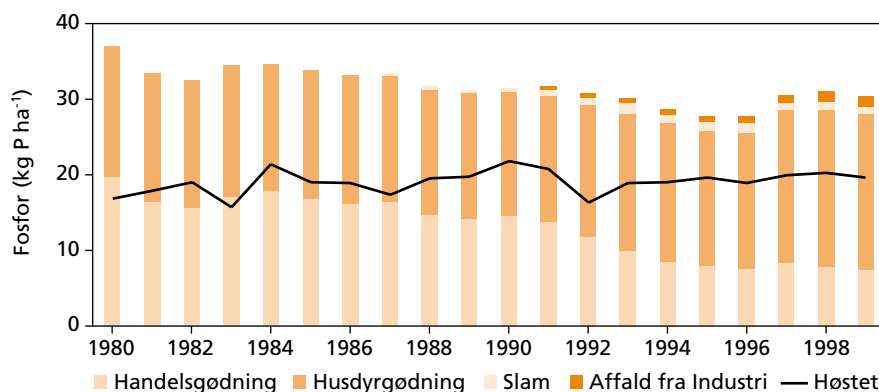


7 Landbrugets fosforhusholdning og tab af fosfor fra landbrugsjord

Jørgen O. Jørgensen
Brian Kronvang
Irene Paulsen

7.1 Fosforbalancer i dansk landbrug

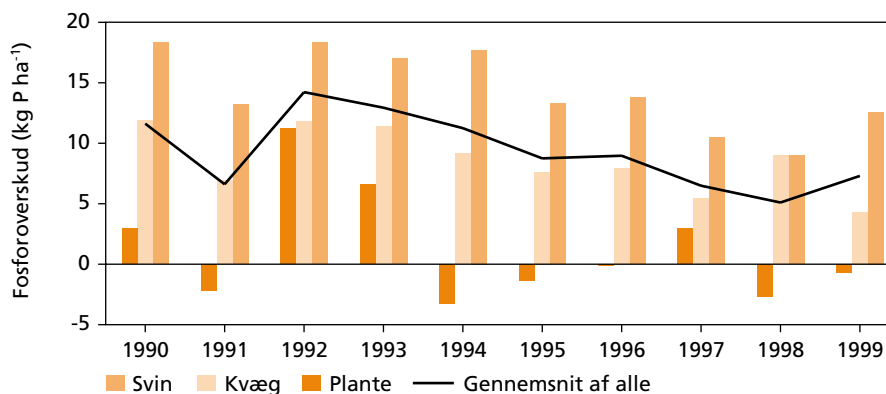
Landbrugets fosforbalance kan opstilles på baggrund af en landsdækkende statistik over de forbrugte mængder af fosfor og de fosformængder der fjernes med afgrøderne. Tilførsel af fosfor til markerne består af handelsgødning, husdyrgødning, slam fra renseanlæg og affald fra industrier (figur 7.1). Den 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

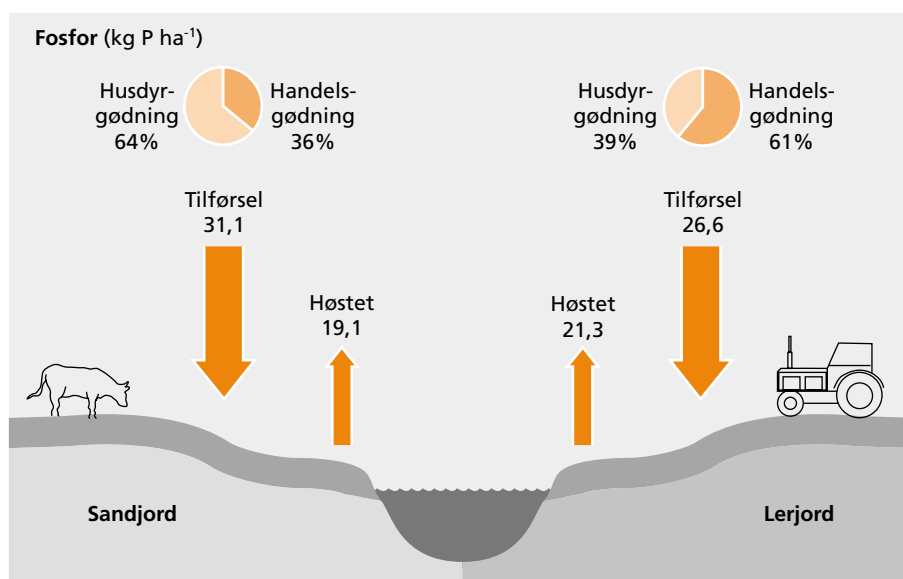
Figur 7.2 Fosforbalancen for tre hovedbedriftstyper i dansk landbrug i perioden 1990-99.



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.

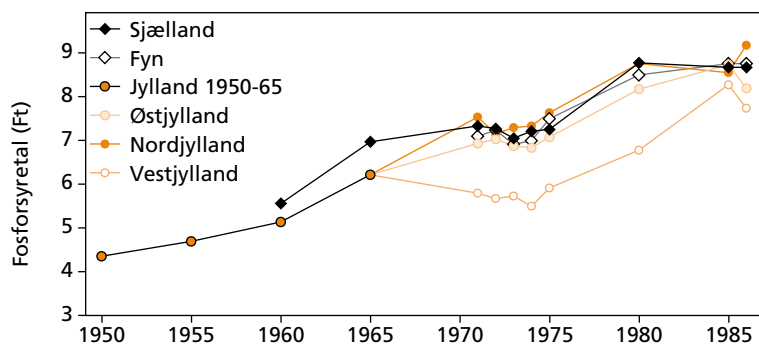
Figur 7.3 Gennemsnitlig årlig fosforbalance for 54 bedrifter i to sandede jyske oplande og 113 bedrifter i fire oplande i Jylland, på Fyn og på Sjælland med lerjorder i perioden 1989-99.



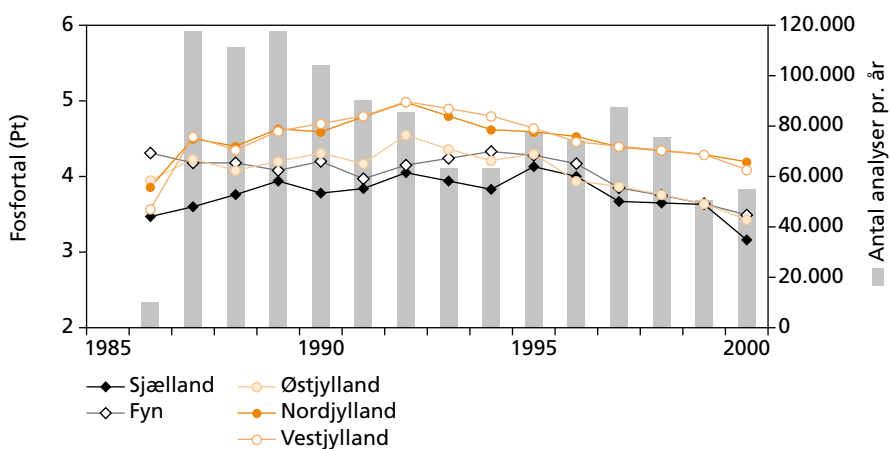
7.2 Fosforstatus i landbrugsjord

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.

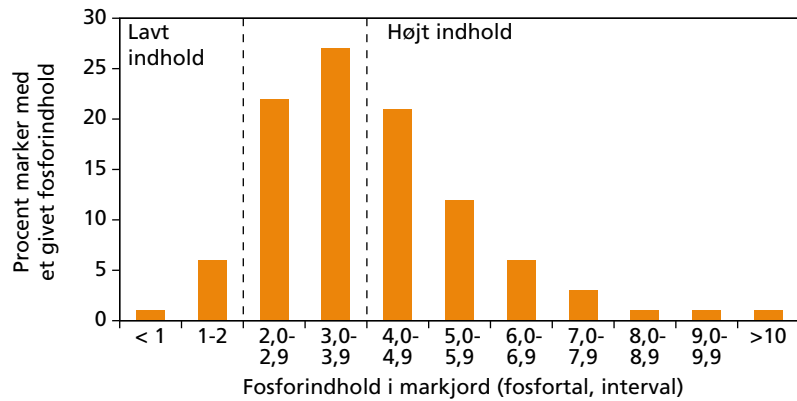


Figur 7.4 Ændring i landbrugsjordens fosforstatus (fosforsyretilstand) fra 1950 til 1986 i forskellige regioner af Danmark (efter Landsudvalget for Planlægning, flere årgange).



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).

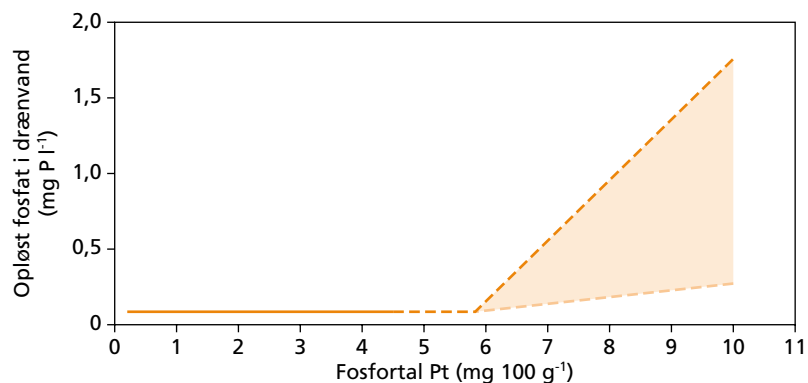
	Ændring i total fosfor koncentrationen i landbrugsjorden	Svarende til en årlig nettotilførsel af fosfor
0-25 cm's dybde	34 mg P kg ⁻¹ jord	11,6 kg P ha ⁻¹ år ⁻¹
25-50 cm's dybde	39 mg P kg ⁻¹ jord	13,4 kg P ha ⁻¹ år ⁻¹

7.3 Fosfortab fra landbrugsjord til vandmiljøet

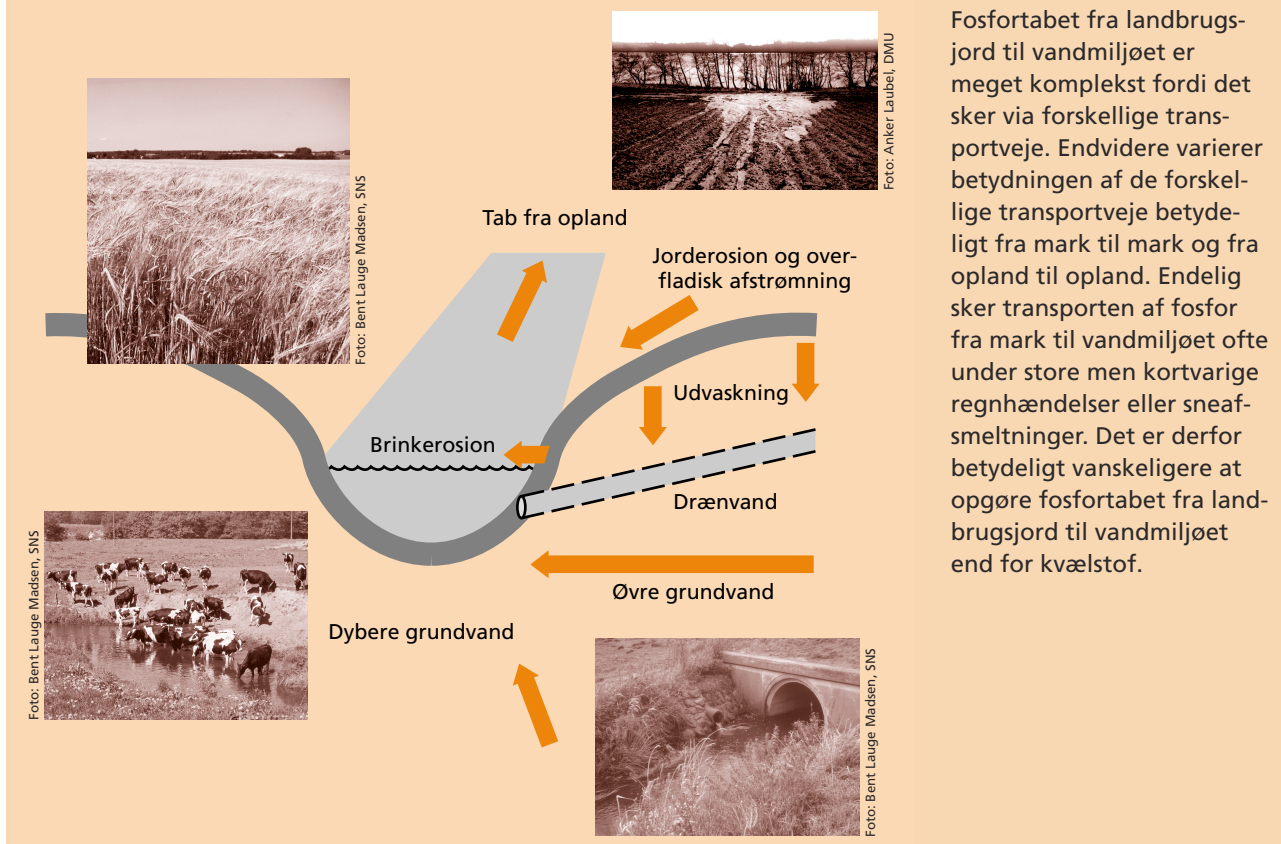
Fosfor nedvaskes fra landbrugsjord til dræn og grundvand

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 Fosfordrivning

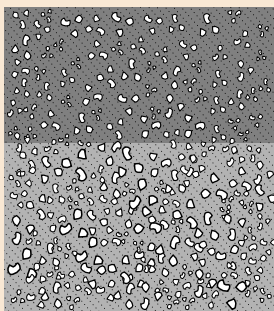
Hvor stor en del af det nedvaskede fosfor der forlader rodzonen og dermed når drænen eller øvre grundvand afhænger af en række fysisk-kemiske forhold:

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.

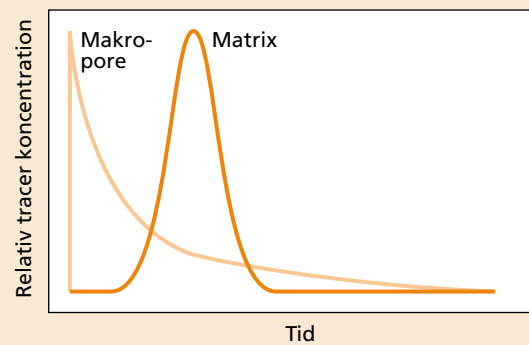
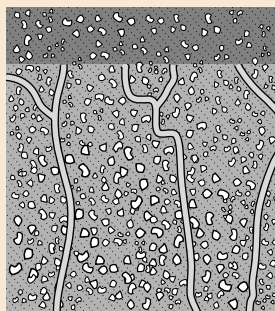
I det sidste tilfælde vil der være en åben forbindelse for en hurtig transport af både opløst og partikel bundet fosfor fra pløjelag og mod dybere jordhorisonter. I dette tilfælde vil der i forbindelse med kraftige regnbyger kunne måles en hurtig forøgelse af fosforkoncentrationen i det vand der strømmer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

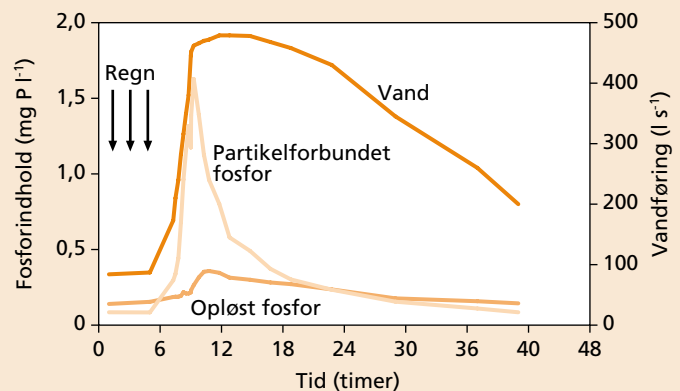
Matrix

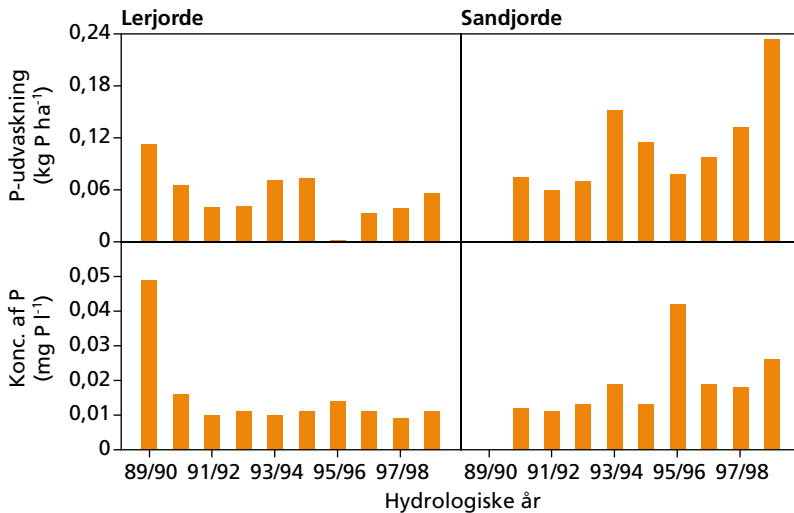


Makropore

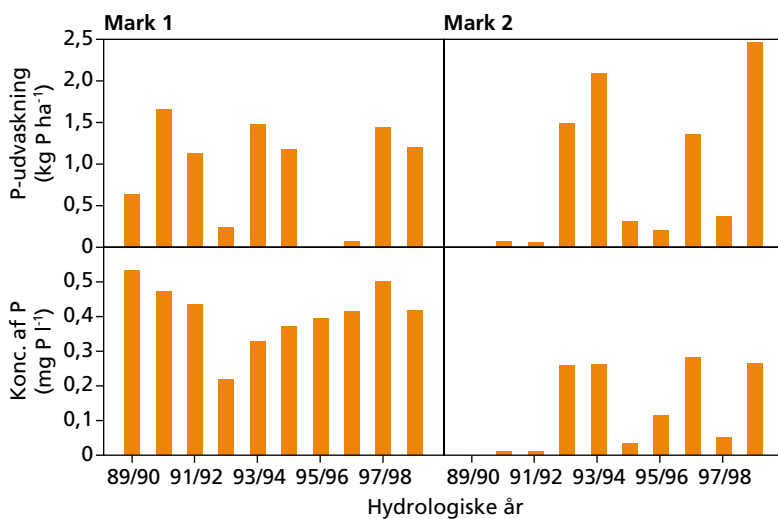


Under regn øges koncentrationen af partikelbundet fosfor hurtigt og markant i vandløb mens koncentrationen af opløst fosfat stiger senere og ikke nær så markant.





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).

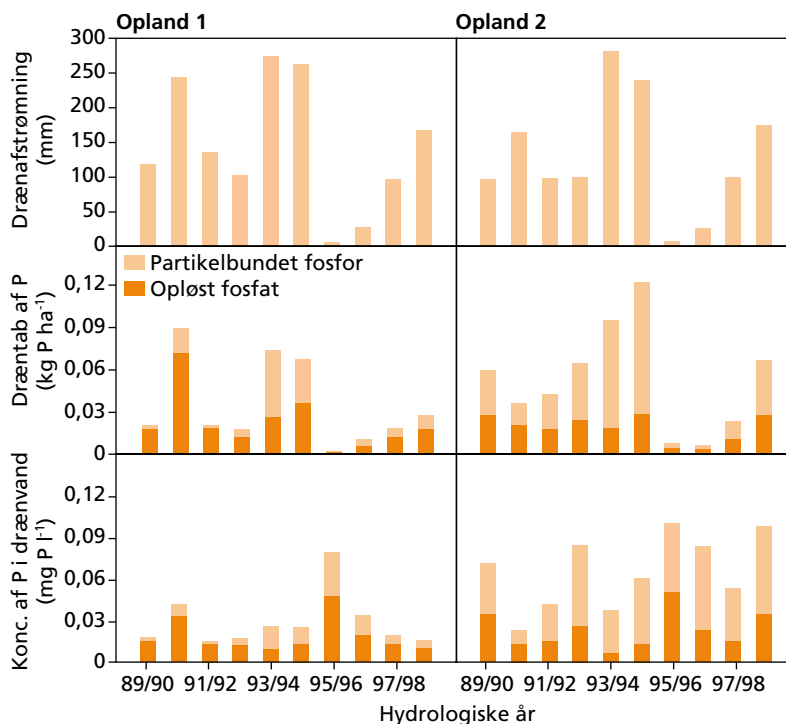
Fosfor kan transporteres fra landbrugsjord til overfladevand via drænvand

På drænedede 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 drænedede 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 drænedede 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

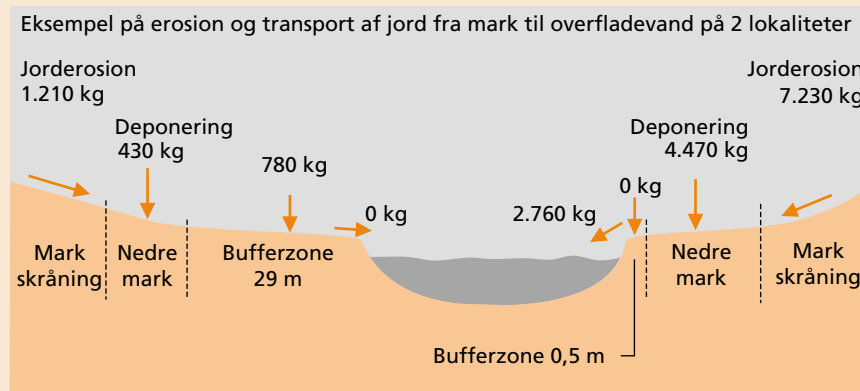
Jorderosion og det medfølgende tab af jord og fosfor til overfladevand indgår ikke i den landsdækkende overvågning. I et forskningsprojekt er jord- og fosfortabet fra over 100 skrånede marker over hele landet blevet grundigt undersøgt i en årrække siden 1993/94. Jord- og fosfortab fra marken forårsaget 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 skrånede marker i Danmark efter 5 vintre (1993/94 - 1997/98).

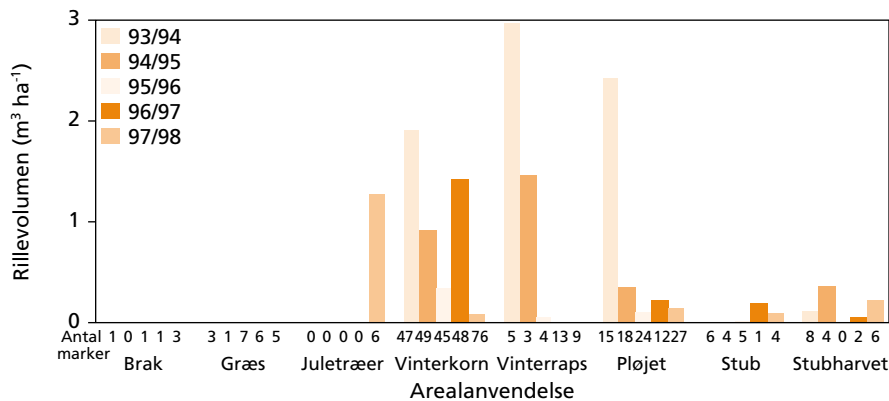
Vintre	1993/94	1994/95	1995/96	1996/97	1997/98
Antal marker	88	83	91	88	141
Jordtab (tons ha-1)	2,85	1,04	0,36	1,25	0,21
Fosfortab (kg P ha-1)	1,80	0,66	0,23	0,79	0,13

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 smeltevandet 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 tilsæt 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.

