

Bioforsk Rapport

Vol. 1 Nr. 177 2006

Tiltak mot fosfortap fra jordbruksarealer rundt vestre Vansjø

Marianne Bechmann, Annelene Pengerud, Lillian Øygarden, Anne Falk Øgaard
(Bioforsk) og Nina Syversen (Asplan Viak)

Bioforsk Jord og miljø





Hovedkontor
Frederik A. Dahls vei 20,
1432 Ås
Tel.: 64 94 70 00
Fax: 64 94 70 10
post@bioforsk.no

Bioforsk Jord og miljø
Ås
Frederik A. Dahls vei 20
Tel.: 64 94 81 00
Fax: 64 94 81 10
jord@bioforsk.no

Tittel/Title: Tiltak mot fosfortap fra jordbruksarealer rundt vestre Vansjø

Forfatter(e)/Autor(s):

Marianne Bechmann, Annelene Pengerud, Lillian Øygarden, Anne Falk Øgaard og Nina Syversen

<i>Dato/Date:</i> 31/1 2007	<i>Tilgjengelighet/Availability:</i> Åpen	<i>Prosjekt nr./Project No.:</i> 4388	<i>Arkiv nr./Archive No.:</i>
<i>Rapport nr.:</i> 1/177	<i>ISBN-nr.:</i> ISBN-10 nr. 82-17-00145-6 ISBN-13 nr. 978-82-17-00145-4	<i>Antall sider:</i> 44	<i>Antall vedlegg:</i> 1

<i>Oppdragsgiver/Employer:</i> Vannområdeutvalget for Morsa	<i>Kontaktperson/Contact person:</i> Helga Gunnarsdottir
--	---

Stikkord/Keywords:

Fosfor, tiltak, landbruk, erosjon, gjødsling, vegetasjonssoner, fangdammer, grønnsaker, potet, grøfteavrenning

Fagområde/Field of work:

Landbruksforurensning

Sammendrag

Rapporten presenterer en oppdatert oversikt over kunnskapsstatus og eventuelle kunnskapsmangler vedrørende effekter av tiltak som er aktuelle på jordbruksarealer i nedbørfeltet til vestre Vansjø. Aktuelle tiltak i nedbørfeltet til vestre Vansjø omfatter i hovedsak 1) erosjonshindrende tiltak, 2) tiltak som fører til redusert fosfornivå i jorda og 3) rensetiltak. Bakgrunnen for gjennomgangen av effekter av tiltak mot fosfortap på jordbruksarealene er undersøkelsene som ble gjennomført i 2005 og 2006 og som viste at de lokale fosfortilførslene til vestre Vansjø betyr mer enn tidligere antatt for vannkvaliteten i innsjøen.

I rapporten er det prioritert tiltak som forventes å ha den største effekt i dette nedbørfeltet samt tiltak som har den best dokumenterte effekt. Det er foreslått ulike tiltak og tiltakspakker og effekter av ulike tiltak er beregnet i forhold til dagens drift i vestre Vansjø's nedbørfelt. Kostnader for de ulike tiltak er også angitt, men grunnlaget for beregning av kostnadseffektivitet er noe mangelfullt og det er behov for nye beregninger (se Sammendrag side 7).

Landfylke: Østfold, Norge
Kommuner: Våler, Moss og Rygge
Sted/Lokalitet: Vestre Vansjø

Ansvarlig leder

Lillian Øygarden

Prosjektleder

Marianne Bechmann

Forord

Denne rapporten beskriver tiltak som kan være aktuelle for å redusere fosforavrenningen fra nedbørfeltet til vestre Vansjø. Formål med denne sammenstillingen er å danne grunnlag for en praktisk tiltaksplanlegging i jordbruket rundt vestre Vansjø. Sammenstillingen er en rent faglig vurdering med hovedfokus på effekter av tiltakene. Det er ikke tatt med i vurderingen hvordan tiltakene eventuelt skal implementeres i praksis.

Vurderingene bygger på eksisterende kunnskap og gir en oppsummering av kunnskapsstatus på området. Det er lagt størst vekt på beskrivelse av tiltakene som har størst betydning og som er best dokumentert. Tiltak der det mangler god dokumentasjon er likevel nevnt og vurdert, men det har ikke vært rom for å gjøre spesielle nye undersøkelser.

Prosjektet ble satt i gang i november 2006 og forut for rapporteringen ble tiltak, effekter og kostnader diskutert i møte (desember 2006) med Helga Gunnarsdottir og Karsten Butenschøn (Morsa), Nina Syversen (AsplanViak), Nils Vagstad (Bioforsk), samt Håkon Borch, Lillian Øygarden, Annelene Pengerud og Marianne Bechmann (Bioforsk Jord og miljø). Dessuten er avsnittet om fangdammer diskutert med Bent Braskerud (NVE). Rapporten er skrevet på oppdrag fra Vannområdeutvalget for Morsa.

Innhold

1.	Sammendrag	7
2.	Innledning	9
3.	Jordbruksarealer rundt vestre Vansjø	10
3.1	Nedbørfelt og jordbruksdrift	10
3.2	Jord og hydrologi	11
3.3	Fosfortilførsler	12
3.4	Fosforavrenning	13
4.	Beskrivelse av tiltak og effekter	15
4.1	Redusert fosfornivå i jorda	15
	Fosfornivå og avrenning	15
	Redusert gjødsling	16
	Metode og spredetidspunkt for husdyrgjødsel	19
4.2	Erosjonshindrende tiltak	19
4.3	Rensesystemer	24
	Permanente vegetasjonssoner	24
	Fangdammer	26
	Leca-filter for grøftevann	28
	Tiltak i bekkeløpet	29
	Avskjæringsgrøfter og inntakskummer	29
4.4	Samlede effekter av tiltak	30
4.5	Prosesser i nedbørfeltet	31
5.	Kostnader	32
5.1	Redusert fosfornivå	32
5.2	Erosjonshindrende tiltak	32
5.3	Rensesystemer	33
	Vegetasjonssoner	33
	Fangdam i bekk eller grøfteutløp	33
6.	Tiltak i nedbørfeltet til vestre Vansjø	35
6.1	Prioritering av arealer og tiltak	35
6.2	Tiltakspakker	35
	Redusert fosfornivå i jorda	36
	Rensesystemer i nedbørfelt	37
6.3	Effekter av tiltak	37
7.	Konklusjon	40
8.	Referanser	42

1. Sammendrag

I 2005 og 2006 ble det gjennomført undersøkelser i vestre Vansjø som viste at de lokale fosfortilførslene til vestre Vansjø betyr mer enn tidligere antatt for forurensningstilstanden. Det er et mål å sette inn tiltak for å redusere fosfortilførslene med 75 % i forhold til nåværende nivå.

Målet med rapporten er å presentere:

En oppdatert oversikt over kunnskapsstatus og eventuelle kunnskapsmangler vedrørende effekter av tiltak som er aktuelle på jordbruksarealer i nedbørfeltet til vestre Vansjø.

Totalt jordbruksareal i nedbørfeltet til vestre Vansjø er om lag 11 km². Rundt 90 % av jordbruksarealet benyttes til kornproduksjon, men i den sørvestlige delen av nedbørfeltet mellom Raet og vestre Vansjø, er det om lag 25 % potet- og grønnsaksarealer. Erosjonsrisikoen er lav, liten til middels i følge erosjonsrisikokart, og mesteparten av arealet er systematisk drenert. Fosforinnholdet er generelt høyt og over halvparten av arealet har P-AL-verdier over 10. Målinger av vannkvalitet utført i et utvalg av mindre bekker i perioden oktober 2004 til oktober 2005 viste fosfortap mellom ca 50 og 300 g P/daa for jordbruksarealet. De største tapene er målt i den sørvestlige delen av nedbørfeltet samt fra arealer som omfatter husdyrbruk. Middelkonsentrasjonene i bekkene varierer mellom 50 og 950 µg P/L. Miljømålet er satt til 50 µg P/L. Det er kun bekker med mye skogsvann som oppfyller målene.

Aktuelle tiltak i nedbørfeltet til vestre Vansjø omfatter i hovedsak 1) erosjonshindrende tiltak, 2) tiltak som fører til redusert fosfornivå i jorda og 3) rensiltak.

Tiltak som forventes å ha den største effekt i dette nedbørfeltet, og tiltak som har den beste dokumenterte effekt er prioritert i beskrivelsen av effekter.

Rapporten konkluderer med at det fortsatt bør være sterk fokus på tiltak som kan redusere erosjon i nedbørfeltet til vestre Vansjø, fordi en stor del av fosfortapet skjer som partikkelbundet fosfor (fosforrike partikler). Dessuten vil en reduksjon i jordas fosfornivå føre til redusert tilgjengelighet av fosfor for algevekst.

Høye fosfortall (P-AL) i jorda gir risiko for høye fosfortap både som partikulært fosfor og som løst fosfor. Effekten av reduserte fosfortall i jorda på avrenning av partikkelbundet fosfor virker på lang sikt. Ved høye fosfortall er jordas fosforinnhold mer algetilgjengelig enn ved lavere fosfortall. I forhold til å sikre avlingene kan fosfortallene reduseres til P-AL-verdier på 6-7 mg/100g for kornarealer. Null-gjødsling med fosfor på arealer med P-AL på f.eks. 20 mg/100g antas å gi en reduksjon i P-AL på om lag 10 enheter i løpet av 20 år. I noen tilfeller er det risiko for noe reduserte avlinger ved null-gjødsling, men i de fleste tilfeller vil avlingene kunne opprettholdes i korn og eng. Ved P-AL over 15 regner en ikke med reduserte avlinger ved null-gjødsling med fosfor i korn og eng. For å kunne redusere fosforgjødslingen kan det være nødvendig med omlegging fra næringskrevende potet- og grønnsaksvekster til grønnsaker som er mindre fosforkrevende.

Erosjons prosesser er for det meste undersøkt på arealer med stor erosjon. Det har blitt utført få norske studier av erosjon og effekter av erosjonshindrende tiltak under forhold med liten erosjonsrisiko og med grøfteavrenning som dominerende transportvei. Det er dokumentert at jordarbeiding øker partikkeltransporten i grøftene, men fosfortap gjennom grøftene ved ulike jordarbeidingsmetoder er ikke kvantifisert tilstrekkelig. Omlegging av korn-, potet- og grønnsaksarealene til eng er det mest effektive tiltaket redusere erosjon og fosfortilførsler til vestre Vansjø, men også overvintring i stubb og omlegging av erosjonsutsatte potet- og

grønnsaksvekster til vekster med lavere erosjonsrisiko vil gi store reduksjoner i fosfortap. Erosjonshindrende tiltak vil gi effekter straks tiltaket er iverksatt. Estimerer for effekt av erosjonshindrende tiltak er basert på simulering med ERONOR-modellen.

I rapporten er det beregnet effekter av ulike tiltakspakker på fosfortap for nedbørfeltet til vestre Vansjø. Beregningene viser at fosfortapet kan reduseres med om lag 50 % ved omlegging til eng i hele nedbørfeltet. Ved omlegging fra dagens drift til overvintring i stubb på alt kornareal i nedbørfeltet kan fosfortapet reduseres med om lag 25 % i forhold til dagens drift. Ved redusert gjødsling vil en på lengre sikt kunne oppnå større reduksjoner, og redusert gjødsling vil dessuten redusere tilgjengeligheten av fosfor for algevekst. Anslagsvis vil fosfortapet fra jordbruksarealene bli redusert med 65 % ved omlegging til eng og null-gjødsling med fosfor, tilsvarende vil overvintring i stubb på kornarealer og null-gjødsling redusere fosfortapet med om lag 40 %. Det er få studier som kvantifiserer effekten av redusert gjødsling og redusert fosfornivå på fosfortapet, og resultatene er derfor forbundet med stor usikkerhet. Estimaterne inkluderer ikke retensjon i nedbørfeltet, og det vil si at en må regne med en noe mindre effekt av tiltakene på fosfortap målt i bekken.

Vegetasjonssoner langs vassdrag bidrar til å redusere fosforavrenningen ved å øke sedimentasjonen fra overflateavrenning, redusere risiko for erosjon i bekkeskråninger og ved å danne vern mellom bekken og jordbruksarealet. Arealer som blir lagt om til eng uten fosforgjødsling i forbindelse med vegetasjonssoner bidrar også til å redusere den totale fosforavrenningen.

Fangdammer er et viktig tiltak i nedbørfeltet til vestre Vansjø. Effekten av fangdammer er størst der det er størst belastning, det vil si i nedbørfelt med stor andel dyrka mark og høy erosjon. Effekten av fangdammer er godt dokumentert og renseeffekten varierer fra 0,06 til 0,176 g P/daa nedbørfelt. Effekten på reduksjon i fosfor er om lag 30-40 % i dammer med stor belastning.

Andre aktuelle tiltak kan bl.a. være utbedring av hydrotekniske anlegg og sikring av bekkeskrenter. Disse tiltakene må tilpasses til de lokale forholdene. Det jobbes dessuten med å utvikle systemer for rensing av grøftevann. Disse tiltakene kan bidra til å redusere fosfortapene ytterligere i forhold til de beregnede effekter av tiltak.

Rapporten presenterer også kostnadseffektivitet for tiltak der det foreligger slike data, men grunnlaget for de økonomiske vurderinger av tiltakseffekter er noe tynt, foreldet eller manglende. På dette området er det stort behov for videre arbeid.

2. Innledning

De siste år har det vært økt fokus på det lokale nedbørfeltet til vestre Vansjø og betydningen av fosfortilførsler herfra for vannkvaliteten i vestre Vansjø. I 2005 og 2006 ble det gjennomført undersøkelser av tilstanden i vestre Vansjø (Bjørndalen et al., 2006), og av vannkvaliteten i en del av de lokale tilførselsbekkene til innsjøen (Bechmann et al., 2006). Disse undersøkelsene tydet på at de lokale tilførslene har større betydning for innsjøens tilstand enn tidligere antatt. Det ble dermed satt i gang et arbeid med å se nærmere på tiltak for å redusere de lokale tilførslene. For jordbruket ble det i 2006 gjort et arbeid i en tiltaksgruppe med representanter for bønder, ringledere, jordbrukssjefer, forskere, og Morsa, for å se på mulige tiltak mot fosfortap. På grunnlag av diskusjoner i denne gruppen ble det laget et forslag til aktuelle tiltak.

Rapporten gir en beskrivelse av tiltak mot fosfortap fra jordbruksarealer i nedbørfeltet til vestre Vansjø. Presentasjonen omfatter effekter av tiltak og kostnader så langt de er tilgjengelige. Vurderingene bygger på eksisterende kunnskap og skal gi en oppsummering av generell kunnskapsstatus på fagområdet (kapittel 4 og 5). Det er lagt størst vekt på tiltakene som har størst betydning under aktuelle vilkår i dette nedbørfeltet og tiltakene som er best dokumentert. Sammenstillingen omfatter dokumenterte effekter av tiltak, men også vurderinger av noen tiltak som er lite dokumentert for norske forhold. Disse utgjør tiltak som en antar vil ha effekt, men der det er behov for mer kunnskap/forskning for å få tall på effektene.

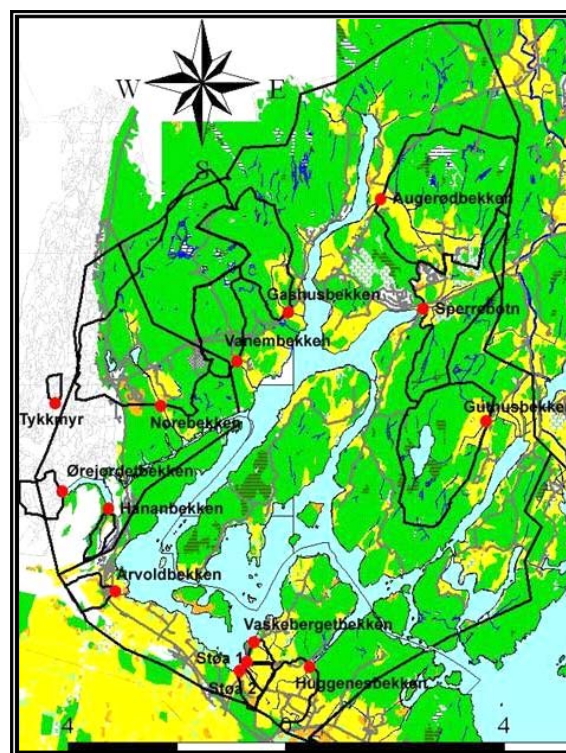
En beregning av generelle tiltakseffekter i nedbørfeltet til vestre Vansjø er gitt i kapittel 6. For to delnedbørfelt er det skrevet en egen rapport med anbefaling av konkrete tiltak og beregning av tiltakseffekter som kan oppnås. De to bekkene representerer ulike areal- og driftstyper i nedbørfeltet. Dessuten har Berg (2006) etter befaringer i nedbørfeltet beskrevet de naturgitte og driftsmessige vilkår for å sette inn ulike tekniske miljøtiltak innen jordbruket i Moss og Rygge. Disse undersøkelsene kan sammen med vurdering av tiltakseffekter bidra til et bedre grunnlag for valg av tiltak i nevnte områder.

En oversikt over mulige tiltak og tiltakseffekter tilpasset lokale forhold er et nyttig hjelpemiddel for rådgivere og forvaltning når tiltak skal gjennomføres i praksis.

3. Jordbruksarealer rundt vestre Vansjø

3.1 Nedbørfelt og jordbruksdrift

Nedbørfeltet til vestre Vansjø er ca. 54 km², hvorav jordbruksarealene dekker ca. 20 % (11 km²) (Figur 1). Jordbruksdrift i feltet er dominert av åpen åker med korn, potet og grønnsaker, som viktigste produksjoner. Det er kun enkelte husdyrbruk. På det meste av jordbruksarealet dyrkes korn (89 %) (Tabell 1). Eng og beite dekker 3 %, mens potet og grønnsaksarealene utgjør hhv. 3 og 5 %. Poteter og grønnsaker dyrkes hovedsakelig i den sørvestlige delen av nedbørfeltet, hvor de utgjør 25 % av arealet.



Figur 1. Nedbørfeltet til vestre Vansjø. Jordbruksarealer i gult.

Tabell 1. Status for vekstfordeling og jordarbeiding på kornarealer høsten 2006 (i % av totalt jordbruksareal).

	Høstpløying	Korn		Eng/beite/plengras	Potet	Grønnsaker
		Høstharving	Stubb			
Våler	20	40	40	0	0	0
Moss	20	20	60	0	0	0
Rygge (Støa, Huggenes, Vaskeberget)	14	14	41	9	8	14
Rygge (Årvold-Støa)	13	13	38	10	10	16
Totalt	18	28	43	3	3	5

Jordarbeiding på kornarealene er vist i tabell 1 fordelt på nedbørfeltet. Tall fra 2006 viser at gjennomsnittlig nesten 20 % av arealet høstpløyes, i tillegg er det ca 30 % som harves på høsten. 43 % ligger i stubb over vinteren.

3.2 Jord og hydrologi

Jorda i nedbørfeltet består av 73 % leire/lettleire og 22 % sand. De mest sandige jordartene finnes i den sørvestlige delen av nedbørfeltet, hvor om lag 75 % er sand/siltig sand. Tre prosent er organisk jord (Tabell 2). Jordbruksarealene er stort sett systematisk grøftet. Grøftingen er for det meste gjennomført på 50- og 60-tallet, og tilstanden på grøftesystemet er ukjent. 225 daa (2 % av jordbruksarealet) ligger lavt og er vassjukt og/eller flomutsatt. En del arealer ligger så lavt at vannet må pumpes ut for å få dyrkbar jord. Det er 185 daa som pumpes, dette inkluderer både vassjuk jord og tilgrensende arealer i det pumpede området (Tabell 3).

Tabell 2. Tekstur i øverste jordlag på jordbruksarealer i nedbørfeltet til vestre Vansjø (oppgitt i antall daa og i % av totalt jordbruksareal).

Tekstur i øverste jordlag	Areal	%
Leire	4317	40
Lettleire	3604	33
Sand	2438	22
Silt	222	2
Organisk	308	3

Tabell 3. Oversikt over omtrentlige arealer av vassjuk og flomutsatt (5-10 års flom) jord, samt areal som pumpes i nedbørfeltet til vestre Vansjø.

	Vassjukt og flomutsatt (daa)	Areal som pumpes (daa)
Guthus	50	50
Augerød/Kjesebotn	35	-
Vanem	10	-
Årvold	35	20
Dramstad	30	-
Feulstad	40	70
Moserød	25	45
Dillingøy	100	100
Totalt	325	285

Erosjonsrisiko ved høstpløying er fordelt med halvparten i hver av klassene lav og middels erosjonsrisiko (Tabell 4). Mesteparten av jordbruksarealet i nedbørfeltet er ganske flatt.

Tabell 4. Jordbruksarealer i nedbørfeltet til vestre Vansjø fordelt på erosjonsrisikoklasse (oppgitt i antall daa og i % av totalt jordbruksareal). Basert på NIJOS-erosjonsrisikokart.

Erosjonsrisikoklasse	Areal	%
1 - Lav	5221	48
2 - Middels	5561	51
3 - Høy	107	1
4 - Meget høy	0	0

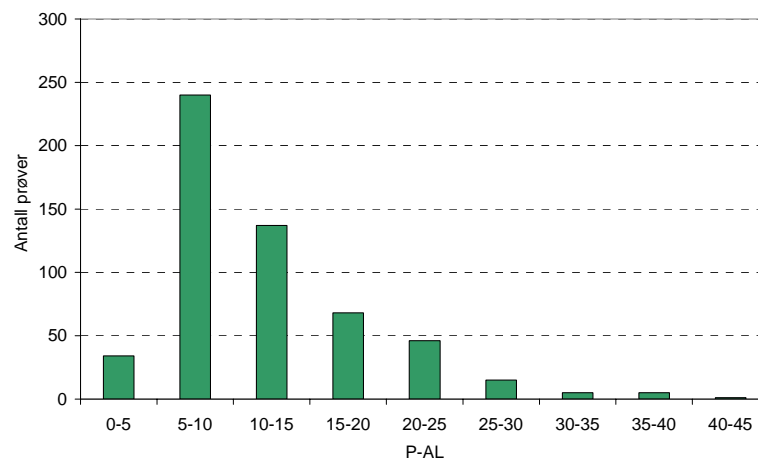
3.3 Fosfortilførsler

Fosfortilførslene kommer fra mineral- og husdyrgjødsel. Husdyrgjødselproduksjon i nedbørfeltet utgjør om lag 3440 kg P/år. Dette tilsvarer ca. 0,3 kg/daa fordelt på hele det dyrkede arealet, og 3 kg P/daa fordelt på arealet som hører til husdyrbrukene (Tabell 5).

Tabell 5. Fordeling av husdyr og husdyrgjødselproduksjon (kg P) i nedbørfeltet til vestre Vansjø (SSB, 2005).

Dyreslag	Antall	Antall dyr per gjødseldyrenhet (14 kg P)	Totalt kg P
Ammekyr	24	1,5	224
Andre storfe	78	3	234
Sau	0	7	0
Avlssvin	61	2,5	342
Slaktesvin	1574	18	1224
Verpehøner	0	80	0
Slaktekylling	141600	1400	1416
Totalt			3440
Kg P/dekar for husdyrbruk			3,0
Kg P/dekar jordbruksareal			0,3

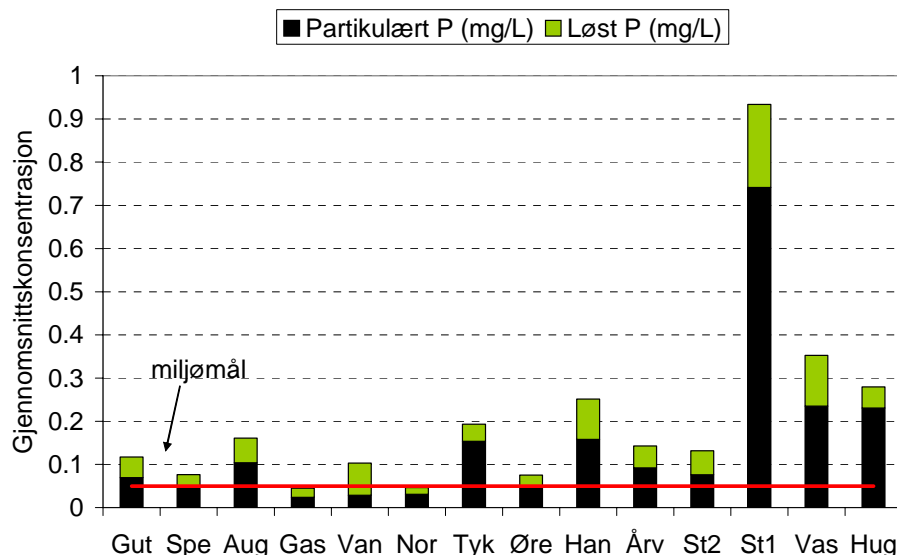
P-AL-verdier i jordbruksjorda i nedbørfeltet varierer fra 2 til 42 mg/100g (P-AL 2-42), med en middelværdi på 12,5 og median på 11. P-AL-verdier på 6-7 anses for tilstrekkelige for å opprettholde god produksjon på kornarealene. Om lag 50 % av prøvene har P-AL større enn 10, mens 13 % har P-AL større enn 20 (Figur 2). De høyeste fosfortallene finner man i den sørvestlige delen av nedbørfeltet, hvor det dyrkes poteter og grønnsaker. Fosfortallene er også høye i de områder der det er intensiv husdyrproduksjon.



Figur 2. Fordeling av P-AL-verdier i jordbruksjorda i nedbørfeltet til vestre Vansjø. X-aksen angir P-AL-verdi, mens y-aksen angir antall prøver med den aktuelle verdien.

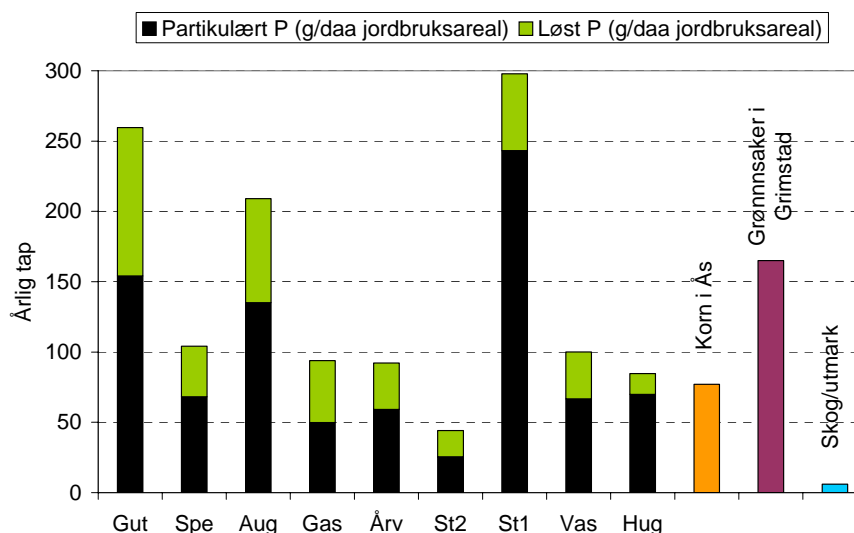
3.4 Fosforavrenning

Det ble i 2004/05 foretatt en undersøkelse av vannkvaliteten i 14 småbekker med tilførsel til vestre del av Vansjø og Mosseelva (Figur 3; Bechmann et al., 2006). Tall for 2006 er ikke presentert her, men svarer stort sett til de normaliserte verdiene for 2004/05.



Figur 3. Gjennomsnittlig årlig vannføringsveid fosforkonsentrasjon for hvert nedbørfelt (fra Bechmann et al., 2006).

Årlig gjennomsnittskonsentrasjon av fosfor i bekkene varierer i følge undersøkelsen fra 45 µg/L til 930 µg/L. Norebekken og Gashusbekken har de laveste konsentrasjonene, mens den årlige middelfosforkonsentrasjonen i alle de øvrige bekkene ligger over maksimumsmiljømålet på 50 µg/L. Områder med intensiv jordbruksproduksjon og liten fortykning med skogsavrenning viser de høyeste fosforkonsentrasjonene, men også fyllingene i nedbørfeltene til Tykkmyr og Hananbekken bidrar med høye konsentrasjoner av fosfor. De intensive jordbruksområder i Rygge (Støabekken 1, Vaskeberget og Huggenesbekken) har de høyeste konsentrasjonene. Her er det en høy andel jordbruksareal (80-90 %), og det ble dyrket potet og grønnsaker på om lag 50 % av jordbruksarealet i nedbørfeltet til de undersøkte bekkene.



Figur 4. Tap av partikulært og løst fosfor i måleperioden presentert omregnet til g/daa jordbruksareal for nedbørfelt med minst 10 % jordbruksareal (fra Bechmann et al., 2006).

Fosfortapene fra de 14 nedbørfeltene varierte mellom 11 og 240 g P/daa total areal og regnet per dekar jordbruksareal svarer dette til mellom 45 og 300 g P/dekar (Figur 4). Regnet per daa jordbruksareal tyder undersøkelsen på at det er jordbruksarealene i nedbørfeltene til Guthusbekken, Augerødbekken og Støabekken 1 som har de største fosfortapene. Arealene omfatter jordbruksdrift med korn, grønnsaker og intensiv husdyrproduksjon.

4. Beskrivelse av tiltak og effekter

Tiltak som beskrives i dette kapittel omfatter de viktigste tiltakene som etter diskusjon med "Tiltaksgruppa i Morsa" anses å være aktuelle for jordbruksarealer rundt vestre Vansjø. Disse tiltakene omfatter erosjonsreducerende tiltak, tiltak som reduserer fosfornivået i jord og rensetiltak i grøfter og små bekker. Beskrivelsen er generell, samtidig som det i størst mulig grad er tatt med forhold som er relevante for nedbørfeltet til vestre Vansjø. Der det er kjent, er det for effektene beskrevet hvilke forhold (jordtype, vekster m.m.) de gjelder for. Variasjon i effekt er også angitt. Beskrivelsen har fokus på mulighetene for å redusere fosfortilførslene til bekkene/innsjøen, mens andre forhold vedrørende tiltakene er i liten grad tatt med (f.eks. biologisk mangfold, kulturlandskap). Den samlede effekt av tiltak og effekten av tiltak på nedbørfeltnivå er diskutert på slutten av kapittelet.

Effektive tiltak for å begrense fosfortap fra jordbruksarealer avhenger av kjennskap til fosforkildene og størrelsesorden på disse, samt innvirkningen av hydrologi og driftspraksis på retensjon og transport av fosfor. Effekt av tiltak varierer betydelig avhengig av hvor godt tiltakene er tilpasset stedsspesifikke forhold. Effektene blir derfor i denne rapporten i størst mulig grad oppgitt på grunnlag av den variasjon som er påvist i dokumenterte studier. Samspilleeffekter mellom tiltak har også innvirkning på total reduksjon i fosforbelastning i et nedbørfelt. Den samlede effekten av tiltak vil i de fleste tilfeller være lavere enn summen av enkelteffektene. I effektvurderingen er det tatt utgangspunkt i at tiltakene gjennomføres som enkelttiltak.

Vurderingen av effekter av tiltak gjelder, der ikke annet er nevnt, tap av totalfosfor. Fosforets tilgjengelighet for alger avhenger av den kjemiske form. Løst fosfor er mer tilgjengelig enn partikkelbundet, men algetilgjengelighet avhenger av tidsperspektivet. På lang sikt vil omtrent all fosfor være potensielt algetilgjengelig, men på kort sikt vil løst eller svakt bundet fosfor være mer tilgjengelig og gi større algevekst.

4.1 Redusert fosfornivå i jorda

Reduksjon i fosfornivået omfatter tiltak som har betydning for fosfortilstanden i jordbruksjorda rundt vestre Vansjø, det vil si at dette avsnittet omhandler gjødsling med P, både med mineral- og husdyrgjødsel, samt metode og spredetidspunkt for gjødsel. Det er generelt to prosesser for tap av fosfor fra gjødsel. Den viktigste prosessen er P tap fra jordas fosforinnhold, enten som løst P eller bundet til eroderte partikler. Den andre prosessen består i at fosfor tapes direkte fra gjødsel forholdsvis kort tid etter spredning, dette avhenger av spredetidspunkt, metode for spredning og av forekomst av nedbørepisoder etter spredning.

Fosfornivå og avrenning

Jordas fosfornivå har stor betydning for fosfortapet i eroderte partikler (som vil bli diskutert under erosjon) og/eller som løst fosfor. Det er liten kunnskap om transport av løst fosfor fra jordbruksarealer ved ulike P-AL-nivå under norske forhold, men flere utenlandske studier dokumenterer sammenhengen mellom jordas fosforstatus og løst fosfor i overflate- og grøftevann. I følge undersøkelser utført i USA er fosfor lettere tilgjengelig for utvasking ved P-AL-verdier over ca. 15 (McDowell and Sharpley, 2001). P-AL 15 svarer til Mehlich-3 P verdi på 200 mg/kg (Bechmann et al., 2005) (Figur 5). Under kontrollerte forhold er det også klare sammenhenger mellom P-AL-nivå og algetilgjengelig fosfor (totalt reaktivt P). Studier av jordprøver fra Ski og Sarpsborg viser en klar sammenheng mellom P-AL og vannløselig P

(Krogstad og Løvstad, 2002). Det ser dermed ut til at jordas P-AL-nivå kan brukes som indikator på risiko for utvasking av fosfor fra jorda og resultatene tyder dessuten på at jordas fosforinnhold er lettere tilgjengelig for alger ved høyere P-AL-nivåer. På organisk jord, der det er liten bindingskapasitet for fosfor, er risiko for avrenning av fosfor større enn for andre jordtyper, dette gjelder spesielt etter spredning av letttilgjengelig gjødsel.

Innholdet av totalfosfor i jord er av interesse for beregninger av fosfortap ved erosjon. Sammenhengen mellom P-AL og total fosfor har blitt fremstilt av Øgaard og Krogstad (1995) basert på 58 jordprøver fra Romerike:

$$\text{Log Total P/P-AL} = -0,69 \text{ Log P-AL} + 1,7 \quad (1a)$$

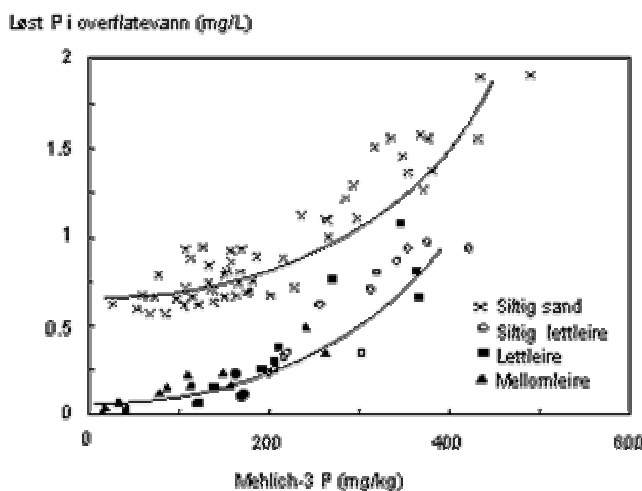
og basert på 25 jordprøver fra hele landet:

$$\text{Log Total P/P-AL} = -0,5 \text{ Log P-AL} + 1,7 \quad (1b)$$

En sammenstilling, basert på jordprøver av sand/silt/letteleire med delvis meget høye fosfortall (opp til 70) ga følgende sammenheng:

$$\text{Total P} = 46 \times \text{P-AL}^{0,33} \quad (2) \quad (R^2=0.7)$$

Disse tre likningene gir omtrent like resultater innenfor det variasjonsområde av P-AL verdier som er i nedbørfeltet til vestre Vansjø. Beregning av fosfortap er avhengig av sammenhengen mellom P-AL og total P i jorda, siden total P bare unntaksvis blir analysert i jordprøver. Formel 1a og 2 gir nesten like resultater. I tiltakseffektene i kapittel 6 er basert på formel (1a).



Figur 5. Sammenhengen mellom løst P i overflatevann og jordens fosfortilstand (etter Sharpley et al., 2001). Mehlich-3 P på 200 svarer til P-AL 15.

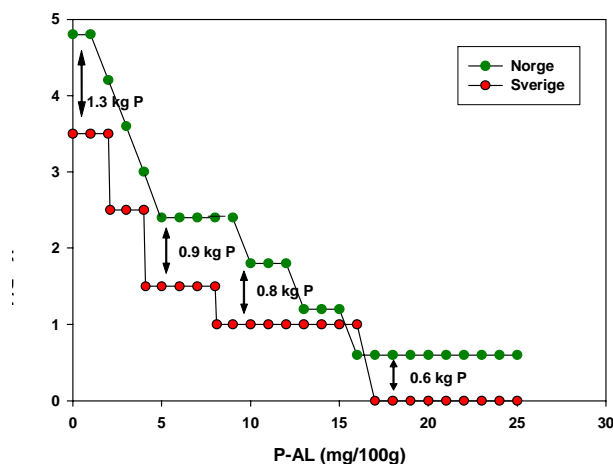
For å kartlegge og dokumentere fosfortall i jorda er en avhengig av at bøndene gir tilgang til fosfortallene fra jordanalysene. **Kartlegging av skifter med høye fosfortall er et vesentlig utgangspunkt for å vurdere endringer i driftspraksis og gjennomføring av tiltak.**

Redusert gjødsling

Jordas fosforstatus og potensial for frigjøring av fosfor, avhenger hovedsakelig av jordas adsorpsjonskapasitet for fosfor og mengde fosfor som tidligere er tilført jorda. Fosfor bindes sterkt i mineraljord, slik at tilførsel av fosfor gjennom gjødsel utover det plantene tar opp i løpet av vekstsesongen på sikt vil bidra til å øke jordas fosforinnhold. Nettopp på grunn av

mineraljordas bindingsevne for fosfor blir det ofte anbefalt å gjødsle med mer fosfor enn det som tas ut med avlingene. Fram til midten av 80-tallet var overskuddsgjødslingen med fosfor spesielt stor. Dette førte til en generell fordobling i P-AL-verdiene i perioden fra 1960-1985 (Krogstad, 1987). Fortsatt innebærer anbefalingene en overskuddsgjødsling i mange tilfeller. I korn og gras der P-AL-tallene er lavere enn 10, anbefales det å gjødsle med mer P enn det som tas ut med avlingene, slik at en kompenseres for fosforbinding til jorda og tap ved utvasking. Næringsstoffbalanser dokumentert i Program for jord- og vannovervåking i landbruket (JOVA) viser at det i praksis gjødsles med et overskudd av fosfor på opptil 2 kg P/dekar i overskuddsgjødsling er vanlig (Øgaard et al., 2006). Fosfortapet fra kornområder er målt til om lag 200 g/dekar i et normalår (Bechmann et al., 2005). Det vil si en årlig forskjell mellom fosforoverskudd og fosfortap på opptil 1,8 kg P/dekar. Dette gir risiko for fortsatt økning i jordens innhold av lett tilgjengelig fosfor. **Resultater fra JOVA-programmet tyder også på at det i praksis ikke har vært oppnådd høyere avlinger i korn som har fått tilført et overskudd av fosfor sammenlignet med korn som har fått tilført fosfor i balanse med opptak i plantene.** Disse resultatene er oppnådd i et område med gjennomsnittlig P-AL-verdi på om lag 10 mg/100g, og hvor 66 % av P-AL-verdiene ligger fra 5 til og med 10. Området er langt på vei sammenlignbart med kornområdene i nedbørfeltet til vestre Vansjø når det gjelder dyrkingspraksis, klima, jord og fosforinnhold. Ca 50 % av jordbruksarealene i nedbørfeltet til vestre Vansjø har fosfortall på under 10. I hovedsak er dette kornområder uten tilførsel av husdyrgjødsel.

Redusert gjødsling, evt. null-gjødsling med fosfor, er et aktuelt tiltak for å redusere jordas innhold av lett tilgjengelig P (P-AL). Tidligere gjødslingsforsøk på korn har blitt utført med store intervall i P gjødslingen. Det er derfor vanskelig å bruke resultatene fra disse til å vurdere effekten av redusert gjødsling på avling. Resultater fra en flerårig forsøksserie med ulik fosforgjødsling til vårkorn (hovedsakelig bygg) i perioden 1998-2003, kan likevel gi en antydning om effekten av gjødsling med fosfor på jordas fosforinnhold. Forsøksserien ble utført i felt med ulike jordarter (11 felt med leirjord, 3 med siltjord og 6 med sandjord), og med P-AL-verdier mellom 4,5-17,9. Tilført fosfor i gjødsel var hhv. 0 kg P, 1,5 kg P, 3 kg P og 4,5 kg P per dekar. Der det ble tilført 3 kg P/daa årlig var P-AL i jorda gjennomsnittlig 1,1 enheter høyere enn der det ikke ble tilført noe. På jord med i utgangspunktet høye P-AL-verdier (>10) ble det som regel målt liten eller ingen meravling ved tilførsel av 1,5 kg P/daa i forhold til ruter hvor det ikke ble gjødslet med fosfor. Ved lavere P-AL-verdier (<10), ble det i en del tilfeller målt meravlinger ved samme gjødslingsnivå, men også her var det mange tilfeller hvor P-gjødsling ikke ga utslag på avling (Hoel et al., 2005). Figur 6 viser forskjellen på norske og svenske fosforgjødslingsnormene til korn. De svenske normene ligger stort sett lavere enn de norske. Det pågår et arbeid med å justere de norske normene.



Figur 6. Norske og svenske fosforgjødslingsnormer til korn (vårhvete).

Resultatene tyder altså på at det er liten risiko for avlingsnedgang i **korn** ved null-gjødsling på arealer med P-AL-verdier over 10. Ved lavere P-AL-nivå (<10) vil kornavlingen også i de fleste tilfeller kunne opprettholdes med fosfortilførsler som erstatter bortført fosfor. Variasjon mellom skifter og mellom år har stor betydning for avlingene de enkelte år.

Mye jordbruksjord, bl.a. i nedbørfeltet til vestre Vansjø, har et høyt innhold av lett tilgjengelig fosfor. Det gjelder spesielt jord der det dyrkes **poteter eller noen typer grønnsaker, for eksempel løk**, og jord på gårdsbruk med stor husdyrtetthet (evt. forhenværende husdyrbruk). I nedbørfeltet til vestre Vansjø er P-AL-verdiene over 10 på om lag 50 % av arealet. Verdier for P-AL på opp i mot 40 mg/100g (P-AL 40) er funnet i nedbørfeltet til vestre Vansjø. P-AL-verdier over 15 klassifiseres som meget høyt. I områder hvor det dyrkes potet og grønnsaker er fosfortallene stort sett over 10, og for det meste mye høyere. Poteter og en del grønnsaker, deriblant løk, gir avlingsrespons (kvalitet og mengde) på fosformengder som er langt høyere enn de mengdene som fjernes med avling. Overskuddsgjødslingen er derfor spesielt stor i disse kulturene. Siden en stor andel (ca. 35 %) av jordprøvene i nedbørfeltet til vestre Vansjø er tatt ut på 1990-tallet er det mulig at fosfortallene har økt på grunn av overskuddsgjødsling siden jordprøvene ble tatt. Det er krav om at jordas fosfornivå dokumenteres hvert 5.-8. år. Steds spesifikke tiltak er avhengig av god dokumentasjon på status.

Av hensyn til miljøet er det ønskelig å bringe P-AL tallene ned til et lavest mulig nivå. I enkelte tilfeller kan reduksjon i fosforgjødslingen gi raske effekter (f.eks. på organisk jord med liten bindingskapasitet for P), men i hovedsak er dette et langsiktig tiltak, fordi den akkumulerte fosformengden i jorda er stor i forhold til mengden fosfor som fjernes med avling. Som nevnt regnes et P-AL-nivå på 6-7 som tilstrekkelig for å oppnå gode avlinger med dagens gjødslingsnormer (noe høyere for grønnsaker). Det foreligger ikke eksakte tall for hvor mye gjødslingen med fosfor må reduseres for å bringe jordas P-AL-verdi ned på et mer akseptabelt nivå innenfor et gitt tidsperspektiv. Det kan likevel gjøres en del beregninger av fosforbalanse som kan illustrere dette.

En P-AL enhet tilsvarer om lag 2-2,5 kg P/daa i matjordlaget i mineraljord. Anslagsvis vil om lag 50 % av underskuddet på fosforbalansen gjenfinnes som en reduksjon i P-AL-tallene. Tilførslene må derfor reduseres betydelig for at dette medfører en tilsvarende reduksjon i P-AL. Det ser imidlertid ut til at for jord med i utgangspunktet høye fosfortall, vil en se en raskere reduksjon enn i jord med moderate fosfortall. Ved P-AL-verdi på om lag 20, vil det kunne ta mer enn 20 år med en negativ fosforbalanse på om lag 2 kg P/daa/år før man får P-AL-nivået ned under 10. Redusert gjødsling er et tiltak som vil ha stor effekt på lengre sikt. Eksemplet er satt opp i Tabell 6, hvor det er gjort grove anslag på reduksjon i P-AL ved null-gjødsling ved ulike P-AL-nivå med utgangspunkt i 2 kg P/dekar bortført i kornavling. Dette har vi ikke faktisk målte tall for og tallene i tabellen kan kun brukes til å illustrere en antatt effekt.

Tabell 6. Antatte effekter av null-gjødsling med P i korn i jord ved ulike P-AL-nivå.

Fosforstatus (P-AL) i mg/100g	Anslått fosforstatus (P-AL) etter 20 år med 0 P gjødsling
10-15	5-10
15-20	8-10
>20	>10

Stort sett regner en med at fosfor i husdyrgjødsel og mineralgjødsel utgjør samme miljørisiko per kg P (Ulén, 1998; Haygarth et al., 1999). Ved tilførsel av store mengder husdyrgjødsel bør det imidlertid tas i betraktning at lett nedbrytbart organisk materiale kan redusere bindingen av fosfor i jorda, og følgelig medføre økt avrenning av løst fosfor. Dette skjer som følge av at den mikrobielle nedbrytningen av materialet fører til et redusert redokspotensial (Fe-bundet P løses ut), og produksjon av organiske syrer som konkurrerer med fosfor om bindingsplassene på

jordpartiklene. På den andre siden har svenske forsøk vist at store mengder husdyrgjødsel reduserer utvasking av fosfor (Bergstrøm og Kirchmann, 2006). Bruk av husdyrgjødsel fører ofte til en økning i jordas infiltrasjonskapasitet og forbedring av jordstrukturen, og følgelig en reduksjon i overflateavrenning/sprekkedannelse og den direkte transport til grøftene. Begrenset bruk av husdyrgjødsel på arealer med lave fosfortall kan være gunstig i forhold til å forbedre jordstrukturen og dermed på lang sikt redusere risiko for fosfortap. På gårdsbruk med liten husdyrtetthet kan dette være aktuelt. På de fleste bruk med stor husdyrtetthet er jordas fosforinnhold imidlertid høyt på grunn av historisk store tilførsler av fosfor og fosfortilførslene både i form av husdyrgjødsel og mineralgjødsel bør reduseres. **Det er aktuelt å eksportere husdyrgjødsel fra disse brukene til bruk som har lave fosfortall (<6-7), evt. utenfor nedbørfeltet.**

Metode og spredetidspunkt for husdyrgjødsel

Risiko for fosfortap i forbindelse med gjødsling reduseres ved nedmolding rett etter spredning, eller ved tilførsel direkte i jorda. Videre gir høstspredning generelt større risiko for tap enn vårspredning. Forskjellen er vist i forsøk. Eksempelvis viste Oscarsen et al. (1996) 70 % større totalt fosfortap ved høstspredning av husdyrgjødsel sammenliknet med vårspredning. Risiko for fosfortap er størst rett etter spredning, før binding til jordpartikler. Det er målt store fosfortap ved kraftige avrenningsepisoder kort tid etter gjødselspredning (Undheim, 1989; Øygarden 1989; Withers et al., 2003). Etter binding til jordpartikler er fosfor i gjødsel med på å øke jordas fosforstatus (P-AL). I de fleste tilfeller antar man at mesteparten av løst fosfor i jord bindes i løpet av tre uker etter innblanding. Bindingshastigheten avhenger av vanninnhold, temperatur, jordfuktighet og jordens bindingskapasitet. Ved nedmolding øker kontakten mellom jord og gjødsel, og nedmolding fremmer fosforbindingen i mineraljord sammenliknet med overflatespredning. Jevn spredning og rask nedmolding til riktig tid for plantevekst er en betingelse for lav risiko for fosfortap ved gjødsling.

Organisk jord har liten bindingskapasitet for fosfor og fosforgjødsling utenom vekstsesongen gir stor risiko for fosfortap. **Det bør gjennomføres restriksjoner i spredetidspunkt for fosforgjødsel på organisk jord.** Spredning bør begrenses til vekstsesongen.

Husdyrgjødselspredning er regulert av forskrift om husdyrgjødsel. Det kan allikevel være aktuelt med skjerping av kravene, eksempelvis med krav om at det ikke spres husdyrgjødsel om høsten. Det vil si at lagerkapasiteten for husdyrgjødsel må tilpasses den reduserte fleksibilitet, eller at husdyrgjødsel må eksporteres ut av nedbørfeltet helt eller delvis. Begrensninger i høstspredning kan bli enda mer aktuelt dersom klimaendringer fører til at det blir mer nedbør om høsten.

Det er viktig at dosering av husdyrgjødsel under alle omstendigheter skjer ut fra fosforbehov og ikke ut fra nitrogenbehov, siden forholdet mellom fosfor og nitrogen er større i husdyrgjødsel enn plantenes behov.

4.2 Erosjonshindrende tiltak

Erosjonsprosesser i et nedbørfelt omfatter både flateerosjon og erosjon i forsenkninger eller rundt hydrotekniske anlegg. Erosjonshindrende tiltak i dette avsnitt handler om jordarbeidingstiltak som har til formål å begrense flateerosjon. Andre erosjonsformer er nevnt; erosjon i forsenkninger i avsnittet om *Vegetasjonssoner* og punktererosjon er beskrevet i avsnittene om *Tiltak i bekkeløpet* og *Avskjæringsgrøfter og inntakskummer*.

Erosjonsprosesser

Erosjonsprosesser består i løsrivelse og transport av jordpartikler, som oftest forårsaket av vannets kraft i nedbør eller i avrenning. Erosjonsrisiko avhenger av nedbør, jordas erodibilitet

(jordfaktor), arealets helling, hellingslengden, jordarbeiding og plantevekst (C-faktor), samt spesielle tiltak (USLE; Wischmeier og Smith, 1978). Erosjonsrisikokart (utarbeidet av Institutt for Skog og landskap; tidl. NIJOS), som brukes av forvaltningen ved vurdering av erosjonsrisiko bygger på disse faktorene og forutsetter høstpløying. Imidlertid er hellingslengden satt til 100 m og nedbørfaktoren er en konstant, som er kalibrert etter forholdene på Romerike.

Erosjonsrisikoen er delt opp i 4 klasser; lav (<50 kg jord/daa), middels (50-200 kg jord/daa), høy (200-800 kg jord/daa) og meget høy (>800 kg jord/daa). I nedbørfeltet til vestre Vansjø har arealene lav til middels erosjonsrisiko i følge erosjonsrisikokartene. I noen tilfeller er hellingslengden mer enn 100 m og nedbørfaktoren gir sannsynligvis en større erosjonsrisiko enn tilsvarende arealer på Romerike. På arealer der hellingslengden er lengre enn 100 m er erosjonsrisikoen tilsvarende større og dette bør taes med i vurderingen av tiltakseffekten når man planlegger på det enkelte bruk. Arealene i nedbørfeltet til vestre Vansjø er likevel mindre erosjonsutsatte enn arealer i andre deler av nedbørfeltet til Vansjø på grunn av mindre helling, spesielt mellom Raet og Vansjø.

Erosjon utgjør en vesentlig kilde til fosfortap og målinger i små jordbruksbekker i nedbørfeltet til vestre Vansjø viser at en stor del (50-80 %) av fosfortapene skjer som partikulært fosfor.

Transporten av partikler skjer enten på overflaten eller gjennom grøftene. De fleste studier av erosjonsprosesser er gjennomført på arealer med stor erosjonsrisiko. På disse arealene er partikkeltransporten ofte større i overflateavrenningen enn i grøftevann. Motsatt kan være tilfelle på arealer med lavere erosjonsrisiko. Det har imidlertid vært utført relativt få undersøkelser som kvantifiserer tap av partikler og fosfor gjennom drens-systemet under norske forhold. Jordbruksarealene i nedbørfeltet til vestre Vansjø er systematisk drenert og målinger andre steder viser at grøftene utgjør en vesentlig transportvei for fosfor på drenerte arealer (Øygarden et al., 1997; Lundekvam, 2002). Partikler som løsrives på overflaten kan transporteres via sprekkesystemer og makroporer i jorda, mer eller mindre direkte til grøftene. Partikkeltapet er generelt størst gjennom drens-systemet fra planert leirjord, da den er mest utsatt for oppsprekking (Lundekvam, 2006). Jorda i nedbørfeltet til vestre Vansjø består av forholdsvis lette jordtyper, med større eller mindre risiko for oppsprekking. Sveistrup (pers.medd.) har vist at det skjer en betydelig transport av leirpartikler i siltjord med lavt leirinnhold og at det i grove porer i sandjord også vil skje noen leirnedvasking. Jordstruktur har også stor betydning for risiko for tap i grøfteavrenning. I nedbørfeltet til vestre Vansjø mellom Raet og Vansjø er om lag 25 % leirjord og resten er sand eller siltig sand. I resten av nedbørfeltet dominerer leirjordtypene på jordbruksarealene. Sprekkedannelse og vertikal transport av fosfor kan derfor ha stor betydning i nedbørfeltet.

En forbedring av jordstrukturen er viktig for å redusere sprekke-dannelse, og øke jordas aggregatstabilitet og infiltrasjonsevne. Ved en oppbryting av jordas aggregatstruktur, vil man få frigjort mer partikler og økt potensial for å få løst ut fosfor fra partiklene. For å opprettholde en god jordstruktur og aggregatstabilitet er det viktig at all jordarbeiding foregår under tørre forhold. Ved jordarbeiding under våte forhold, vil en kunne få en pakking i jordstruktur og nedsatte infiltrasjonsforhold. Dette vil øke risiko for tap på overflaten og gjennom sprekker og makroporer, og følgelig økte tap også i grøfteavrenning (Ulén og Jakobsson, 2005).

Tabell 7. Partikkel- og fosfortap i grøfteavrenning på to ulike jordtyper og to dyrkingssystem i perioden 1994-2000 (etter Lundekvam, pers. medd.).

Felt	System	Avrenning (mm)	Partikkeltap (kg/ha)	Fosfortap (g/ha)
Askim	Vårpløying/høstpløying*	210	951	1264
Syverud	Vårpløying	330	48	192
Syverud	Høstpløying	386	124	359

* I Askimfeltet samler grøftene vann fra både vårpløyd og høstpløyd ruter.

Betydningen av jordstruktur og erosjonsrisiko for grøfteavrenningen er illustrert av Lundekvam (pers. medd.) i Tabell 7. Askimfeltet består av planert mellomleire med dårlig struktur og høy erosjonsrisiko. Dette gjenspeiler seg i de høye tapene som er påvist i grøftevann. Syverudfeltet

derimot, er dominert av uplanert lettleire med høy aggregatstabilitet, gamle grøfter, og relativt lav erosjonsrisiko. Tapene i grøftevann som er påvist i Syverud er følgelig i nedre del av hva man kan forvente fra korndyrkingssystem, men **likevel** er påviste tap av partikler og fosfor høyere dersom det høstpløyes i forhold til om det vårpløyes.

Tilsetning av slam har i forsøk vist seg å ha en gunstig virkning på aggregatstabilitet og jordstruktur. Forbedring av jordstrukturen bidrar til reduserte partikkeltap, i hovedsak på grunn av økt infiltrasjon og følgelig mindre overflateavrenning. I forsøket ble det tilført store mengder slam. Ulempen er at slammet inneholder store fosformengder som, på tross av at de ikke er umiddelbart tilgjengelige, kan bidra til fosforlekkasjer i fremtiden.

Jordarbeidingstiltak

For overflateavrenning er det i Tabell 8 vist C-faktorer for ulike dyrkingssystem i Follo-regionen. Faktorene er oppgitt relativt til et tradisjonelt dyrkingssystem med vårkorn og høstpløying (etter Lundekvam, 2002). Høstkorn med høstpløying har i noen tilfeller vist seg å gi en erosjonsrisiko som er større enn for høstpløying. Dette skyldes at ved høstpløying og harving før såing blir jorda finsmuldret og lettere eroderbar ved nedbør sammenlignet med en ujevn overflate som på pløyd jord. Det beste tiltaket er omlegging til eng eller overvintring i stubb, evt. med fangvekst. **Partikkeltapet i overflatevann med høstpløying er 5-10 ganger så stort som ved direktesåing.**

Tabell 8. Beskrivelse av ulike dyrkingssystem med C-faktorer for overflateavrenning i Follo-regionen. Faktorene er oppgitt relativt til tradisjonelt dyrkingssystem (Lundekvam, 2002).

C-faktor	Dyrkingssystem
1,0	Tradisjonelt dyrkingssystem m/vårkorn og høstpløying, harving om våren
0,93	Høsthvete, pløyd og harvet om høsten
0,86	Vårkorn, harvet to ganger om høsten, en gang om våren
0,58	Høsthvete, harvet to ganger om høsten
0,5	Vårkorn, harvet en gang om høsten, en gang om våren
0,19	Høsthvete, direktesådd
0,14	Vårkorn, pløyd og harvet om våren
0,12	Vårkorn, harvet to ganger om våren
0,11	Vårkorn, direktesådd vår
0,11	Vårkorn, med fangvekst, pløyd og harvet om våren
0,05	Eng, permanent vegetasjonsdekke

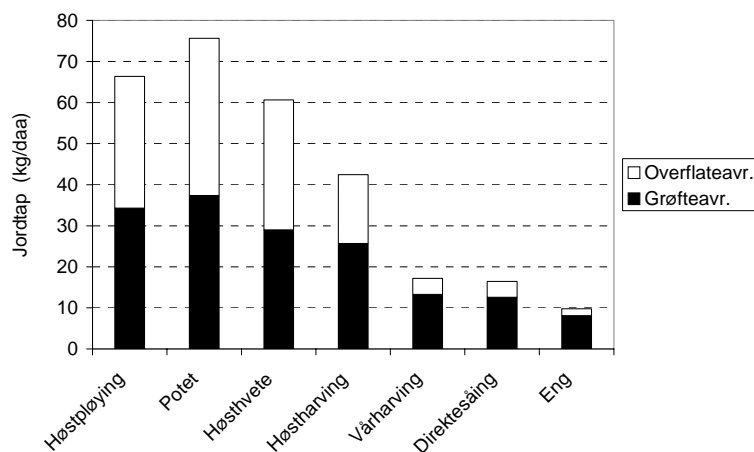
Sammenhengen mellom overflateavrenning og grøfteavrenning via sprekker tyder på at erosjonshindrende tiltak kan ha stor betydning for partikkeltransporten og fosfortapet på arealer hvor grøftetransporten er dominerende (Lundekvam, 2002; Øygarden et al., 1997). Intern erosjon i jorda kan bidra til partikkeltapet i grøftevann og dette avhenger av bl.a. jordtype og jordstruktur. Forsøk utført av Øygarden et al. (1997) viste at partikkeltapet gjennom dreneringssystem på planert leirjord generelt var høyest like etter jordarbeiding, og mye av transporten skjedde gjennom makroporer som drenerte direkte ut til grøftesystemet. Lundekvam (2006) har også i målinger påvist at både tap av partikler og fosfor i grøftesystem er klart lavere dersom jorda kun vårarbeides, og ikke høstarbeides. På grunnlag av en serie prøver av grøftevann fra arealer med ulik arealtilstand og topografi, ble det funnet at innholdet av partikler i dreinsvann generelt var større fra jordarbeidet areal enn fra stubb både på flate og hellende arealer. Modellberegninger utført av Lundekvam i 2004 viser at fosfortapet i grøfte- og overflatevann er 3-4 ganger større i dyrkingssystemer med høstpløying enn med direktesåing (Fyhri og Garnes, 2004). **Redusert jordarbeiding er et tiltak som vil ha effekt på partikkel- og fosfortransporten både i overflatevann og grøftevann.**

Forskjellen i partikkeltap ved ulike jordarbeidingstiltak er større for overflatevann enn for grøftevann. For en fullverdig vurdering av tiltakseffekter er det imidlertid et generelt behov for målinger som kan dokumentere effekten av jordarbeiding på transport av partikler i grøftene.

For å belyse effekten av jordarbeiding på partikkeltap i grøftene er det gjennomført en modellberegning ved hjelp av ERONOR-modellen (Lundekvam, pers. medd.). I modellen ble det brukt nedbørdata for Rygge (1970-2005) og en siltig lettleire med 21,5 % leir, 63,5 % silt, 4,4 % humus og uplanert. Modellen ble kjørt ved 1 og 3 % fall. Tabell 9 viser jord- og fosfortap beregnet med ERONOR-modellen.

Tabell 9. Jord- og fosfortap beregnet med ERONOR-modellen for siltig lettleire med liten helling (Lundekvam, pers. medd.).

	Overflatevann (156 mm)				Grøftevann (350 mm)	
	Jordtap (kg/daa)		Fosfortap (g/daa)		Jordtap (kg/daa) og relativ faktor i ()	Fosfortap (g/daa)
	1 %	3 %	1 %	3 %		
Høstpløying	20,5	43,6	48,6	71,0	34,3 (1)	62,6
Potet	24,5	52,0	52,5	79,2	37,4 (1,1)	66,3
Høsthvete	27,1	36,2	45,2	63,9	29,0 (0,85)	56,0
Høstharving	10,7	22,8	39,1	50,8	25,7 (0,75)	52,2
Vårharving	2,5	5,3	31,1	33,9	13,3 (0,39)	35,0
Direktesåing	2,5	5,2	31,1	33,8	12,6 (0,37)	34,1
Eng	1,1	2,3	29,7	30,9	8,1 (0,24)	26,8



Figur 7. Effekt av jordarbeiding på jordtap estimert med ERONOR-modellen for arealer med liten helling (Lundekvam, pers.medd.).

Resultatene fra ERONOR-modellen viser de relative jordtapene ved ulike jordarbeidingsmetoder (Figur 7). Det blir omtrent en halvering i fosfortapet med overflatevann ved omlegging fra høstpløyd korn til eng ved liten helling (tabell 9). Denne effekten er mye mindre enn på jord med større helling og større erosjonsrisiko. I grøftevann ble fosfortapet redusert med ca. 60 % ved omlegging fra høstpløyd korn til eng. Fosfortapet, som er estimert på bakgrunn av vannprøver i små bekker i nedbørfeltet er gjennomgående noe større (50-300 g P/daa jordbruksareal, hvorav 25-30 % løst P) enn det som er beregnet med ERONOR-modellen. Dette på tross av at modellen ikke tar hensyn til retensjon i nedbørfeltet. Det er stor usikkerhet knyttet til både målinger og simulerte verdier. Dessuten er det mer erosjonsutsatte jordtyper (sand og siltig sand) og lengre hellingslengder i deler av nedbørfeltet enn det som er benyttet i modellen, men også andre

ukjente faktorer, bl.a. erosjon i bekkeskråninger og endret fordeling mellom grøfte- og overflatevann, vil bidra til forskjell mellom de simulerte og målte verdiene. Modellberegninger basert på detaljert arealinformasjon kan bidra til bedre estimater.

Arealer der det dyrkes potet- og grønnsaker medfører utfordringer både når det gjelder gjødsling og erosjon. Grønnsaker omfatter mange ulike vekster, og erosjonsrisikoen på disse arealene er meget varierende. Det er utført få undersøkelser som kvantifiserer erosjon fra arealer med grønnsaker, men kunnskap om erosjon viser at plantedekke og konsolidering er faktorer som har betydning for erosjonsrisiko. Jordas tilstand etter høsting har stor betydning for erosjonsrisiko. Generelt er det rotvekster som gir størst erosjonsrisiko, siden jorda løsnes ved høsting, men erosjonsrisiko avhenger også av utstyret som blir brukt. Minst mulig jordarbeiding i forbindelse med høsting gir lavest erosjonsrisiko. Generelt reduseres erosjonsrisikoen i rekkefølgen gulrot/knollselleri/purre>løk>“overjordiske” vekster (Guren, pers.medd.). For potet er det målt høye partikkeltap gjennom grøftene etter høsting. Sammen med høye fosforkonsentrasjoner som ofte følger dyrking av potet, kan det føre til at potet er en kritisk vekst for vannkvaliteten i vestre Vansjø. Omfanget av potetdyrking og hvilke arealer som brukes til dette er derfor viktig å lokalisere.

I tillegg til den direkte effekten av redusert jordarbeiding på erosjon, kan redusert jordarbeiding ha betydning for risiko for fosfortap på flomutsatte arealer, siden arealer som ligger i stubb vil ha en bedre evne til å holde tilbake partikler mot slutten av flommen.

Endring av driften fra korn, potet eller grønnsaker til eng er det mest effektive erosjonshindrende tiltaket. Muligheten for dyrking av biobrensel er ikke vurdert her. Det har ikke blitt utført målinger på fosfortap fra arealer med dyrking av biobrensel, men antakelig vil det være lite erosjon på arealer med flerårige vekster (på nivå med eng).

Planterester

Dekking av jordoverflaten med planterester, f. eks. halm og kålblader, vil i de fleste tilfeller redusere jordtapet, og følgelig tap av partikkelbundet fosfor, men planterester kan også føre til økt avrenning av løst fosfor. Det har vært utført en del målinger som tyder på at store mengder fosfor kan løses ut fra planterester om vinteren. Ettårige grasarter ga i forsøk med utfrysing om lag dobbelt så stor risiko for avrenning av løst fosfor sammenlignet med flerårig gras (Bechmann et al., 2005). Det er også gjort målinger som viser at det ved liten erosjonsrisiko og plantedekke som gir risiko for utfrysing av fosfor, er en høyere andel løst fosfor enn ved høy erosjon. Nedpløying av planterester vil redusere denne risikoen. Andre forsøk har vist at dekkning av jordoverflaten med høy gir liten endring i tap av løst fosfor, mens dekkning av jordoverflaten med grønnsakblader gir en betydelig økning i tap av løst P. 1/10 av total fosfor i grønnsakbladene ble i et forsøk gjenfunnet i avrenningsvannet. Fjerning av planterester er gunstig for å redusere mengden av fosfor som tilbakeføres til jorda ved nedbrytning av dødt plantemateriale. På den andre siden vil erosjonsrisikoen øke ved mindre plantedekke, og dermed øke fosfortapet. Det foreligger totalt sett lite kunnskap om under hvilke norske forhold de ulike prosessene dominerer og hvilken risiko det utgjør for vannmiljøet.

Fosforanrikning

Erosjon er en selektiv prosess som transporterer mindre partikler enn jordas gjennomsnitt partikkelstørrelse. Mindre partikler inneholder mer fosfor og ved selektiv erosjon skjer det en anrikning av fosforrike partikler i erosjonsmaterialet. Ved redusert jordarbeiding reduseres tapet av partikulært fosfor mindre enn tilsvarende partikkeltap fordi erosjon og transport av partikler selekterer små og fosforrike partikler. Spesielt ved lav erosjon vil det være en anrikning av mindre partikler med mer fosfor. Ved kraftig erosjon vil også større partikler og hele aggregater løsrives og transporteres i en mindre selektiv prosess. Forsøk utført av Lundekvam (1997) viste relative fosfortap ved vårarbeiding på 0,2-0,4 i forhold til fosfortap ved høstpløying, mens

jordtapet tilsvarende er 0,1-0,2 for vårarbeiding sammenlignet med høstpløying. Fosforanrikning er i noen fosformodeller antatt å være logaritmisk avhengig av erosjonen, slik at fosforanrikningen øker ved lav erosjon.

Anrikningsforholdet er blitt bestemt i flere forsøk og Menzel (1980) fant at følgende forhold var gjeldende for et bredt utvalg av jordtyper:

$$\ln ER = 2 - 0,2 \ln \text{sedimentert avrenning (kg/ha)} \quad (3)$$

hvor ER = anrikningsforholdet av P i mellom opphavsmaterialet og sedimentert materiale. Denne sammenhengen er brukt i beregninger av tiltakseffekter av erosjonshindrende tiltak i kapittel 6.

Erosjonshindrende tiltak har generelt stor betydning for fosfortapet og er et av de tiltakene som har raskest virkning på fosfortapet. I tillegg blir det ikke tatt ut jord av drift ved slike tiltak. De viktigste erosjonshindrende tiltak på jordbruksarealene er:

- Omlegging av arealer med potet og grønnsaker til korn eller eng
- Jordarbeiding på våren - ingen høstarbeiding, spesielt for korn i omløp med potet/grønnsaker
- Direktesåing av høstkorn

4.3 Rensesystemer

Permanente vegetasjonssoner

Permanente vegetasjonssoner kan anlegges langs bekkeløp og innsjøer, rundt kummer, i forsengkninger, og for å dele opp lange hellingslengder i skrånende terreng og har til formål å redusere partikkel- og fosfortapet. Vegetasjonssoner bidrar til å redusere partikkel og fosfortapet ved å øke sedimentasjon av partikler og dermed redusere avrenning av partikulært fosfor. I tillegg vil som regel vegetasjonssonen ha større infiltrasjonskapasitet og - evne enn ovenforliggende åker, noe som reduserer andelen overflatevann. Effekten er også knyttet til opptak av fosfor i vegetasjon og i mange tilfeller kan en få redusert risiko for spredning av gjødsel direkte i bekken ved etablering av vegetasjonssoner langs bekken. Man vil også få redusert risiko for kjøreskader og utrasing av bekkeskråninger. Effekten av vegetasjonssoner på rensing av overflateavrenning fra jordbruksarealer er dokumentert i omfattende forsøksserier (Syversen, 2002; 2003).

Jordbruksarealene i nedbørfeltet til vestre Vansjø har forholdsvis slake hellinger eller er flate og har dermed generelt lite overflateavrenning. Imidlertid forekommer overflateavrenning i deler av nedbørfeltet til vestre Vansjø i perioder, bl.a. på frossen eller vannmettet jord, og i disse tilfeller vil resultatene fra forsøkene kunne brukes til å estimere renseeffekt. I noen tilfeller kan også flomutsatt jord være utsatt for overflatetransport. Områder som er vegetasjonsdekket vil i disse periodene holde tilbake partikler og partikkelbundne næringsstoffer i flomvannet.

Forsøkene knyttet til renseeffekt av overflatevann som renner gjennom vegetasjonssoner, ble utført i fire forsøksfelt i Akershus og Østfold fylker i perioden 1992-2001 (Syversen, 2002). I forsøkene ble det studert renseeffekt i forhold til bredde på vegetasjonssonen, mengde overflatevann inn i vegetasjonssonen, sesongvariasjon og vegetasjonstype. Forsøkene ble utført i felt med både naturlig og simulert avrenning inn i vegetasjonssonen. Renseeffekt for fosfor (i %) etter både naturlig og simulert avrenning varierte fra 42-96 %, og økte med økende bredde av vegetasjonssonen. Renseeffekt for partikler var 55-97%. Det ble ikke funnet forskjell i

renseeffekt (i %) mellom sommer og vinter. Renseeffekten målt i mengde ble funnet å være 15-35 ganger høyere om vinteren. Kraftig avrenning om vinteren førte til høy partikkeltransport, men en betydelig andel av dette sedimenterte i vegetasjonssonen, slik at renseseffekten i % tilnærmet ble den samme sommer som vinter.

Renseeffekt (i %) øker i de fleste tilfeller med økende bredde, mens renseseffekt per arealenhet avtar med økende bredde, noe som kan antyde at renseseffekten er størst i de øverste delene av vegetasjonssonen. Effekten av vegetasjonssonen varierer avhengig av feltspesifikke forhold som topografi, avrenningsintensitet og type, vegetasjonstype og jordtype, samt ønsket reduksjon i partikkel- og næringsstoffbelastning i overflatevann. Foreløpige resultater viste liten forskjell i renseseffekt for partikler og fosfor med ulik type vegetasjon (trær kontra grasvegetasjon). Resultatene viser at tett undervegetasjon (tett grasdekke) er viktig for å optimalisere sedimentasjonseffekten. Det er satt i gang videre forsøk hvor effekt av ulike typer vegetasjon i forhold til renseseffekt undersøkes.

Tallene det refereres til over viser stor variasjon i tilbakeholdelse av total fosfor og partikler. Dette gjelder også forskjellige forsøksfelt med samme bredde på vegetasjonssonen. Dette skyldes i hovedsak variasjon i stedsspesifikke forhold som total belastning inn i vegetasjonssone, vegetasjonstype, helningsgrad og jordtype. Avrenningsvannet er anrikt på leirpartikler i forhold til utgangsjorda og det skjer i tillegg en anrikning gjennom vegetasjonssonen (Syversen, 2002).

Tabell 10 viser nyeste resultater på renseseffekt i % og årlig spesifikk tilbakeholdelse av fosfor, partikler og organisk materiale i en 5 m bred vegetasjonssone lokalisert i Mørdre forsøksfelt (Nes kommune, Akershus), og to vegetasjonssoner med hhv. 5 og 10 m bredde i Grorud forsøksfelt (Vestby kommune, Akershus). Laveste tall i % fra Grorud representerer 5 m bredde på vegetasjonssonen, mens laveste tall for spesifikk tilbakeholdelse representerer 10 m bredde. I nedbørfeltet til Vansjø er det innført tilskudd til 10 m brede vegetasjonssoner.

Tabell 10. Renseeffekt og spesifikk tilbakeholdelse av fosfor, partikler og organisk stoff i vegetasjonssoner.

Mørdre (1992-93 og 1997-2003)	Fosfor	Partikler	Org. mat.
Renseeffekt (%)	63	75	74
Årlig spesifikk tilbakeholdelse (g/m ² år)	1,4	1962	117
Grorud (1992-99)			
Renseeffekt (%)	76-89	81-91	83-90
Årlig spesifikk tilbakeholdelse (g/m ² år)	1,5-1,6	860-990	85-100

Forsøkene det refereres til (Syversen, 2002; 2003) er utført under forhold med brakklagt (jordarbeidet, svart jord) nedbørfelt til vegetasjonssonene for å få "worst case" i forhold til avrenningsmengde og - kvalitet i sommerhalvåret. I tillegg ble ikke vegetasjonssonene høstet. Høsting av vegetasjonssonen med fjerning av gras vil hindre utfrysing av fosfor om vinteren. Forsøkene viste imidlertid at andelen løst fosfor (fra f. eks. utfrosset plantemateriale) var svært liten. Partikkelbundet fosfor knyttet til erosjonsmateriale dominerte avrenningen av fosfor i forsøksfeltene. I forbindelse med tilskudd til vegetasjonssoner i nedbørfeltet til vestre Vansjø er det innført krav om høsting av vegetasjonen. I områder med lavere andel erosjon og partikkelbundet fosfor i avrenningsvannet, kan høsting av vegetasjonen ha større betydning ved å redusere avrenningen av løste stoffer og organisk materiale.

Forsøksfeltene ble anlagt i områder uten tverrfall og søkk. Man vil kunne få redusert effekt av tiltaket ved ansamling av overflatevann i søkk ved hellende terreng og kraftig avrenning. Grasdekte vannveier er et aktuelt tiltak for å hindre graving i forsøksfeltene der vannet samler seg. Som eksemplifisert i tiltaksanalysen utført av Lyche-Solheim et al. (2001), kan graving i forsøksfeltene bidra til å øke erosjonen til omtrent det dobbelte. Her er variasjonen stor og

terrengforholdene avgjørende. Avskjæringsgrøfter for skogsvann kan være med på å redusere vannmengden i forsøkninger. Kummer for inntak av overflatevann tjener samme formål.

Vegetasjonssoner kan brukes til å redusere hellingslengde. Reduksjon av hellingslengde kan være et nyttig tiltak på erosjonsutsatt jord i bratt terreng som høstarbeides. I forsøk har man på planert mellomleire vist en hele 50-90 % økning i partikkeltap ved doubling av hellingslengde. Erosjonsrisikokart er basert på 100 m hellingslengde, ved lengre hellingslengder øker erosjonsrisikoen i forhold til hellingslengden, men den effektive hellingslengden vil kunne reduseres ved bruk av vegetasjonsbelter.

I områder hvor overflateavrenning har mindre betydning, og grøfteavrenning står for en stor andel av fosforavrenningen, er det mulig å anlegge vegetasjonssoner som fanger opp grøftevannet. I hellende terreng er rensing av grøftevann gjennom en vegetasjonssone mulig (Figur 7). Foreløpige rensesresultater fra et forsøksfelt som er bygd etter dette prinsippet (Syversen og Søvik, unpubl.), viser høy renseseffekt for fosfor i perioder med sommervannføring og lavere renseseffekt (ca. 30 %) om høsten med høyere vannføring. Et slikt rensesystem er avhengig av noe høydeforskjell, men kan være aktuelt enkelte steder i nedbørfeltet til vestre Vansjø.



Figur 7. Prinsippskisse av rensing av grøftevann gjennom en vegetasjonssone

Fangdammer

Anleggelse av fangdammer i nedbørfelt med stor avrenning av partikler og fosfor har i en rekke studier vist seg å være et effektivt tiltak for å redusere totale fosfortilførsler til innsjøer (Braskerud et al., 2005). Størst innvirkning på effekt har faktorer som fangdammens størrelse i forhold til nedbørfeltareal, andel dyrket mark innen nedbørfeltet, total hydraulisk belastning, og total belastning av partikler og fosfor. Fosforinnhold i øverste jordlag har i så måte stor betydning, der fosfor i stor grad vil tapes i partikkelbundet form ved overflateerosjon. Man vil i de fleste tilfeller få økt effekt av fangdammer ved økende størrelse på denne i forhold til nedbørfeltareal, og i felt med stor andel dyrket mark. Man vil og i de fleste tilfeller få økt total retensjon av fosfor i felt med høy avrenning og høye tap av partikler og fosfor. Høy total belastning av partikler og partikkelbundet fosfor har man vanligvis i felt med en stor andel

dyrket mark. I felt dominert av utmarksareal vil man i de fleste tilfeller ha lavere tap, og følgelig lavere belastning i fangdammen.

Faktorer som innvirker på retensjon av fosfor i små konstruerte våtmarker (fangdammer) er forøvrig beskrevet i detalj av Braskerud (2002). Effekten av fangdammer er vurdert ut fra resultater fra forsøk utført i fangdammer med areal tilsvarende 0,06-0,4 % av nedbørfeltets totalareal over perioder på 3-7 år. Studien ble utført i 4 forsøksanlegg, lokalisert i Akershus, Østfold, Sør-Trøndelag og Rogaland. Tilbakeholdelsen av fosfor var 21-44 % av totale tilførte mengder (relativ retensjon), tilsvarende en total retensjon på 20-39 kg P/år. Dette på tross av en relativt stor hydraulisk belastning (gjennomsnittlig 0,7-1,8 m/dag). Fangdammer har generelt størst effekt på partikkelbundet fosfor, og liten effekt på løst fosfor. I forsøkene ble det funnet en gjennomsnittlig tilbakeholdelse av partikkelbundet P på 45 %, og tilbakeholdelse av løst P på 5 %.

Tabell 11 viser gjennomsnittlig mengde fosfor tilbakeholdt i en rekke fangdammer på Østlandet, sett opp mot nedbørfeltets totalareal og andel dyrket mark innen nedbørfeltet. Tilførte mengder er ikke kvantifisert for alle feltene, så det er for disse ikke mulig å beregne relativ retensjon.

Det er stor variasjon i retensjon av fosfor i de ulike fangdammene. Det skyldes i hovedsak forskjeller mellom nedbørfeltene (andel dyrket mark og hydraulisk belastning), og variasjon i totale mengder P som tilføres dammene. Aker, Buer og Holtan er fangdammer med svært lav spesifikk retensjon av fosfor (2-4 g P/m²/år), noe som i stor grad skyldes svært lave tilførsler til disse anleggene (Bach et al., 2003).

Tabell 11. Total retensjon av fosfor i ulike fangdammer. Tabellen angir også anleggsår, nedbørfeltareal og fangdamareal i % av nedbørfeltareal (etter Braskerud, 2002 og Bach et al., 2003).

Anlegg	Ferdig anlagt (år)	Nedbørfeltareal (daa)	Andel dyrket mark (%)	Fangdamareal i % av nedbørfeltareal	Spesifikk retensjon av P (g/m ² fangdamareal/år)	Total retensjon av P per daa nedbørfeltareal (kg/daa/år)
Berg	1990	1480	17	0,06	51	0,031
Kinn	1990	500	27	0,07	58	0,040
Flatabekken	1994	1030	14	0,08	27	0,023
Grautholen 1	1993	220	99	0,21	71	0,150
Grautholen 2	1993	220	99	0,38	46	0,176
Lågerød	1997	1770	45	0,23	45	0,106
Aker	1995	160	75	0,37	2	0,006
Buer	1995	280	31	0,31	3	0,011
Haslestad	1996	70	100	0,14	60	0,086
Holtan	1995	125	52	0,33	4	0,016
Lund	1995	280	91	0,17	20	0,032
Råstad S	1996	245	65	0,18	22	0,041
Stein	1995	400	93	0,09	53	0,048
Sundby	1995	1735	53	0,09	12	0,010
Vølen 1	1996	990	50	0,08	73	0,056
Vølen 2	1996	250	93	0,18	11	0,020
Gjennomsnitt:					34	0,053
Min.						0,006
Max.						0,176

Høy spesifikk retensjon er påvist i fangdammer med høy total belastning. Veldig høyt fosforinnhold i øverste jordlag i nedbørfeltet til Grautholen 1+2 (høy husdyrtetthet), i tillegg til at tilnærmet hele nedbørfeltarealet er dyrket mark, medfører svært høy belastning og følgelig høy

total retensjon i disse dammene. Høy retensjon er også påvist i Haslestadbekken, som er en liten fangdam med overflateareal på 100 m². Dette trolig som følge av høy belastning, og fosfor hovedsakelig tilført som partikkelbundet P.

Relativ retensjon av fosfor er beregnet for enkelte av dammene, bl.a. Berg og Kinn, hvor det er målinger av fosfortransport. Den relative retensjonen ble funnet å være 32 % av tilført fosfor, tilsvarende 0,04 kg P/daa nedbørfelt/år, i Kinn, et kornfelt med hovedsakelig produksjon av bygg og havre. Leirinnhold i jorda lå her mellom 20-33 %. I Berg, et felt med en kombinasjon av korn- og melkeproduksjon, var retensjonen av fosfor 41 %, tilsvarende 0,031 kg P/daa nedbørfelt/år. Leirinnhold i jorda var her 28 % (Braskerud, 2002). Berg og Kinn er relativt små i forhold til nedbørfeltet sammenlignet med de øvrige dammene som er presentert. Den relative retensjon vil derfor sannsynligvis være minst 30-40 % av tilført fosfor for fangdammer som utgjør en større del av nedbørfeltet.

Resultatene som er presentert ovenfor indikerer at man ved anleggelse av fangdammer bør prioritere områder med relativt stor belastning av partikler og partikkelbundet fosfor. Tiltaket vil i så måte være høyst aktuelt i områder med stor andel dyrka mark og høye partikkel- og fosfortap. Man vil i de fleste tilfeller oppnå større effekt per fangdamareal og større total retensjon i områder med høy andel dyrket mark. Nedbørfelt med stor andel utmarksareal/skogsområder vil følgelig gi lavere effekt av en etablert fangdam. **I nedbørfeltet til vestre Vansjø vil etablering av fangdammer i området mellom raet og Vansjø dermed gi de største effektene.** Andelen jordbruksareal er høy i dette området og målinger viser dessuten at en stor del av fosforet tapes som partikulært fosfor. Effekten av fangdammer på fosfortap i dette området vil være i øverste område av variasjonsbredden, det vil si 150-200 g P/daa nedbørfeltareal, under forutsetning av at fangdamarealet er om lag 0,1 % av nedbørfeltarealet. I områder med mye skogsvann kan man søke å unngå det renere vannet ved å legge fangdammene inn på dyrka mark. For eksempel ved å åpne en del av bekkelukkingen eller en stor samlegrøft.

Tilpassing av fangdammer kan øke effektiviteten og redusere kostnadene. Lokaltilpassede løsninger omfatter bl.a. sedimentasjonskammer i de minste bekker og grøfteutløp eller etablering av terskler som fremmer sedimentasjon i bekken.

For områder med større andel løst fosfor og fosfor bundet til de minste partiklene, kan ekstra rensiltak etableres med Leca-filter. Planlegging av et pilotforsøk med Leca-filter som et ekstra rensiltak etter en fangdam i Støabekken er satt i gang, og er planlagt ferdig etablert innen vekstsesongen 2007. Slike filtre kan være spesielt egnet ved lav vannføring, spesielt om sommeren, hvor det i mange tilfeller er en økt utlekking av løst fosfor fra fangdammer på grunn av reduserende forhold, som fører til at fosfor frigjøres fra sedimentet (Hauge, 2006). Det foreligger ennå ikke målinger på effekten av slike rensesystemer. Effekten vil antakelig være størst ved lav vannføring, da en ofte har høy andel løst fosfor og fosfor bundet til mindre partikler.

Leca-filter for grøftevann

Nedbørfelt med stor andel utmark gir, som nevnt, forholdsvis lav effekt av fangdammer, da slike felt i stor grad vil domineres av relativt store vannmengder med generelt lave fosforkonsentrasjoner. Arealkravet til fangdammen (0,06-0,4 % av nedbørfeltets totalareal) vil også være betydelig i slike store nedbørfelt. På bakgrunn av dette er det for slike områder behov for alternative renseløsninger direkte rettet mot avrenning fra jordbruk. På de relativt flate arealene i nedbørfeltet til vestre Vansjø bidrar grøftevannet antakelig med mesteparten av fosforavrenningen. Rensing av grøfteavrenning er derfor et tiltak som kan gi nye muligheter i tillegg til de nåværende rensesystemer. Det er tidligere gjennomført forsøk med filtermaterialer (Leca-kuler) i stedet for drenerør og resultatene viste en tilbakeholdelse av fosfor på 40-90 %. For å redusere anleggskostnadene er det nå satt i gang et pilotforsøk i nedbørfeltet til vestre Vansjø der en tester muligheten for å redusere filteret til utløpet av samlegrøftene.

Pilotanlegget for grøfterensning er lokalisert i nedbørfeltet til vestre Vansjø, i grøftesystemet ved Guthusbekken. Det er tatt ut en serie med stikkprøver som en første undersøkelse av effekten av slike filtre på fosforrensing. Prøveserien inneholdt meget høye partikkelkonsentrasjoner, sannsynligvis på grunn av etablering av filteret og resultater fra disse enkle målingene viser at partikkelkonsentrasjonen er om lag halvert fra innløp til utløp av filteret (Hauge, 2006). Det er behov for å gjennomføre systematiske undersøkelser av effekten av Leca-filter på fosfortap i forbindelse med arealavrenning.

Tiltak i bekkeløpet

I en åpen bekk er det ulike prosesser som påvirker konsentrasjonen av fosfor. Erosjon i bekkeskråninger og punktutslipp bidrar til å øke konsentrasjonen, mens tilførsler av skogsvann, veiavrenning og sedimentasjon i de fleste tilfeller vil bidra til å redusere konsentrasjonen.

Erosjon i bekkeskråninger og bekkeløp kan i noen tilfeller bidra betydelig til de totale mengder partikler som tilføres bekkevannet. I England er det målt at ca. 10 % av jordtapet fra små jordbruksdominerte nedbørfelt skyldes erosjon i bekkeskråninger (Walling et al., 2002). Danske målinger i 90 små bekker viste et gjennomsnittlig jordtap på 11 mm/år i bekkeskråningen (Laubel et al., 2003). De viste at erosjon i bekkeskrentene avhenger av skråningens helling, vegetasjonsdekke, overheng og vannets kraft. Fosforinnholdet i de danske bekkeskråningene var på nivå med innholdet i jordbruksjorda (0,64 g P/kg) og fosfortapet i bekkeskråningen tilsvarte 0,023-0,028 kg P/daa fordelt på hele nedbørfeltet. Til sammenligning var fosfortapet for tilsvarende nedbørfelt totalt 0,058 kg P/daa. Det vil si at erosjon i bekkeskråningene utgjorde om lag 40 % av P-tapene. For norske forhold, hvor fosfortapene i mange områder er betydelig større (3-6 ganger), vil erosjon i bekkeskråninger tilsvarende de danske målingene utgjøre 5-15 % av det totale fosfortapet. Det er generelt lite kunnskap om betydningen av disse prosesser under norske forhold, men det er dokumentert at erosjon i bekkeløpene er en viktig kilde til partikkeltap (Vandsemb et al., 2003). Bogen et al. (1993) har vist at naturlig erosjon utgjør 55 % av erosjonen i Leira, mens jordbrukets bidrag kun er 45 %. Naturlig erosjon er særlig stor i leirjordsområder. Resultatene det her refereres til kan ikke brukes til å kvantifisere betydningen av naturlig erosjon i vestre Vansjø. I erosjonsutsatte bekkeløp anbefales likevel slake bekkeskråninger (>1:3) for å stabilisere jorda, samtidig som man opprettholder permanent vegetasjonsdekke i kantsonene. Steinsetting og bygging av terskler er også mulige tiltak for å redusere erosjon i bekkeskråninger. Det er ikke mulig på generelt grunnlag å vurdere effekten av slike tiltak.

Åpning av bekkelukkinger gjennomføres som et kulturlandskapstiltak. Tiltaket vil gi økt risiko for erosjon i bekkeskråninger, men til gjengjeld også økt mulighet for retensjonsprosesser, f.eks. endring i redoksforhold med etterfølgende utfelling av fosfor som er løst ut under reduserende forhold i jorda. I lukkede grøfter vil reduserende forhold dominere, mens ved lufting av vannet i åpen bekk vil oksiderende forhold føre til utfelling av fosfor med jern. Dessuten vil åpning av bekker gi mulighet for sedimentasjon og opptak av fosfor i vegetasjon. Det er stor usikkerhet knyttet til effekten av disse prosessene på det totale fosfortapet. Riktig oppbygging av bekken (helling på skråningene, vegetasjonsdekke og meandering) påvirker resultatet.

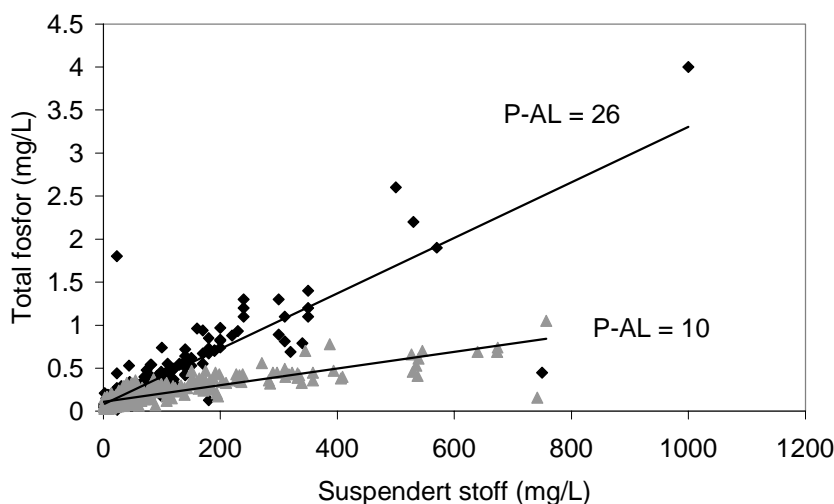
Avskjæringsgrøfter og inntakskummer

Det kan forekomme stor erosjon i vannveier på arealer der det tilføres mye vann fra ovenforliggende arealer. Erosjon og graving i forsenkninger skjer ofte i slike situasjoner. Tiltak for å hindre slike prosesser omfatter etablering av avskjæringsgrøfter slik at skogsvann ledes utenom jordbruksarealene. En annen mulighet er å installere inntakskummer for overflatevann slik at vannet ledes i lukket grøft før det begynner å grave. Utforming og vedlikehold av slike anlegg er avgjørende for effekten, og i mange tilfeller vil erosjon rundt kummer med dårlig vedlikehold bidra til økt partikkelavrenning. Overflateavrenning fra arealer som ligger langt fra

bekk eller åpent vann kan være direkte forbundet med bekken via inntakskummer for overflatevann. Tiltak rundt kummene, f.eks. vegetasjonssoner og fangdammer, kan bidra til å redusere risikoen. Det foreligger få målinger av effekter av disse tiltakene, da de avhenger av lokale forhold, nedbørfeltstørrelse, terrengform og jordtype på hvert enkelt jorde. Effekten må vurderes i hvert enkelt tilfelle, men som eksempel kan en anta at graving rundt en kum per 50 dekar utgjør 2,5 tonn jord. Da vil erosjonen svare til 50 kg jord/daa, evt. i løpet av en årrekke.

4.4 Samlede effekter av tiltak

Tiltakene som er presentert over gir en effekt på enten transport av fosfor (f.eks. redusert erosjon) eller på fosfornivået i jorda (f. eks. redusert P-AL-nivå i jorda). Den samlede effekten av flere tiltak er avhengig av hvordan de ulike tiltakene virker sammen. Redusert partikkelavrenning vil ha ulik effekt på fosfortapet avhengig av hvilket fosfornivå det er i jorda. Figur 8 viser økning i fosforkonsentrasjonen ved økt konsentrasjon av suspendert stoff (erosjon) i to bekker med forskjellig fosfornivå i nedbørfeltet. En reduksjon i erosjon vil gi ulik effekt på fosfortap avhengig av jordas fosfortilstand (P-AL).



Figur 8. Økt erosjon gir ulike fosformengder i bekken avhengig av fosfornivået (P-AL) i jorda.

Flere tiltak kan være nødvendige på samme tid for å få tilstrekkelige reduksjoner i fosfortapene. Det finnes ikke et enkelttiltak som vil gi store og raske reduksjoner i fosfortap overalt, men det er en utfordring å tilpasse tiltakene på riktig sted. Det krever at problemene kartlegges og årsakene beskrives. Det gir størst kostnadseffektivitet å fokusere tiltak på arealer med høy risiko for fosfortap, det vil si arealer som f. eks. har både høyt fosforinnhold, høy erosjonsrisiko og/eller ligger nær bekken. **Kartlegging av kritiske arealer gir grunnlag for vurdering av årsakene og mulige tiltak.**

Spesielle forhold gjelder for vassjuk jord og flomutsatte arealer, hvor reduserende forhold i jorda kan bidra til å øke konsentrasjonen av løst fosfor i jordvannet. Etter nedbør er det målt høye fosforkonsentrasjoner i grunnvannsig fra lavtliggende arealer rundt vestre Vansjø (Eggestad, pers. medd.). Disse arealene antas å utgjøre en særlig stor risiko for avrenning av letttilgjengelig fosfor. Lufting av grøftvannet vil gi kjemisk binding av fosfor til jern under oksiderende forhold og det antas å kunne bidra til rensing av avrenningen. Det er lite erfaringer knyttet til slike tiltak, men de kan være et aktuelle i de lavereliggende arealene rundt vestre Vansjø.

Et av tiltakene mot fosfortap er omlegging fra vekster med stor risiko til vekster med mindre risiko for fosfortap. Risikovekster er de som tradisjonelt gjødsles med mer fosfor enn det som taes opp i avlingen, utgjør en stor erosjonsrisiko i eller utenfor vekstsesongen, og/eller etterlater mye plantemateriale på jordoverflaten. Vekster som gjødsles med mer enn de tar opp fører til en økning av jordas fosforinnhold over tid. Dersom en vekst i tillegg gir et dårlig plantedekke i vekstsesongen og særlig etter høsting, vil det være stor risiko for erosjon og transport av partikler. Dette gjelder bl.a. potet, løk og purre. Andre vekster etterlater store mengder plantemateriale på jordoverflaten og det kan være risiko for utfrysing av fosfor fra planterestene, noe som bl.a. gjelder for kål. Planterestene vil på den annen side gi et dekke som beskytter mot erosjon. Det er ikke gjort målinger på erosjon og fosfortap fra grønnsaksarealer og forskjeller i fosfortap fra disse arealene er lite belyst.

Omlegging av jordbruksdriften fra korn, potet eller grønnsaker til eng er det mest effektive tiltaket for å redusere tapet av partikkelbundet fosfor, men omleggingen krever en endring i produksjonen, og muligheten for avsetning må vurderes. I tillegg til den umiddelbare effekt av redusert erosjon, vil på sikt også jordas fosforinnhold gå ned dersom gras ikke gjødsles med fosfor.

Kombinasjon av flere tiltak som reduserer fosfortransporten (f.eks. overvintring i stubb og vegetasjonssoner) gir ofte lavere effekt enn summen av enkelttiltakene. Dersom en har lagt arealet i stubb vil det være mindre jordtap, og sedimentasjonen i en vegetasjonssone blir dermed mindre. For fangdammer er det dokumentert større relativ effekt ved store belastninger, det vil si at dersom arealene ligger i stubb og det er etablert vegetasjonssone langs vassdragene, vil effekten av fangdammen være lavere på grunn av redusert belastning. I forhold til å oppnå vannkvalitetsmålene for vestre Vansjø er det likevel nødvendig å sette inn flere tiltak til samme tid på jordbruksarealene.

4.5 Prosesser i nedbørfeltet

Tiltakseffekter som er nevnt ovenfor gjelder spesifikke effekter av tiltakene. Fosfortap fra et lite felt i nedbørfeltet er utsatt for mange modifierende faktorer før de når frem til bekken. I jordbrukslandskapet foregår prosesser som sedimentasjon, erosjon og infiltrasjon.

Konsentrasjonene av fosfor som måles i bekken utgjør derfor summen av fosfortap fra enkeltarealer, modifisert gjennom prosesser som finner sted på veien fra hvert areal til bekken. Prosesser i landskapet som påvirker fosforkonsentrasjonen omfatter sedimentasjon, infiltrasjon av overflatevann, planteopptak, binding til jord og erosjon i strømningsveier. Også i en åpen bekk vil ulike prosesser ha innvirkning på fosforkonsentrasjon, og fosfortapet er følgelig også avhengig av hvor i bekken vi måler.

Ulike tilførselskilder kan også bidra til å endre konsentrasjonene. Punktutslipp og skogsvann bidrar i mange små bekker. Punktutslipp vil i de fleste tilfeller føre til en økning i konsentrasjon av løst fosfor, mens man ved tilførsler av skogsvann vanligvis vil få reduserte konsentrasjoner på grunn av fortykning.

5. Kostnader

Kostnadsvurderinger er tatt med der det foreligger kunnskap om dokumenterte effekter og kostnader av tiltak. For disse tiltakene er det gjort et anslag av kostnadseffektivitet, dvs. kostnad per enhet redusert tilførsel av fosfor (oppgitt i norske kroner (NOK)/kg P). For de tiltak der en slik dokumentasjon ikke foreligger, eller der tiltaket ikke ventes å medføre noen kostnad, er det i stedet gitt en mer generell vurdering av de økonomiske aspekter ved tiltaket i forhold til forventet effekt. Som diskutert tidligere i rapporten vil effekt av gitte tiltak variere betydelig avhengig av hvor godt tiltakene er tilpasset stedsspesifikke forhold. Dette vil følgelig også gjelde for kostnadseffektivitet. Samspilleffekter mellom tiltak vil også virke inn. Det er i denne vurderingen tatt utgangspunktet i at tiltakene gjennomføres som enkelttiltak.

Generelt er det lite kunnskap om kostnader ved tiltak. Den beste oversikten finnes i Lyche-Solheim et al. (2001), hvor vurderingene i høy grad er basert på en NILF-rapport fra 1997 (Framstad og Stalleland, 1997). Disse tallene er nå litt gamle og en del tiltak er ikke omfattet i beregningene. Generelt er det derfor behov for en grundig gjennomgang av både kostnader og effekter av tiltak, men det har vært utenfor dette prosjektet sin ramme.

5.1 Redusert fosfornivå

Det foreligger ikke dokumenterte kostnader ved redusert gjødsling som tiltak for å redusere total fosforbelastning i et nedbørfelt gjeldende for norske forhold. Kostnader ved dette tiltaket vil variere betydelig avhengig av jordas fosfortilstand, type vekst og eventuell avlingsnedgang ved redusert gjødsling. Dersom man antar at det på kornarealer er liten risiko for avlingsnedgang ved null-gjødsling ned til P-AL 10 (jfr. *Beskrivelse av tiltak og effekter*), vil tiltaket på disse arealene være forbundet med liten eller tilnærmet ingen kostnad. På grønnsaksarealer vil dette nivået ligge noe høyere. Ved vurdering av kostnader/økonomisk tap ved redusert gjødsling på arealer med lavere P-AL-nivå, må kostnader ved eventuelt avlingstap vurderes opp mot den samfunnsøkonomiske gevinst man får ved redusert fosforstatus i jord, og lavere fosforbelastning i innsjøen.

5.2 Erosjonshindrende tiltak

Det er stor variasjon i kostnadseffektivitet ved endret jordarbeiding. Lyche Solheim et al. (2001) anslår en kostnadseffektivitet 90-250 kr/kg P, noe som antyder at dette er et relativt rimelig tiltak som gir stor effekt på reduksjon i fosfortap.

En ny sammenligning er gjort av Fyhri og Garnes (2004) som illustrerer de økonomiske resultater (lønnsomhet) ved tre ulike dyrkingssystem i perioden 2000-2003 (tabell 12). System med harving før såing kom best ut av de tre systemene både før og etter tilskudd. System med direktesåing kom dårligst ut, noe som delvis skyldes svært stort tresketap for rybsen i 2002. System med høstpløying og system med harving rett før såing er følgelig mest sammenliknbare med tanke på økonomisk resultat. Tilskuddsordningene er svært avgjørende for det totale resultatet, spesielt for system med harving før såing og system med direktesåing der overvintring

i stubb og dyrking av fangvekster er mulig. Tallene indikerer at man både før og etter tilskudd vil tape noe ved omlegging fra høstpløying til direktesaing, mens man vil få en økonomisk gevinst ved omlegging fra høstpløying til harving før såing. Det vil altså i følge resultatene fra denne undersøkelsen ikke innebære noen kostnad å endre jordarbeiding fra høstpløying til harving før såing. Da system med harving før såing også viser lavere fosfortap enn system med høstpløying (jfr. *Beskrivelse av tiltak og effekter*), vil dette tiltaket gi økt lønnsomhet, samtidig som man får redusert fosforbelastning.

Ved økonomiske beregninger er alle priser basert på Norsk Institutt for Landbruksøkonomisk Forskning (NILF) sin håndbok om driftsplanlegging. For en mer detaljert beskrivelse av hvordan beregningene er utført, henvises det til Fyhri og Garnes (2004).

Tabell 12. Økonomisk resultat (lønnsomhet) for de ulike dyrkingssystemer (kr/daa) før og etter tilskudd (etter Fyhri og Garnes, 2004).

	Høstpløying	Harving før såing	Direktesåing
Resultat før tilskudd			
2000	421	479	221
2001	195	407	348
2002	248	309	58*
2003	324	146	90
Middel	297	335	179
Resultat etter tilskudd			
2000	658	716	458
2001	399	851	598
2002	551	672	421*
2003	640	632	576
Middel	562	718	513

* Særlig stort tresketap for rybsen medførte at direktesaidd system kom dårlig ut dette året (2002).

5.3 Rensesystemer

Vegetasjonssoner

Kostnader ved etablering av vegetasjonssoner vil variere betydelig avhengig av stedsspesifikke forhold. Det foreligger lite dokumentasjon av kostnadseffektivitet for tiltaket under norske forhold. Lyche Solheim et al. (2001) anslår en kostnadseffektivitet på om lag 270 kr/kg P uten høsting. Det er ikke tatt hensyn til avlingstap på arealer tatt ut av drift.

Fangdam i bekk eller grøfteutløp

Størrelsen på nedbørfeltet som drenerer til en fangdam er klart avgjørende for kostnadsnivået ved anleggelse av fangdammen. Som en generell veiledning anbefales anlegg som er større en 0,1 % av nedbørfeltets totalareal i Norge (Bach et al., 2003). At størrelsen på nedbørfeltet er dimensjonerende for kostnader ved anleggelse av fangdam er dokumentert ved sammenstilling av data fra en rekke allerede etablerte fangdammer. Det ble da funnet en signifikant sammenheng mellom nedbørfeltareal og kostnader ved anleggelse av fangdam.

Kostnadseffektivitet for fangdammer som rensetiltak er her anslått ut fra kostnader ved anleggelse av et antall fangdammer i Våler og Rygge kommuner, og renseeffekter i fangdammer dokumentert av Braskerud (2002), Bach et al. (2003) og Braskerud et al. (2005).

Kostnadseffektivitet er beregnet på grunnlag av gjennomsnittlig retensjon i fangdammer tilsvarende 0,053 kg P/daa nedbørfeltareal/år (se Tabell 12 under *Beskrivelse av tiltak og effekter*). Beregningene er utført for antatt levetid for fangdammer på 30 år, selv om de fleste fangdammer vil ha en betydelig lengre levetid enn dette. Vedlikeholdskostnader er satt til kr 10 000,- hvert tiende år. Det er antatt behov for vedlikehold (tømming av sedimentasjonskammer) hvert tiende år i nedbørfeltet til vestre Vansjø. Det er ikke tatt hensyn til eventuell tapt inntekt for areal som tas ut av produksjon eller tilskuddsordninger. Det er beregnet en årlig kostnad ved hjelp av amortiseringsfaktoren, hvor rentefoten er satt til 7 %.

Kostnadseffektivitet for fangdammer som tiltak mot fosforavrenning er anslått å ligge i intervallet 100-400 kr/kg P for forventet levetid 30 år (tilsvarende en generasjonstid for gårdbrukeren). Det er her viktig å påpeke at kostnaden kan være noe underestimert, da tapte inntekter fra arealer som omlegges ikke er tatt med i beregningene. Beregningene antyder allikevel at etablering av fangdammer er et relativt rimelig tiltak dersom fangdammene etableres der de gir størst effekt. Dette vil som diskutert i kapittel 4 være områder med relativt stor belastning av partikler og partikkelbundet fosfor, og da i stor grad nedbørfelt med stor andel dyrket mark.

Beregningene antyder også at det er stor variasjon i kostnadseffektivitet ved anleggelse av en fangdam som tiltak mot fosforavrenning. Dette i stor grad som følge av variasjon i kostnad per dekar nedbørfeltareal for de fangdammer som her er brukt som grunnlag. Variasjon i fangdammenes renseeffekt kommer i tillegg til denne variasjonen i anleggskostnader. Det er også stor variasjon i levetid mellom fangdammer. Fangdammer med lave tilførsler har generelt lenger levetid enn fangdammer med betydelig høyere tilførsler.

6. Tiltak i nedbørfeltet til vestre Vansjø

I omtalen av anbefalte tiltak i nedbørfeltet til vestre Vansjø er det ikke tatt hensyn til de politiske mulighetene for å gjennomføre tiltakene. Det er heller ikke tatt hensyn til konsekvensene av en slik omlegging for jordbruksdriften i området eller muligheten for avsetning av produkter etter en omlegging. I sammenstillingen er det gjort faglige vurderinger av effekter av tiltak som kan redusere fosforbelastningen i vestre Vansjø, og beregningene er basert på eksisterende kunnskap, som i noen tilfeller er mangelfullt dokumentert for de aktuelle forholdene. Tiltakene er valgt ut på bakgrunn av anbefalinger fra tiltaksgruppen i Morsa.

6.1 Prioritering av arealer og tiltak

Prioritering av tiltak på arealene med størst risiko for fosfortap gir generelt størst effekt. Dessuten bør en prioritere områder med størst risiko for tap av letttilgjengelig fosfor. Siden en stor del av fosfortapet skjer som partikkelbundet fosfor bør tiltak som reduserer erosjon og partikkeltransport ha høy prioritet. Disse tiltakene må prioriteres på arealer med de høyeste fosfortall (P-AL), det vil si mesteparten av arealene mellom Raet og Vansjø, og de arealene som har fått tilført store mengder husdyrgjødsel.

Størst reduksjon i erosjonsrisiko oppnås med omlegging til flerårige vekster med plantedekke hele året, for eksempel eng. Det oppnås også stor effekt på erosjonsrisiko ved overvintring i stubb på kornarealer, og da bør i første rekke arealer med høye fosfortall prioriteres. På grønnsaksarealer vil høstemetoder som gir minimal jordarbeiding også gi reduserte partikkeltap, men det vil fortsatt være forholdsvis store partikkeltap fra disse arealene. Samtidig er fosfornivået i jorda ofte høyt på disse arealene, og man bør følgelig velge vekster med lav risiko. Dette vil være vekster som har lavt fosforbehov, og vekster som gir liten jordarbeidingseffekt.

Fosforgjødslingen bør reduseres på arealer med høye fosfortall. Null-gjødsling er et aktuelt tiltak på arealer med fosfortall over 10 eller 15. Totalt for hele nedbørfeltet bør det ikke tilføres mer fosfor gjennom gjødsel enn det som bortføres i avling. Dette tiltaket må vurderes i forhold til fremtidig ønsket fosforstatus i vestre Vansjø. Ved fortsatt overskuddsgjødsling med fosfor vil en få økte problemer med vannkvaliteten.

Fangdammer vil redusere fosfortapene i de fleste sterkt belastede bekker betydelig, da disse er vist å gi svært god effekt på tilbakeholdelse av fosfor i nedbørfelt med stor belastning. Fangdammer bør derfor prioriteres i alle bekker i området mellom Raet og Vansjø.

Vedlikehold av hydrotekniske anlegg kan ha stor betydning i enkelte tilfeller. Det bør anlegges rensesystemer (for eksempel vegetasjonssoner) rundt kummer for inntak av overflatevann.

6.2 Tiltakspakker

Optimal tilpasning av tiltak gir en størst mulig reduksjon i fosfortap for lavest mulig kostnad. Kostnadseffektiviteten er størst ved å iverksette tiltak på kritiske arealer der risiko for fosfortap er størst, og på de prosesser som gir de største bidragene til fosfortap. I nedbørfeltet til vestre Vansjø er det store forskjeller i jordas fosfornivå, og de anbefalte tiltakene tar utgangspunkt i

jordas innhold av fosfor. Erosjonsrisikoen er forholdsvis lav, men fosfortransporten skjer likevel mest som partikkelbundet fosfor både på overflaten og i grøftene.

Det er her gjort et grovt estimat på effekten av tiltak for hele nedbørfeltet. Tiltakene som er beskrevet er vurdert på kort og lang sikt. 0 og 20 år er valgt som eksempler på tidsperspektivet for P-AL-nivå, og det er tatt utgangspunkt i driftspraksis i 2006 (beskrevet i kapittel 3). Informasjon om vannkvalitet (kap. 3) er basert på undersøkelser gjennomført i 2004/05, og svarer følgelig ikke nødvendigvis til driften beskrevet for 2006. Endringer i andel høstpløyd areal mellom de to årene kan eksempelvis påvirke sammenhengen mellom den beregnede effekt av tiltak i 2006 og den målte konsentrasjon i 2004/05.

De foreslåtte tiltakene består av 1) erosjonshindrende tiltak, 2) tiltak for å redusere fosfornivå og 3) tiltak som fører til en rensing av avrenningen.

Erosjonshindrende tiltak

Erosjonshindrende tiltak deles opp i ulike nivåer:

Tiltak 1a. Omlegging av korn, potet og grønnsaksarealer til eng

Tiltaket omfatter en omlegging av alt jordbruksareal til eng. Dermed skjer en endring i drift og produksjonssystem. Dette tiltaket er det mest omfattende tiltaket som er foreslått. Det illustrerer hvor langt man komme ned i reduksjon ved driftsendring. Omleggingen gjelder både nåværende kornarealer og potet- og grønnsaksarealer.

- Omlegging av alt jordbruksareal til eng.

Tiltak 1b. Alt kornareal i stubb og lite erosjonsutsatte grønnsaksvekster

Tiltaket forutsetter at driftssystemet beholdes og at driftsendringene skjer, så langt mulig, innenfor det nåværende produksjonssystem. Omleggingen gjelder kornarealer som etter tiltaket overvintrer i stubb, evt. med fangvekst. Alt høstkorn direktesås i stubben. Når det gjelder potet og grønnsaker omfatter tiltaket en omlegging fra vekster som gir stor erosjonsrisiko til grønnsaker med liten erosjonsrisiko. I den forbindelse må det gjøres en vurdering av aktuelle potet-/grønnsaksvekster for å rangere vekstene og driftssystemet i forhold til erosjonsrisiko. En vurdering av erosjonsrisiko må ta hensyn til dekningsgrad av jorda gjennom vinteren, lengde av periode med liten dekning, og konsolidering av jorda etter høsting. I effektvurderingen er det regnet med at en legger om til grønnsaksvekster med lav erosjonsrisiko (som høstharving).

- Alt kornareal overvintrer i stubb
- Høstkorn direktesås
- Omlegging til grønnsaksvekster med lav erosjonsrisiko

Redusert fosfornivå i jorda

Redusert gjødsling med fosfor er basert på mengden av plantetilgjengelig fosfor (P-AL) i jorda. Jordas innhold av plantetilgjengelig fosfor gir et estimat på jordas innhold av vannløselig fosfor og dermed risiko for at jorda skal gi fra seg letttilgjengelig fosfor til avrenningsvannet. Plantenes opptak av fosfor vil redusere mengden av fosfor som er tilgjengelig for utvasking og ved lave P-AL-verdier kan en rimelig avling opprettholdes ved å gjødsle med de fosformengdene som

bortføres. Fosfor bortført i avling må da vurderes ut fra middelavlingen på arealene, evt. gjennomsnittsavling for de siste 10 årene.

Husdyrgjødsel inngår i vurderingen av den totale fosfortilførselen på linje med mineralgjødsel. I tilfelle der det er høye fosfortall på arealer tilhørende husdyrbruk er det aktuelt å eksportere husdyrgjødsel fra disse brukene til bruk som har lave fosfortall (6-7), evt. ut av nedbørfeltet. Generelt anbefales at spredetidspunkt for husdyrgjødsel begrenses til vekstsesongen

Tiltak 2. Redusert/null fosforgjødsling

Tiltaket omfatter null-gjødsling på alle arealer med P-AL-verdier over 10. I noen tilfeller vil dette tiltaket kunne føre til risiko for reduserte avlinger, spesielt for de mest næringskrevende vekstene. Som et første skritt kan en evt. anbefale null-gjødsling ved P-AL verdier over 15. I forbindelse med redusert fosforgjødsling kan det være aktuelt med omlegging fra næringskrevende potet- og grønnsaksvekster til grønnsaksvekster som er mindre fosforkrevende.

Det er lite som tyder på at en får reduserte avlinger i korn og gras ved dette tiltaket. På arealer med P-AL-verdier på 10 til 8 kan det gjødsles med 50 % av fosformengden som bortføres med avling. Ved P-AL<8 kan det gjødsles med fosformengder opp til den fosformengden som bortføres med avling.

- Null-gjødsling med fosfor ved P-AL>10 og på organisk jord
- Fosforgjødsling med 50 % av bortført fosfor ved P-AL 8-10
- Fosforgjødsling lik bortført fosfor ved P-AL<8

Rensesystemer i nedbørfelt

Rensesystemer i nedbørfeltet omfatter tiltak som kan gjennomføres uten driftsendringer for jordbruksarealet, bortsett fra forholdsvis små arealer som taes ut av drift for etablering av rensetiltak.

Tiltak 3: Rensesystemer

Følgende tiltak er inkludert:

- Vegetasjonsbelter (10 m) mot åpent vann
- Fangdammer i alle bekker
- Utbedring av hydrotekniske tiltak
- Vegetasjonssoner/fangdammer rundt inntakskummer for overflatevann

6.3 Effekter av tiltak

Tabell 13 illustrerer effekt av de foreslåtte tiltakene på erosjon i kombinasjon med endrede P-AL-nivå i jorda. Fosfortapet er beregnet for jordbruksarealene som følger:

$P\text{-tap (kg/daa)} = \text{Erosjonsrisiko ved høstpløying (NIJOS-kart)} \times C\text{-faktor} \times \text{Tot-P}/100$ (fra likning (1) s. 15) $\times ER$ (fra likning (3) s. 22).

Det er i denne rapporten ikke utført beregninger for hvert skifte med reelle kombinasjoner av P-AL, jordarbeiding og erosjonsrisiko for arealer i nedbørfeltet til vestre Vansjø, men derimot gjort beregninger for gjennomsnittsverdier.

Tabell 13. Effekter av erosjonshindrende tiltak på tapet av partikulært P ved to ulike kombinasjoner av P-AL tall for hele nedbørfeltet.

Tiltakspakke	Jordtap (kg/daa)	Dagens	Etter 20 år
		P-AL _{korn} = 10; P-AL _{potet/gr.sak} =20	P-AL _{korn} = 5; P-AL _{potet/gr.sak} =10
		Fosfortap (g/daa)	
Dagens drift	52 (40-57)	83 (73-114)	65 (59-81)
Omlegging til eng (1a)	16 (5-22)	38 (29-44)	29 (23-31)
Overvintring i stubb (1b)	29 (15-36)	60 (48-76)	47 (39-54)

Tabell 13 viser at det er størst effekt av omlegging av jordbruksarealene til eng. Det er også stor effekt av å la hele kornarealet overvintre i stubb. Beregningene har tatt utgangspunkt i fordelingen av arealer på erosjonsrisikoklasser ved høstpløying som er vist i Tabell 4. Det er antatt en verdi for erosjon på 50 kg jord/daa i klasse 1 og 130 kg jord/daa i klasse 2. Tabellen viser jord- og fosfortapet basert på relative jordtap beregnet med ERONOR-modellen for ulik jordarbeiding (Lundekvam, pers.medd.). Jordarbeidings-/drift-faktorene (C-faktor) er en vektet verdi for overflate- og grøfteavrenning (tabell 9) basert på den modellerte fordelingen mellom overflate- og grøftevann (Lundekvam, pers.medd.). Det er utført få målinger av erosjon og virkningen av erosjonshindrende tiltak på arealer med lite erosjon, og effekter av tiltak er basert på erfaringstall fra områder med høyere erosjon. Dessuten er kunnskapen for det meste basert på effekter målt på overflateavrenning. Avrenningen i nedbørfeltet til vestre Vansjø er antakelig dominert av grøftevann, men fordelingen mellom grøfte- og overflatevann er ikke kjent. Tallene i tabell 13 er derfor beheftet med stor usikkerhet, og sammenlignet med målinger i bekkene (kapittel 3) er tapene meget lave både for dagens drift og med tiltakspakker. Beregningene av fosfortap er her å betrakte som minimumsverdier både ved dagens drift og med tiltak. I nedbørfeltet til vestre Vansjø er grøfteavrenningen betydelig. Da målinger i bekken viser at fosfortapet er partikkelbundet er det viktig å gjennomføre erosjonshindrende tiltak. I tillegg er det ikke tatt hensyn til prosesser i nedbørfeltet som vil redusere effekten av de iverksatte tiltakene.

Beregningen av fosfortap er basert på to nivåer av P-AL i jorda. Det er mulig å gjennomføre arealbaserte beregninger ved hjelp av GIS for å ta hensyn til variasjon i P-AL og kombinasjonen av P-AL tall i jorda, erosjonsrisiko og dyrkingspraksis på skifter, men det var ikke mulig innenfor rammene av dette prosjektet. Her er det antatt at P-AL i utgangspunktet er 10 på kornarealer og 20 på grønnsaksarealene, og etter 20 år med nullgjødsling er P-AL tallene antatt å være hhv. 5 og 10. Resultatene viser en god effekt av redusert jordarbeiding eller omlegging til eng. Redusert gjødsling har også effekt på fosfortapet. En reduksjon på om lag 20 % ble beregnet ved den antatte nedgang i fosfortall i jorda. Det er ikke tatt hensyn til algetilgjengelighet. Ved høye P-AL-verdier er partikkelbundet fosfor mer algetilgjengelig enn ved lavere P-AL-verdier. Avrenningen av løst fosfor er ikke tatt med i beregningene siden kunnskapen er mangelfull. Målingene viser at ca. 25-30 % av fosforet tapes som løst fosfor. Ved sammenligning av beregnede fosfortap i tabell 13 og målinger i bekkene i vestre Vansjø må det dessuten tas hensyn til andre prosesser i nedbørfeltene, f.eks. bekkeerosjon og punktutslipp.

Effekten av andre tiltak i nedbørfeltet er ikke beregnet i denne rapporten. Dersom det skulle vise seg at omlegginger i driftsformer og tiltak som er beregnet her ikke er tilstrekkelig, må også andre tiltak vurderes. Det kan gjelde rensesystemer for grøftevann fra enkeltjorder før det går ut i bekkesystemene. Slike tiltak har vi ikke målinger eller dokumentasjon på enda, og de blir da å betrakte som nye typer tiltak.

Effekter av alle tiltak beregnet i denne rapporten vil bli presentert i en egen rapport for to delnedbørfelt i vestre Vansjø. De aktuelle delnedbørfeltene representerer ulike arealtyper og driftsformer innen nedbørfeltet.

7. Konklusjon

Denne rapporten omhandler vurdering av effekten av tiltak mot fosfortap fra jordbruksarealer i nedbørfeltet til vestre Vansjø.

Det bør fortsatt være sterk fokus på tiltak som kan redusere erosjon i nedbørfeltet til vestre Vansjø, fordi en stor del av fosfortapet skjer som partikkelbundet fosfor. Det foreligger lite målinger av erosjonsrisiko og effekter av erosjonshindrende tiltak under forhold med liten erosjon og stor andel grøfteavrenning sammenlignet med overflateavrenning. Det er dokumentert at jordarbeiding øker partikkeltransporten i grøftene, men fosfortap gjennom grøftene ved ulike jordarbeidingsmetoder er ikke kvantifisert tilstrekkelig. Likevel tyder undersøkelser på at omlegging av kornarealene og potet- og grønnsaksarealene til eng er det mest effektive tiltaket for å oppnå den største effekten på reduserte fosfortilførsler til vestre Vansjø, men også overvintring i stubb og omlegging av erosjonsutsatte potet- og grønnsaksvekster til vekster med lavere erosjonsrisiko vil gi store reduksjoner i fosfortap. Erosjonshindrende tiltak vil gi store effekter på kort sikt.

De høye fosfortallene (P-AL) i jorda gir risiko for høy fosforavrenning både som partikulært fosfor og som løst fosfor. Effekten av endring i fosforinnhold vil kun virke på noe lengre sikt. Ved høye fosfortall er jordas fosforinnhold mer algetilgjengelig enn ved lavere fosfortall. Fosfortallene bør reduseres til P-AL-verdier på 6-7 mg/100g på sikt. Null-gjødsling med fosfor på arealer med høyt P-AL-nivå (20 mg/100g) vil kunne gi reduksjon i P-AL på om lag 10 enheter i løpet av 20 år. I noen tilfeller er det risiko for noe reduserte avlinger, men i de fleste tilfeller vil avlingene kunne opprettholdes i korn og eng. Ved P-AL over 15 regner en ikke med reduserte avlinger ved null-gjødsling med fosfor i korn og eng. For å kunne redusere fosforgjødslingen er det aktuelt med omlegging fra næringskrevende potet- og grønnsaksvekster til grønnsaker som er mindre fosforkrevende. Det er få studier som kvantifiserer effekten av redusert gjødsling og redusert fosfornivå på fosfortapet, og resultatene er derfor forbundet med stor usikkerhet.

På grunnlag av estimerte tiltakseffekter er det gjort beregninger som tyder på at fosfortapet kan reduseres med om lag 50 % ved omlegging til eng i hele nedbørfeltet. Ved omlegging fra dagens drift til overvintring i stubb på alt kornareal i nedbørfeltet kan fosfortapet reduseres med om lag 25 % i forhold til dagens drift. Ved redusert gjødsling vil en på lengre sikt kunne oppnå større reduksjoner, og redusert gjødsling vil dessuten redusere tilgjengeligheten av fosfor for algevekst. Anslagsvis vil fosfortapet fra jordbruksarealene bli redusert med 65 % ved omlegging til eng og null-gjødsling med fosfor, tilsvarende vil overvintring i stubb på kornarealer og null-gjødsling redusere fosfortapet med om lag 40 %. Estimaten inkluderer ikke retensjon i nedbørfeltet, og det vil si at en må regne med en noe mindre effekt av tiltakene på fosfortap målt i bekken.

Vegetasjonssoner langs vassdrag bidrar til å redusere fosforavrenningen ved å øke sedimentasjonen fra overflateavrenning, redusere risiko for erosjon i bekkeskråninger og ved å danne vern mellom bekken og jordbruksdriften. Arealer som blir lagt om til eng i forbindelse med vegetasjonssoner bidrar også til å redusere fosforavrenningen.

Fangdammer er et viktig tiltak i nedbørfeltet til vestre Vansjø. Effekten av fangdammer er størst der det er størst belastning, det vil si i nedbørfelt med stor andel dyrka mark og høy erosjon. Effekten av fangdammer er godt dokumentert og renseseffekten varierer fra 0,06 til 0,176 g P/daa nedbørfelt. Effekten er minst 30-40 % i dammer med stor belastning.

Andre tiltak i nedbørfeltet er aktuelle, bl.a. utbedring av hydrotekniske anlegg, men disse må tilpasses til de lokale forholdene. Dersom man ikke klarer å redusere fosfortapene tilstrekkelig

kan det bli behov for å utvikle systemer for rensing av avrenningsvann fra enkeltarealer før de går ut i bekkesystemene, som f. eks. grøftevann for å oppfylle kravene til vannkvalitet i jordbruksbekkene.

8. Referanser

Bach, R., Braskerud, B.C., Eggestad, H.O. (2003). Tilbakeholding av fosfor og jordpartikler i fangdammene rundt Akersvannet. Jordforsk rapport nr. 30/03.

Bechmann, M. (2005). *Fosforindeks – et verktøy for å vurdere risiko for fosfortap fra jordbruksarealer i Norge*. Doktoravhandling 2005:24. Ås, Universitetet for Miljø- og Biovitenskap, Institutt for Plante- og Miljøvitenskap. 39 s.

Bechmann, M., Vandsemb, S.M., Eggestad, H.O., Skjevdal, R., Deelstra, J. og Øygarden, L. (2005). Erosjon og næringsstofftap fra jordbruksarealer. Resultater fra Jord- og vannovervåking i landbruket (JOVA) 2004/05. Jordforsk Rapport 103 (2005). 40 s.

Bechmann, M., Eggestad, H.O. og Kværnø, S. (2006). Lokale fosfortilførsler til vestre Vansjø og Mosseelva. Bioforsk Rapport 1/3.

Berg, K. (2006). Aktuelle miljøtiltak i Mosseelva og vestre Vansjø for å hindre næringsavrenning fra jordbruket. Forsøksringen Sør-Øst.

Bergstrøm, L. og Kirchmann, H. (2006). Leaching and crop uptake of nitrogen and phosphorus from pig slurry as affected by different application rates. *Journal of Environmental Quality* 35: 1803-1811.

Bjørndalen, K., Andersen, T., Bechmann, M., Borgvang, S., Brabrand, Å., Deelstra, J., Gunnarsdottir, H., Hobæk, A., Saloranta, T., Skarbøvik, E., Solheim, A. (2006). Utredninger Vansjø 2005 - Sammendrag og anbefalinger. NIVA-rapport 5146-2006. 41 s.

Bogen, J., Berg, H. og Sandersen, F. (1993). Forurensning som følge av leirerosjon og betydningen av erosjonsforebyggende tiltak. Sluttrapport. NVE-rapport nr. 21. 87 s.

Braskerud, B. (2002). Factors affecting phosphorous retention in small constructed wetlands treating agricultural non-point source pollution. *Ecological Engineering*, 19: 41-61.

Braskerud, B.C., Tonderski, K.S., Wedding, B., Bakke, R., Blankenberg, A.-G.B., Ulén, B. og Koskiahø, J. (2005). Can Constructed Wetlands Reduce the Diffuse Phosphorus Loads to Eutrophic Water in Cold Temperate Regions? *Journal of Environmental Quality* 34 (2005) 2145-2155.

Framstad, B. og Stalleland, T. (1997). Tiltak for å bedre vannkvaliteten i Øvre del av Hobøl-Langen vassdraget. NILF-notat 1997:10.

Fyhri, T. og Garnes, A.J. (2004). Dyrkingssystemer i kornproduksjonen. Sluttrapport fra prosjektet. Alternative dyrkingssystemer i korndyrkinga. Norges Vels rapport nr. 2/2004. 41 s.

Hauge, A. (2006). Prosjektplan – Etablering av to pilotanlegg for rensing og gjenvinning av fosfor i avrenning fra landbruket ved Vansjø ved hjelp av Filtralite P fra Leca. Bioforsk. 6 s.

Haygarth, P. og Jarvis, S.C. (1999). Transfer of phosphorus from agricultural soils. *Advances in Agronomy* 66: 195-249.

Heathwaite, A.L. (1997). Sources and Pathways of Phosphorous Loss from Agriculture. I Tunney, H., Carton, O. T., Brookes, P. C. and Johnston, A. E. (ed.) *Phosphorous Loss from*

Soil to Water, s. 205-223. Oxon, CAB International.

Hoel, B., Kristoffersen, A.Ø., Bakkegard, M. og Tandsæther, H. (2005). Flerårig forsøk med fosfor- og kaliumgjødsling til vårkorn. *Grønn kunnskap* 9 (2). 13 s.

Krogstad, T. (1987). Fosfor i erosjonsmaterialet. NLVF-rapport nr. 643, 13 s.

Krogstad, T. og Løvstad, Ø. (2002). Tunevannets nedbørfelt – Undersøkelse av fosfor i jord 2001. Rapport nr. 6/2002. Institutt for jord- og vannfag, Ås-NLH/LIMNO-CONSULT, Oslo. 5 s.

Laubel, A., Kronvang, B., Hald, A.B. og Jensen, C. (2003). Hydromorphological and biological factors influencing sediment and phosphorus loss via bank erosion in small lowland rural streams in Denmark. *Hydrological processes* 17: 3443-3463.

Lundekvam, H. (1990). Open åker og erosjonsproblem. Foredrag ved konferanse om Landbrukspolitik og miljøforvaltning, Drammen 30.-31. Januar 1990.

Lundekvam, H. (1997). Spesialgranskingar av erosjon, avrenning, P-tap og N-tap i rutefelt og småfelt ved Institutt for jord- og vannfag. Jordforsk rapport nr. 6/97. 69 s.

Lundekvam, H. and Skøien, S. 1998. Soil erosion in Norway. An overview of measurements from soil loss plots. *Soil Use and Management* 14: 84-89.

Lundekvam, H. (2002). ERONOR/USLENO – Empirical erosion models for Norwegian conditions. Rapport nr. 6/2002. Universitetet for Miljø- og Biovitenskap. 40 s.

Lyche Solheim, A., Vagstad, N., Kraft, P., Løvstad, Ø., Skoglund, S., Turtumøygard, S. og Selvik, J. (2001). Tiltaksanalyse for Morsa (Vansjø-Hobøl-vassdraget) – Sluttrapport. NIVA rapport nr. 4377-2001. 105 s.

McDowell, R.W. og Sharpley, A.N. (2001). Phosphorus losses in subsurface flow before and after manure application to intensively farmed land. *Science of The total Environment* 278: 113-125.

Oskarsen, H., Haraldsen, T.K., Aastveit, A.H. og Myhr, K. (1996). The Kvithamar field lysimeter II. Pipe drainage, surface runoff and nutrient leaching. *Norwegian Journal of agricultural science* 10: 211-228.

Sharpley, A.N. og Rekolainen, S. (1997). Phosphorous in Agriculture and Its Environmental Implications. I Tunney, H., Carton, O. T., Brookes, P. C. and Johnston, A. E. (ed.) *Phosphorous Loss from Soil to Water*, s. 1-53. Oxon, CAB International.

Sharpley, A.N., McDowell, R.W. og Kleinman, P.J.A. (2001). Phosphorus loss from land to water: integrating agricultural and environmental management. *Plant and soil* 237: 287-307.

Syversen, N. (2002). *Vegetasjonssoner som filter for overflateavrenning fra jordbruksarealer i områder med kaldt klima*. Doktoravhandling 2002:12. Ås, Norges Landbrukshøgskole, Institutt for jord- og vannfag. 48 s.

Syversen, N. (2003). Vegetasjonssoner som rensefilter for overflateavrenning fra jordbruksmark. Variasjon i renseeffekt gjennom året og over lang tid (1992-2003). Jordforsk-rapport nr. 73/03.

Ulén, B., Shirmohammadi, A., og Bergström, L.F. (1998). Phosphorus transport through a clay soil. *J. of Environ. Sci. and Health*. A33, 67-82.

Ulen, B.M. og Jakobsson, C. (2005). Critical evaluation of measures to mitigate phosphorous losses from agricultural land to surface waters in Sweden. *Science of the Total Environment* 344 (2005) 37-50.

Undheim, G. (1989). Handlingsplan mot landbruksforurensning. Rapport No. 5. Utprøving av tiltak mot arealeavrenning i Rogaland.

Vandsemb, S., Bechmann, M., Eggestad, H.O., Øygarden, L. og Deelstra, J. (2003). Erosjon og næringsstofftap fra jordbruksarealer. *Jordforsk Rapport* 102 (2003). 47 s.

Walling, D.E., Russell, M.A., Hodgkinson, R.A. og Zhang, Y. (2002). Establishing sediment budgets for two small lowland agricultural catchments in the UK. *CATENA* 47: 323-353.

Wischmeier, W.H. og Smith, D.D. (1978). Predicting Rainfall Erosion Losses - A Guide to Conservation Planning. USDA Handbook 537. Washington, D.C.: U.S. GPO.

Withers, P.J.A., Ulen, B., Stamm, C. og Bechmann, M. (2003). Incidental phosphorus losses - are they significant and can they be predicted? *Journal of Plant nutrition and soil science* 166: 459-468.

Øgaard, A.F. og Krogstad, T. (1995). Grunnlag for estimering av fosforavrenning fra dyrka mark. Konsentrasjoner av P-fraksjoner, P-avrenning fra engarealer, P-gjødsling. Rapport nr. 1/95. ås, Norges Landbrukshøgskole, Institutt for jord- og vannfag. 12 s.

Øgaard, A.F., Bechmann, M. og Eggestad, H.O. (2006). Gjødslingspraksis, anbefalinger og risiko for næringsstofftap. Resultater fra to nedbørfelt i JOVA-programmet. *Bioforsk Rapport* 1(25): 25 s.

Øygarden, L. (1989). Handlingsplan mot landbruksforurensning. Rapport No. 6. Utprøving av tiltak mot arealavrenning i Akershus.

Øygarden, L., Kværner, J., Jenssen, P.D. (1997). Soil erosion via preferential flow to drainage systems in clay soils. *Geoderma* 76 (1997) 65-86.