

Løst fosfat i jordbruksavrenning – forskjell mellom driftssystemer

Av Eva Brod, Marianne Bechmann og Anne Falk Øgaard

Eva Brod og Anne Falk Øgaard er forskere ved NIBIO. Marianne Bechmann er seniorforsker ved NIBIO.

Summary

Dissolved reactive phosphorus in runoff – difference between farming systems

Phosphorus loss from agriculture is an important source for phosphorus in Norwegian fresh waters. In analysis of eutrophication abatement measures, it is therefore important to have reliable estimates both for losses of total phosphorus and for the phosphorus fraction that is more easily available to algae and blue green bacteria. In this study we used data from 9 catchments that have been monitored in The Norwegian Agricultural Environmental Monitoring Programme (JOVA) for 17-25 years to quantify concentrations of dissolved reactive phosphorus in runoff from different farming systems (grassland, arable land and mixed systems). The dissolved reactive phosphorus varied strongly in concentrations between years and so did the fraction of dissolved reactive phosphorus in relation to total phosphorus. Still, the results suggest that the fraction of dissolved reactive phosphorus is larger in runoff from farming systems with grass and pastures ($43 \pm 14\%$) than in runoff from mixed systems ($30 \pm 15\%$) and in runoff from farming systems with arable land ($17 \pm 9\%$). The grassland catchments had on average more than twice as high livestock density and higher precipitation than the catchments dominated by arable land. The present

findings can be used to indicate the fraction of bioavailable phosphorus in runoff from different farming systems.

Sammendrag

Avrenning fra jordbruket er en viktig kilde til fosfor i vassdrag i Norge. Ulike former for fosfor har ulik effekt på vekst av alger og blågrønnbakterier i vassdragene. I tiltaksanalyser er det derfor viktig å ha pålitelige estimater for både totalfosfor og andelen løst fosfat som tapes fra jordbruket. Vi har brukt data fra ni overvåkingsfelt i Program for jord- og vannovervåking i landbruket (JOVA) som har blitt overvåket i 17-25 år til å kvantifisere konsentrasjonen og andelen løst fosfat av totalfosfor i jordbruksavrenning fra ulike driftssystemer (eng og beite, åpen åker og blandete driftssystemer). Både konsentrasjonen av løst fosfat og andelen løst fosfat av totalfosfor i jordbruksavrenningen varierer sterkt mellom år. Likevel tyder resultatene på at andelen løst fosfat av totalfosfor er høyere i avrenningsvann fra driftssystemer med eng- og beiteareal ($43 \pm 14\%$) enn i avrenningsvann fra blandete driftssystemer ($30 \pm 15\%$) og fra driftssystemer med åpen åker ($17 \pm 9\%$). Driftssystemene med eng- og beiteareal hadde i gjennomsnitt dobbelt så høy husdyrtetthet og høyere nedbør sammenlignet med

driftssystemer med åpen åker. Disse resultatene kan bl.a. brukes som grunnlag for vurdering av faktorer for biotilgjengelig fosfor i avrenning fra ulike driftssystemer i jordbruket.

Introduksjon

Næringsstofftap fra jordbruket er en viktig kilde til fosfor i vassdrag i Norge. Økte tilførsler av fosfor i vassdragene kan føre til økt produksjon av alger og blågrønnbakterier og redusert vannkvalitet i ferskvann. Fosfor i avrenning fra jordbruksarealer består av ulike fraksjoner som har ulik biotilgjengelighet og effekt på vannkvalitet. Fosfor forekommer både som løst fosfat og partikkelbundet uorganisk fosfor i tillegg til organisk bundet fosfor. Løst fosfat regnes å være umiddelbart biotilgjengelig. I tillegg vil en del partikkelbundet fosfor bli biotilgjengelig etterhvert når den eroderte jorda kommer i kontakt med større mengder vann (Øgaard m.fl. 2012).

Det er viktig å rette tiltakene mot næringsstofftap mot de næringsstofffraksjonene som har størst effekt på vannkvalitet. I tiltaksanalyser er det derfor nødvendig å ha pålitelige estimater for både mengden totalfosfor som tapes fra jordbruket og andelen av dette som er direkte biotilgjengelig for alger og blågrønnbakterier. Potensielt biotilgjengelig fosfor inkluderer både løst fosfat og noe partikkelbundet fosfor. Det brukes ulike faktorer for potensielt biotilgjengelig fosfor i ulike modeller. Berge og Källqvist (1990) fant at biotilgjengeligheten av fosfor i avrenning fra korndominert jordbruk på Østlandet var 24 %. Solheim m.fl. (2001) foreslo at 25 % av totalfosfor fra korndyrkingsarealer kan være biotilgjengelig. Berge og Källqvist (1990) fant ved algetester at biotilgjengeligheten av fosfor var om lag 70 % større i avrenning fra et areal tilført husdyrgjødsel sammenlignet med et areal med kornproduksjon. Den potensielle biotilgjengeligheten til fosfor i jord øker med økende P-AL-verdier, og ved en P-AL-verdi på rundt 20 på sandjord har Øgaard (1995) vist at 50 % av fosforet var potensielt biotilgjengelig, mens kun 25 % var biotilgjengelig ved en P-AL-verdi på rundt 6 i samme jordtype. På leirjord er den potensielle biotilgjengeligheten til fosfor lavere enn på sandjord

ved tilsvarende P-AL-verdier (Øgaard 1995). Tidligere estimater av potensielt biotilgjengelig fosfor i avrenning har vært basert på enkelte prøver eller forsøk. Det er derfor behov for å få mer dokumentasjon på biotilgjengelighet av fosfor i avrenning fra ulike driftssystemer (eng og beite, åpen åker og blandete driftssystemer).

I Program for Jord- og vannovervåking i landbruket (JOVA) overvåker vi normal jordbruksdrift og avrenning fra jordbruksdominerte nedbørfelt som representerer en del av de viktigste produksjoner og jordbruksområder i Norge. I denne studien bruker vi resultater fra 9 overvåkingsfelt i JOVA med lange tidsserier (17-25 år) med formål om å kvantifisere konsentrasjonen og andelen løst fosfat av totalfosfor i jordbruksavrenning fra ulike driftssystemer, og å vurdere trender over tid.



Figur 1. Geografisk plassering av JOVA-feltene, der jordbrukssystemer med åpen åker er markert med rødt, jordbrukssystemer med eng og beite er markert med grønt og blandete driftssystemer er markert med svart.

Nedbørfelt	Areal km ²	Dyrka mark %	Middeltemperatur °C	Nedbør mm	Jordtype	P-AL mg P 100g ⁻¹	Husdyrtetthet GDE/daa ¹	Dominerende vekster	Antall år
Nedbørfelt med åpen åker									
Skuterud	4,5	61	5,5	785	Siltig mellomleire	9	0,03	Korn	22
Mørdre	6,8	65	4,3	665	Silt og leire	12	0,02	Korn	17
Vasshaglona	0,9	48	6,9	1230	Sand	28	0,13	Korn/potet/grønnsaker	18
Nedbørfelt med blandete driftssystemer									
Hotran	19,4	80	5,3	892	Silt lettleire, mellomleire	14	0,15	Korn, gras	24
Kolstad	3,1	68	4,2	585	Moldrik lettleire	11	0,10	Korn, gras	25
Nedbørfelt med eng- og beiteareal									
Skas-Heigre	29,3	85	7,7	1180	Leire, sand, myr	17	0,20	Gras, korn	21
Time	1,0	94	7,1	1189	Siltig mellomsand	21	0,27	Gras, rotvekster	21
Naurstad	1,5	35	4,5	1020	Myr/fin- og mellomsand	10	0,08	Gras	22
Volbu	1,7	41	1,6	575	Siltig mellomsand	12	0,09	Gras	23

¹ GDE = gjødseldyr-enhet

Tabell 1. Totalt areal, andel dyrka mark, temperatur- og nedbørforhold, jordtype, P-AL-tall, husdyrtetthet og dominerende vekster og antall år i undersøkte JOVA-felt for overvåkingsperioden 1991-2016.

Materiale og metode

Jord- og vannovervåking i landbruket (JOVA)

Tabell 1 gir en oversikt over areal, andel dyrka mark, temperatur- og nedbørforhold, jordtype, husdyrtetthet, P-AL-tall og dominerende vekster i undersøkte JOVA-felt, og figur 1 viser den geografiske plasseringen av feltene.

Overvåkingen i JOVA-programmet består av: 1) årlig informasjon om jordbrukspraksis og 2) kontinuerlige vannføringsmålinger med vannføringsproporsjonal prøvetaking og analyse av partikler og næringsstoffer. Totalfosfor i vannprøvene er bestemt med molybdatblåttmetoden (Murphy og Riley 1962) i utfiltrert prøve etter kjemisk oppslutning i kaliumperoksodisulfat (K₂S₂O₈). Løst fosfat er bestemt med molybdenblåttmetoden etter filtrering av prøven (0,45µm), mens partikkelbundet fosfor blir beregnet som differanse mellom totalfosfor og løst fosfat. En detaljert beskrivelse av undersøkelsene og resultater fra JOVA-overvåkingen kan leses i f.eks.

Bechmann m.fl. (2014), og på www.nibio.no/jova.

I denne artikkelen bruker vi data fra overvåkingsperioden 1991 til 2016.

Databehandling

Enkel lineær regresjon ble benyttet for å se på sammenhengen mellom 1) middel årlig konsentrasjon av totalfosfor og suspendert stoff i avrenningsvannet, og 2) andelen løst fosfat av totalfosfor og andelen eng- og beiteareal i overvåkingsfeltet. Enveis variansanalyse (ANOVA) ble benyttet for å sammenligne effekten av type drift (åpen åker, eng og beite, blandete driftssystemer) på andelen fosfat av totalfosfor i avrenningsvannet ($\alpha = 0,05$). Skas-Heigre, Time, Naurstad og Volbu representerer driftssystemer med stor andel eng- og beiteareal, Skuterud, Mørdre og Vasshaglona representerer driftssystemer med åpen åker, mens Hotran og Kolstad representerer blandete driftssystemer. Enveis ANOVA ble dessuten benyttet for å klarlegge om løst fosfat av total-

fosfor i avrenningsvannet varierer mellom enkelt-måneder for hvert av driftssystemene. Toveis ANOVA ble benyttet for å klarlegge effekten av andel eng- og beiteareal og middel årlig konsentrasjon av suspendert stoff og deres samspill på andelen løst fosfat i avrenning. Tukey's test ble brukt for multiple sammenligninger.

I tillegg gjennomførte vi Mann-Kendall testen ($\alpha = 0,05$) for å vurdere trender av konsentrasjoner over tid (Mann 1945, Kendall 1975). Mann-Kendall-testen er en ikke-parametrisk trendanalyse som ofte er brukt for å oppdage trender i tidsserier med vannkvalitetsdata der avrenning er brukt som kovariat for å korrigere for variasjonen i avrenning mellom år.

Resultater og diskusjon

Konsentrasjoner av totalfosfor i avrenningsvann

Konsentrasjoner av totalfosfor i vannprøver varierer betydelig mellom overvåkingsfelt i tabell 2.

Den gjennomsnittlige fosforkonsentrasjonen er høyest i bekker fra arealer med åpen åker, f. eks. i Mørdrebekken (593 $\mu\text{g/l}$) og Hotran (357 $\mu\text{g/l}$), og lavere i bekker fra arealer med gras som dominerende produksjon, f.eks. i Volbubekken

(71 $\mu\text{g/l}$) og Naurstad (121 $\mu\text{g/l}$). Det er en god sammenheng mellom konsentrasjonen av suspendert stoff og fosfor i avrenningen fra overvåkingsfeltene, figur 2.

Det betyr at forskjeller i erosjon av jordpartikler er en av de viktigste årsakene til forskjellen i konsentrasjoner av totalfosfor mellom feltene. Erosjonshindrende tiltak som bl.a. endret jordarbeiding, er derfor viktige for å redusere totale fosfortap fra jordbruksareal til vassdrag. Dessuten er jordas fosforinnhold en viktig faktor for fosforavrenningen. Eggestad m.fl. (2001) har utviklet en metodikk for beregning av nasjonale fosfortap fra jordbruksarealer med følgende ligning, som er basert på resultater fra JOVA:

$$\text{Totalfosfortap (g/daa)} = 0,0057615 \cdot \text{P-AL (mg/100g)} \cdot \text{Q(mm)} + 1,493 \cdot \text{SS (kg/daa)} - 1,589228 \quad (R^2 = 0,92)$$

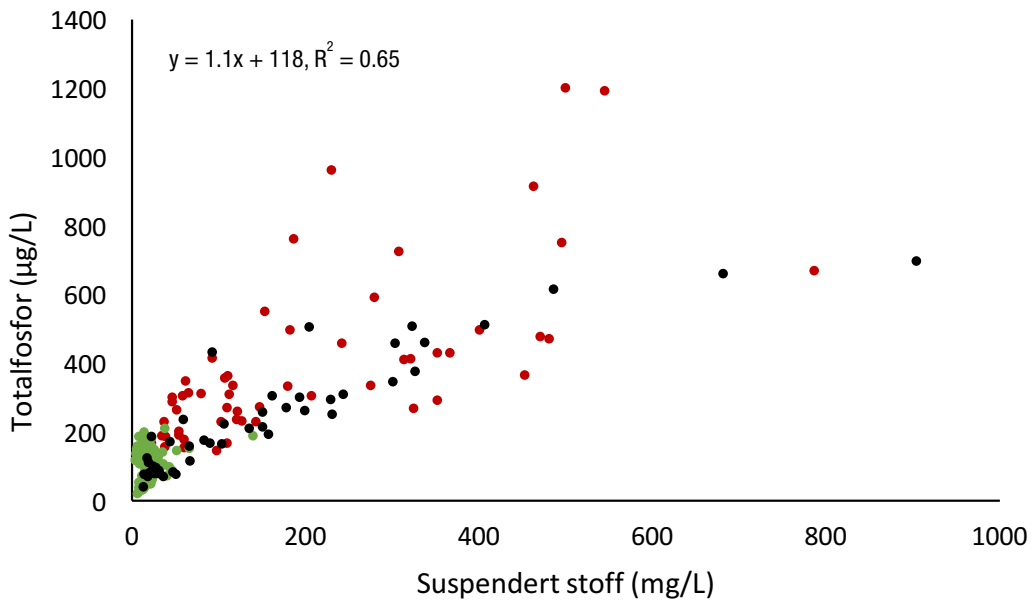
Ligningen viser at både erosjon og P-AL har betydning for fosfortapene.

Konsentrasjoner av løst fosfat

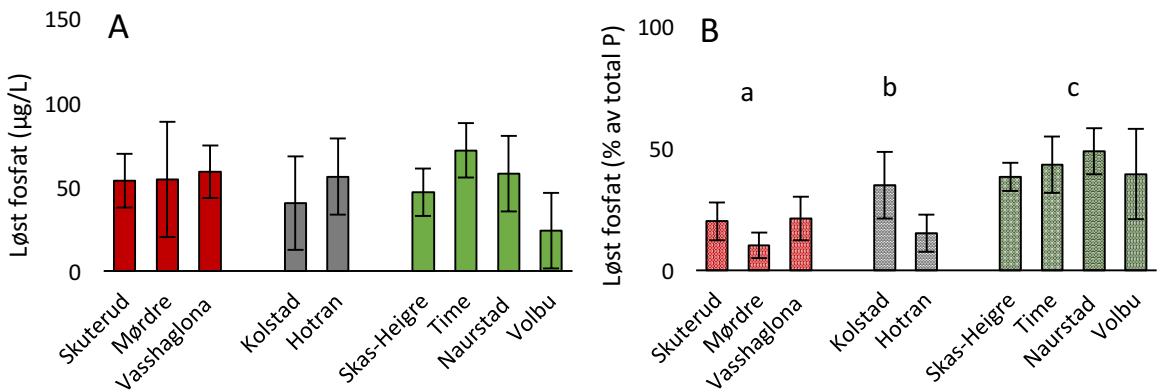
I middel er det ingen forskjell i de absolutte konsentrasjonene av løst fosfat i avrenning fra de ulike driftssystemene, figur 3A.

	Avrenning mm	Suspendert stoff mg/l	Gløderest mg/l	Totalfosfor $\mu\text{g/l}$	Løst fosfat $\mu\text{g/l}$	Total nitrogen mg/l	Nitrat mg/l
Nedbørfelt med åpen åker							
Skuterud	563	119	104	266	50	5,7	4,3
Mørdre	347	414	387	593	55	4,8	3,3
Vasshaglona	1017	71	55	339	58	5,7	4,4
Nedbørfelt med blandete driftssystemer							
Hotran	666	268	341	357	56	4,6	3,5
Kolstad	366	42	35	124	40	10,9	9,3
Nedbørfelt med eng- og beiteareal							
Skas-Heigre	688	12	6	137	47	4,8	3,8
Time	776	11	6	163	69	6,4	4,6
Naurstad	1100	27	22	121	60	1,1	0,4
Volbu	291	23	19	71	27	3,5	2,8

Tabell 2. Middel årlig avrenning og årlige vannføringsveide gjennomsnittskonsentrasjoner av suspendert stoff, gløderest av suspendert stoff, totalfosfor, løst fosfat, total nitrogen og nitrat i undersøkte JOVA-felt for 17-25 år under overvåkingsperioden 1991-2016.



Figur 2. Sammenheng mellom årlig konsentrasjon av suspendert stoff (mg/L) og fosfor i avrenningen (µg/L) fra undersøkte JOVA-felt for 17-25 år under overvåkingsperioden 1991-2016. Grønne punkter = jordbrukssystemer med eng og beite (Skas-Heigre, Time, Naurstad og Volbu), røde punkter = jordbrukssystemer med åpen åker (Skuterud, Mørdre og Vasshaglona), svarte punkter = blandete driftssystemer (Kolstad, Hotran).



Figur 3. A) Middell årlig konsentrasjon av løst fosfat (µg/L) i avrenningsvann og B) middell årlig andel løst fosfat som % av totalfosfor fra undersøkte JOVA-felt for 17-25 år under overvåkingsperioden 1991-2016. Vertikale linjer viser standardavvik mellom år innen hvert felt. Rød = jordbrukssystemer med åpen åker, svart = blandete driftssystemer, grønn = jordbrukssystemer med eng og beite. Ulike bokstaver indikerer signifikante forskjeller mellom driftssystemer (Tukey's test).

Det betyr at konsentrasjonen av fosfor som er umiddelbart biotilgjengelig, er like stor ved de ulike driftssystemene. Det er likevel forskjell i konsentrasjonen av løst fosfat mellom enkelte

nedbørfelt. Volbu i Valdres har lavere konsentrasjoner av løst fosfat sammenlignet med Time og Naurstad, figur 3A. I Volbu er det ekstensivt jordbruk med lite fosforgjødsling, og fosforover-

skuddet (tilført fosfor minus fosfor fjernet med avling) har til og med vært negativt de siste årene. Konsentrasjonen av løst fosfat viser ikke signifikant sammenheng med gjødslingsnivå, men kan også være påvirket av utfrysing av fosfor fra plantene, jordas innhold av lett tilgjengelig fosfor og frigjøring av fosfor fra eroderte partikler. Dessuten kan det være spredt avløp i nedbørfeltene som bidrar med løst fosfat, spesielt i perioder med lav avrenning (Blankenberg m.fl. 2015).

Andelen løst fosfat i avrenningsvann

Selv om det ikke er forskjell i de absolutte konsentrasjonene av løst fosfat i avrenning fra de ulike driftssystemene, varierer andelen løst fosfat av totalfosfor i avrenning systematisk mellom overvåkingfeltene i JOVA (figur 3B og 4).

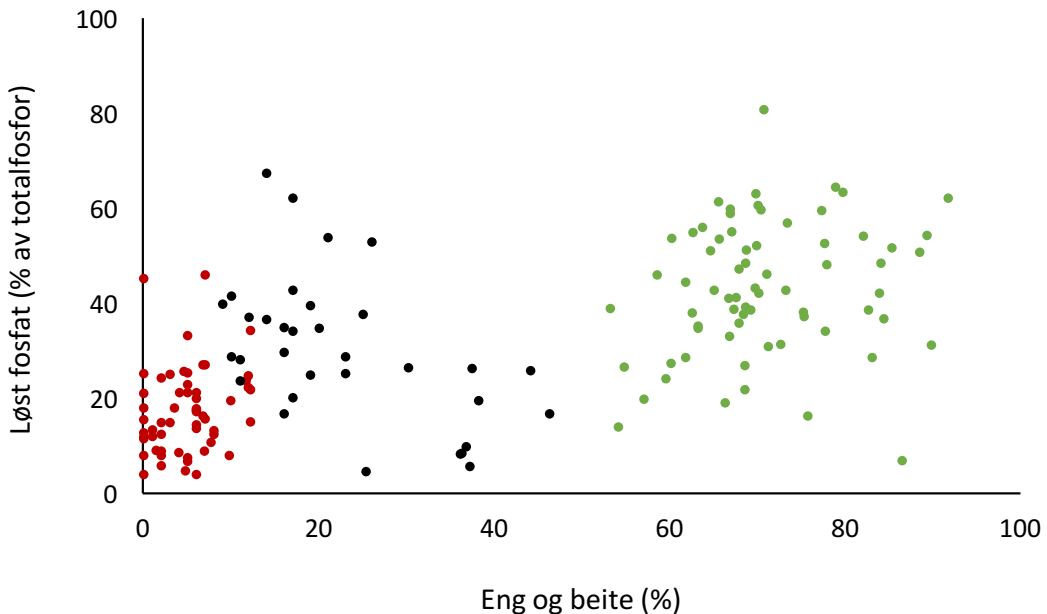
Andelen løst fosfat av totalfosfor var signifikant større i avrenning fra driftssystemer med høy andel eng og beite (Skas-Heigre, Time, Naurstad og Volbu) enn fra blandete drifts-

systemer (Kolstad, Hotran) og driftssystemer med mye åpen åker (Skuterud, Mørdre og Vasshaglona), til tross for stor variasjon mellom enkelte år.

Gjennomsnittlig utgjør årlig middel andel løst fosfat av totalfosfor:

- 43 ± 14 % i avrenningsvann fra driftssystemer med eng- og beiteareal og
- 30 ± 15 % i avrenningsvann fra blandete driftssystemer og
- 17 ± 9 % i avrenningsvann fra driftssystemer med åpen åker.

I samsvar med resultatene våre fant også Sharpley (1993) at andelen løst fosfat av totalfosfor i jordbruksavrenning er større i driftssystemer med eng (60 %) enn fra kornareal med både konvensjonell og redusert jordarbeiding (6-10 %). Uhlen (1989) fant også for overflateavrenning at andelen løst fosfat av totalfosfor ble påvirket av driftssystemet. Hans resultater er basert på resultater fra et avrenningsforsøk på



Figur 4. Sammenheng mellom andel eng og beite i % av jordbruksareal og årlig andel løst fosfat som % av totalfosfor i undersøkte JOVA-felt for 17-25 år under overvåkingperioden 1991-2016. Grønne punkter = jordbrukssystemer med eng og beite (Skas-Heigre, Time, Naurstad og Volbu), røde punkter = jordbrukssystemer med åpen åker (Skuterud, Mørdre og Vasshaglona), svarte punkter = blandete driftssystemer (Kolstad, Hotran).

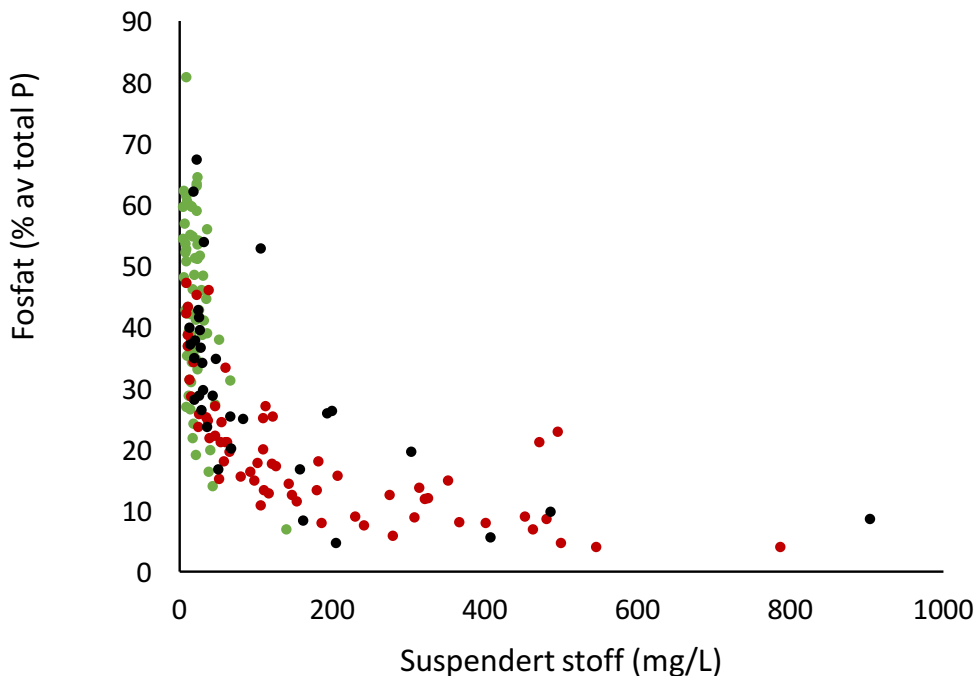
Ås, og middelandel løst fosfat for både kornareal (39 %) og eng (81 %) i perioden 1975-1981 var betydelige større enn i JOVA-dataene. Berge og Källqvist (1990) fant ved laboratorietester med testalge (grønnalgen *Selenastrum capricornutum*) 70 % større biotilgjengelighet av fosfor i avrenning fra husdyrområder på Jæren i forhold til avrenning fra kornarealer på Østlandet. Biotilgjengeligheten av fosfor i avrenning fra kornarealer ble bestemt til 24 % i forsøk med naturlige begroingsalger i rennende vann.

Figur 5 viser at andelen løst fosfat av totalfosfor er størst ved lav partikkelkonsentrasjon i avrenningen og at andelen løst fosfat av totalfosfor blir mindre ved økende partikkelkonsentrasjonen i avrenningen.

Lavere andel løst fosfat av totalfosfor i jordbruksavrenning fra kornområder sammenlignet med husdyrområder kan delvis forklares med at det er større erosjon og partikkelkonsentrasjon

i avrenningen fra disse arealene. En multipel regresjon bekrefter at effekten av andelen eng- og beiteareal på andelen løst fosfat er avhengig av konsentrasjonen av suspendert stoff i avrenningsvannet.

Jordas fosforstatus er ofte høy i intensive dyrkingsystemer med gras og husdyr på grunn av lang tids overskuddsgjødsling med fosfor. I Time, som er et felt med stor husdyrtetthet, er gjennomsnittlig P-AL 21 mg/100g jord (meget høyt). Andelen vannløselig fosfor i jordprøver er vist å være større ved høyere fosforstatus (Øgaard 1995). En generelt høyere konsentrasjon av både totalfosfor og vannløselig fosfor i jorden anses derfor som en medvirkende årsak til en høyere andel løst fosfat i avrenning fra eng- og beiteareal sammenlignet med blandete driftssystemer og kornareal (Bechmann m.fl. 2005). Også avrenning av fosfor direkte fra husdyrgjødsel som spres på gras kan være med på å



Figur 5. Løst fosfat som % av totalfosfor ved ulike konsentrasjoner av suspendert stoff i jordbruksavrenning (årlige middelerverdier for 17-25 år under overvåkingsperioden 1991-2016). Grønne punkter = jordbrukssystemer med eng og beite (Skas-Heigre, Time, Naurstad og Volbu), røde punkter = jordbrukssystemer med åpen åker (Skuterud, Mordre og Vasshaglona), svarte punkter = blandete driftssystemer (Kolstad, Hotran).

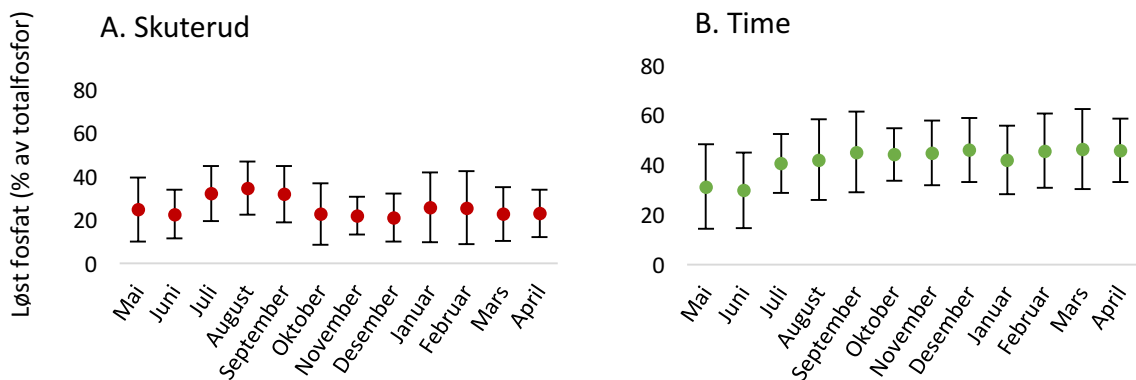
forklare den høyere andelen løst fosfat i jordbruksavrenning fra husdyrområder sammenlignet med blandete driftssystemer og kornområder. Det er vist at fosfor fra husdyrgjødsel er mer biotilgjengelig enn fosfor i overflateavrenning fra åpen åkerarealer (Berge og Källqvist 1990). I tillegg vil utfrysing og utvasking av løst fosfat fra plantemateriale (Øgaard 2015) ha større betydning for eng- og beiteareal enn for areal med kornproduksjon. Alle disse faktorene fører til at fosfor som tapes fra grasdominerte jordbruksarealer ofte vil være mer tilgjengelig for alger enn fosfor som tapes fra korndominerte jordbruksareal og blandete driftssystemer.

Overvåkingsfeltene Kolstad og Hotran representerer blandete driftssystemer med både åpen åker og husdyrproduksjon. I Kolstadbekken er det funnet en større andel løst fosfat enn forventet ut i fra andel eng og beite. Dette kan forklares ved at overvåkingsfeltet er preget av lite overflateavrenning og erosjon, og at det er indikasjoner på at denne jordtypen har relativt lav bindings-evne for fosfor (Øgaard 2016). Samtidig har det vært en økning i antallet husdyr over tid i feltet og et overskudd av fosfor i produksjonen på om lag 1 kg fosfor per dekar og år. Det motsatte er tilfellet i Hotranelva som ligger i et leirjordsområde med mye erosjon. Derfor tapes relativt mer fosfor med jordpartikler til Hotranelva enn sammenhengen med andelen eng og beite i figur 4 skulle tilsi.

Sesongvariasjoner i andelen løst fosfat i avrenningsvann

Gjennomsnittlig andel løst fosfat av totalfosfor for enkeltmåneder varierer sterkt mellom år i overvåkingsperioden for de ulike driftssystemene, som eksempelvis vist for Skuterud og Time i figur 6.

Likevel varierer andelen løst fosfat av totalfosfor systematisk gjennom året for driftssystemer med høy andel eng og beite (Skas-Heigre, Time, Naurstad og Volbu). Samlet for disse 4 feltene er andelen løst fosfat gjennomsnittlig høyere i mars ($48 \pm 18 \%$) og april ($47 \pm 18 \%$) enn i mai ($37 \pm 19 \%$) og juni ($37 \pm 16 \%$). I Timebekken alene er andelen løst fosfat høyere i mars ($46 \pm 16 \%$) og april ($46 \pm 13 \%$) enn i juni ($28 \pm 15 \%$) (figur 6B). I overvåkingsfeltet Time foregår fosforgjødsling og spredning av husdyrgjødsel hovedsakelig i april samt noe i mars. Derfor kan økt utvasking av fosfat fra husdyrgjødselen være med på å forklare at det i Time er signifikant større andel av løst fosfat av totalfosfor i avrenningen i mars-april sammenlignet med juni. I juni derimot vil plantene ta opp mye fosfat fra jorden og dette kan være med på å forklare reduksjon i fosfatkonsentrasjon i avrenningen. I overvåkingsfeltene Naurstad og Volbu blir det gjødslet lite med fosfor i mars og april. Disse to feltene har imidlertid et kaldere vinterklima enn Time, og økt andel løst fosfat av totalfosfor i avrenningen i mars og april kan derfor tyde på utvasking av



Figur 6. Løst fosfat som % av totalfosfor for hver måned som gjennomsnitt for 22 og 21 år i feltene A) Skuterud (åpen åker) og B) Time (eng og beite). Vertikale linjer viser standardavvik innen hver måned.

utfroyst fosfor fra plantemateriale i disse månedene. Løst fosfat som tapes til vassdrag rett før algenes vekstsesong vil kunne bidra mer til algevekst og eutrofiering sammenlignet med fosfor som tilføres som partikkelbundet fosfor på høsten og vinteren. I driftssystemer med mye åpen åker (Skuterud, Mørdre og Vasshaglona) eller blandete driftssystemer (Kolstad, Hotran) var det ingen forskjell i andelen løst fosfat mellom månedene når alle feltene ble inkludert i analysen.

Trender over tid

I Mørdrebekken har konsentrasjonen av totalfosfor og partikkelbundet fosfor økt i løpet av overvåkingsperioden fra 1999 til 2016, til tross for gjennomførte jordarbeidstiltak. Dette skyldes særlig erosjon og høye fosforkonsentrasjoner i avrenningen i årene etter 2012/2013. Konsentrasjonen av løst fosfat i Mørdrebekken har derimot vært uforandret.

Konsentrasjonen av løst fosfat i avrenningsvannet har gått ned i løpet av overvåkingsperioden i jordbruksbakkene i Skas-Heigre og Naurstad, hvor nedbørfeltene domineres av eng- og beiteareal. I Skas-Heigre kan nedgangen henge sammen med miljøavtaler som ble inngått i 2010 og har fortsatt frem til og med 2016. Miljøavtalene innebærer bl.a. restriksjoner på bruken av fosforholdig gjødsel, inkludert husdyrgjødsel, til grasareal på 3 kg P/daa og krav som skal sikre optimal bruk av husdyrgjødsel. Også i Naurstad har fosforgjødslingen gått ned i løpet av overvåkingsperioden (Bechmann m.fl. 2014).

Konsentrasjonen av løst fosfat har derimot økt i Timebekken i løpet av overvåkingsperioden til tross for inngåtte miljøavtaler. Fosforoverskuddet i Timefeltet har vært økende i overvåkingsperioden og har i gjennomsnitt vært 1,4 kg per dekar og år. Årlige tilførsler av overskudd av fosfor i jordbruket fører til økning i jordas fosforstatus over tid med derav økende risiko for avrenning av løst fosfat (Øgaard 1995). I Timebekken har partikkelerosjon gått ned og kan være medvirkende årsak til at andelen løst fosfat av totalfosfor har økt.

Konklusjon

Formålet med denne artikkelen var å kvantifisere andelen løst fosfat av totalfosfor i jordbruksavrenning fra ulike driftssystemer (eng og beite, åpen åker og blandete driftssystemer). Analyse av data fra 9 overvåkingsfelt i Program for Jord- og vannovervåking i landbruket (JOVA) fra overvåkingsperioden 1991 til 2016 har vist at både fosfatkonsentrasjonen og andelen løst fosfat av totalfosfor i jordbruksavrenningen varierer sterkt mellom år. Likevel tyder resultatene på at andelen løst fosfat av totalfosfor er høyere i avrenningsvann fra driftssystemer med eng og beite ($43 \pm 14\%$) enn i avrenningsvann fra blandete driftssystemer ($30 \pm 15\%$) og fra driftssystemer med åpen åker ($17 \pm 9\%$). Disse faktorene kan brukes som grunnlag for estimering av den biotilgjengelige fosforfraksjonen i avrenning fra ulike driftssystemer. I driftssystemer med høy andel eng og beite varierer andelen løst fosfat av total fosfor også innen et år med tendens til større andel i mars og april enn i mai og juni. Mulige tiltak for å redusere andelen løst fosfat av totalfosfor i jordbruksbækker inkluderer optimal bruk av husdyrgjødsel og redusert fosforgjødsling.

Referanser

- Bechmann M, Berge D, Eggestad HO, Vandsemb S (2005) Phosphorus transfer from agricultural areas and its impact on the eutrophication of lakes - two long-term integrated studies from Norway. *Journal of Hydrology* 304 (1-4): 238–250
- Bechmann M, Stenrød M, Pengerud A, Grønsten HA, Deelstra J, Eggestad HO, Hauken M (2014) Erosjon og tap av næringsstoffer og plantevernmidler fra jordbruksdominerte nedbørfelt: Sammendragsrapport fra Program for jord- og vannovervåking i landbruket (JOVA) for 1992-2013. *Bioforsk Rapport* 9 (84): 92 s.
- Berge D, Källqvist T (1990) Biotilgjengelighet av fosfor i jordbruksavrenning sammenlignet med andre forureningskilder. *NIVA Rapport*, O-87064: 130 s.
- Blankenberg AG, Paruch A, Bechmann M, Paruch L (2015) Betydning av spredt avløp i jordbrukslandskapet. *VANN* 1: 8–17
- Eggestad HO, Vagstad N, Bechmann M (2001) Losses of nitrogen and phosphorus from Norwegian agriculture to the OSPAR problem area. *Jordforsk report* 99/01: 27 s.

Kendall MG (1975) Rank correlation methods. 4th edition, Charles Griffin, London, 202 s.

Mann HB (1945) Nonparametric test against trend. *Econometrica* 13: 245–259

Murphy J, Riley JP (1962) A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal Chim Acta* 27: 31–36

Sharpley (1993) Assessing phosphorus bioavailability in agricultural soils and runoff. *Fertilizer Research* 36: 259–272

Solheim LA, Vagstad N, Kraft P, Løvstad Ø, Skoglund S, Turtumøygard S, Selvik J-R (2001) Tiltaksanalyse for Morsa (Vansjø-Hobøl-vassdraget) – Sluttrapport. NIVA rapport O-20186: 104 s.

Uhlen G (1989) Nutrient leaching and surface runoff in field lysimeters on a cultivated soil. Nutrient balances 1974–81. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences* 3: 33–46.

Øgaard AF (1995) Effect of phosphorus fertilization and content of plant-available phosphorus (P-AL) on algal-available phosphorus in soils. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science* 45: 242–250

Øgaard AF, Krogstad T, Skarbøvik E, Bechmann M (2012) Biotilgjengelighet av fosfor fra jordbruksavrenning – kunnskapsstatus. *VANN* 3: 357–368

Øgaard AF (2015) Freezing and thawing effects on phosphorus release from grass and cover crop species. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science* 65 (6): 529–536

Øgaard AF, Kristoffersen AØ, Bechmann M (2016) Utredning av forslag til forskriftskrav om tillatt spredemengde av fosfor i jordbruket. *NIBIO rapport* 2(131): 51 s.