

# Fosfor i jord og vann

Av

*Tore Krogstad, Institutt for jordfag, Norges landbrukshøgskole  
og  
Øivind Løvstad, Avdeling for limnologi, Universitetet i Oslo*

## INNHold

1. Innledning
2. Fosforkomponenter og forhold mellom fosforkomponenter og algebiomasse
3. P-innhold i jord fra dyrket og udyrket mark
  - 3.1 Generelt om P-innhold i jord
  - 3.2 Selektiv partikkeltransport og P-innhold i jordpartiklene avhengig av partikkelstørrelse
  - 3.3 Bindingskapasitet for fosfor i jord
  - 3.4 P-innhold i jord i relasjon til gjødsling
4. Fosfortilførsler
  - 4.1 Overflateavrenning
  - 4.2 Grøfteavrenning
5. Fosforets tilgjengelighet i elver og innsjøer
6. Sammendrag
7. Litteratur

## 1. Innledning.

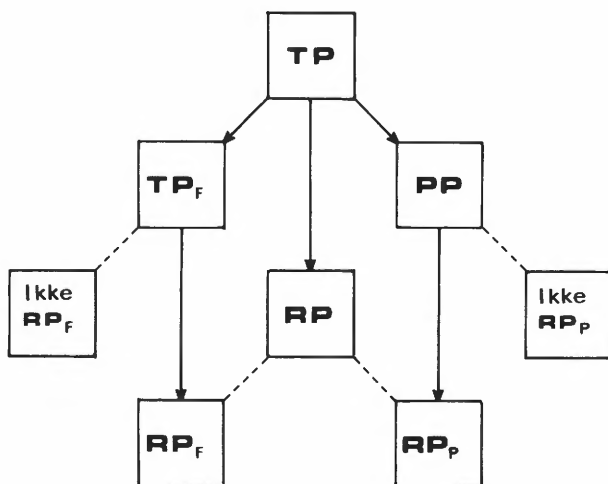
*Eutrofiering* er en utvikling mot høy primærproduksjon i vannforekomster som følge av økte tilførsler av plantenæringsstoffer. Spesielt gjelder dette *fosfor*, som ofte er begrensende for algeveksten.

Det har de senere år vært utført betydelig forskning både for å kvantifisere erosjon og avrenning av plantenæringsstoffer fra dyrket og udyrket mark og for å se på virkninger av dette på det biologiske liv i vannet.

Det blir her trukket ut en del resultater fra denne forskningen med hensyn til fosfor i jord og vann. Hensikten er å belyse ulike fosforkomponenter i jord og vann og deres biologiske tilgjengelighet sett i relasjon til eutrofiering og fare for forurensning av elver og innsjøer.

## 2. Fosforkomponenter og forhold mellom fosforkomponenter og algebiomasse

Figur 1 viser viktige fosforfraksjoner målt kjemisk:



Figur 1.

Forskjellige fosforfraksjoner målt med molybdatmetoden (Murphy & Riley 1962, Golterman 1969). Se tekst.

$TP$  = Totalfosfor

$TP_F$  = Totalfosfor målt på filtrerte prøver. Filtertypen må angis.

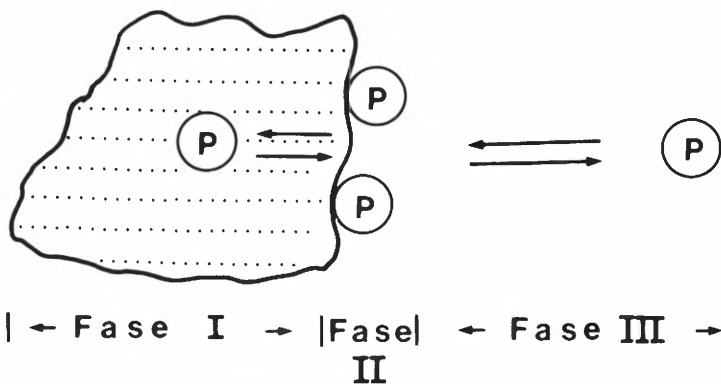
$PP$  = Partikulært fosfor = totalfosfor målt direkte på filteret =  $TP - TP_F$

$RP$  = Molybdatreaktivt fosfor målt på ufiltrerte prøver.  $RP$  er antagelig tilnærmet lik ytre algetilgjengelig P.

$RP_F$  = Reaktivt fosfor målt på filtrerte prøver. Filtertipe må angis. Dersom  $0.45 \mu\text{m}$  Millipore filter anvendes er  $RP_F = \text{SRP}$  (soluble reactive P).

$RP_P$  = Reaktivt fosfor bundet til partikler =  $RP - RP_F$

I jord kan fosfor generelt deles inn i følgende tre faser (Fig. 2).



Figur 2.

Faseinndeling av fosfor i jord.

Fase I og II: Fase hvor fosforet er bundet til selve jordpartikkelen. Her vil fosforet enten inngå i selve oppbyggingsstrukturen (I) eller bundet på overflaten av partiklene (II) i nær kontakt med jordvæska rundt partiklene.

Fase III: Løst fase hvor fosforet ikke er partikulært bundet.

I jord vil det være likevekt mellom fosfor bundet til partikler og fosfor løst i jordvæska. Denne vil i de fleste tilfeller være meget sterkt forskjøvet i retning av partikulært fosfor (PP). Både i dyrket og udyrket jord i Norge vil som oftest mye mindre enn 1% av det totale fosforinnhold finnes oppløst i jordvæska.

Partikulært fosfor (PP) kan deles opp i:

- a) Organisk fosfor
- b) Uorganisk fosfor

I pløyselaget i dyrket jord kan innholdet av organisk bundet fosfor utgjøre 20-50% av det totale fosforinnholdet, vesentlig i form av inositolfosfat, nukleinsyrer og fosfolipider. I undergrunnsjord og udyrket jord dominerer uorganisk bundet fosfor i form av jern-, aluminium- og kalsiumfosfater.

Løste fosforforbindelser i jordvæska inneholder både organiske og uorganiske forbindelser.

*Plantetilgjengelig fosfor* i jord består av både organiske og uorganiske forbindelser. I Norge bestemmes dette etter ekstraksjon med en blanding av eddiksyre og ammoniumlaktat ved pH 3,75 og betegnes  $P_{AL}$ . Dette utgjør som oftest 10-20% av det totale fosforinnhold i jorda.

*Algetilgjengelig P* i vann måles ved hjelp

av biotester (Løvstad & Wold 1984). En rekke biotestforsøk har vist at vekststigheten til planktonalger er tilnærmet lik ved like konsentrasjoner av ortofosfat og reaktivt fosfor (RP) eller reaktivt fosfor målt på filtrerte prøver ( $RP_F$ ). Reaktivt fosfor (RP) målt kjemisk er altså tilnærmet lik den tilgjengelige konsentrasjon for alger. Dersom konsentrasjonen av erosjonsmateriale er høy i vannet vil en stor andel av det tilgjengelige P være bundet til partikler, det vil si at forholdet  $RP : RP_F$  er stort (ofte  $> 5$ ). I erosjonsutsatte systemer er det derfor nødvendig å analysere på ufiltrerte prøver for å få det riktige mål på tilgjengelig P for alger.

I elver og innsjøer kan følgende forhold være av interesse:

*RP i % av TP*. Gir et mål på hvor stor andel av TP som kan være umiddelbart tilgjengelig for alger.

*$RP_P$  i % av PP*. Gir et mål på hvor stor andel av PP som kan være umiddelbart tilgjengelig for alger.

*$RP : RP_F$* . Gir et mål på forholdet mellom tilgjengelig fosfor bundet til partikler og tilgjengelig fosfor som går gjennom filteret. Når vannføringen og erosjonen er lav er ofte  $RP : RP_F = 1$ . Dette skyldes ofte at partiklene med bundet tilgjengelig P er sedimentert ut.

Når vannføringen og erosjonen er stor observeres ofte høyt  $RP : RP_F$ -forhold. (Ofte  $> 5$ ).

*TP : B*. Forholdet mellom TP (i  $\mu\text{g/l}$ ) og algebiomassen B (i mg våtvekt/1) når algebiomassen er høyest i vekstsesongen. Gir et mål på hvor stor andel av TP som er inkorporert i algebiomassen.  $TP : B \leq 2$  når fosforet er spesielt lett tilgjengelig.

TP : Klorofyll a. Kan brukes istedenfor TP : B. TP : Klorofyll a  $\leq 1$  når fosforet er spesielt lett tilgjengelig.

$\overline{TP} : \overline{B}$ . Forholdet mellom midlere TP og midlere algebiomasse i vekstsesongen (mai - september) gir et godt mål for å sammenlikne fosforets tilgjengelighet i forskjellige systemer. I innsjøer hvor P er spesielt tilgjengelig er  $\overline{TP} : \overline{B} < 3$ . Dersom  $\overline{TP} : \overline{B}$  er høyt kan dette skyldes at en stor andel av fosforet, som er bundet til organisk løste forbindelser eller til partikler, ikke er tilgjengelig. Dette kan også skyldes at andre faktorer enn P er begrensende for algeveksten (f.eks. lys, N, Si og Fe).

### 3. P-innhold i jord fra dyrket og udyrket mark

#### 3.1 Generelt om P-innhold i jord.

Generelt vil det totale fosforinnhold i dyrket jord være høyere enn i udyrket jord. På grunn av jordas bindingskapasitet vil forskjellene være størst i de øverste 20 cm. På dyrket mark gir dette seg utslag i ekstra høyt innhold av orga-

nisk bundet og vannløselig fosfor. I udyrket jord varierer det totale fosforinnholdet vanligvis i området 0,02-0,08%. I dyrket jord etter lang tids gjødsling kan fosforinnholdet variere opp til 0,2-0,3%, men ligger vanligvis omkring 0,1% eller lavere. I tabell 1 er det vist hvordan fosforinnholdet varierer mellom toppjord og undergrunnsjord som gjennomsnitt av et stort antall prøver på leir- og siltrik jord på Romerike (Krogstad in prep. a). Undergrunnsjord på 80-100 cm dyp på disse jordarter vil i svært liten grad være påvirket av gjødsling med hensyn på fosforinnhold. I denne sammenheng kan derfor undergrunnsjord betegnes som udyrket jord.

Generelt vil jord fra dyrket mark lettest gi fra seg fosfor til vannfasen. I mange områder er jorda naturlig rik på fosfor. I et vassdrag vil også dette bidra med fosfor til vannfasen. Etter hvert som stadig mer av fosforet fra partiklene frigjøres vil imidlertid forskjellen mellom dyrket og udyrket jord i sedimentene ute i resipienten gradvis bli visket ut.

Tabell 1. Fosforinnhold i toppjord (0-20 cm) og undergrunnsjord (80-100 cm) på dyrket mark på Romerike.

	Total P	mg/kg jord Uorganisk P	Organisk P	Vannløselig P
Toppjord 0-20 cm	985	721	264	0,72
Undergrunn 80-100 cm	775	712	63	<0,10

#### 3.2. Selektiv partikkeltransport og P-innhold i jordpartiklene avhengig av partikkelstørrelse.

I forbindelse med erosjon skjer det ofte

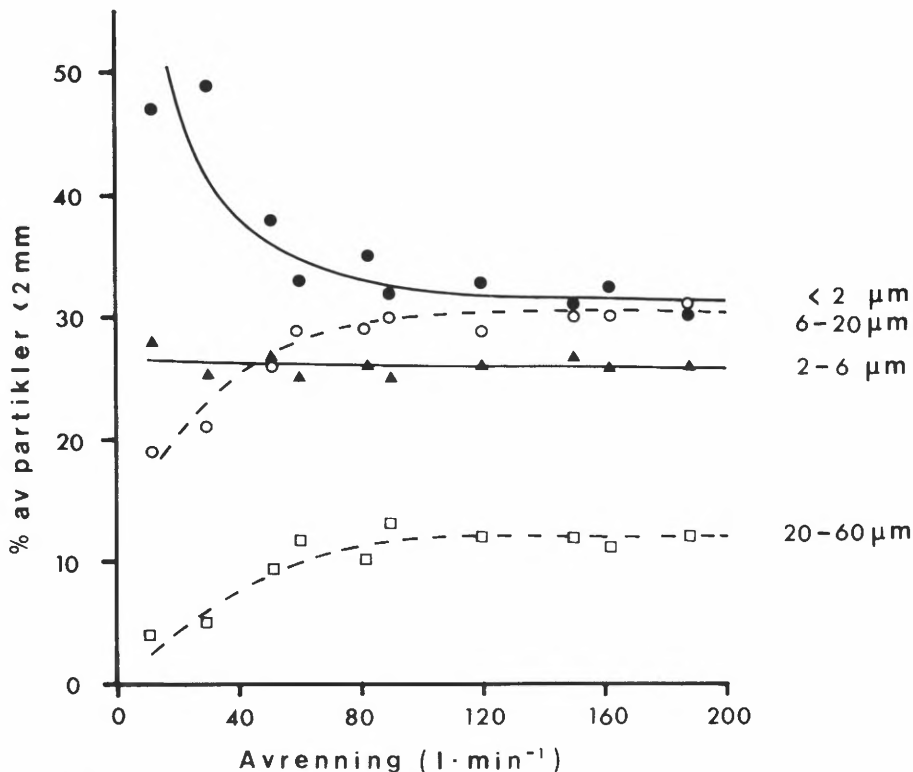
på de fleste jordarter en utvelgelse av partikler med forskjellig partikkelstørrelse som forflyttes via avrenningsvannet. På sandjord er utvaskingen av fin-

materiale både nedover i jorda og ved overflateavrenning et lett synlig fenomen. Det samme skjer i leir- og siltjord, men ikke i samme omfang.

På tien jord vil denne selektive partikkeltransporten være sterkt avhengig av avrenningsmengde. Desto lavere avrenning, desto større andel av små partikler i avrenningsvannet. Et eksempel (fig. 3) viser hvordan andelen av leirpartikler ( $< 2 \mu\text{m}$ ) kan øke med avtagende over-

flateavrenning på siltig mellomleire (Krogstad in prep. b).

I perioder med kraftig avrenning vil de overflateeroderte sedimentene ha en mekanisk sammensetning som er tilnærmet lik den jorda avrenningen skjer fra. Den selektive partikkelerosjonen har størst omfang i perioder med lav avrenningsintensitet. Dette vil som oftest være om sommeren og høsten. Tilsvarende effekter opptrer ved grøfteavrenning.



Figur 3. Korn sammensetning i overflateeroderte sedimenter ved ulike avrenning i en avrenningsperiode på ett døgn.

Jordpartiklenes spesifikke overflate pr. masseenheter øker eksponentielt med avtagende partikkelstørrelse. Det vil også være en anrikning av oksyden i disse fraksjonene. Det totale fosforinnhold vil

derfor øke med avtagende partikkelstørrelse.

Dette vil skje uansett om partiklene kommer fra dyrket eller udyrket mark. Fosforinnholdet i partikler fra dyrket

jord er imidlertid større enn fra udyrket jord og man må anta at forskjellene vil øke med avtagende partikkelstørrelse. Om sommeren med liten overflate- og grøfteavrenning vil det være de minste og fosforrikeste partiklene som eventuelt vil være i suspensjon i ei elv og en innsjø.

De minste leirpartiklene kan alt etter forholdene holde seg suspendert fra noen timer opp til flere uker. Av den grunn vil det alltid finnes noe partikulært materiale i de fleste innsjøer.

Partikulært materiale i vassdragene om sommeren kan ofte inneholde betydelig mer fosfor enn det mineralmateriale kan binde kjemisk. Dette skyldes at andelen organisk materiale ofte dominerer over uorganisk om sommeren. Det kan både være fosforrikt organisk materiale fra jord og fra organisk materiale produsert i vassdraget.

### 3.3 Bindingskapasitet for fosfor i jord.

Binding av fosfor i jord avhenger av en rekke kjemiske, fysiske og biologiske prosesser i jorda. Faktorer som har sterk innvirkning på jordas evne og kapasitet til å binde fosfor kan være kornsamsetningen, innholdet av jern-, aluminium- og kalsiumforbindelser, innhold av organisk materiale, surhetsgrad (pH), jordas opphavsmateriale, oksyderende og reduserende forhold, strømningsforhold m.m.

Generelt bindes fosfor raskt i jord. I løpet av et døgn vil vanligvis tilført løst fosfor være bundet dersom jorda har ledig bindingskapasitet. Ut fra dette vil tilført gjødsel fosfor i de fleste jordarter anrikes i det øverste jordlaget. Både i leire, silt, finsand og morenejord er vannets strømningshastighet så liten at fosforet bindes i jorda før det når ned til eventuelle grøftesystemer.

Det er meget vanskelig å anslå i hvor sterk grad ulike faktorer vil påvirke jordas fosforbindingsevne. Av den grunn er det også vanskelig å gi generelle regler for hvor mye fosfor hver enkelt jordart kan binde under feltforhold. Men ut fra laboratorieforsøk med binding av ortofosfat til ulike norske jordartsmaterialer har man fått en antydning av variasjonsbredde og bindingsnivå (Grøterud & Lindbak 1981, Stuanes 1984, Krogstad 1986). I sandjord er det påvist en variasjon i bindingsevne fra 15 til 1000 mg P/kg jord, men med hovedvekt i nedre halvdel av området alt avhengig av kjemiske og fysiske egenskaper. Lave verdier representerer grovkornet utvasket sand, mens høye verdier representerer sand med innblandet finstoff og med høyt innhold av lettløselige fosforbindende elementer. Leir- og siltrik jord har vanligvis høyere gjennomsnittlig bindingsevne enn sand. Oftest innen et variasjonsområde på 250-1500 mg P/kg jord. Dette tilsier en evne til å binde fosfor av størrelsesorden 50-300 kg P/daa ( $\text{g P/m}^2$ ) i de øverste 20 cm. I de fleste tilfeller vil dette være omtrent en fordobling av jordas nåværende totale fosforinnhold. Det er ikke realistisk at bindingsevnen i slik jord skal bli brukt opp ned til grøftesystemet på grunn av gjødsling.

I grovkornige avsetninger som blir belastet med svært høye fosformengder, f.eks. i områder med mye husdyr kan bindingskapasiteten imidlertid over tid bli sterkt redusert. I slike jordarter kan også infiltrasjonen gå så raskt at fosfor transporteres ned i grøftene før det har fått tid til å binde seg i jorda. Tilsvarende vil kunne skje i jord som lett sprekker opp.

Hvor sterkt fosfor bindes i jord og hvor lett dette igjen kan frigjøres i vann

er blant annet avhengig av jordas bindingskapasitet, hvor mye av denne som allerede er brukt opp og hvor lang tid det er siden fosforet ble tilført jorda. Jord med høy fosforbindingskapasitet vil binde det første tilførte fosfor sterkest, mens bindingsstyrken avtar etter hvert som evnen til å binde avtar. På den annen side vil bindingsstyrken for tilført fosfor øke etter hvert som tiden går fra fosforet ble tilført. Disse forhold har stor betydning når gjødsla jord skal vurderes som forurensere i et vassdrag.

Når jord eroderer ut i vann vil det lettest løslige fosforet raskt frigjøres til vannet og det vil etter en tid kunne innstille seg en likevekt mellom partikulært bundet fosfor og løst fosfor målt som løst fosfat ( $RP_F$ ) i vannet. Jord som eroderer ut i vann med en konsentrasjon større enn denne likevektskonsentrasjonen vil binde fosfor, mens den samme jorda vil frigi fosfor til vannet dersom konsentrasjonen er mindre enn likevektskonsentrasjonen. For jord med god fosforbindingsevne vil det som oftest være likevekt mellom binding og frigjøring av fosfor når konsentrasjonen av løst fosfat ( $RP_F$ ) i vannet er mindre enn  $10 \mu\text{g P/l}$ .

En senking av konsentrasjonen av løst fosfat ( $RP_F$ ) i et system i likevekt med hensyn til binding og frigjøring av fosfor vil medføre at partiklene i vannet vil gi fra seg nytt fosfor til vannfasen. Dette kan skje ved forbruk av løst fosfat ( $RP_F$ ) på grunn av biologisk aktivitet eller ved fortykning av vannet ved ekstra vanntilførsler.

### 3.4. *P-innhold i jord i relasjon til gjødsling.*

Både i handelsegjødsel og i husdyrgjødsel finnes fosforet for det meste som ortofosfat. I denne form tas fosfor lett opp

av planter, men kan også bindes raskt i jord.

På grunn av fosforets bindingsstyrke i jord må man vanligvis tilføre jorda mer fosfor enn det plantene trenger for å gi maksimale avlinger. Hvor mye man må overdosere med er blant annet avhengig av jordart, planteslag og jordas opprinnelige fosforinnhold målt som plantetilgjengelig fosfor ( $P_{AL}$ ). På leirjord vil det for gras og korn være aktuelt å tilføre av størrelsesorden  $0,5 \text{ kg P mer pr. dekar}$  ( $0,5 \text{ g P/m}^2$ ) enn det som blir ført bort i avlingen når  $P_{AL}$ -nivået i jorda er lavt (klasse I). For grovkornige jordarter og ved høye  $P_{AL}$ -tall (klasse III og IV) skulle behovet for ekstra tilførsel utover det plantene tar opp ikke være så stort og i mange tilfeller unødvendig. Generelt vil behovet for overdosering av fosfor avta med økende  $P_{AL}$ -tall. På grunn av at tilgjengeligheten avtar med tiden fra gjødsling er det dårlig økonomi for gårdbrukeren å anvende jorda som lagerplass for fosfor (Uhlen 1982). En balansert gjødsling vil være gunstigst både økonomisk og forurensningsmessig.

Oppdyrking av jorda er et bevisst inngrep som nødvendigvis må medføre økt innhold av totalt fosfor på grunn av at plantene ikke kan fange opp alt fosfor som tilføres via gjødsel. Men med en fornuftig og riktig avbalansert gjødsling vil økningen gå langsomt. Under forutsetning av en overgjødsling med  $0,5 \text{ kg P/daa}$  og år vil det totale fosforinnhold i de øverste 20 cm i jorda øke med  $2\text{-}3 \text{ mg P/100 g jord i løpet av 10 år}$ . Når man vet at bare  $10\text{-}20\%$  av det totale fosforinnhold igjen måles som  $P_{AL}$  vil denne overgjødslingen i liten utstrekning kunne registreres som økt mengde plantetilgjengelig fosfor over korte tidsintervall.

Fosforinnholdet i dyrka jord målt som

$P_{AL}$  har økt kraftig i hele landet de siste 25 år. I tabell 2 er dette vist for distrikter innen Akershus og Rogaland. Disse fylkene har i gjennomsnitt hatt henholdsvis lavest og høyest  $P_{AL}$ -nivå opp gjennom

tidene og på grunn av gjødslingsmengdene er  $P_{AL}$ -tallene generelt betydelig høyere på arealer med potet og grønnsaker enn på arealer med gras og korn (Krogstad in press).

Tabell 2. Gjennomsnittlige  $P_{AL}$ -tall på Romerike og Jæren i perioden 1960-64 og 1983-85.

		$P_{AL}$ (mg P/100 g jord)		
		Gras	Korn	Grønnsaker/ Potet
Romerike (Akershus)	1960-64	3,6	3,9	7,4
	1983-85	8,0	7,1	17,5
Jæren (Rogaland)	1960-64	16,0	14,2	15,7
	1983-85	21,1	—	29,0

Ved  $P_{AL}$ -tall omkring 7 vil det for de fleste vekster passe med normgjødsling satt opp etter hvor mye fosfor som føres bort med avlingene. Ved  $P_{AL}$ -tall under eller over dette bør man henholdsvis

øke eller redusere tilførselen ut fra normen. Faktorer som kan brukes i 1-3 år før det igjen anvendes normgjødsling eller at nye jordanalyser tas for kontroll av næringstilstanden er vist i tabell 3.

Tabell 3. Faktorer til justering av gjødslingsnorm ved ulike  $P_{AL}$ -tall.

$P_{AL}$	<2	3-4	5-9	10-15	16-30	>30
Faktor	2	1,5	1	0,5	0,25	0

Ønskelig  $P_{AL}$ -nivå i dyrka jord er på overgangen mellom  $P_{AL}$ -klasse II og III. Når det påvises  $P_{AL}$ -tall over dette nivå tyder det på at fosforgjødslingen har vært unødvendig sterk.

Forurensningsmessig er det gunstigst å holde  $P_{AL}$ -nivået lavest mulig. Økt  $P_{AL}$ -nivå medfører svakere fosforbin-

ding til partiklene og dermed lettere frigjøring ute i resipientene. På grunn av at gjødsling også er et økonomisk spørsmål, vil det uansett være viktig med god gjødslingsveiledning og oppsett av gjødselplaner som sikrer en best mulig balansert gjødsling.



#### 4. Fosfortilførsler.

Fosfortilførselen fra dyrket mark til bekker, elver og innsjøer skjer enten via overflateavrenning eller via avrenning fra lukkede grøftesystemer. Mengder og fordeling avhenger blant annet av klima, jordart, topografi, vegetasjon og driftsform og er generelt meget vanskelig å tallfeste da det er store lokale og regionale forskjeller.

##### 4.1. Overflateavrenning.

Overflateavrenningen er størst i snøsmeltingen om våren og ved kraftig nedbør om høsten. På arealer med vegetasjon vil det være liten overflateavrenning om sommeren selv i regnværperioder. På grunn av fosforets sterke binding til jordpartikler vil fosforavrenningen være størst i de tilfeller hvor overflatevannet har en høy sedimentkonsentrasjon. Økt erosjon medfører økt avrenning av partikulært bundet fosfor. Generelt vil derfor avrenning av partikulært bundet fosfor være størst i hellende terreng i områder med leir- og silrik jord og hvor det dyrkes korn eller andre åkervekster som medfører at store åkerarealer er uten vegetasjonsdekke vår, høst og vinter.

I overflatevann med høy sedimentkonsentrasjon vil svært lite av fosforet finnes som løste forbindelser. I overflateavrenning fra grasarealer med liten erosjon kan imidlertid innholdet av løste fosforforbindelser periodevis være høyt. Dette kan både skyldes direkte avrenning av gjødsel fosfor kort tid etter gjødsling, ettervirkning av tidligere års gjødsling, eller at planterester utsatt for frost om vinteren gir fra seg løst fosfor som vaskes ut under snøsmeltingen om våren (Uhlen 1986).

Ved overflateavrenning og erosjon på dyrkede arealer er det vesentlig jord fra det øverste jordlaget som fjernes.

Erodert partikulært fosfor forekommer derfor både i organiske og uorganiske forbindelser. Resultatene fra noen norske undersøkelser viser eksempler på den store variasjonen i fosformengde i overflateavrenning fra ulike avrenningsfelt (Lundekvam 1977, 1984, Uhlen 1978, Njøs & Hove 1984, Hove 1986, Lundekvam & Mundal 1986):

Ugjødsla skog	0,0040 - 0,0139 g P/m <sup>2</sup> /år
Grasmark (eng)	0,0098 - 0,301 g P/m <sup>2</sup> / år
Åker	0,0130 - 1,300 g P/m <sup>2</sup> / år

For å oppnå en rimelig grad av sikkerhet på beregningen av fosfortilførselen fra et jordbruksområde bør det utføres målinger på avrenningsvannet. Ofte brukes imidlertid teoretiske avrenningskoeffisienter. Disse ligger ofte i området 0,04-0,3 g P/m<sup>2</sup>/ år.

##### 4.2. Grøfteavrenning.

Sammenlignet med overflateavrenning fra åpen åker er den totale fosfortransport gjennom året via grøftesystemene i gjennomsnitt betydelig mindre. Noen norske undersøkelser har vist en årlig fosfortransport via grøftevann på 0,0022 - 0,118 g P/m<sup>2</sup>/ år (Uhlen 1978, Hove 1986, Lundekvam & Mundal 1986). På grunn av mineraljordas evne til å binde fosfor vil generelt svært lite løste fosforforbindelser transporteres ned til grøftene. Vanligvis er derfor konsentrasjonen av RP<sub>f</sub> i grøftevann svært liten og mindre enn i overflatevann fra det samme dyrkede arealet. Det finnes viktige unntak fra dette som man i forurensningssammenheng bør være oppmerksom på.

På grovkornige jordarter og i jord som lett tørkes ut og slår dype sprekker kan gjødselstoffer tilført jordoverflata raskt transporteres ned til grøftene og videre ut i resipientene. I erosjonsutsatt silt- og

leirjord vil det også i tillegg til en overflateerosjon kunne skje erosjon nedover i jorda med periodevis høye konsentrasjoner av partikulært materiale og partikulært fosfor i grøftevannet. Denne erosjonen er det vanskelig å sette inn tiltak mot. Det fosforet som transporteres ut av jorda på denne måten kommer for det meste ikke fra tilført gjødselstoff, men fra jorda selv. Forurensningsmessig kan denne fosfortransporten være viktig da tilførsler fra grøftevannet av partikulært materiale i vekstsesongen normalt er langt større enn fra overflateavrenning. Mens 50-100% av overflateavrenningen skjer i forbindelse med snøsmeltingen vil det meste av grøfteavrenningen foregå sommer og høst samtidig som den biologiske aktivitet i vassdragene er stor.

I motsetning til mineraljord har mineralfattig torvjord svært dårlig evne til å binde fosfor. Et overskudd av fosfor vil her lett vaskes ut i grøftesystemene.

### 5. Fosforets tilgjengelighet i elver og innsjøer.

En elv eller innsjøes *trofigrad* refererer seg til lokalitetens produksjon av organisk stoff. I praksis viser det seg ofte at konsentrasjonen av planktonalger og totalfosfor (TP) er gode mål for trofigrad. Klorofyll *a* brukes ofte som et tilnærmet mål på mengden planktonalger.

Trofigraden kan inndeles i 5 klasser (se tabell 4). Med økende trofigrad øker mengden av planktonalger og dessuten andelen av problemalger, f.eks. blågrønnalger (Fig. 4).

Tabell 4. Inndeling av trofigraden i 5 klasser basert på biomassen av planteplankton (målt som mg våtvekt/l eller klorofyll *a*l) og totalfosfor TP.

	Algebiomasse B (mg våtvekt · l <sup>-1</sup> )	Klorofyll a (µg · l <sup>-1</sup> )	Totalfosfor - TP (µg P · l <sup>-1</sup> )
KLASSE 1. Ultraoligotrof	< 0.4	< 1	< 6
KLASSE 2. Oligotrof - mesotrof	0.4 - 2.0	1 - 4	6 - 12.5
KLASSE 3. Mesotrof - svakt eutrof	2.0 - 10.0	4 - 20	12.5 - 25
KLASSE 4. Eutrof	10.0 - 50.0	20 - 100	25 - 50
KLASSE 5. Sterkt eutrof	> 50	> 100	> 50

Klasse 1.  
*Ultraoligotrof* (svært næringsfattig). Lav algemengde. Siktedyp ofte større enn 8 m. Oksygenforholdene meget gode.

Klasse 2.  
*Oligotrof – svakt mesotrof*. (Næringsfattig – noe påvirket.) Mengden av alger øker, spesielt kiselalger. Spredte

oppblomstringer av blågrønnalger kan finne sted, spesielt *Anabaena flos-aquae* og enkelte *Oscillatoria*-arter. (se fig. 4.) Oksygenforholdene ofte gode.

### Klasse 3.

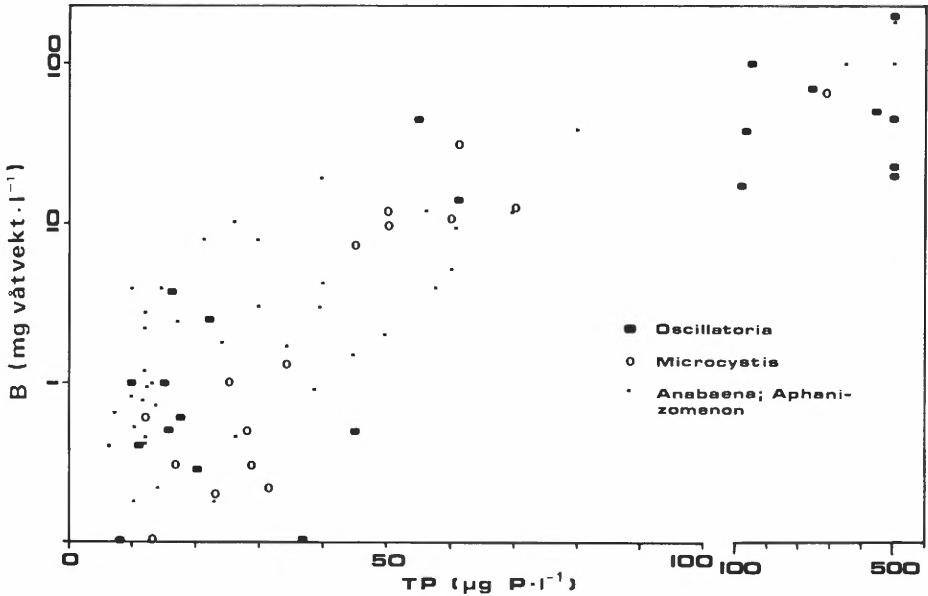
*Mesotrof* – *svakt eutrof*. (Påvirket av plantenæringsstoffer.) Store algemengder kan utvikles. Masseoppblomstring av blågrønnalger mer vanlig, spesielt arter innen slektene *Anabaena*, *Aphanizomenon* og *Oscillatoria*. Siktedypet ofte 2-4 m. Fare for akselererende eutrofiering fordi oksygenvinn i dypvannet og høy pH i overflatevannet kan føre til utlekking av fosfor fra sedimentene. Intern gjødsling kan være betydelig. Gjengroing av grunnere partier med høyere planter kan finne sted, spesielt gjelder dette innsjøer som er erosjonspåvirket.

### Klasse 4.

*Eutrof* (næringsrik) Blågrønnalger ofte permanent dominante om sommeren og høsten. Oppblomstring av *Oscillatoria* og *Microcystis*, som ofte er giftige, finner sted i mange innsjøer. Mange blågrønnalger har evne til å utnytte  $CO_2$  i vannet og dermed kan pH øke til over 10. Siktedypet ofte 1-2 m. Oksygenforholdene ofte dårlige i dypvannet om sommeren og i hele vannmassen om vinteren i mer grunne innsjøer.

### Klasse 5.

*Sterkt eutrof*. (svært næringsrik.) Vannet ofte sterkt farget av alger. Masseoppblomstring av blågrønnalger meget vanlig. Siktedypet ofte mindre enn 1 m. Massiv tilgroing av høyere planter i grunne innsjøer eller grunne partier av større innsjøer.



Figur 4. Biomassen (B) av forskjellige blågrønnalgeslekter som funksjon av totalfosfor-konsentrasjonen (TP) i innsjøer.

Tilførsler av erosjonsmateriale innvirker på eutrofieringsutviklingen i stor grad. Graden av erosjonspåvirkning i elver og innsjøer kan inndeles i 5 forurensningsklasser basert på vannets innhold av partikulært materiale (i mg tørrvekt/l) og siktedyp (tabell 5.)

*Erosjonen fører til redusert siktedyp i vannet.*

Når siktedypet blir mindre enn 1 m (klasse 5) vil algeveksten bli redusert på grunn av lysbegrensning, spesielt hvis

vannets sirkulasjonsdyp er stort. Ofte er også vannføringen stor under slike forhold slik at algene vaskes ut av systemet. I spesielt erosjonsutsatte områder kan vannet være helt grått av erosjonsmateriale og siktedypet er mindre enn 0,2 m. Det er spesielt i flomperiodene om våren og høsten at erosjonspåvirkningen i elver og innsjøer er størst. Om sommeren når vannføringen er lav sedimenterer partiklene ut og siktedypet blir større.

Tabell 5. *Inndeling av vannets innhold av partikulært materiale (i mg tørrvekt/l) i 5 forurensningsklasser. Variasjonen i siktedyp og innholdet av partikulært fosfor (PP) innenfor de forskjellige klasser er indikert.*

	Partikulært materiale mg tørrstoff · l <sup>-1</sup>	Siktedyp (m)	Partikulært fosfor (PP)* µg P · l <sup>-1</sup>
KLASSE 1	< 1	> 8	< 6
KLASSE 2	1 - 2.5	4 - 8	1 - 12.5
KLASSE 3	2.5 - 5	2 - 4	2.5 - 25
KLASSE 4	5 - 10	1 - 2	5 - 50
KLASSE 5 A	10 - 20	0.5 - 1	10 - 100
KLASSE 5 B	20 - 100	0.2 - 0.5	20 - 500
KLASSE 5 C	> 100	< 0.2	> 100 (500)

\*) Dersom PP utgjør 0.1 - 0.5% av uorganisk partikulært materiale.

*Erosjonen fører til økt fosfortilførsel til elver og innsjøer.*

Erosjon fører til tap av verdifulle plantenæringsstoffer fra landbruket og kan dessuten føre til sterk vekst av høyere vannplanter i grunnere områder og masseoppblomstring av planktonalger i de åpne vannmasser.

*Erosjonen fører til økt gjengroing av innsjøer.*

Sterk sedimentasjon av erosjonsmateriale gjør at innsjøene blir grunnere.

Dette fører også til at høyere vegetasjon får bedre vekstvilkår. Tette belter med høyere vegetasjon fører videre til at erosjonsmaterialet lettere sedimenterer ut og en stadig hurtigere gjengroing av innsjøer er i gang.

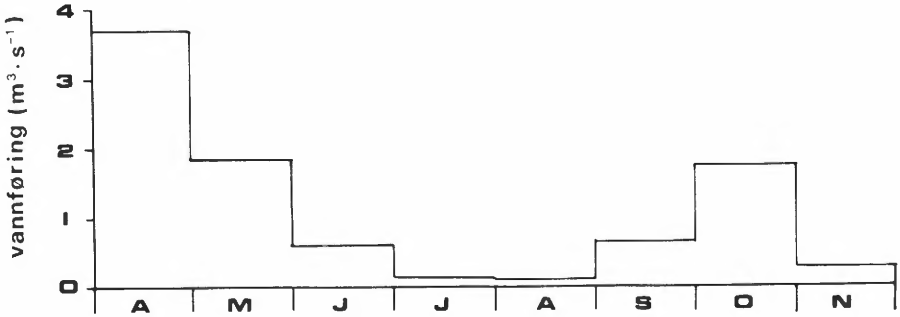
*Sterk transport av erosjonsmateriale virker inn på organismsamfunnets artsammensetning.*

Mange plantearter blir antagelig hemmet fysisk av store mengder uorganiske partikler i vannet, spesielt når disse har

høy hastighet. I erosjonsutsatte elver og innsjøer utvikles derfor spesielle arter av høyere planter, fastsittende alger og planktonalger.

I ei elv må strømhastigheten være lav for at det tilgjengelige fosforet skal kunne utnyttes effektivt av alger. Der- som elvestrekningen er ca. 10 km lang

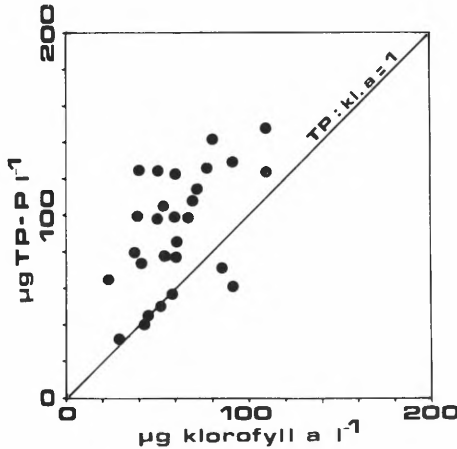
bør strømhastigheten ikke være høyere enn ca. 0,25 m/s for at alt tilgjengelig fosfor skal kunne forbrukes (se også Løvstad 1984). Vanligvis er strømhastig- heten lavest i juli, august og begynnelsen av september. I figur 5 er det vist et typisk vannføringsforløp for ei elv gjen- nom året.



Figur 5. Gjennomsnittlig vannføring i elva Rømsa på Romerike i 1983.

Figur 6 viser konsentrasjonen av totalfosfor (TP) og klorofyll a nederst i Nitelva, Leira og Rømsa når planteplanktonet har biomassemaksima. Forholdet TP : kl. a er ofte nær 1, hvilket indikerer at fosforet kan være så tilgjengelig som det

er mulig i naturlige systemer. Under disse forhold ble det målt strømhastighe- ter som var mindre enn 5 cm/s og sikte- dypet var større enn 0,5 m, hvilket indi- kerer gode fysiske vekstbetingelser.



Figur 6. Konsentrasjonen av totalfosfor (TP) og klorofyll a i Nitelva, Leira og Rømsa når planteplanktonet hadde biomassemaksima.

I 1983 og 1984 ble grundige fosforstudier utført i Rømua og dets sidebekker. Tabell 6 viser at ofte over 50% av TP er reaktivt, det vil si tilgjengelig for alger. På enkelte stasjoner som er kloakkpåvirket i stor grad kan over 80% av TP være tilgjengelig (se spesielt stasjon 16 og 17).

På mange stasjoner synes tilgjengeligheten å være spesielt høy om sommeren når vannføringen er lav, når kloakkfosforet og fosfor fra grøftevann antagelig utgjør den største andelen av P-tilførselen og når den interne P-belastning er størst (f.eks. utlekking fra sediment).

Tabell 6. *RP i % av TP i vannprøver fra forskjellige stasjoner i Rømua og sidebekker (1983-1984) (Data fra Blakar & Løvstad in prep.).*

Stasjoner	Dato						
	3.5.	23.5.	27.6	10.7.	22.8.	12.9.	9.11.
<b>HOVEDLØP</b>							
1.	50	53	48	49	21	44	21
2.	54	55	49	59	63	32	32
3.	58	59	61	51	72	53	49
4.	61	60	64	69	73	50	60
5.	56	61		61	70	42	52
6.	59	66	83	46*	20*	64	59
7.	52	47	9*	53	14*	43	61
<b>SIDELØP</b>							
8.	55	41	76	72	84	49	55
9.	61	57	62	47	43	43	49
10.	27	46	14	60	25	19	14
11.	61	57	49	62	70	61	59
12.	55	52	67	86	66	32	25
13.	57	47	53	67	66	45	40
14.	33	20	27	45		8	19
15.	53	76	78	61	43	56	62
16.	86	82	62	93	100	33	82
17.	75	73	50	85	76	65	70
18.	6	22	13	11	14	27	7
19.	59	68		65	70	44	40

\* Høy biomasse av planteplankton

Stasjoner nedenfor utløp fra innsjøer (Stasjon 10 og 18) har ofte vann med lite tilgjengelig fosfor (ofte mindre enn 25% av TP). I vann som er spesielt påvirket av erosjonsmateriale fra landbruket synes ofte reaktivt fosfor (RP) å utgjøre ca. 50% eller mindre av totalfosfor (TP).

Analyser på jordprøver har ofte vist at 20-50% av TP er reaktivt (Krogstad in prep. a). Dette gjelder også avrenningsvann fra erosjonsutsatte jorder. Husdyrgjødsel gir imidlertid ofte avrenningsvann med svært høyt innhold av tilgjengelig P.

Tabell 7 viser reaktivt fosfor (RP) og RP:RP<sub>F</sub> i perioden mai - september på de samme stasjoner i Rømua. Stasjonene i hovedløpet (St. 1-7) har ofte RP-konsentrasjoner lavere enn 100 µg P/l, mens de mer kloakkpåvirkede systemene kan ha høyere konsentrasjoner (se f.eks. St. 16 og 17). RP-konsentrasjon i prøver fra stasjoner nedenfor innsjøer (St. 10 og 18) er svært lave. Forholdet RP:RP<sub>F</sub> er høyt om våren og høsten når vannføringen er høy (ofte > 5). Om sommeren når vannføringen er lav sedimenterer de største partiklene ut og forholdet nærmer seg 1, det vil si RP = RP<sub>F</sub>. Det er verdt å legge merke til at RP ofte er svært høy selv om RP:RP<sub>F</sub>-forholdet er lavt. På stasjon 6 og 7 nederst

i Rømua kan det oppstå sterke algeoppblomstringer og RP-konsentrasjonen avtar derfor (se spesielt 22.8).

Når det gjelder innsjøer tåler dype innsjøer med kort oppholdstid for vannet langt større fosforbelastning enn grunne innsjøer med lang oppholdstid. Om våren er mange innsjøer noe erosjonsutsatte og RP:RP<sub>F</sub>-forholdet er derfor relativt høyt (tabell 8). Figur 7 viser at reaktivt fosfor bundet til partikler (RP<sub>F</sub>) ofte utgjør ca. 50% eller mindre av partikulært fosfor (PP). Om sommeren sedimenterer de største partiklene ut og RP:RP<sub>F</sub> er ofte tilnærmet 1. Dette gjelder også de sterkt erosjonsutsatte innsjøene Øyeren, Vansjø og Bjørkelangen.

Tabell 7. RP (i µg P/l) og RP:RP<sub>F</sub> i vannprøver fra forskjellige stasjoner i Rømua og Rømuas sidebekker (1983 og 1984) (Blakar & Løvstad in prep.).

Stasjoner	3.5.		23.5.		27.6.		10.7.		22.8		12.9.	
	RP	RP:RP <sub>F</sub>	RP	RP:RP <sub>F</sub>	RP	RP:RP <sub>F</sub>	RP	RP:RP <sub>F</sub>	RP	RP:RP <sub>F</sub>	RP	RP:RP <sub>F</sub>
1.	20	7.5	9	3.7	12	3.4	7	1.5	34	1.0	4	2.7
2.	41	6.0	26	2.2	14	1.8	56	1.3	72	1.1	14	1.3
3.	57	5.5	35	2.7	30	2.0	38	1.2	42	1.1	119	4.9
4.	53	5.4	40	1.9	36	1.6	52	1.3	48	1.2	70	1.6
5.	71	5.2	38	2.2			38	1.3	39	1.2	79	3.6
6.	93	6.2	66	3.4	140	1.4	72	1.4	22*	1.2	280	5.8
7.	15	4.9	62	4.0	9	1.9	17*	1.8	2*	1.0	68	1.9
8.	21	1.3	26	1.2	400	2.2	265	1.6	485	2.6	72	1.0
9.	51	1.6	57	1.4	104	1.5	186	1.4	882	1.1	182	1.6
10.	2	1.9	1	1.1	1	1.1	1.4	1.3	1.1	1.0	1.7	1.7
11.	57	2.0	76	2.3	170	1.4	161	1.2	203	1.4	145	1.4
12.	12	1.8	13	1.7	8	1.2	12	1.3	5	1.0	19	3.7
13.	42	4.0	32	2.8	27	1.1	29	1.2	30	1.0	85	11.0
14.	2	1.2	3	1.9	5	1.2	3	1.0		1.0	1.7	1.5
15.	171	15.4	59	2.7	126	1.6	59	1.6	164	1.0	206	8.5
16.	188	1.9	488	1.6	527	2.2	609	2.0	1570	1.4	130	2.5
17.	231	9.0	157	3.5	474	1.3	214	1.5	808	1.3	226	1.9
18.	3	1.7	1	1.0	1.4	1.3	1.4	1.0	2.6	1.0	11	3.2
19.	93	8.1	85	3.3			67	1.5	92	1.4	41	1.6

\* Sterk algeoppblomstring

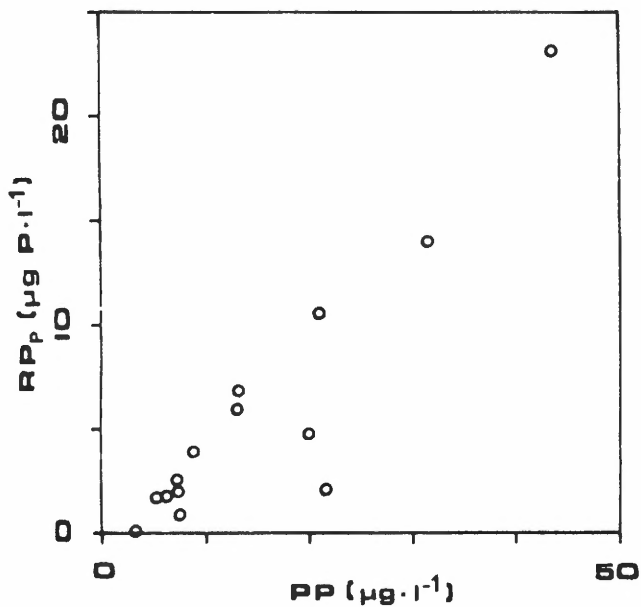
Tabell 8. *RP* ( $\mu\text{g P/l}$ ) og *RP:RP<sub>F</sub>* i vannprøver fra forskjellige innsjøer på Østlandet (1984 og 1985). (Blaker & Løvstad in prep.).

Innsjø	26.8.84		13.5.-15.5.85		28.5.-30.5.85		1.7.-3.7.85	
	RP	RP:RP <sub>F</sub>	RP	RP:RP <sub>F</sub>	RP	RP:RP <sub>F</sub>	RP	RP:RP <sub>F</sub>
Årungen	1.3	1.0	29.8	3.9	2.8	1.0	1.0	1.0
Jaren	0.3	1.0	20.2	3.2	1.7	1.0	0.6	1.0
Bergsvatnet N			4.8	1.7	1.4	1.6	1.1	1.0
Akersvatnet			5.1	2.3	1.7	1.0	1.7	1.0
Gjersjøen	0.3	1.0	8.8	3.1	2.3	1.0	0.9	1.0
Bjørkelangen	1.4	1.0	12.5	1.6	8.2	1.4	2.3	1.0
Goksjø			10.8	2.9	2.8	1.0	1.4	1.0
Maridalsvatnet	0.6	1.0						
Femsjøen			1.7	1.0				
Øgderen	0.3	1.0	3.4	1.3	2.6	1.9	1.1	1.0
Steinsfjorden	0.3	1.0	1.4	1.0	1.1	1.0	0.7	1.0
Rødenessjøen	1.1	1.0	7.7	1.3	6.0	1.0	2.0	1.0
Vansjø – Storefjell	0.3	1.0	8.2	1.9				
Vansjø – Vanemfj.	0.3	1.0						
Hurdalssjøen	0.3	1.0						
Øyeren			15.3	3.2	2.6	1.4	0.9	1.0
Tyri fjorden	0.3	1.0						
Randsfjorden	0.9	1.5						
Mjøsa	0.3	1.0						
Borrevatnet			10.2	2.3	2.0	1.1	1.1	1.0

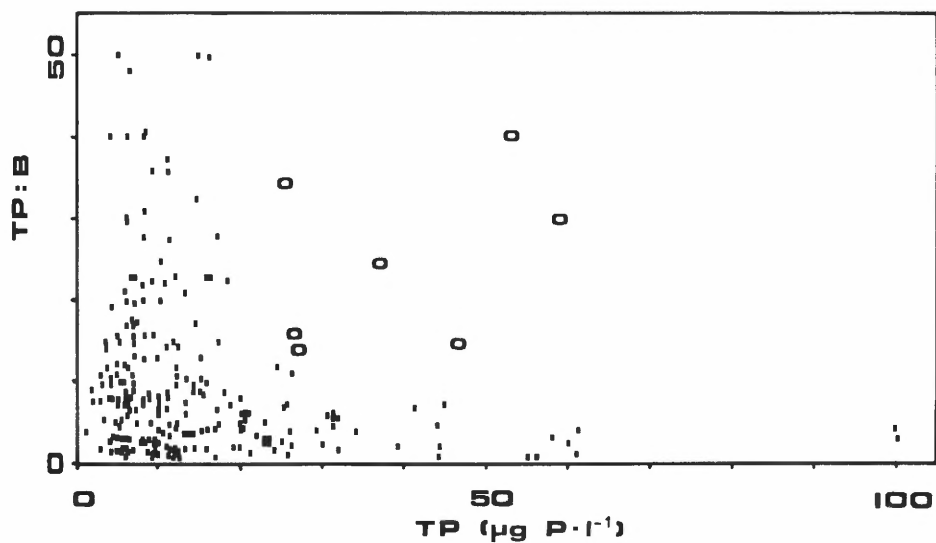
Figur 8 viser forholdet mellom totalfosfor (TP) og algebiomasse B i overflatevannet av over 200 innsjøer. Prøvene ble tatt i slutten av august. I eutrofe innsjøer er ofte TP:B < 5, mens mer næringsfattige innsjøer kan ha svært lave algebiomasser og dermed et høyt TP:B-forhold. I sterkt erosjonsutsatte innsjøer er også TP:B ofte høyt. Dette kan skyldes at det reaktive P bundet til partikler ikke er

fullstendig tatt opp av algene på grunn av lysbegrensning, lav oppholdstid for vannet eller andre fysiske forhold i vannet. Det kan også bety at det partikulært bundet P på denne tiden er svært lite tilgjengelig, noe de lave RP:RP<sub>F</sub>-verdiene indikerer (Tabell 8). Den lave tilgjengeligheten kan skyldes at det reaktive P, som tidligere var bundet til partikler, er tatt opp av planter. Det er også





Figur 7.  $RP_p$  ved forskjellige konsentrasjoner av PP i vannprøver fra forskjellige innsjøer (13.5. - 15.5 1984) (Blakar & Løvstad in prep.).



Figur 8. Forholdet mellom totalfosfor TP (i µg P/l) og planteplanktonbiomasse B (i mg våtvekt/l) ved forskjellige TP-konsentrasjoner i prøver fra forskjellige innsjøer.

□ = erosjonsutsatte innsjøer.

mulig at P er utilgjengelig ved at det er sterkt bundet til organiske partikler som i liten grad sedimenterer ut i forhold til de tyngre uorganiske partiklene.

Tabell 9 viser forholdet mellom midlere totalfosfor ( $\overline{TP}$ ) og planteplanktonbiomasse ( $\overline{B}$ ) i vekstsesongen for flere innsjøer. Vi ser at  $\overline{TP}$ : $\overline{B}$ -forholdet er svært høyt i de sterkt erosjonsutsatte

innsjøene Øyeren, Vansjø og Bjørkelangen i forhold til andre innsjøer som også er noe erosjonspåvirket. Ofte er forholdet 10 ganger høyere enn i lite erosjonsutsatte innsjøer, det vil si tilgjengeligheten i en relativt lite erosjonspåvirket innsjø kan ofte være over 5-10 ganger større enn i en sterkt erosjonsuttatt innsjø. Relativt få innsjøer er så

Tabell 9.  $\overline{TP}$  (midlere TP i  $\mu\text{g P/l}$ ) og  $\overline{B}$  (midlere planteplanktonbiomasse B i mg våtvekt/l) i vekstperioden mai – september og forholdet  $\overline{TP}$ : $\overline{B}$  i forskjellige innsjøer. Øyeren, Vansjø og Bjørkelangen er erosjonspåvirket. (Fra Løvstad in press; Bjørndalen & Løvstad in press.)

Innsjø	$\overline{TP}$ $\mu\text{g P/l}$	$\overline{B}$ $\text{mg/l}$	$\overline{TP}:\overline{B}$
Mjøsa 1977/1978	10	2	5
Bergsvatnet 1985	12	3.4	3.5
Goksjø 1985	19	4.8	4
Jaren 1980	19	3.6	5.2
Borrevatnet 1985	21	7	3
Frøylandsv. 1985	27	6.2	4.4
Akersvatnet 1985	31	10	3.1
Hillestadv. 1985	33	12.3	2.7
Øyern 1980	30	1.3	23
1981	20	1.7	11.8
1982	22	1.2	18.3
1983	19	1.0	19
1984	20	1.0	20
1985	37	1.2	31
Vansjø 1979	17	1.2	14
1980	30	0.7	43
1981	19	1.0	19
1982	22	0.7	31
1983	24	0.9	26
1984	18	0.7	26
1985	21	1.8	12
Bjørkelangen 1982	30	1.5	20
1983	46	2.0	23
1984	35	2.8	13
1985	44	1.8	24

sterkt erosjonspåvirket som Øyeren, Vansjø og Bjørkelangen. Imidlertid må konklusjonen være at det er viktig å bestemme den tilgjengelige andel av TP som inngår i algebiomassen og ikke bare den totale fosfortilførsel. Det er av stor betydning å avklare hvor stor andel av gjødsel-P som blir tilgjengelig til forskjellige tider av vekstsesongen i elver og innsjøer. Det bør også vurderes i hvilken grad fosforet blir tilgjengelig for algene i kystresipienter.

## 6. Sammendrag

I jord finnes det meste av fosforet bundet til partikler både i organiske og uorganiske forbindelser. Generelt vil innholdet av organisk og vannløselig fosfor være høyere i dyrket enn i udyrket jord. Dyrket jord vil på grunn av gjødsling og jordas bindingsforhold lettere gi fra seg fosfor til vannfasen enn udyrket jord.

Spesielt ved lav avrenningsintensitet vil det på alle jordarter skje en selektiv utvelgelse av finmateriale både ved overflate- og grøfteavrenning. De minste partiklene som også er de fosforrikeste vil relativt sett dominere i vannet ved lave avrenningsmengder, det vil si i hovedsak om sommeren og høsten når oppblomstringen av alger i vannet er størst.

Generelt har jord god evne til å binde fosfor. Ute i resipientene vil jord både kunne binde og frigjøre fosfor. Etter hvert som løst fosfor blir forbrukt fra vannet kan jordpartikler forsyne vannet med stadig nye mengder løst fosfor. Dette skjer lettest fra jord som er gjødslet og hvor fosforet ikke er så sterkt bundet.

Ved dyrking av de fleste vekster vil et  $P_{AL}$ -nivå i jorda omkring 7 være passe. Både forurensningsmessig og økono-

misk vil det være viktig med god gjødslingsveiledning for å sikre en best mulig balansert gjødsling. Alle tiltak som reduserer overflate- og grøfteavrenning vil redusere erosjon og den totale fosfortransport til resipienten. Man vil på denne måten også ta vare på selve produksjonsgrunnlaget i landbruket.

Biotestforsøk har vist at konsentrasjonen av molybdat-reaktivt fosfor (RP) målt kjemisk kan være tilnærmet lik konsentrasjonen av algetilgjengelig fosfor i vann. Dersom konsentrasjonen av erosjonsmateriale er høy i vannet vil en stor andel av det tilgjengelige fosforet være bundet til partikler. I erosjonsutsatte systemer er det derfor nødvendig å analysere på ufiltrerte prøver for å få et riktig mål på alt fosfor som er potensielt tilgjengelig. Fosforets tilgjengelighet i partikulært materiale kan variere sterkt, fra 0-100% av totalfosfor. I jord og sedimenter utgjør imidlertid ofte tilgjengelig fosfor 20-50% av totalfosfor.

Erosjonen påvirker eutrofieringsutviklingen i elver og innsjøer. Trofigraden som er et mål på mengden av alger og næringsstoffer (spesielt fosfor) i vannet kan inndeles i 5 forurensningsklasser. Vannets innhold av partikulært materiale (erosjonsmateriale) kan også inndeles i 5 forurensningsklasser.

Høyt innhold av erosjonsmateriale fører ofte til lavere algemengder enn når innholdet er lavt, selv om konsentrasjonen av totalfosfor er lik. Dette skyldes ofte at lysintensiteten er lav og vannets oppholdstid er kort. En del av fosforet er også utilgjengelig og en stor andel av erosjonsmaterialet sedimenterer. Tilslamming av vann med erosjonsmateriale er imidlertid uønskelig da vassdraget som økosystem blir ødelagt. Dessuten kan også masseoppblomstringer av alger finne sted når lysforhold og oppholdstid er gunstig midt på sommeren.

## 7. Litteratur

- Bjørndalen, K. & Løvstad, Ø., in press.* Fosforbegrenset vekst og spredning av blågrønnalger i Haldenvassdraget 1982-1985. Rapport Miljøvernnavd. i Østfold.
- Blakar, I. & Løvstad, Ø., in prep.* Available phosphorus for phytoplankton in lakes and rivers of south-eastern Norway.
- Golterman, H. L. 1969.* Methods for Chemical Analysis of Fresh Waters. IBP Handbook 8. Blackwell Scientific Publ., Oxford, 166 pp.
- Grøterud, O. & Lindbak, P. E. 1981.* Binding av fosfor i ulike sandjordtyper belyst ved kolonneforsøk og rysteforsøk. Meld. Norges landbrukshøgskole 60 (17), 41 s.
- Hove, P. 1986.* Fosfor i dreinsvann fra fastmark. Sluttrapport (NLVF) nr. 646, 8 s.
- Krogstad, T. 1986.* Fosfor i erosjonsmateriale. Sluttrapport (NLVF) nr. 643, 13 s.
- Krogstad, T., in press.* Utvikling og vurdering av fosfortilstand i dyrka jord i perioden 1960-85 med hovedvekt på Romerike og Jæren. Jord og Myr.
- Krogstad, T., in prep.* a) Fosforfraksjoner i toppjord og undergrunnsjord på dyrka mark på Romerike.
- Krogstad, T., in prep.* b) Phosphorus in runoff sediments from a cultivated silty soil.
- Lundekvam, H. 1977.* Kjemisk kvalitet i avrenningsvatn frå jordbruksområde i Norge. NORDFORSK, Miljøvårdssekretariatet. Publ. 2: 207-220.
- Lundekvam, H. 1984.* Stofftap frå eit landbruksområde i Østfold. NORDFORSK-seminar, Stockholm, 15 s.
- Lundekvam, H. & Mundal, K. 1986.* Vassureining frå jordbruksareal. Sluttrapport (NLVF) nr. 648, 14 s.
- Løvstad, Ø. 1984.* Effekter av erosjon. Tilgjengelig fosfor og algerespons. I NORDFORSK - Miljøvårdserien. Publ. 2: 69-77.
- Løvstad, Ø. in press.* Øyeren. Fosfor- eller lysbegrenset vekst for alger? Rapport Miljøvernnavd. i Akershus.
- Løvstad, Ø. & Wold, T. 1984.* Determination of external concentrations of available phosphorus for phytoplankton populations. Verh. int. Ver. Limnol. 22: 205-210.
- Murphy, J. & Riley, J. P. 1962.* A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal. Chim. Acta 26: 31-36.
- Njøs, A. & Hove, P. 1984.* Erosjonsundersøkelser - Vannerosjon. Sluttrapport (NLVF) nr. 496, 12 s.
- Stuanes, A. 1984.* Phosphorus sorption of soils to be used in wastewater renovation. J. Environ. Qual. 13: 220-224.
- Uhlen, G. 1978.* Næringsstoffnedvasking og overflateavrenning i feltlysimetre på dyrka mark. I. Avløpsmålinger, kjemisk innhold i avløpsvann og næringsstoffbalanse. Meld. Norges landbrukshøgskole 27, 26 s.
- Uhlen, G. 1982.* Etertvirkningen av fosforgjødsel undersøkt ved en isotopmetode og ved kjemiske jordanalyser. Meld. Norges landbrukshøgskole 61 (11), 9 s.
- Uhlen, G. 1986.* Overflateavrenning fra grasarealer. Sluttrapport (NLVF) nr. 645, 11 s.