfor i rene og belastede lavvandede og dybe søer. I figuren er vist et gennemsnit og standardafvigelsen.

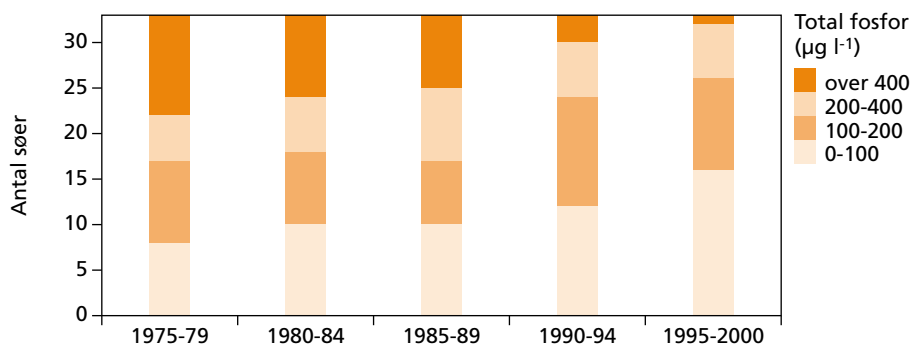
Fosfortilbageholdelsen i de 27 overvågningssøer kan med den nuværende belastning teoretisk beregnes til at skulle være $0,60 \text{ kg ha}^{-1}$. Den faktiske tilbageholdelse var derimod årligt kun på $0,22 \text{ kg ha}^{-1}$. Forskellen skyldes den interne frigivelse af gammelt fosfor fra søsedimentet. De danske søer er altså langt fra at være i balance og være den fosforfælde som de fra naturens hånd er skabt til at være. Hvis de danske søer kommer i balance vil de derfor kunne medvirke til at nedsætte fosforbelastningen af nedstrøms liggende vandområder.

Udvikling i fosforkoncentrationen i danske søer

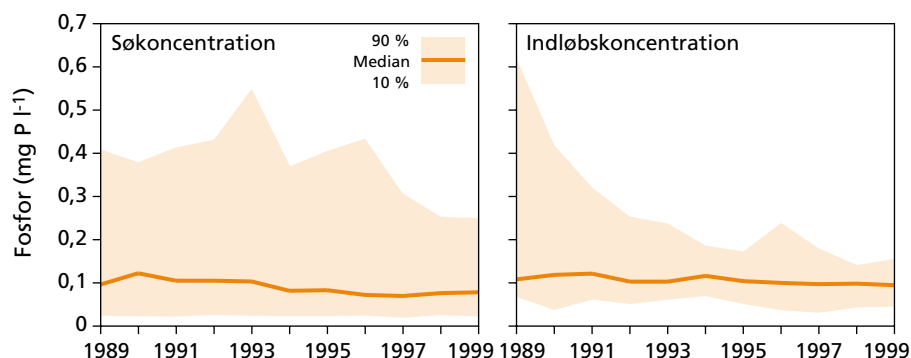
Koncentrationen af fosfor i de danske søer er faldet meget siden vi begyndte at rense spildevandet i 1970'erne (figur 10.11). Som det fremgår af figuren er der især blevet færre søer med meget høje fosforkoncentrationer ($> 400 \mu\text{g P l}^{-1}$). Antallet er i denne klasse faldet fra 11 i 1975-79 til kun en sø i 1995-2000. Der er tilsvarende sket en stigning fra 8 til 15 søer i klassen med det laveste fosforindhold ($< 100 \mu\text{g P l}^{-1}$). Desuden er der blevet flere søer med et fosforindhold på $100\text{--}200 \mu\text{g P l}^{-1}$ (figur 10.11).

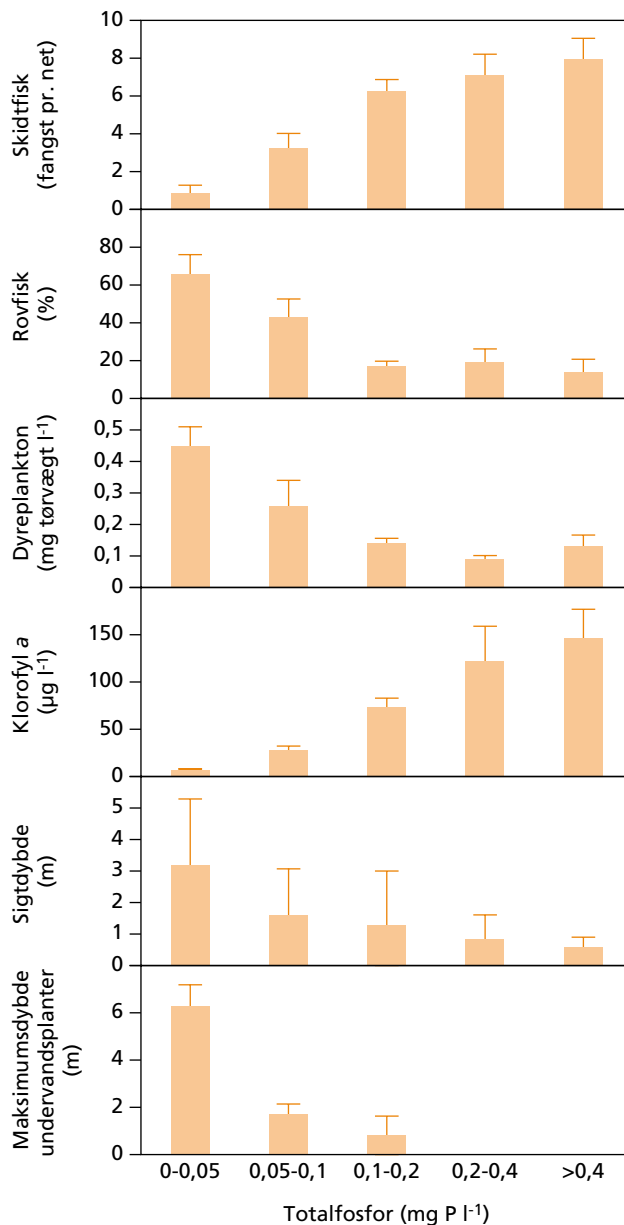
Siden 1989 er den årlige gennemsnitskoncentration af total fosfor i de 27 ferskvandssøer næsten halveret. Faldet er størst i enkelte spildevandspåvirkede søer, mens medianværdierne ikke er faldet meget (de dyrkningsbelastede søer) (figur 10.12). I 19 af de 27 søer kan der konstateres et signifikant fald i årsmiddelkoncentrationen af total fosfor. Fosforkoncentrationen i søerne er også faldet i 18 af de 19 søer, men faldet er mindre udpræget end for hele året hvilket kan tilskrives betydningen af den interne belastning. Faldet i søernes fosforindhold har været størst i de mest næringsrige søer og skyldes overvejende et fald i indløbskoncentrationen af fosfor (figur 10.12).

Figur 10.11 Ændring i 32 danske søers total fosfor koncentration i femårsperioder siden midten af 1970'erne. Søerne er grupperet i fire klasser efter deres fosforkoncentration i den enkelte periode.



Figur 10.12 Udvikling i den årlige mediankoncentration af total fosfor i 27 ferskvandssøer og i indløbskoncentrationen af fosfor til de samme søer i perioden 1989-99.





Figur 10.13 Fysiske og biologiske reaktioner på stigende fosforindhold i danske søer. Figuren viser hvad der sker med søernes biologiske struktur ved stigende fosforniveau.

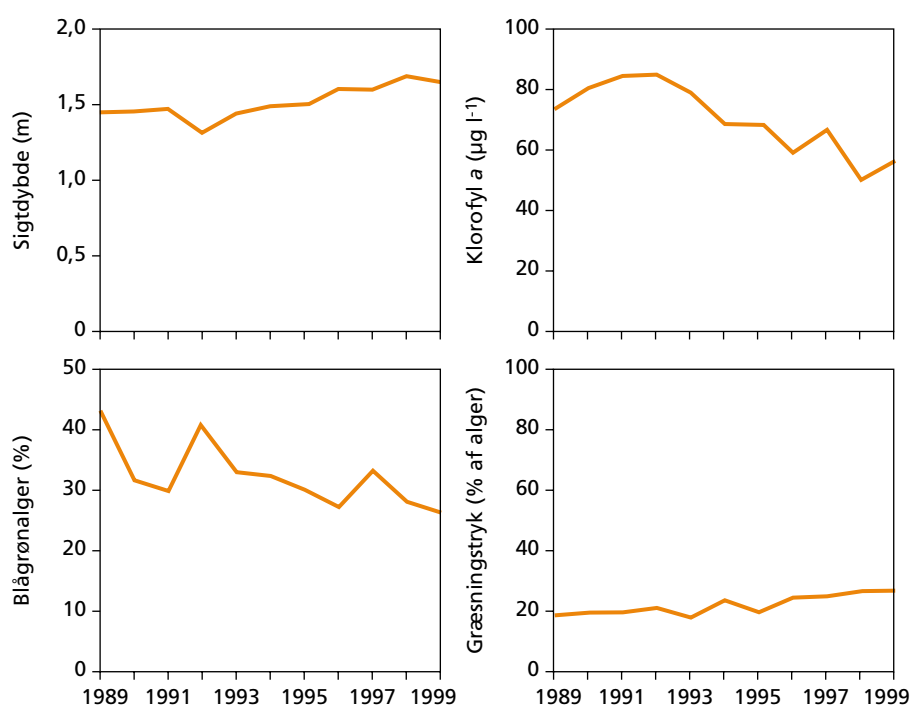
Fosfor er det begrænsende næringsstof for algevækst i søer

Fosfor er på trods af de generelt store reduktioner i fosforudledninger fra punktkilder stadigvæk det begrænsende næringsstof i langt de fleste danske søer. De fleste søer er nemlig økologisk set ude af balance på grund af de tidligere store fosforbelastninger. Det høje fosforindhold i søerne har bevirket en stor algevækst med deraf følgende lille lysnedtrængning i søvandet (lille sigtdybde). Herved er søernes planter blevet skygget væk. Bestanden af rovfisk (gedder og aborrer) der jager ved hjælp af synet, er gået tilbage og i stedet er bestanden af skidtfisk (skaller og brasen) gået frem. Skidtfiskene spiser dyreplankton og har derved en indirekte påvirkning på hele systemet idet dyreplankton græsser på algerne der således ikke kan holdes nede. Søen ender i en situation hvor den økologisk er ude af balance.

Søers reaktion på stigende fosforindhold er vist i figur 10.13 der er baseret på forholdene i overvågningssøerne. Ved stigende fosforindhold i søen stiger algemængden, sigtdybden falder, forholdet mellem biomassen af dyreplankton og alger falder, bestanden af skidtfisk stiger og bestanden af rovfisk falder.

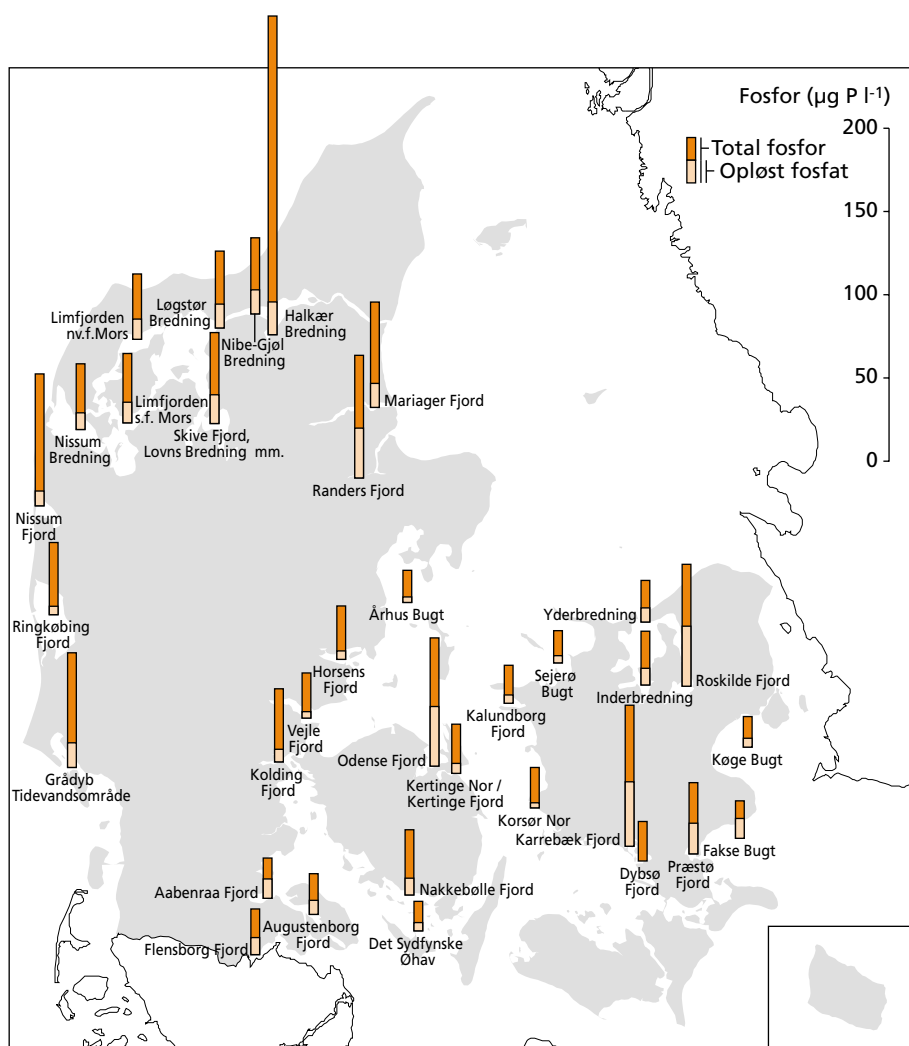
Den store reduktion i fosforindholdet i de 27 ferskvandssøer der er konstateret siden 1989 har også medført forbedringer i søernes økologiske tilstand (figur 10.14). Forbedringerne er især synlige hvad angår algemængden og sigtdybden. Der er også tegn på et fald i forekomsten af blågrønalger og tilsvarende svage tegn på stigning i i dyreplanktonets græsning på alger. Forbedringerne i søerne er dog ikke så store som det umiddelbart kunne forventes ved en halvering af fosforindholdet. Det skyldes både betydningen af den interne fosforfrigivelse fra søbunden og søernes ubalancen hvad angår fisk og undervandsplanter der medfører at søerne har svært ved at vende tilbage til situationen fra før de blev belastet med fosfor.

Figur 10.14 Den gennemsnitlige ændring i danske søers sigtdybde, algebiomasse (klorofyl a), blågrønalger og græsningstryk. Græsningstryk er et mål for hvor stor en andel af algerne dyreplankton spiser.



10.5 Fjorde

I overvågningsprogrammet indgår 6 typefjorde og 32 repræsentative områder i fjord- og kystområder. Fjordene er åbne systemer der både modtager vand og fosfor fra land og fra udvekslingen med de tilstødende marine vandmasser.



Figur 10.15 Den gennemsnitlige koncentration af total fosfor og opløst fosfat i danske fjorde i 1999.

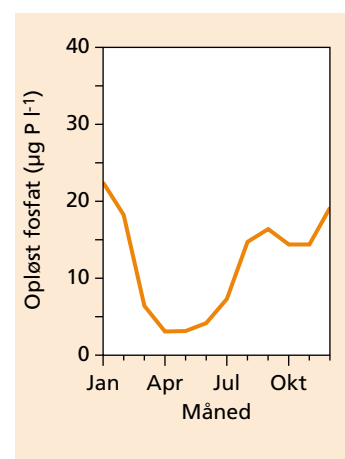
Fjordenes fosforindhold

Fosforindholdet i fjorde varierer meget fra fjord til fjord alt afhængig af fosforbelastningen af fjorden fra land og vandskiftet med de åbne vandområder (figur 10.15). Koncentrationen af opløst fosfat er eksempelvis høj i Roskilde Fjord der modtager en stor fosforbelastning fra land i forhold til fjordens areal og har et lille vandskifte. Derimod er koncentrationen af opløst fosfat lav i Limfjorden, Horsens Fjord og Ringkøbing Fjord som i forhold til deres areal er mindre fosforbelastet fra land og har et større vandskifte.

Generelt er der for de enkelte fjorde en sammenhæng mellem koncentrationen af opløst fosfat i fjorde og fosforbelastningen fra land.

Fjorde og kystvandes fosfordynamik

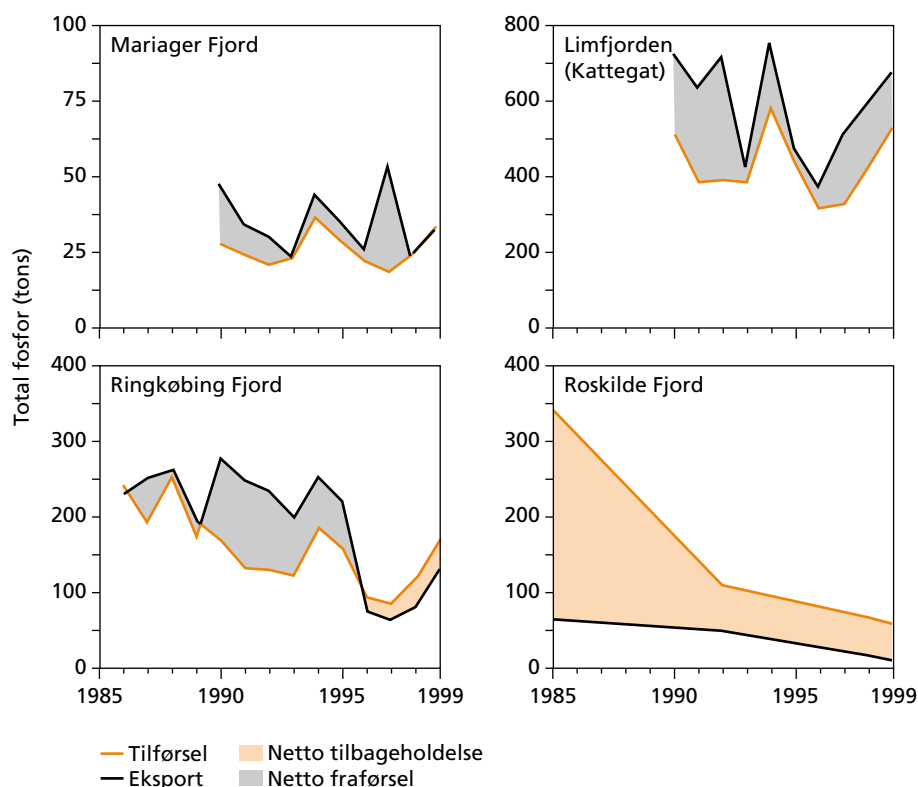
Fosforindholdet i fjorde varierer betydeligt henover året (figur 10.16). Koncentrationen af opløst fosfat er højest i det sene efterår hvor der sker en fosforfrigivelse fra fjordbunden og i vinterperioden hvor belastningen er størst fra land og hvor der ikke sker en optagelse af opløst fosfat i alger. Koncentrationen er mindst i foråret og sommeren hvor algeproduktionen optager opløst fosfat fra vandmasserne.



Figur 10.16 Månedsmiddel koncentrationen af opløst fosfat i danske fjorde og kystvande i perioden 1989-98.

Fjordene modtager fosfor fra land, men eksporterer også fosfor videre mod de åbne vandområder. I udvalgte fjorde er det muligt at opstille vand- og fosforbalancer. I årene før 1995 oversteg eksporten af fosfor til de åbne havområder tilførslen fra land i næsten alle fjorde (figur 10.17). Fraførslen af fosfor skyldes en frigivelse af opløst fosfat fra sedimentet i fjordene. Efter 1995 er der tegn på at fosforfrigivelsen fra sedimentet i fjorde er aftagende. Således er der i dag en nettotilbageholdelse af fosfor i fx Ringkøbing Fjord (figur 10.17).

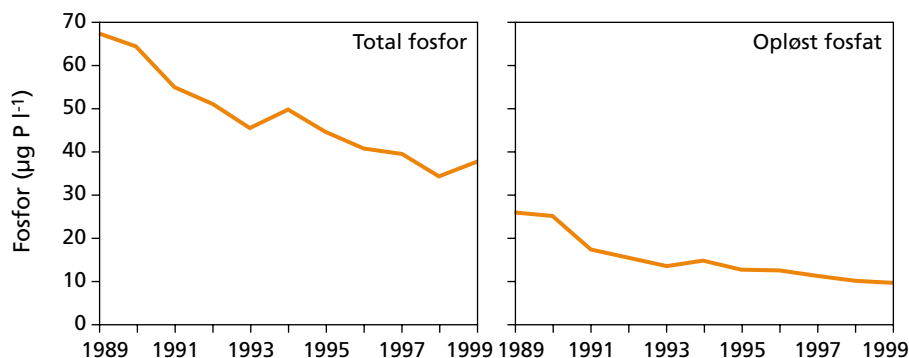
Figur 10.17 Tilførsel af fosfor fra land og eksport til de åbne havområder fra udvalgte danske fjorde.



Udvikling i fosforkoncentrationen i danske fjorde

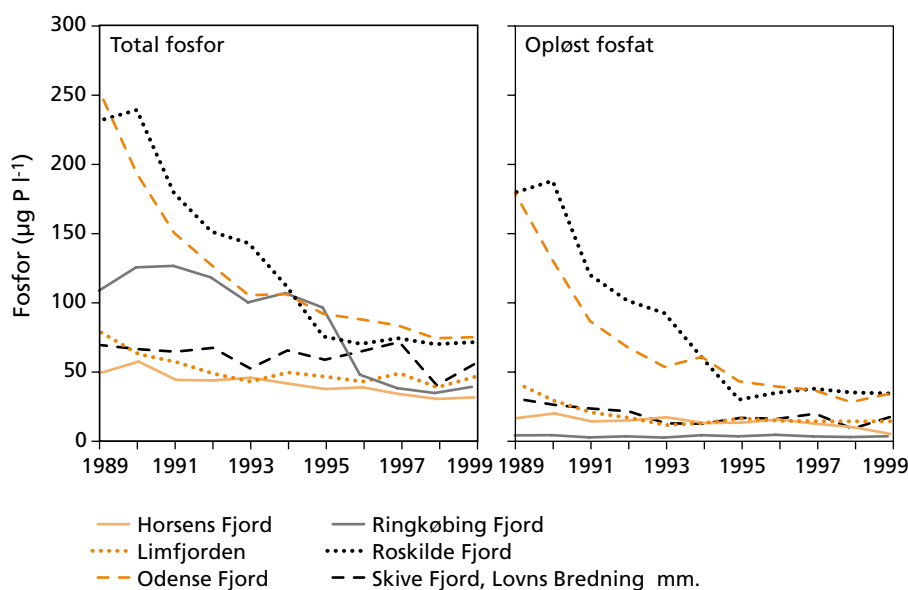
Indholdet af fosfor i fjorde er meget afhængig af belastningen fra land og dermed betydningen af udledninger fra punktkilder og diffuse kilder. På grund af reduktioner i fosforudledningerne fra specielt punktkilder er der konstateret et stort fald i fosforkoncentrationen i de fleste fjorde og kystnære vandområder siden 1989 (figur 10.18).

Figur 10.18 Årsmiddelkoncentrationer af total fosfor og opløst fosfat for alle fjord- og kystnære målestationer i NOVA-programmet.



Region	Antal stationer Total/opløst P	Total fosfor		Opløst fosfat	
		Stigning	Fald	Stigning	Fald
Vestjylland	7/6	2	5 (2)	3	3
Nordjylland	9/9	1	8 (5)	0	9 (6)
Østjylland	12/12	1	11 (6)	0	12 (4)
Fyn	8/8	0	8 (4)	0	8 (7)
Sjælland og øer	13/13	1	12 (9)	0	13 (9)

Tabel 10.6 Antal stationer med henholdsvis fald og stigning i koncentrationen af total fosfor og opløst fosfat om vinteren i fjorde og kystvande indenfor 5 regioner af Danmark. Tallene i parentes angiver antal målestationer med statistisk signifikant ændring.



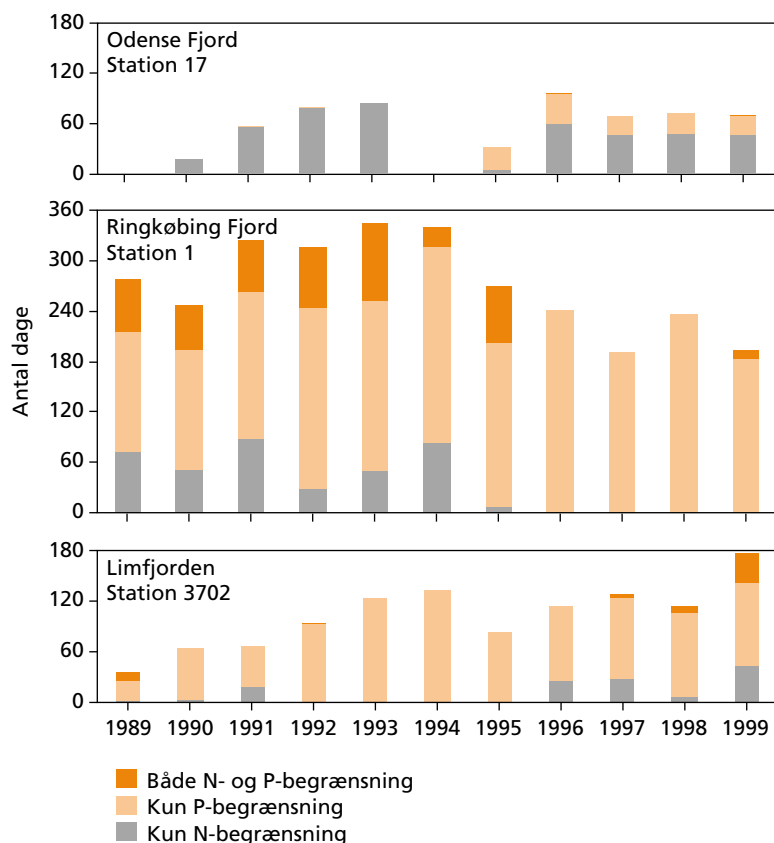
Figur 10.19 Udviklingen i koncentrationen af total fosfor og opløst fosfat i en række danske fjorde i perioden 1989-99.

Undtagen i Vestjylland udviser målestationer i danske fjorde og kystvande et signifikant fald i koncentrationen af total fosfor og opløst fosfat både vinter og sommer (tabel 10.6). Det manglende fald i de vestjyske fjorde og kystvande skyldes at der netop i dette område kun er konstateret et lille fald i fosforbelastningen på grund af dominans af diffuse fosforkilder (figur 10.19).

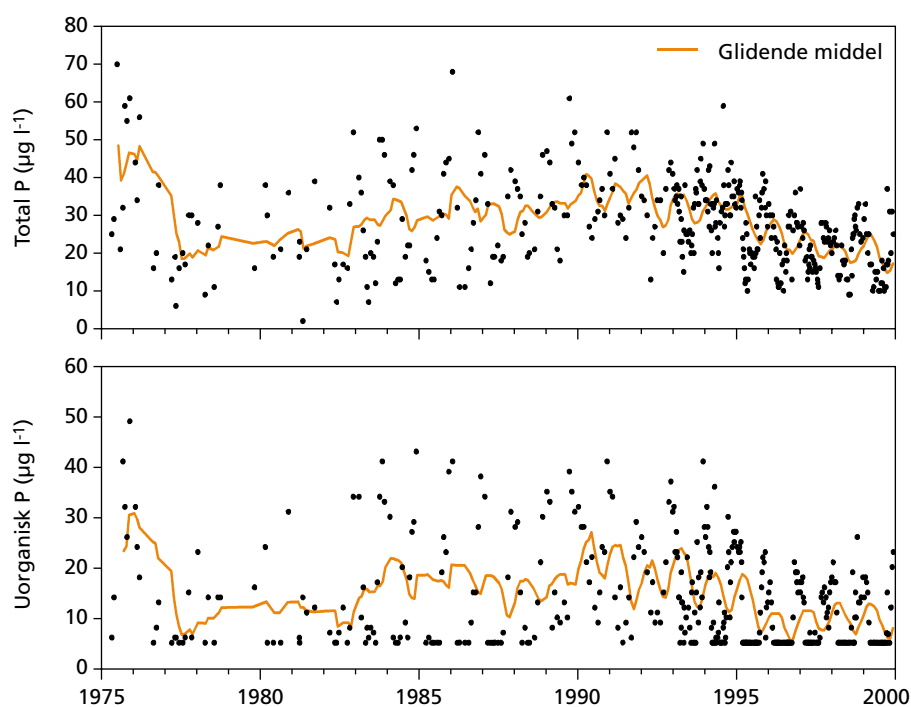
Fosfor kan være det begrænsende næringsstof for algevækst i fjorde

Et godt eksempel på at fosforindholdet er faldet i fjorde og kystvande er fra Odense Fjord. I fjorden er indholdet af opløst fosfat faldet meget siden 1989 på grund af den øgede spildevandsrensning (figur 10.19). Algevæksten i Odense Fjord var tilbage i tid kun begrænset af kvælstof. Det store fald i fosforkoncentrationen i Odense Fjord har medført en øgning i antallet af dage om året hvor algevæksten i fjorden er begrænset af fosfor (figur 10.20). Derimod er fosfor begrænsende for algevæksten i størstedelen af året i både Limfjorden og Ringkøbing Fjord.

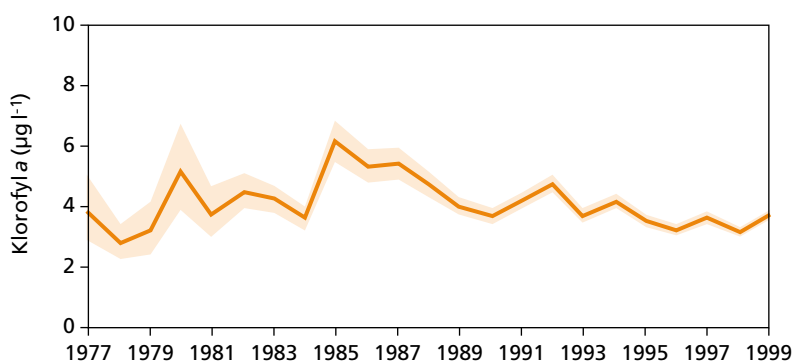
Figur 10.20 Antal dage med kvælstof og fosfor begrænsning for algevækst i Odense Fjord, Limfjorden og Ringkøbing Fjord.



Figur 10.21 Tidsserie af total fosfor og opløst fosfat ved en af Fyns Amts målestationer i Lillebælt. (Figur fra Fyns Amt, 2000).



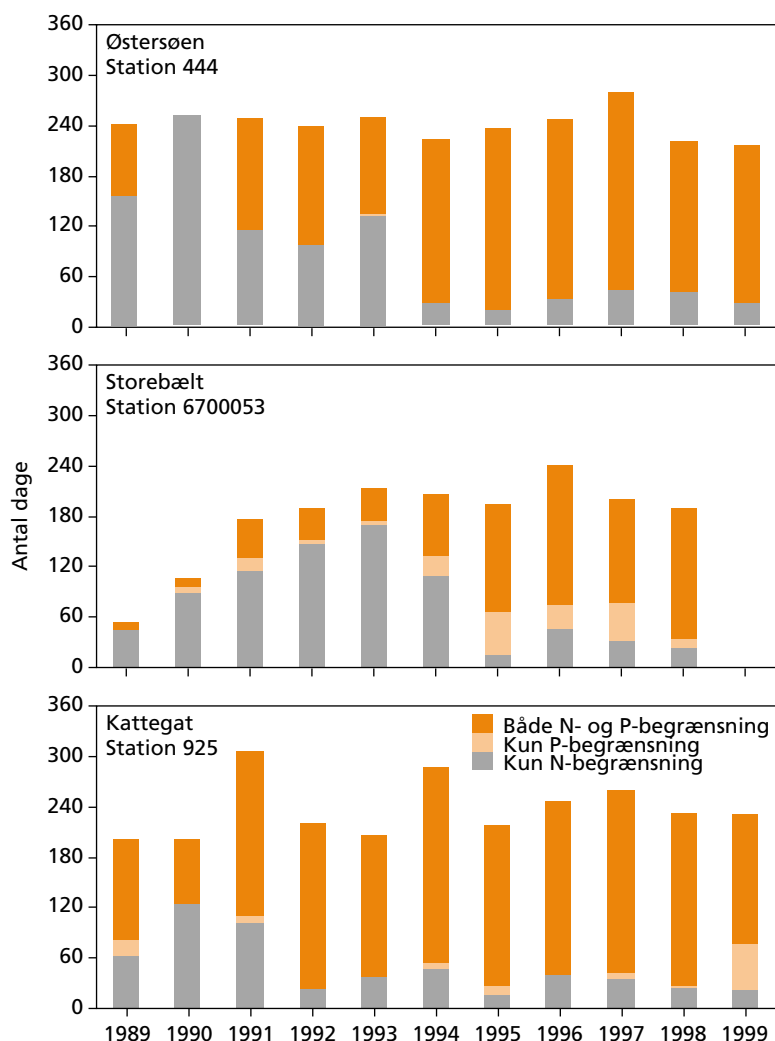
En længere tidsserie på en målestation i Lillebælt viser også tydeligt at der er sket et fald i fosforindholdet i kystvandene (figur 10.21). På samme målestation er der også tegn på forbedringer i sigtdybden. Generelt er der konstateret et fald i algebiomassen målt som klorofyl a i de fleste danske fjorde og kystvande siden midten af 1980'erne (figur 10.22).



Figur 10.22 Udviklingen i årsmiddelkoncentrationen af klorofyll a (algebiomasse) med angivelse af 95 % konfidensinterval for middelværdierne for danske fjorde og kystvande.

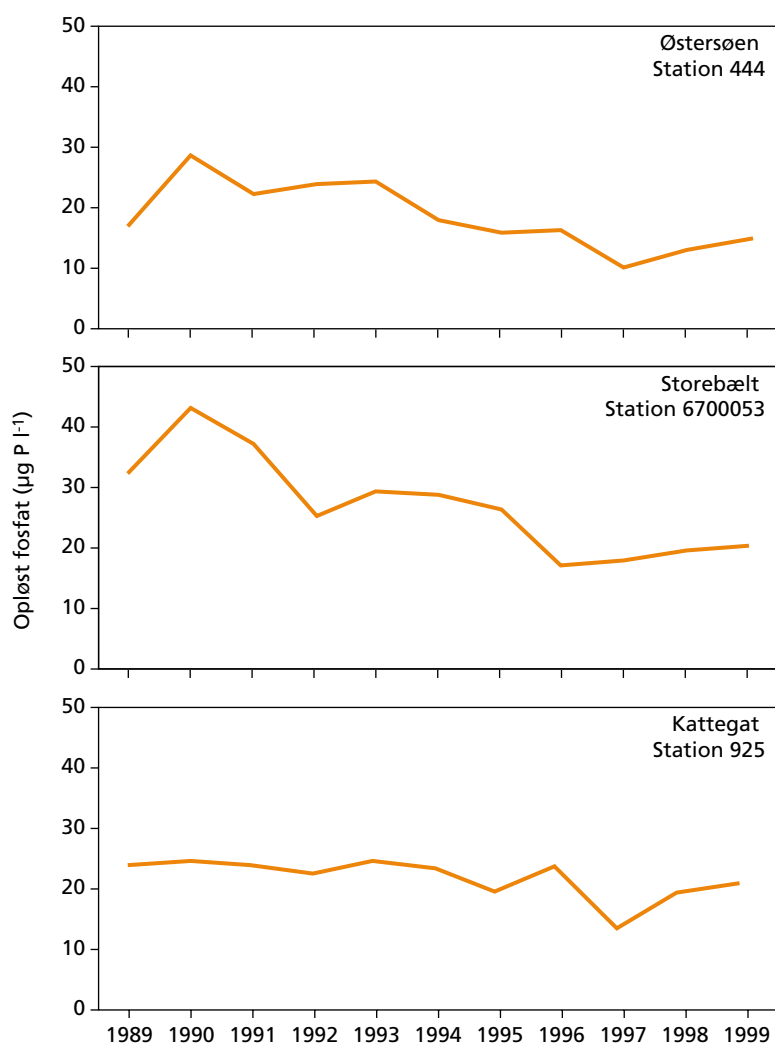
10.6 Åbne farvande

I modsætning til i fjorde er fosfor sjældent det næringsstof som alene begrænser algevæksten i åbne farvande og bælter (figur 10.23). Sammenlignes figur 10.20 med figur 10.23 ses det at kvælstof meget hyppigere begrænser algevæksten i åbne farvande og bælter end i fjorde og kystvande. I de fleste dage af året er det dog både kvælstof og fosfor der begrænser algevæksten i de åbne farvande (figur 10.23).



Figur 10.23 Antal dage med kvælstof- og fosforbegrænsning for algevækst ved forskellige målestationer i de åbne farvande.

Figur 10.24 Udviklingen i den årlige gennemsnitskoncentration af opløst fosfat ved målestationer i åbne farvandsområder.



Som i fjorde og kystvande er fosforkoncentrationen også faldet i de åbne farvande siden 1989 (figur 10.24). Faldet i fosfor er i vinterperioden signifikant i alle farvandsområder.

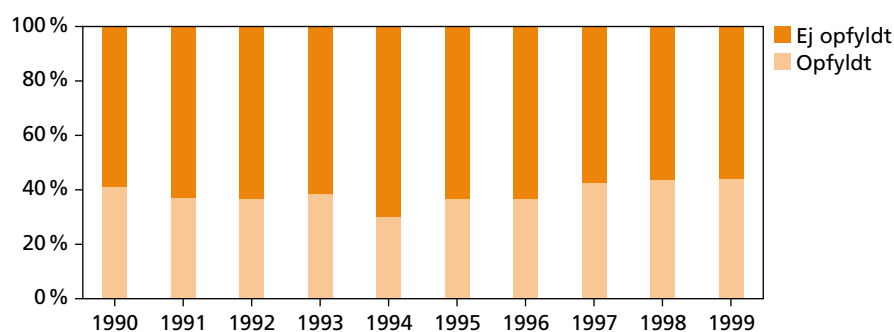
11 Målsætning og målsætningsopfyldelse i overfladevand

Jens P. Jensen
Brian Kronvang
Lisbeth Wiggers

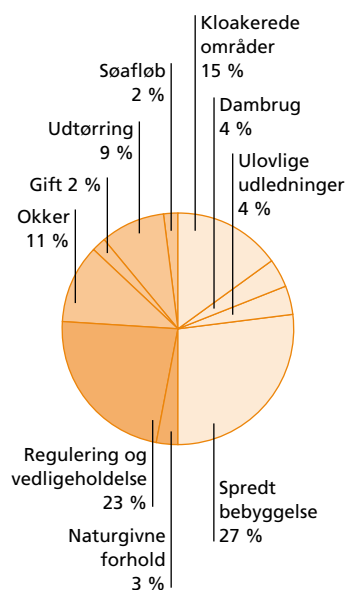
I de amtslige regionplaner er der fastsat målsætninger for vandløb, søer, fjorde og kystvande. Hvorvidt målsætningen er opfyldt eller ej kontrolleres af amterne i forbindelse med deres regionale tilsynsprogrammer. Typisk føres tilsynet sådan at amtet kontrollerer vandløbsstrækningen eller søen hvert tredje eller fjerde år. Hvis en målsætning ikke er opfyldt skal amtet i planlægningen arbejde frem mod at målsætningen kan opfyldes. Det kræver en viden om hvad årsagen eller årsagerne er til den manglende målsætningsopfyldelse. Det næste skridt i udarbejdelsen af en indsatsplan vil så være at gennemføre konsekvensberegninger af effekterne af forskellige indgreb. Sådanne konsekvensberegninger kan gennemføres i form af scenarier hvor der anvendes mere eller mindre komplekse modeller. I de følgende afsnit gennemgås målsætningsopfyldelsen i de danske vandløb, søer og fjorde i perioden 1990-99. Desuden gennemføres der scenarier til belysning af effekterne af at ændre på fosforbelastningen.

11.1 Vandløb

I amternes regionplaner er der fastsat målsætninger for ca. 24.000 km vandløb. I 1999 blev der ført tilsyn med ca. 4.800 vandløbsstationer ud af et samlet antal på ca. 12.000 stationer. Den fastsatte målsætning var i 1999 opfyldt i ca. 43 % af vandløbene (figur 11.1). Målsætningsopfyldelsen har dermed ikke ændret sig væsentligt i de 10 år fra 1990 til 1999 (figur 11.1). Den manglende målsætningsopfyldelse er især knyttet til de mindre vandløb og her især vandløb på Øerne. Årsagerne til den manglende målsætningsopfyldelse er ikke i første række en for stor fosforbelastning selvom denne også har betydning for tilstanden i form af væksten af bundlevende alger. Derimod er det en hel række af påvirkninger i form af for lidt vand, dårlige fysiske forhold, organisk stofbelastning, miljøfremmede stoffer mv. der har betydning. I en



Figur 11.1 Udviklingen i vandløbenes målsætningsopfyldelse i perioden 1990-99.



Figur 11.2 De mangeartede årsager til den manglende målsætningsopfyldelse i vandløb.

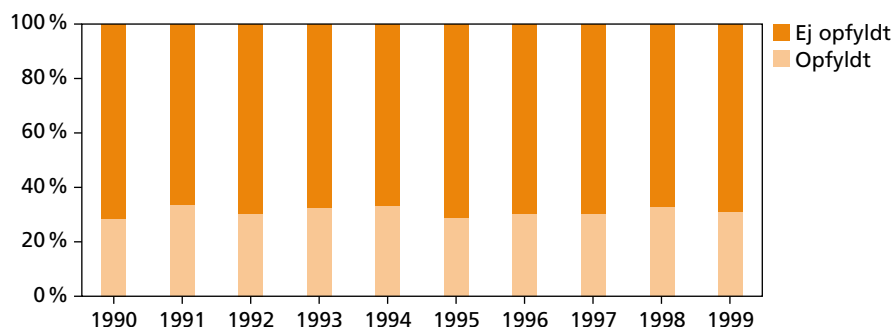
opgørelse fra 1997 har amterne fastslået hovedårsagerne til den manglende målsætningsopfyldelse i 12.000 km vandløb (figur 11.2). Opgørelsen viser at det både er udledninger af organisk stof med spildevand, fysiske påvirkninger og udtørring, giftpåvirkning mv. der har betydning for om målsætningen er opfyldt eller ej.

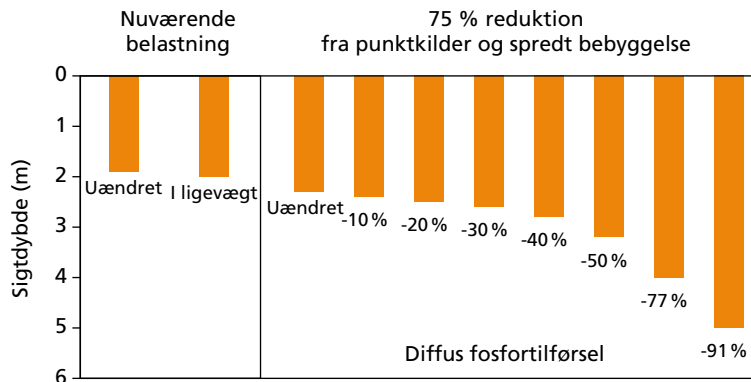
11.2 Søer

I naturbeskyttelsesloven er en sø beskyttet hvis den er større end 100 m². I Danmark findes ca. 120.000 beskyttede søer. Langt de fleste af disse er damme og småsøer og kun godt 2 % er større end 1 ha (10.000 m²). I Danmark er der ca. 700 målsatte søer hvoraf der i 1999 blev ført tilsyn med ca. 230 søer. Tilsynet viste at ca. 30 % af de undersøgte søer opfyldte den fastsatte målsætning (figur 11.3). Dermed er der ikke sket væsentlige ændringer i målsætningsopfyldelsen siden 1990 (figur 11.3).

I de fleste søer er det fosforbelastningen som er hovedårsag til den manglende opfyldelse af målsætningen. Det er derfor vigtigt i forbindelse med udarbejdelse af indsatsplaner at undersøge hvilke kilder der er til fosforbelastningen samt effekterne af at begrænse fosforbelastningen til søer. Et sådan analyse er gennemført for de 27 ferskvandssøer i overvågningsprogrammet (NOVA). Udgangspunktet for analysen er tilstanden i søerne i 1999 hvor den gennemsnitlige sigtddybde om sommeren var på 1,9 m (figur 11.4). I ligevægt, dvs. uden frigivelse af gammelt fosfor fra søbunden, ville de samme søer have en lidt større sigtddybde på 2,0 m. En fjernelse af 75 % af den eksisterende tilledning af fosfor fra punktkilder og spredt bebyggelse vil kun hæve sigtddybden i søerne fra i gennemsnit 2,0 m til 2,3 m (figur 11.4). Dette er ikke nok til at nå de fastsatte målsætninger. Herefter er det kun muligt at ændre på den diffuse belastning fra det åbne land (landbrugsarealer). Ændringerne i sigtddybde ved reduktioner i den diffuse fosforbelastning er ikke lineær. I stedet forbedres sigtddybden hurtigere og hurtigere ved øgede reduktioner fosforbelastningen (figur 11.4). Først ved en reduktion af den diffuse fosfortilførsel til søerne med 50 % vil målsætningerne generelt kunne nås. En så stor nedgang i den diffuse belastning kræver en markant reduktion i fosfortabet fra landbruget. Det vil indebære at det fosforoverskud der er i dag reduceres og at der lokalt iværksættes andre foranstaltninger til at nedbringe fosfortabet fra dyrkede arealer.

Figur 11.3 Udviklingen i søernes målsætningsopfyldelse i perioden 1990-99.





Figur 11.4 Effekt af handleplaner til reduktion af fosfortilførslen til søer gennemført som scenarier med udgangspunkt for 27 ferskvandssøer i overvågningsprogrammet.

11.3 Fjorde

De fleste fjorde og kystvande lever ikke på til de fastsatte mål for den ønskede vandkvalitet. Ud af 40 fjorde og kystvande opfyldes den ønskede målsætning kun helt i 4 områder og delvist i 2. I langt de fleste tilfælde er årsagen til manglende målsætningsopfyldelse en for stor tilførsel af kvælstof og fosfor. I enkelte områder spiller andre faktorer som miljøfremmede stoffer dog også en rolle for den manglende målsætningsopfyldelse.

Mariager Fjord er et eksempel på en fjord, hvor miljøtilstanden ikke i dag lever op til den målsætning, der er for fjorden. Inderfjorden har en generel basismålsætning, som blandt andet betyder, at sommersigtdybden skal være minimum 4 meter. Sammenhængen mellem næringsstofftilførsel og mængden af planteplankton viser, at både kvælstof og fosfortilførslen skal reduceres, hvis målsætningen skal opfyldes. Frigivelse af fosfor fra bunden og udveksling med Kattegat har lille kvantitativ betydning for fjordens fosforindhold. Hvis der skal nås en god miljømæssig tilstand, skal tilførslen fra oplandet derfor reduceres. For fosfor er det fundet, at der i et nedbørmæssigt normalt år skal ske en reduktion på 25-30 % i tilførslen.

Tilførslen af fosfor fra spildevandsanlæg og dambrug til Mariager Fjord er fra slutningen af 70'erne til i dag reduceret med omkring 80 %. Det samlede punktkildebidrag udgør i dag omkring 1/3 af tilførslen til fjorden, og det vil ikke være muligt at finde den reduktion, som der skal til for at nå målsætningen for fjorden, alene ved at reducere på bidraget fra punktkilder. Også landbrugets fosforbidrag skal reduceres.

I fjordens opland er den overfladiske afstrømning eller afstrømning gennem dræn lille, fordi størstedelen af vandet siver til grundvandet. Erosion af marker, brinker og vandløbsbund er derfor mindre end i mange andre oplande. Partikelbundet fosfor udgør kun en tredjedel til halvdelen af transporten i vandløbene til fjorden og spiller derfor en mindre rolle end den opløste fosfor.

Målinger i kilder og vandløb i oplandet viser blandt andet en sammenhæng mellem indholdet af opløst fosfor og nitrat – en indikation på, at den opløste fosfor tildels stammer fra landbruget (Wiggers, 2001). Dette peger på at der sker en udvaskning af fosfor fra rodzonen, som i dette sandede opland, når frem til kilder og vandløb.

Der sker i dag en stor nettotilførsel af fosfor til landbrugsjorden i oplandet til Mariager Fjord. Selvom husdyrgødningen blev fordelt fuldstændig jævnt, og der ikke blev tilført fosfor med handelsgødning, ville der være et fosforoverskud i oplandet. Jordens fosformætning vil derfor fortsat stige med den nuværende husdyrmængde og landbrugspraksis. Man må derfor forvente, at udvaskningen af fosfor vil stige med tiden.

Den diffuse fosfortilførsel kan reduceres dels ved at sætte ind over for den fosfortilførsel, der kommer via erosion til fjorden og dels ved at reducere risikoen for udvaskning fra oplandet. En reduktion af udvaskningsrisikoen forudsætter, at fosfortilførslen til landbrugsjorden i oplandet reduceres, så tilførslen maksimalt svarer til fraførslen. Med de nuværende harmonikrav og fosforindhold i gylle svarer dette til en maximal tilførsel af gylle fra 0,9 DE svin eller 1,0 DE kvæg pr. ha. På marker, der i dag har et højt fosfortal, bør tilførslen være mindre end fraførslen. Ved at minimere forbruget af fosfor i handelsgødning og fordele husdyrgødningen optimalt, kan der nås et stykke af vejen. Da der er et fosforoverskud i oplandet beregnet alene ud fra husdyrgødning, skal fosformængden herfra dog reduceres yderligere. For svin vil anvendelse af fytase i foderet kunne nedsætte fosforindholdet i gyllen. For at opnå fosforbalance, kan det herudover være nødvendigt at reducere mængden af husdyr eller alternativt at lave gylleseparering og efterfølgende eksportere fosfor fra gyllen ud af oplandet.

Referencer

- Borggaard, O.K., Møberg, J.P. og Sibbesen, E. (1991)
Indhold og mobilitet af fosfor i jord. I: Frier, J.O. & Christensen, J.F. (Eds)
Kvælstof, fosfor og organisk stof i jord- og vandmiljøet. Rapport fra konsensuskonference 31. januar - 4. februar 1991. København, Undervisningsministeriet Forskningsafdelingen.
- Fyns amt (2000)
Status over 25 års indsats og resultater. Fyns amt, December 2000, 144 s.
- Grant, R., Blicher-Mathiesen, G., Jørgensen, J.O., Kloppenborg-Skrumsager, B., Kronvang, B., Jensen, P.G., Pedersen, M. & Rasmussen, P. (2000)
Landovervågningsoplande 1999. NOVA 2003. Dan-marks Miljøundersøgelser. 150 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 334.
- Hasholt, B., Madsen, H.B., Kuhlman, H., Hansen, A. og Platou, S.W. (1990)
Erosion og transport af fosfor til vandløb og søer. Miljøstyrelsens NPO-program Nr. C12, Miljøstyrelsen, København, 120 s.
- Heckrath, G., Brookes, P.C., Poulton, P.R. and Goulding, K.W.T. (1995)
Phosphorus leaching from soils containing different phosphorus concentrations in the Broadbalk experiment. J. Environ. Qual. 24, 904-910.
- Heckrath, G., Grant, R., Laubel, A. og Jensen, M.B. (2000)
Nedvaskning af fosfor. I: Jacobsen, O.H. & Kronvang, B. (Eds) Tab af fosfor fra landbrugsjord til vandmiljøet. DJF rapport Nr. 34 - Markbrug, Danmarks JordbrugsForskning, 31-44.
- Johnston, A.E. and Poulton, P.R. (1997)
Defining critical levels of available soil phosphorus for agricultural crops. In: Tunney, H., Carton, O.T., Brookes, P.C. and Johnston, A.E. (Eds) Phosphorus loss from soil to water, CAB International.
- Kjeldsen, K. (1998)
Regulation of benthic algal biomass in streams. PhD-thesis 1998, Danmarks Miljøundersøgelser, Silkeborg, 75 s.
- Knudsen, L. (2000)
Fosforproblematikken set ud fra et landbrugsmæssigt synspunkt. I: Jacobsen, O.H. & Kronvang, B. (Eds) Tab af fosfor fra landbrugsjord til vandmiljøet. DJF rapport Nr. 34 - Markbrug, Danmarks JordbrugsForskning, 89-95.

- Kronvang, B., Laubel, A. and Grant, R. (1997)
Suspended sediment and particulate phosphorus transport and delivery pathways in an arable catchment, Gelbæk stream, Denmark. *Hydrological Processes* 11, 627-642.
- Kronvang, B., Hansen, B., Hald, A.B., Laubel, A. og Olsen, P. (2000)
Jorderosion og bræmmer i landskabet. *Vand og Jord* 7(1), 20-27.
- Landsudvalget for Planteavl (flere årgange)
Oversigt over Landsforsøgene - forsøg og undersøgelser i de landøkonomiske foreninger, Landsudvalget for Planteavl, Skejby, Århus.
- Laubel, A., Svendsen, L.M., Kronvang, B. and Larsen, S.E. (1999)
Bank erosion in a Danish lowland stream system. *Hydrobiologia* 410, 279-285.
- Miljøstyrelsen (1984)
NPO-redegørelsen, Miljøstyrelsen.
- Miljøstyrelsen (1988)
Fosfor – kilder og virkninger. Redegørelse fra Miljøstyrelsen Nr. 2, 118 s.
- Miljøstyrelsen (1994)
Punktkilder 1993. Orientering fra Miljøstyrelsen Nr. 8, 131 s.
- Munkholm, L.J. og Sibbesen, E. (1997)
Tab af fosfor fra landbrugsjord. Nyhedsbrev fra Det Strategiske Miljøforskningsprogram, Nr. 30, juli 1997.
- Ovesen, N.B, Iversen, H.L., Larsen, S.E., Müller-Wohlfeil, D.-I., Svendsen, L.M., Blicher, A.S. & Jensen, P.M. (2000)
Afstrømningsforhold i danske vandløb, 238 s. Danmarks Miljøundersøgelser, Teknisk rapport nr. 340.
- Rubæk, G.H., Djurhuus, J., Heckrath, G., Olesen, S.E. og Østergaard, H.S. (2000)
Er danske jorde mættede med fosfor ? I: Jacobsen, O.H. & Kronvang, B. (Eds) Tab af fosfor fra landbrugsjord til vandmiljøet. DJF rapport Nr. 34 - Markbrug, Danmarks JordbrugsForskning, 17-30.
- Skjern Å-arbejdsgruppen (1988)
Forslag til projekter til forbedring af natur- og miljøforholdene i Skjern Å systemet og Rinkjøbing Fjord. 28 s.
- Skov- og Naturstyrelsen (1987)
En foreløbig kortlægning af tørlagte søer og fjorde i Danmark. Marginaljorder og miljøinteresser, Miljøministeriets projektundersøgelser 1986, Teknisk rapport nr. 34.
- Wiggers, L. (2001)
Fosfor – grænsen er nået. *Vand & Jord*, 8. årgang, nr. 3, september 2001, s. 99-101.

Danmarks Miljøundersøgelser

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

Henvendelser kan rettes til:

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

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

Direktion og Sekretariat
Forsknings- og Udviklingssektion
Afd. for Atmosfærisk Miljø
Afd. for Havmiljø
Afd. for Mikrobiel Økologi og Bioteknologi
Afd. for Miljøkemi
Afd. for Systemanalyse
Afd. for Arktisk Miljø

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

Overvågningssektionen
Afd. for Sø- og Fjordøkologi
Afd. for Terrestrisk Økologi
Afd. for Vandløbsøkologi

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

Afd. for Landskabsøkologi
Afd. for Kystzoneøkologi

Publikationer:

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

I årsberetningen findes en oversigt over det pågældende års publikationer.

Faglige rapporter fra DMU/NERI Technical Reports

- Nr. 349: Flora and fauna in Roundup tolerant fodder beet fields. By Elmegaard, N. & Bruus Pedersen, M. 37 pp., 50,00 DKK.
- Nr. 350: Overvågning af fugle, sæler og planter 1999-2000 med resultater fra feltstationerne. Af Laursen, K. (red.). 103 s., 80,00 kr.
- Nr. 351: PSSD – Planning System for Sustainable Development. A Methodical Report. By Hansen, H.S (ed.) 110 pp. (electronic)
- Nr. 352: Naturkvalitet på stenrev. Hvilke indikatorer kan vi bruge? Af Dahl, K. et al. 128 s., 140,00 kr.
- Nr. 353: Ammoniakemission fra landbruget siden midten af 80'erne. Af Andersen, J.M. et al. 45 s., 50,00 kr.
- Nr. 354: Phthalates, Nonylphenols and LAS in Roskilde Wastewater Treatment Plant. Fate Modelling Based on Measured Concentrations in Wastewater and Sludge. By Fauser, P. et al. 103 pp., 75,00 DKK.
- Nr. 355: Veststadil Fjord før og efter vandstandshævning. Af Søndergaard, M. et al. 54 s. (elektronisk)
- Nr. 356: Landsdækkende optælling af vandfugle, vinteren 1999/2000. Af Pihl, S., Petersen, I.K., Hounisen, J.P. & Laubek, B. 46 s., 60,00 kr.
- Nr. 357: The Danish Air Quality Monitoring Programme. Annual report for 1999. By Kemp, K. & Palmgren, F. 74 pp. (electronic)
- Nr. 358: Partikelfiltre på tunge køretøjer i Danmark. Luftkvalitets- og sundhedsvurdering. Af Palmgren, F. et al. (Foreløbig elektronisk udgave)
- Nr. 359: Forekomst af "afvigende" isbjørne i Østgrønland. En interviewundersøgelse 1999. Af Dietz, R., Sonne-Hansen, C., Born, E.W., Sandell, H.T. & Sandell, B. 50 s., 65,00 kr.
- Nr. 360: Theoretical Evaluation of the Sediment / Water Exchange Description in Generic Compartment Models (Simple Box). By Sørensen, P.B., Fauser, P., Carlsen, L. & Vikelsøe, J. 58 pp., 80,00 DKK.
- Nr. 361: Modelling Analysis of Sewage Sludge Amended Soil. By Sørensen, P., Carlsen, L., Vikelsøe, J. & Rasmussen, A.G. 38 pp., 75,00 DKK.
- Nr. 362: Aquatic Environment 2000. Status and Trends – Technical Summary. By Svendsen, L.M. et. al. 66 pp., 75,00 DDK.
- Nr. 363: Regulering på jagt af vandfugle i kystzonen. Forsøg med døgnregulering i Østvendssyssel. Af Bregnballe, T. et al. 104 s., 100,00 kr.
- Nr. 364: Vingeindsamling fra jagtsæsonen 2000/2001 i Danmark. Wing Survey from the 2000/2001 Hunting Season in Denmark. Af Clausager, I. 53 s., 45,00 kr.
- Nr. 365: Habitat and Species Covered by the EEC Habitats Directive. A Preliminary Assessment of Distribution and Conservation Status in Denmark. By Pihl, S. et al. 121 pp. (electronic)
- Nr. 366: On the Fate of Xenobiotics. The Roskilde Region as Case Story. By Carlsen, L. et al. (in press)
- Nr. 367: Anskydning af vildt. Status for undersøgelser 2001. Af Noer, H. et al. 43 s., 60,00 kr.
- Nr. 368: The Ramsar Sites of Disko, West Greenland. A Survey in July 2001. By Egevang, C. & Boertmann, D. (in press)
- Nr. 369: Typeinddeling og kvalitetselementer for marine områder i Danmark. Af Nielsen, K., Sømod, B. & Christiansen, T. 105 s. (elektronisk).
- Nr. 370: Offshore Seabird Distributions during Summer and Autumn at West Greenland. Ship Based Surveys 1977 and 1992-2000. By Boertmann, D. & Mosbech, A. 57 pp. (electronic)
- Nr. 371: Control of Pesticides 2000. Chemical Substances and Chemical Preparations. By Krongaard, T., Petersen, K.K. & Christoffersen, C. 28 pp., 50,00 DKK
- Nr. 372: Det lysåbne landskab. Af Ellemann, L., Ejrnæs, R., Reddersen, J. & Fredshavn, J. 110 s., 120,00 kr.
- Nr. 373: Analytical Chemical Control of Phthalates in Toys. Analytical Chemical Control of Chemical Substances and Products. By Rastogi, S.C. & Worsøe, I.M. (in press)
- Nr. 374: Atmosfærisk deposition 2000. NOVA 2003. Af Ellermann, T. et al. (elektronisk primo december 2001)
- Nr. 375: Marine områder 2000 – Miljøtilstand og udvikling. NOVA 2003. Af Henriksen, P. et al. (elektronisk primo december 2001)
- Nr. 376: Landovervågningsoplande 2000. NOVA 2003. Af Grant, R. et al. (elektronisk primo december 2001)
- Nr. 377: Søer 2000. NOVA 2003. Af Jensen, J.P. et al. (elektronisk primo december 2001)
- Nr. 378: Vandløb og kilder. NOVA 2000. Af Bøgestrand, J. (red.) (elektronisk primo december 2001)
- Nr. 379: Vandmiljø 2001. Tilstand og udvikling – faglig sammenfatning. Af Boutrup, S. et al. (i trykken)
- Nr. 380: Fosfor i jord og vand – udvikling, status og perspektiver. Kronvang, B. (red.) (i trykken)
- Nr. 381: Satellitsporing af kongeederfugl i Vestgrønland. Identifikation af raste- og overvintringsområder. Af Mosbech, A., Merkel, F., Flagstad, A. & Grøndahl, L. (i trykken)