



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Utredning av forslag til forskriftskrav om tillatt spredemengde av fosfor i jordbruket

NIBIO RAPPORT | VOL. 2 | NR. 131 | 2016



Anne Falk Øgaard, Annbjørg Øverli Kristoffersen og Marianne Bechmann
Divisjon Miljø og naturressurser og Divisjon Matproduksjon og samfunn

TITTEL/TITLE

Utredning av forslag til forskriftskrav om tillatt spredemengde av fosfor i jordbruket

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

Anne Falk Øgaard, Annbjørg Øverli Kristoffersen og Marianne Bechmann

DATO/DATE:	RAPPORT NR./ REPORT NO.:	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKTNR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
10.04.2017	2/131/2016	Åpen	10472	16/1594
ISBN:		ISSN:	ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:	ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:
978-82-17-01733-2		2464-1162	51	

OPPDAGSGIVER/EMPLOYER:

Miljødirektoratet, Rapport nr. M-701|2017

KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

Anna-Sara Magnusson

STIKKORD/KEYWORDS:

Fosfor, P, P-AL, gjødsling, jordbruksavrenning

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Jordbruk og miljø

SAMMENDRAG/SUMMARY:

Denne utredningen er gjennomført på oppdrag fra Miljødirektoratet i forbindelse med revidering av gjødselvereforskriften. Det blir her gitt vurderinger av hvordan fire ulike alternativer for restriksjoner på fosforgjødsling vil påvirke fosfortapene fra jordbruksarealer, samt kort om hvilke konsekvenser restriksjonene vil ha for jordbruket. De fire alternativene som er utredet er 1) restriksjonene i dagens gjødselvereforskrift, 2) maksimal fosforgjødsling basert på høyeste normale avling, 3) fosforgjødsling ifølge NIBIO's gjødslingsanbefalinger og 4) for kornområder: fosforgjødsling med en strengere jordkorreksjon enn NIBIO's gjødslingsanbefalinger; for grasområder: fosforgjødsling med økt spredearealskrav for husdyrgjødsel. Vi har gjort beregninger av fosforbalanser (tilført fosfor med gjødsel minus fosfor fjernet med avling) for de ulike alternativene. Ut i fra balansene er konsekvenser på vannmiljø estimert. Maksimalt tillatt fosfortilførsel basert på høyeste normale avling, vil bare gi en liten reduksjon i fosfortilførsel sammenlignet med dagens forskrift. Det vil i middel fortsatt bli et betydelig overskudd på fosforbalansen ved maksimalt tillatt husdyrhold etter dette alternativet, og bedret vannmiljø kan derfor ikke forventes. Et alternativ med reduksjon av maksimalt tillatt fosfortilførsel med husdyrgjødsel fra dagens 3,5 til 2,2 kg P/dekar/år vil fortsatt gi overskudd på fosforbalansen unntatt i de beste grasdistriktene. Negativ utvikling på vannmiljø kan bremses med redusert fosforoverskudd, men en tydelig bedring kan ikke forventes på kort sikt. Fosforgjødsling etter NIBIO's gjødslingsanbefalinger vil på sikt gi reduserte fosfortap og bedret vannmiljø uten negative konsekvenser for avling. I husdyrdistriktene vil imidlertid anbefalt fosforgjødsling gi et meget stort overskudd av husdyrgjødsel, fordi jordas innhold av lett tilgjengelig fosfor (P-AL) mange steder er på et nivå hvor det anbefales å utelate fosforgjødsling.

GODKJENT /APPROVED



JANNES STOLTE

PROSJEKTLÉDER /PROJECT LEADER



ANNE FALK ØGAARD



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Forord

Denne utredningen er gjennomført på oppdrag fra Miljødirektoratet i forbindelse med revidering av gjødselvereforskriften. Med bakgrunn i at det antas at krav til redusert fosforgjødsling i gjødselvereforskriften er et viktig virkemiddel for å oppnå miljømålene i vannforskriften, blir det her gitt vurderinger av hvordan fire ulike restriksjoner på fosforgjødsling vil påvirke fosfortapene fra jordbruksarealer, samt kort om hvilke konsekvenser restriksjonene vil ha for jordbruket. De fire alternativene som er utredet er 1) restriksjonene i dagens gjødselvereforskrift, 2) maksimal fosforgjødsling basert på høyeste normale avling, 3) fosforgjødsling ifølge NIBIO's gjødslingsanbefalinger og 4) for kornområder: fosforgjødsling med en strengere jordkorreksjon enn NIBIO's gjødslingsanbefalinger; for grasområder: fosforgjødsling med økt spredearealskrav for husdyrgjødsel.

Arbeidet bygger på følgende utredninger vedrørende fosforgjødsling og miljø:

- Fosforgjødsling – betydning for fosforkonsentrasjon i jord og tap til vann (Øgaard m.fl., 2012)
- Differensiert fosforgjødsling – betydning for avling og miljø (Fystro m.fl., 2012)
- Konsekvensvurderinger av utkast til revidert forskrift om lagring og bruk av gjødsel til landbruksformål (Øgaard m.fl., 2014)

Dette er en revidert utgave av rapporten datert 07.02.2017. Det ble oppdaget feil i tallgrunnlaget for fosfor i grasavlingene i tabellene 5-9, 5-10, 5-11, 5-13 og 5-14. Dette er rettet i denne utgaven.

Ås, 10.04.17

Anne Falk Øgaard

Innhold

1	Innledning.....	6
2	Bakgrunn.....	8
2.1	Fosfor i norsk landbruk.....	8
2.1.1	Endring i fosfornormer og fosforgjødsling.....	9
2.1.2	Fosforbalanser for dyrka jord.....	10
2.2	Fosfor i jord og prosesser ved fosfortap.....	11
2.3	Fosforutslipp fra norsk jordbruk.....	12
2.4	Fosforgjødsling og avling.....	12
3	Litteratursammenstilling – Effekter av fosforgjødsling på fosforavrenning.....	14
3.1	Fordeling av gjødsel fosfor i jorda.....	14
3.1.1	Fosforoverskudd med ulik bindingsstyrke.....	14
3.1.2	Fosforbinding til ulike partikkelstørrelser.....	14
3.2	Faktorer som påvirker fosforavrenning.....	15
3.3	Effekter av fosforgjødsling på fosforavrenning.....	15
3.3.1	Vannløselig fosfor i jord.....	15
3.3.2	Sammenheng mellom P-AL og vannløselig fosfor.....	16
3.3.3	Effekt av gjødsling og planterester på fosforavrenning fra eng.....	19
3.4	Sammenheng mellom jordbruksdrift og vannkvalitet i bekker - resultater fra program for jord- og vannovervåking (JOVA).....	19
4	P-AL og total fosforinnhold i dyrka jord i Norge.....	21
4.1	Klassefordeling for P-AL i ulike fylker.....	21
4.2	Middelverdier for totalt fosforinnhold i dyrka jord.....	22
5	Fosforbalanser.....	24
5.1	Fosfor i kornavlinger.....	24
5.2	Fosforbalanser for korn i Akershus og i Trøndelag ved ulike gjødslingsalternativer.....	25
5.2.1	Alternativ 1: Fosforbalanse ved fosforgjødsling etter dagens forskrift.....	25
5.2.2	Alternativ 2: Fosforbalanse ved maksimal fosforgjødsling basert på høyeste normale avling.....	26
5.2.3	Alternativ 3: Fosforbalanse ved fosforgjødsling ifølge NIBIO's anbefalinger.....	27
5.2.4	Alternativ 4: Fosforbalanse ved fosforgjødsling med strengere P-AL-korrigerende enn NIBIO's anbefalinger.....	28
5.2.5	Oppsummering – fosforbalanser ved fire gjødslingsalternativer for fosfor til korn.....	29
5.3	Fosfor i grasavlinger.....	29
5.4	Fosforbalanser for gras i Rogaland, Sør-Trøndelag, Nordland og Troms ved ulike gjødslingsalternativer.....	30
5.4.1	Alternativ 1: Fosforbalanse ved fosforgjødsling etter dagens forskrift.....	31
5.4.2	Alternativ 2: Fosforbalanse ved maksimal fosforgjødsling basert på høyeste normale avling.....	32
5.4.3	Alternativ 3: Fosforbalanse ved fosforgjødsling ifølge NIBIO's anbefalinger.....	32
5.4.4	Alternativ 4: Fosforbalanse ved fosforgjødsling med økt spredearealskrav for husdyrgjødsel (reduert husdyrtetthet).....	34
5.4.5	Oppsummering – fosforbalanser ved fire gjødslingsalternativer for fosfor til gras.....	35
6	Endring i P-AL ved ulike fosforbalanser.....	36

7	Endring i fosfortap ved negative fosforbalanser	37
7.1	Endring i tap av totalfosfor	37
7.2	Løst fosfat	39
7.2.1	Endring i tap av løst fosfor	39
7.3	Potensielt algetilgjengelig fosfor	40
8	Konsekvenser for vannmiljø og jordbruk	41
8.1	Korn	41
8.1.1	Korndyrking - konsekvenser for vannmiljø	41
8.1.2	Konsekvenser for kornavling	42
8.1.3	Oppsummering av konsekvenser for korn	44
8.2	Gras	45
8.2.1	Grasproduksjon med husdyrgjødsel - konsekvenser for vannmiljø	45
8.2.2	Konsekvenser for grasavling	45
8.2.3	Konsekvenser for husdyrhold	45
8.2.4	Oppsummering av konsekvenser for gras	46

1 Innledning

I denne utredningen gir vi først bakgrunnskunnskap om fosfor (P) i jord og dagens anbefalte gjødslingspraksis. Deretter kommer en kortfattet litteratursammenstilling om effekter av fosforgjødsling på vannløselig fosfor i jord og fosforavrenning, og om plantenes behov for fosfor.

Vi har gjort beregninger av fosforbalanser (tilført fosfor med gjødsel minus fosfor fjernet med avling) for korn og gras, ut fra fire ulike alternativer for restriksjoner på fosforgjødsling. Konsekvenser for vannmiljø og jordbruk er vurdert for de fire alternativene for henholdsvis korn- og grasproduksjon, som forespurt i Oppdraget fra Miljødirektoratet. De fire alternativene er:

Alternativ 1: Fosforgjødsling etter dagens forskrift

Dagens forskrift gir en maksimal fosfortilførsel med husdyrgjødsel på 3,5 kg P/dekar. Utover dette inneholder dagens forskrift ingen restriksjoner på fosfortilførsel. Det betyr at det kan tilføres fosfor med mineralgjødsel i tillegg til husdyrgjødsel.

Alternativ 2: Maksimal fosforgjødsling basert på høyeste normale avling

Dette alternativet angir maksimalt tillatt fosfortilførsel ifølge tabeller over fosforbehovet til høyeste normale avling av ulike vekster i ulike regioner (Kristoffersen et al. 2014). Maksimalverdiene inkluderer fosfor fra alle typer gjødsel.

Alternativ 3: Fosforgjødsling justert etter middelavling og jordas P-AL-tall (NIBIO's gjødslingsanbefalinger).

Etter NIBIO's gjødslingsanbefalinger skal en ta utgangspunkt i fosforbehovet til arealets middelavling og korrigere dette for jordas P-AL-tall, som er et mål på jordas innhold av lett tilgjengelig fosfor.

Alternativ 4 – for korn: Fosforgjødsling med en strengere P-AL-korreksjon enn NIBIO's gjødslingsanbefalinger.

Her har vi antatt ingen fosforgjødsling ved P-AL >10 i stedet for ved P-AL >14, ellers likt alternativ 3.

Alternativ 4 – for gras: Fosforgjødsling ved økt spredarealskrav for husdyrgjødsel

I dette alternativet har vi regnet med et større spredarealskrav for husdyrgjødsel enn det som er i gjeldende forskrift. Vi har valgt det svenske spredarealskravet som gir maksimal middel fosfortilførsel på 2,2 kg P/dekar/år.

For å kunne estimere konsekvensene på fosfortap for de fire alternativene, har vi tatt utgangspunkt i eksisterende kunnskap om sammenhenger mellom følgende:

- fosforgjødsling
- fosforbalanser
- jordas fosforstatus
- risiko for fosfortap

Jordas innhold av 1) *lett tilgjengelig fosfor*, målt som P-AL, og 2) *fosforbalanser* (tilført fosfor med gjødsel minus fosfor fjernet med avling) ved ulike typer restriksjoner på spredemengder av fosfor er utgangsfaktorene for beregningene i denne utredningen. Ut ifra funksjoner for sammenhengen mellom totalfosfor og P-AL kan vi beregne jordas totale fosforinnhold på grunnlag av P-AL og vi kan beregne effekten av endret fosforbalanse på P-AL:

Fosforbalanse -> Totalfosfor i jord -> P-AL

P-AL er inngangsfaktoren for å beregne effekten på fosfortap med beregningsmodellen Agricat2 som er utviklet av Bioforsk/NIBIO (Kværnø et al. 2014). Agricat2 er en nedbørfeltorientert modell som brukes til å beregne tap av jord og fosfor fra jordbruksareal ved ulike driftssystem. P-AL brukes også som inngangsfaktor for å estimere effekten av redusert fosforgjødsling på tapene av løst fosfat, da ved hjelp av en funksjon for sammenhengen mellom P-AL og vannløselig fosfor.

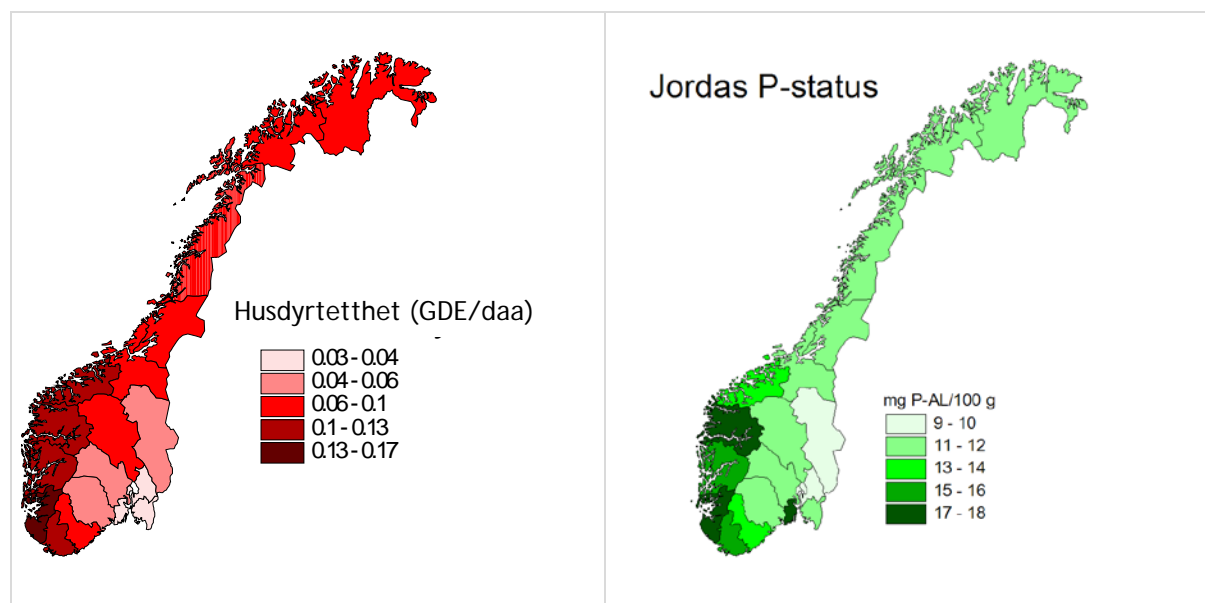
Alle beregningene og vurderingene i rapporten er gjort for mineraljord. I mineralfattig organisk jord bindes tilført fosfor mye svakere enn i mineraljord. Det gir større utvasking og overskuddet i fosfortilførselene akkumuleres derfor i mindre grad i organisk jord enn i mineraljord. Effekten av redusert fosforgjødsling blir dermed mer umiddelbar, siden jorda ikke har et stort akkumulert fosforlager som vil bidra til å forsinke effekten av redusert fosforgjødsling. Prosessene for endring i fosfortap fra mineraljord er mer kompleks, og derfor har vi valgt å vektlegge mineraljord i denne utredningen. Dessuten, utvasket fosfor fra organisk jord kan i en del tilfeller bindes i underliggende mineraljord før det når grøftene, slik at prosesser for mineraljord kan være relevant også her.

2 Bakgrunn

Fosfor tapes både ved avrenning på overflaten og via grøfteavrenning, men utvaskingstap via grøftene er mindre påvirket av gjødslingspraksis enn tapene på overflaten, fordi fosfor bindes sterkt i jorda og er derfor lite utsatt for nedvasking. Grøfter kan imidlertid være en viktig transportvei for fosfor der det er inntakskummer for overflateavrenning. Hvor mye fosfor som tapes fra et areal er bestemt av jordas fosforinnhold og faktorer som bestemmer risikoen for transport av fosfor til vassdrag (erosjonsrisiko, jordarbeiding, avstand til vassdrag, m.m.). Redusert jordarbeiding om høsten som tiltak mot fosfortap har hatt fokus i mange år. I tillegg er det mange steder etablert fangdammer og vegetasjonssoner mot vassdrag for å stoppe en del av fosforet som tapes fra arealet. Disse tiltakene har vist seg å være utilstrekkelig for å oppnå målene i vannforskriften. Det er derfor i tillegg nødvendig å se på hva jordas fosforstatus og fosforgjødsling betyr for tapsrisikoen.

2.1 Fosfor i norsk landbruk

I flere tiår har det blitt tilført mer fosfor enn det som blir fjernet med avlingene og jordas innhold av lett tilgjengelig fosfor, målt som P-AL, har økt (Krogstad 1987). Oppbyggingen av jordas fosforinnhold har vært spesielt stor i områdene med mye husdyr. Fylkesvise gjennomsnitt for husdyrtetthet samsvarer med gjennomsnitt for P-AL i dyrka jord (figur 2-1). Fylker med høy husdyrtetthet har også et høyt gjennomsnittlig P-AL-tall i jorda. Et unntak er Vestfold hvor stort omfang av dyrking av fosforkrevende vekster (grønnsaker og poteter) har gitt høye P-AL-tall i jorda. Kraftfôret til husdyra inneholder mye fosfor. Dyrene utnytter ikke alt fosforet i fôret, og en del av dette gjenfinnes derfor i husdyrgjødsel. Kraftfôret blir som oftest kjøpt inn til gården og utgjør dermed en fosfortilførsel i tillegg til innkjøpt mineralgjødsel med fosfor. Figur 2-1 viser at de fleste Vestlandfylkene, Vest-Agder og Vestfold har gjennomsnittlig P-AL-tall >14. P-AL >14 karakteriseres som meget høyt.



Figur 2-1. Middel husdyrtetthet (gjødseldyrenheter (GDE)/dekar) og P-AL i dyrka jord per fylke (Bechmann, 2005).

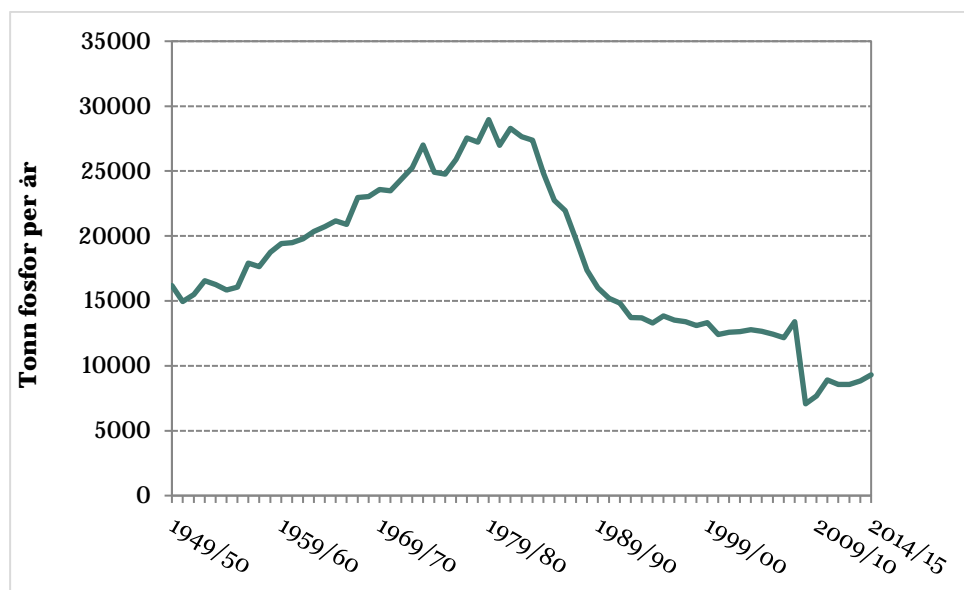
2.1.1 Endring i fosfornormer og fosforgjødsling

I november 2007 ble anbefalingene, gjerne kalt normen, for fosforgjødsling til korn redusert. For en avling på 400 kg korn ble ny norm satt til 1,4 kg P pr. dekar, mot tidligere 2 kg P pr. dekar (Kristoffersen et al. 2008). Før vekstsesongen 2007 ble også normen for gjødsling til eng redusert på tilsvarende vis fra 2,1 til 1,6 kg P pr. dekar til en avling på 400 føreheter melk (FEM). Det ble lagt inn en lineær korleksjon for avlingsnivå utover disse mengdene (www.bioforsk.no/gjodslingshandbok).

Våren 2008 ble det gjort ytterlige justeringer. Da ble korleksjonslinja for justering av gjødselmengde ut fra P-AL endret. Den nye korleksjonslinja setter P-AL 5-7 som et optimalt nivå i forhold til plantevekst og miljø. I dette intervallet anbefales det å tilføre like mye fosfor som det fjernes med avlingene. Ved P-AL over 7 anbefales det en gradvis nedtrapping av fosformengden. Denne nedtrappingen har en brattere korleksjonslinje enn tidligere. Ved P-AL over 14 anbefales det nå å utelate fosforgjødsling helt til korn, oljevekster og eng, mens det før 2008 ikke ble anbefalt å utelate fosforgjødsling selv ved høye P-AL-verdier.

Potet og en del grønnsaker har et større fosforgjødslingsbehov på grunn av et mindre effektivt rotsystem. Til potet ble fosfornormene endret i 2009. For en normavling på tre tonn ble anbefalt fosforgjødselmengde redusert fra 4,5 kg P til 3,5 kg P pr. dekar. Det blir ikke anbefalt å utelate fosforgjødsling helt ved høye P-AL-verdier, men å redusere fosformengden med 75 % ved P-AL over 15. Til grønnsaker ble det i 2012 utarbeidet nye fosfornormer til kulturene løk, kål og gulrøtter (Riley et al. 2012). I 2015 ble normene til brokkoli, blomkål, kålrot og isbergsalat endret (Stubhaug et al. 2015).

Beregninger av fosforbehovet i korn ut fra de nye anbefalingene viser at fosfortilførselen kan tilnærmet halveres i forhold til tidligere anbefalinger (Kristoffersen 2010). Gjødselstatistikken bekrefter at endrede gjødslingsnormer har hatt betydning for fosforforbruket i mineralgjødsel (Figur 2-2). Fra 2008 ble mengden omsatt fosfor i handelsgjødsel redusert fra 12-13.000 tonn til 7-8.000 tonn. Deretter økte omsetningen noe, og ser ut til å ha stabilisert seg på 8-9.000 tonn. I tillegg til normendringen, skyldes den store nedgangen fra 2008 til 2009 antagelig også en betydelig prisøkning på fosforgjødsel i 2008. Da prisene på fosforgjødsel gikk ned igjen, økte forbruket noe. På sikt vil de nye normene og den nye korleksjonslinja føre til en nedtrapping av fosfornivået i jorda, iallfall i områder uten store husdyrgjødselmengder.



Figur 2-2. Omsatt mengde fosfor i mineralgjødsel fra 1949-2015.

2.1.2 Fosforbalanser for dyrka jord

Det er fremdeles en positiv fosforbalanse for jorda i alle fylker. I middel for perioden 2009-2011 varierte det fylkesvise fosforoverskuddet fra 0,27 kg P pr. dekar i Østfold til 1,47 kg P pr. dekar i Rogaland (Hanserud et al. 2015). Fylkesvise tall for fosforgjødsel fra ulike kilder og fosforbalanse er vist i Tabell 2-1.

Tabell 2-1. Totale fosfortilførsler fordelt på ulike kilder og årlig fosforbalanse (tilført fosfor med gjødsel minus fosfor fjernet med avling) for dyrka jord i de enkelte fylkene. Middel for årene 2009-2011 (Hanserud et al. 2015).

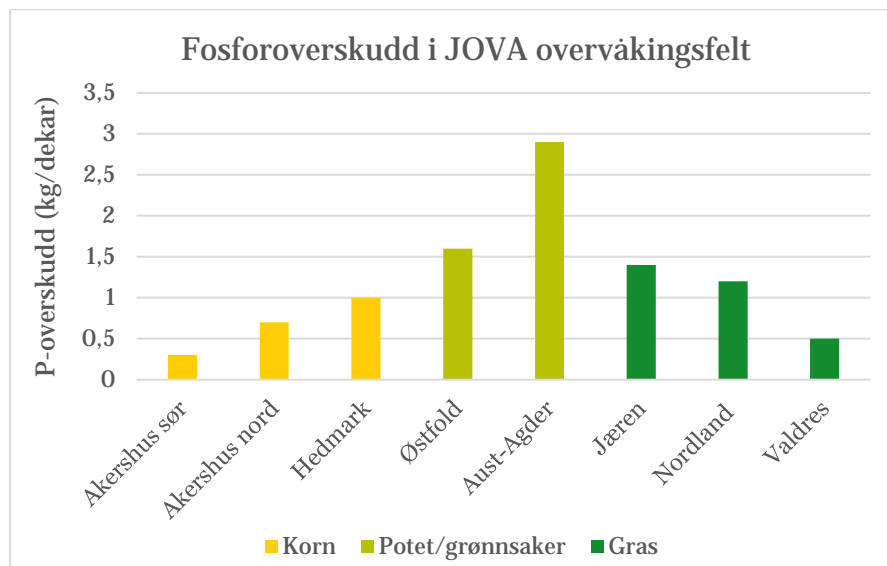
Fylke	Fosfortilførsler tonn/år			P balanse kg P/dekar/år
	Mineral- gjødsel	Husdyrgjødsel	Avløpslam	
Østfold	749	391	58	0,27
Oslo/Akershus	793	265	559	0,83
Hedmark	1215	856	40	0,83
Oppland	671	1195	42	0,77
Buskerud	505	305	35	0,61
Vestfold	563	231	115	0,95
Telemark	194	181	16	0,63
Aust-Agder	91	112	1	1,00
Vest-Agder	116	229	26	0,88
Rogaland	503	2188	49	1,47
Hordaland	203	592	9	0,83
Sogn & Fjordane	192	675	4	0,73
Møre & Romsdal	324	798	0	0,83
Sør-Trøndelag	503	871	50	0,72
Nord-Trøndelag	683	1161	4	0,88
Nordland	351	748	0	0,96
Troms	157	283	0	1,1
Finnmark	63	91	0	1,08
<i>Total</i>	<i>7875</i>	<i>11175</i>	<i>1009</i>	<i>0,85</i>

2.1.2.1 Fosforbalanser ved ulike driftssystem

Fosforbalansen varierer med driftssystem. I Program for jord- og vannovervåking (JOVA) har små jordbruksdominerte nedbørfelt i ulike jordbruksområder og med ulike driftssystem blitt overvåket i mer enn 20 år. Gjennomsnittlige fosforbalanser for jordbruksarealene i 8 overvåkingsfelt varierer fra +0,3 til +2,9 kg P/dekar/år (Figur 2-3). De laveste fosforbalansene ble funnet i feltene med ensidig kornproduksjon i Akershus og i et felt i Valdres med ekstensiv gras- og husdyrproduksjon. De høyeste fosforbalansene ble funnet i to felt med grønnsaks- og potetproduksjon i kombinasjon med korn og husdyr (Aust-Agder og Østfold). Her var fosforbalansene henholdsvis +2,9 og +1,6 kg P/dekar/år. Intensiv husdyrproduksjon gir også et betydelig overskudd på fosforbalansen, +1,4 kg P/dekar/år er beregnet for et felt i Rogaland.

Over tid har det vært endringer i fosforbalansene (Bechmann et al. 2014). I tre felt har det vært en signifikant nedgang i fosforbalansene i overvåkingsperioden, noe som tildels skyldes redusert bruk av

mineralfosfor ved endring av fosfornormene i 2008. I feltet i Rogaland, derimot, har det vært en tendens til økning i fosforbalansen over de siste 23 årene. Dette er sammenfallende med en økning i husdyrtettheten i feltet.



Figur 2-3. Gjennomsnittlige fosforbalanser i små jordbruksdominerte nedbørfelt i Program for jord- og vannovervåking (JOVA) (Bechmann et al. 2014). Farge angir dominerende vekst på jordbruksarealene.

2.2 Fosfor i jord og prosesser ved fosfortap

Fosfor i jord inngår i en rekke ulike fraksjoner med ulik bindingsstyrke. Totalt fosforinnhold i dyrka jorda er i middel 0,1 % av jorda. Dette tilsvarer 200-240 kg P pr. dekar i jordas øvre 20 cm. Variasjonen er imidlertid stor. Avhengig av jordtype og gjødslingshistorie kan fosforinnholdet variere fra 0,02 til 0,3 %. P-AL-metoden som brukes i jordbruket i Norge for å vurdere behovet for fosforgjødsling, ekstraherer omkring 10-20 % av totalfosforet i jorda. Fosfor i jord består av både organisk og uorganisk bundet fosfor. Andelen organisk fosfor er ofte i området 20-50 %. Det aller meste av fosforet i jorda er bundet til jordpartiklene. Ved lav pH bindes fosforet hovedsakelig til jern- og aluminiumforbindelser. Ved pH over 7 øker binding til kalsium, og det dannes tungt oppløselige kalsiumfosfater. Fosfor er mest tilgjengelig for plantene ved pH litt over 6.

Bare 0,01 til 0,1 kg P pr. dekar finnes løst i jordvæska i mineraljord. Den lave konsentrasjonen av fosfor i jordvæska er årsak til at løst fosfor i liten grad blir vasket ned gjennom jordprofilen og ut i grøftene. Liten utvasking fører til at det meste av fosforoverskuddet akkumuleres i jordarbeidingsjiktet. Erosjon og transport av fosforrike jordpartikler fra overflaten er derfor en viktig transportprosess for fosfor fra jordbruksarealer med mineraljord. Jordas totale fosforinnhold har betydning for hvor mye fosfor som tapes med den eroderte jorda. I tillegg til partikkelbundet fosfor som følger eroderte jordpartikler, vil fosfor løses ut fra jorda til overflateavrenningen. Hvor mye fosfor som frigjøres er avhengig av jordas innhold av lettløselig fosfor.

Fosforet er ikke jevnt fordelt i jorda. Partiklenes fosforkonsentrasjon øker med avtagende partikkelstørrelse, slik at f.eks. leirpartikler har mye høyere fosforkonsentrasjon enn sandpartikler. Dette har betydning for fosfortapene, fordi erosjon er en selektiv prosess som fører til at jordas minste og mest fosforrike partikler blir erodert og transportert i større grad enn de større. Ofte vil det aller meste av de suspenderte partiklene i vassdragene være <20 µm, det vil si bestå av leire og middels og fin silt (Dorich et al. 1984).

I mineralfattig organisk jord bindes tilført fosfor mye svakere enn i mineraljord. Overskuddet i fosfortilførselene akkumuleres derfor i mindre grad i organisk jord enn i mineraljord. I dyp organisk jord er derfor utvasking av fosforoverskuddet gjennom jordprofilen og ut grøftene en viktig tapsvei (Uhlen & Østerud 1992).

2.3 Fosforutslipp fra norsk jordbruk

Andelen av fosforutslippet som stammer fra jordbruket varierer mye mellom vannforekomster, avhengig av blant annet andelen jordbruk i nedbørfeltet, sanering av punktutslipp og type jordbruksdrift. Videre, varierer fosforavrenningen fra jordbruksarealene med arealets erosjonsrisiko og jordas fosforinnhold. I JOVA-programmet har en i gjennomsnitt for hele overvåkingsperioden, funnet at mellom nedbørfelt varierer fosforavrenningen fra 40 til 950 g P pr. dekar jordbruksareal (Bechmann et al. 2014). Til sammenligning er bakgrunnsavrenning (tilsvarende avrenning fra skog) estimert til 11 g P pr. dekar i leirjordområder og 6 g P pr. dekar for andre områder. Vi vil imidlertid understreke at det finnes svært lite data for bakgrunnsavrenning, slik at disse verdiene må betraktes som grove estimater. Overvåkingen i JOVA-programmet viser at fosfortapene er størst fra et felt dominert av grønnsak- og potetproduksjon på Sørlandet og enkelte år er det meget høye fosfortap fra dette feltet. Fra et felt i Trøndelag er det store fosfortap som henger sammen med store tap av jordpartikler. Fosfortapene fra kornfeltene på Østlandet ligger på om lag 200 - 230 g P pr. dekar, mens fosfortapene fra engfeltene i Rogaland er noe lavere, om lag 120 - 140 g P pr. dekar, fordi det her er mye mindre erosjon. Men andelen løst fosfat i avrenningen er større i grasområder med høye fosfortilførsler. Fra grasdominerte og moderat gjødslet areal i dal- og fjellbygder er tapene ned mot 40-50 g P pr. dekar.

2.4 Fosforgjødsling og avling

Planter har behov for en balansert tilgang av spesifikke næringsstoffer. Fosfor er viktig for energiomsetningen i plantene, og inngår i DNA/RNA og i membraner. Liten tilgang til fosfor vil hemme vekst og utvikling av plantene, men fosfor er ikke det elementet som begrenser veksten mest. Det er nitrogentilgangen som har størst betydning for avlingsnivået, og som tydeligst fører til en positiv respons ved tilførsel.

Behovet for fosfor er rundt 1/10-del av nitrogenbehovet, og jorda kan i større grad bidra til å dekke plantenes fosforbehov i forhold til nitrogenbehovet. I mange tilfeller oppnås gode avlinger uten gjødsling med fosfor. Men det er også mange tilfeller hvor veksten hemmes om fosforgjødsling utelates. Ved å utelate fosforgjødsling over mange år, har Riley (2007) vist at avlingsnivået av korn går ned med 20 %. Dette er målt på et mangeårig fastliggende gjødslingsforsøk, som ble etablert i 1922.

Det er gjennomført adskillig flere gjødslingsforsøk med nitrogen i forhold til fosfor i Norge. Omfanget av gjødslingsforsøk gjenspeiler den økonomiske betydningen næringsstoffet har. En vurdering av hvilke konsekvenser fosforgjødsling har for avling, baseres derfor på et mye mindre datagrunnlag enn tilsvarende for nitrogen.

Planterøttene tar opp fosfor fra jordvæska. Fosforet har som nevnt lav konsentrasjon i jordvæska, noe som gjør at fosfor er lite mobilt i jorda. Ved lave temperaturer om våren, beveges fosfor ekstra langsomt i jorda og behovet for tilført fosfor kan derfor være større i kalde jordtyper. For at plantene skal ha et effektivt fosforopptak, er forholdene for røttene av stor betydning. En passe løs jord gjør det lett for røttene å vokse og bre seg ut i jorda og utnytte fosforet i en større del av jordvolumet enn ved for eksempel en pakket jord (Kristoffersen & Riley 2005).

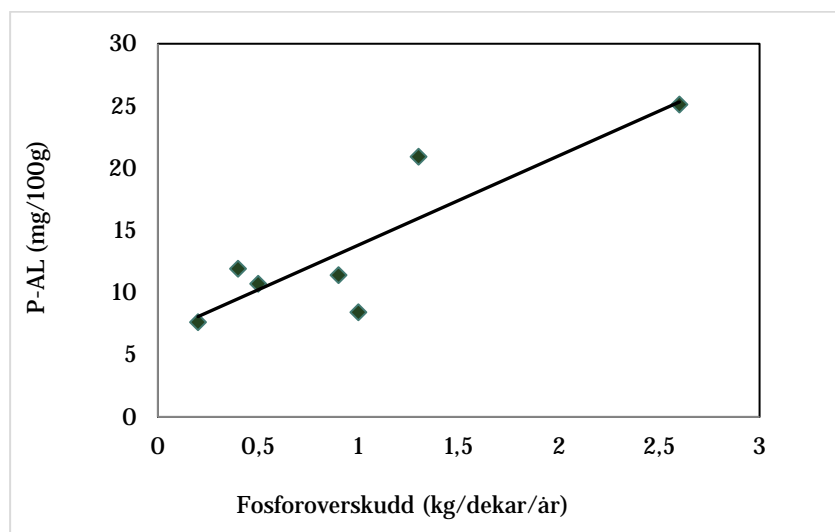
Fosformengden i jordvæska er mye lavere enn plantenes behov, og det er derfor behov for frigjøring fra partikulært bundet fosfor gjennom vekstsesongen. Likevekten mellom løst fosfor og partikulært bundet fosfor styres av jordas fosforbindingskapasitet og jordas fosformetningsgrad.

Fosforbindingskapasiteten i norsk jord er i stor grad styrt av jordas innhold av jern- og

aluminiumoksider, tekstur, pH og jordas redox-forhold. Dette er tildels stabile parametere, som endres lite over tid. Fosforbindingskapasiteten kan variere betydelig mellom ulike jordtyper, og også nedover i jordprofilen. Fosformetningsgraden påvirkes av gjødslingspraksisen over år. Ved overskuddstilførsel av fosfor øker fosformetningsgraden, da bindingsplassene på jordpartiklene fylles opp med fosfor. Høy fosformetningsgrad øker jordas evne til å forsyne plantene med fosfor, men utgjør samtidig en høy risiko for uheldig tap av fosfor. P-AL-verdiene gjenspeiler til en viss grad både fosforbindingskapasiteten og fosformetningsgraden i jorda. Forsøksresultater har vist relativ god sammenheng mellom P-AL og avling, men P-AL er ikke noe fasitsvar på jordas evne til å forsyne plantene med fosfor (Kristoffersen et al. 2005). Det er en rettesnor i forhold til mengde plantetilgjengelig fosfor i jorda.

3 Litteratursammenstilling – Effekter av fosforgjødsling på fosforavrenning

Det meste av overskuddet i fosforgjødsling blir bundet i matjordlaget. Med økende fosforoverskudd øker jordas P-AL-tall. Dette kan illustreres med data fra JOVA-programmet (Figur 3-1). For syv JOVA-felt er gjennomsnittlig fosforoverskudd i overvåkingsperioden (>20 år) beregnet ut i fra gjødslings- og avlingsdata (fosfor i gjødsel minus fosfor fjernet med avling) og sammenholdt med middel P-AL-verdi for jorda i feltet.



Figur 3-1. Sammenheng mellom fosforoverskudd (fosfor i gjødsel minus fosfor fjernet med avling) og P-AL for syv JOVA-felt (Bechmann et al. 2013a).

3.1 Fordeling av gjødsel fosfor i jorda

3.1.1 Fosforoverskudd med ulik bindingsstyrke

Det meste av overskuddet i fosforgjødslingen blir bundet så sterkt til jorda at det ikke blir ekstrahert med P-AL-analysen. I langvarige gjødslingsforsøk på leirjord ble bare 15 – 35 % av fosforoverskuddet gjenfunnet som økt P-AL-verdi (Øgaard et al. 2012). Det betyr at 65 – 85 % av fosforoverskuddet har blitt bundet så sterkt i jorda at det ikke blir ekstrahert med P-AL-analysen.

3.1.2 Fosforbinding til ulike partikkelstørrelser

Siden erosjon er en selektiv prosess med hensyn til partikkelstørrelse, har det betydning hvilke partikkelstørrelser gjødsel fosforet bindes til. Ved fraksjonering av jorda fra langvarige fosforgjødslingsforsøk på leirjord i ulike partikkelstørrelser og analysering av fosfor i de enkelte størrelsesfraksjonene, ble det funnet at gjødsel fosforet hovedsakelig ble bundet til leirpartiklene (Øgaard 1996).

Tilsvarende har fosforanalyser av ulike partikkelfraksjoner i jord med ulikt P-AL-tall vist at det er spesielt i leirfraksjonen en finner økt konsentrasjon av totalfosfor med økende P-AL-konsentrasjon i jorda (Pedersen 2008).

Dette betyr at den potensielle miljøkonsekvensen av overflødig fosforgjødsling er sannsynligvis større enn det økningen i jordas totale fosforinnhold skulle tilsi, fordi overskuddet av gjødsel fosfor konsentreres på de små partiklene som eroderes i større grad enn de store partiklene.

3.2 Faktorer som påvirker fosforavrenning

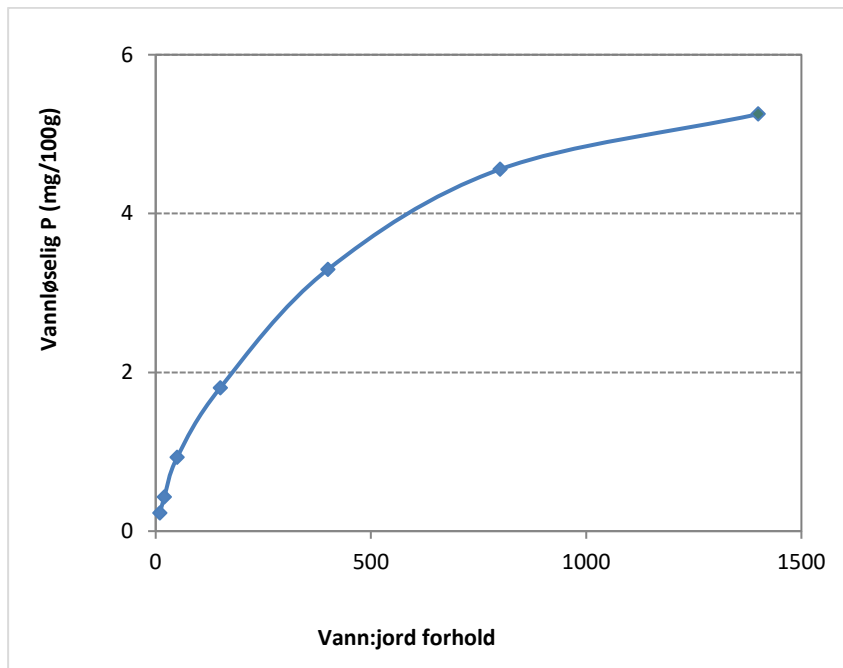
Jordas fosforstatus, fosforgjødsling, erosjonsrisiko og klimaforhold er viktige faktorer som bestemmer størrelsen på fosfortapene. Fosforavrenning som skyldes bruk av gjødsel knytter seg til eventuell overflateavrenning like etter overflategjødsling og mangeårig oppbygging av jordas fosforstatus ved overskuddsgjødsling med fosfor. Overskuddsgjødsling med fosfor i et omfang som har gitt meget høye P-AL-tall i jorda er knyttet til husdyrproduksjon og/eller grønnsaksproduksjon (figur 2-1). I tillegg til jordas fosforstatus og fosforgjødsling, påvirker erosjonsrisiko, driftsform og klimaforhold størrelsen på tapene, og andelen av tapene som skyldes gjødsling kan dermed ikke kvantifiseres. I JOVA-programmet er det målt lavere avrenning av totalfosfor fra jordbruksarealer i områder på Vestlandet med intensiv husdyrdrift, høy fosfortilførsel og høy fosforstatus i jorda enn fra jordbruksarealer på Østlandet med kornproduksjon, moderat fosfortilførsel og lav fosforstatus, henholdsvis gjennomsnittlig tap på om lag 125 og 260 g P pr. dekar (Bechmann et al. 2014). Forskjellen skyldes forskjell i erosjon og tap av partikulært bundet fosfor, fordi geologi og jordarbeiding er forskjellig i de to områdene. Avrenning av løst fosfat gir imidlertid et annet bilde enn avrenningen av totalfosfor. Middel tap av løst fosfat i intensive husdyrområder er noe større enn fra kornområder uten husdyr på tross av lavere tap av totalfosfor, henholdsvis 40-56 og 24-42 g fosfat-P pr. dekar (Bechmann et al. 2014). Andelen løst fosfat i avrenningen har betydning for effekten på vannmiljø, fordi dette er direkte biotilgjengelig, mens en del av det partikkelbundne fosforet ikke er tilgjengelig for alger. I JOVA-feltene med dominerende grasproduksjon er gjennomsnittlig andel løst fosfat av totalfosfor om lag 40 %, mens i feltene med dominerende kornproduksjon er denne andelen om lag 15 %.

I det følgende vil vi fokusere på fosforgjødslingens effekt på vannløselig fosfor, siden dette er den mest biotilgjengelige fosforfraksjonen.

3.3 Effekter av fosforgjødsling på fosforavrenning

3.3.1 Vannløselig fosfor i jord

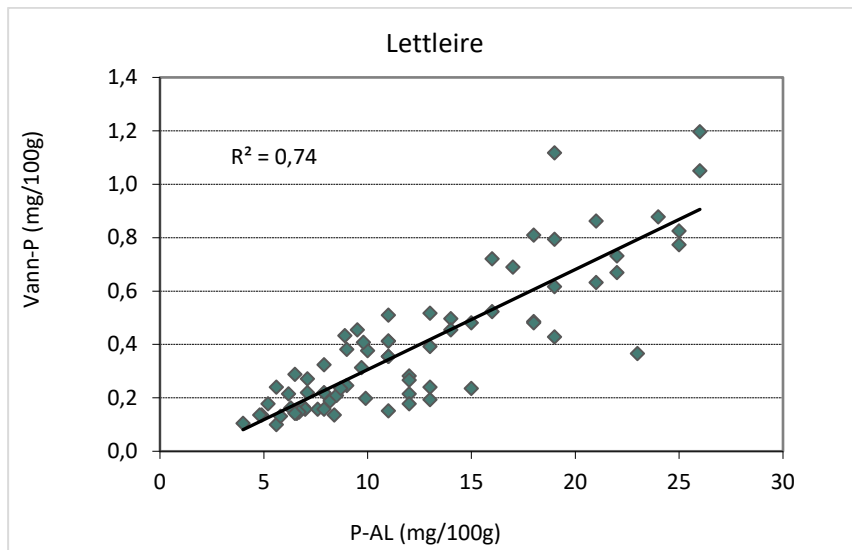
Som nevnt, er fosforkonsentrasjonen i jordvæska lav, bare om lag 0,1 % av jordas fosfor er løst i jordvæska. I en avrenningssituasjon hvor jorda kommer i kontakt med vann som har en lavere fosforkonsentrasjon enn jordas likevektskonsentrasjon, kan imidlertid en betydelig mengde partikkelbundet fosfor frigis. Figur 3-2 viser økningen i vannløselig fosfor når jorda fortynnes med økende mengde vann for en leirjord med P-AL 13 mg/100 g.



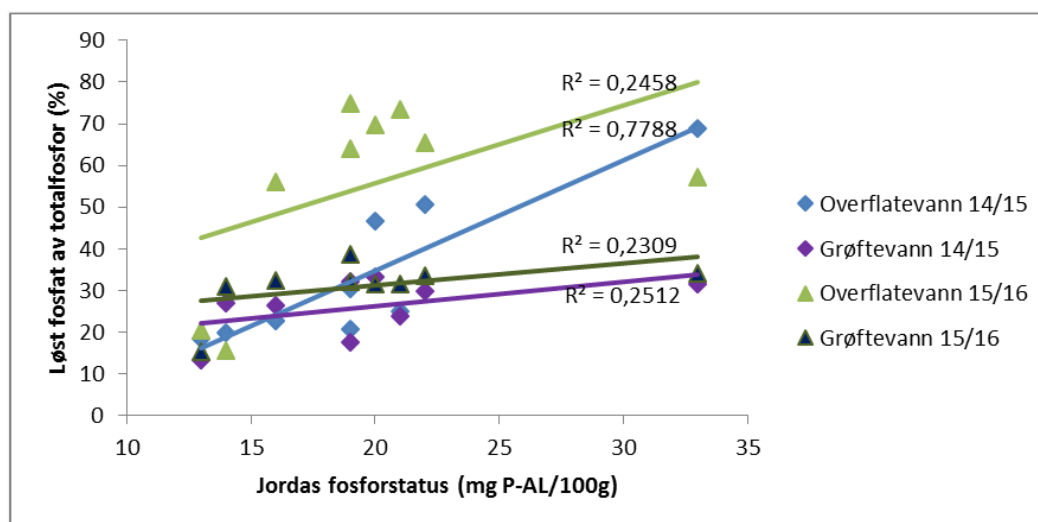
Figur 3-2. Vannløselig fosfor ved økende vann:jord forhold (Data fra Øgaard, 1995).

3.3.2 Sammenheng mellom P-AL og vannløselig fosfor

Jo høyere P-AL-verdi i jorda, jo høyere er jordas konsentrasjon av vannløselig fosfor (Figur 3-3). Figuren viser et eksempel for jordprøver fra arealer med lettleire i ulike regioner i Norge. Andre jordtyper viser en tilsvarende økning i vannløselig fosfor med økende P-AL. I dette datamaterialet ble vannløselig fosfor analysert med et jord:vann forhold på 1:20. Resultater fra feltforsøk viser ikke så entydig sammenheng mellom jordas P-AL og konsentrasjonen av løst fosfat i avrenningen som ved analyser av jordprøver. I et feltforsøk på Bjørkelangen med kontinuerlig måling av konsentrasjoner i overflate- og grøfteavrenning var sammenhengen mellom P-AL i jorda og løst fosfat i overflateavrenning bra det første året, men ikke tydelig det neste året (Figur 3-4) (Bechmann 2016). I grøfteavrenningen var det ikke tydelig sammenheng noen av årene. I feltforsøk er det mange faktorer som har innflytelse på de målte konsentrasjonene. Grøfteavrenningen har vært gjennom jordprofilen hvor det sannsynligvis skjer binding av fosfor. I overflateavrenningen vil jordarbeiding, plantemasse på jordoverflaten og gjødslingstidspunkt i forhold til avrenningsepisoder ha betydning for konsentrasjonen av løst fosfat. Vi har dessverre lite med andre norske undersøkelser i felt som kan dokumentere sammenhengen mellom jordas P-AL-tall og løst fosfat i avrenningen.

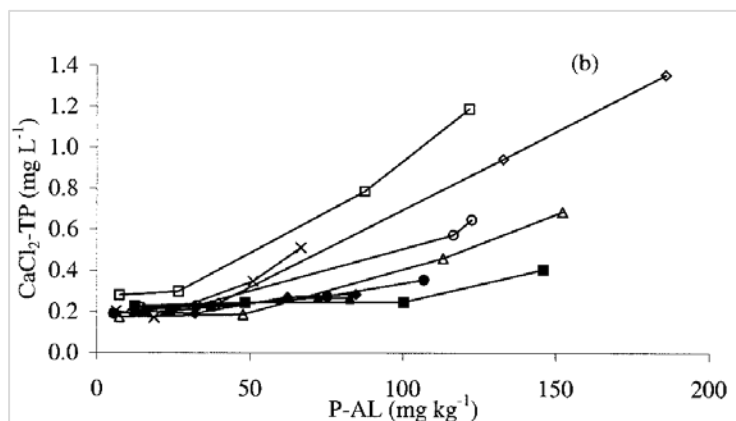


Figur 3-3 Sammenheng mellom vannløselig fosfor (Vann-P) og P-AL for lettleire fra ulike regioner i Norge (A.F. Øgaard, upubliserte data).



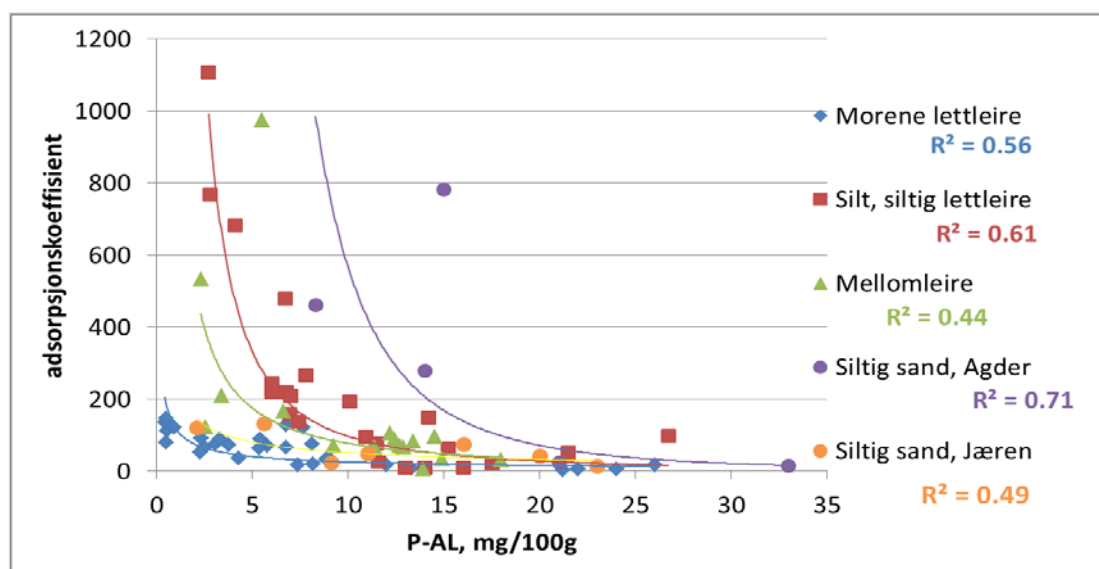
Figur 3-4. Sammenhengen mellom jordas P-AL og andelen løst fosfat av totalfosfor (%) i overflate- og grøfteavrenning i to forsøksår i Kjelle ruteforsøk på Bjørkelangen (www.nibio.no/kjelle).

I en svensk undersøkelse ble det funnet at graden av økning av vannløselig fosfor med økende P-AL varierte mellom ulike jordtyper (Figur 3-5) (Börling et al. 2004). Ved samme P-AL-nivå var mer fosfor vannløselig i jord med lav fosforbindingsevne enn i jord med en høyere fosforbindingsevne. Jordtypespesifikk sammenheng mellom plantetilgjengelig- og vannløselig fosfor på grunn av ulike fosforbindingsevner har også blitt funnet i andre undersøkelser (f.eks. Sharpley 1995; Pote 1999).



Figur 3-5. Sammenheng mellom vannløselig fosfor ($\text{CaCl}_2\text{-TP}$) og P-AL for ulike jordtyper (Börling et al. 2004).

Sammenhengen mellom jordas P-AL-nivå og fosforbindingsevne er også undersøkt i et norsk prosjekt. Resultater fra denne undersøkelsen viser at ved P-AL over 12-13 mg P/100 g har jordtypene som er undersøkt en lav fosforbindingsevne (Figur 3-6). P-AL >14 karakteriseres som meget høyt, og det anbefales ingen fosforgjødsling til korn, oljevekster og gras. Ved P-AL <10-11 øker fosforbindingsevnen med synkende P-AL-nivå. Figuren viser også at i P-AL-intervallet 5-7, som vi regner som et optimalt nivå, er det store forskjeller mellom ulike jordarters fosforbindingsevne. Lettleire fra moreneområdene rundt Mjøsa har relativt lav fosforbindingsevne, selv ved lave P-AL-nivå. Motsatt er det for de undersøkte siltige jordartene, der jordas evne til å binde fosfor øker sterkt med synkende P-AL. Det samme er tilfelle for siltig mellomstrand fra Aust-Agder. Denne jordtypen viser en mye større bindingskapasitet ved høye P-AL-verdier sammenlignet med andre jordtyper. Dette betyr at to jordarter med samme P-AL-nivå vil kunne ha svært ulik evne til å binde fosfor som tilføres med gjødsel. Det har betydning for plantetilgjengeligheten av det tilførte fosforet, og også for mengden av vannløselig fosfor.

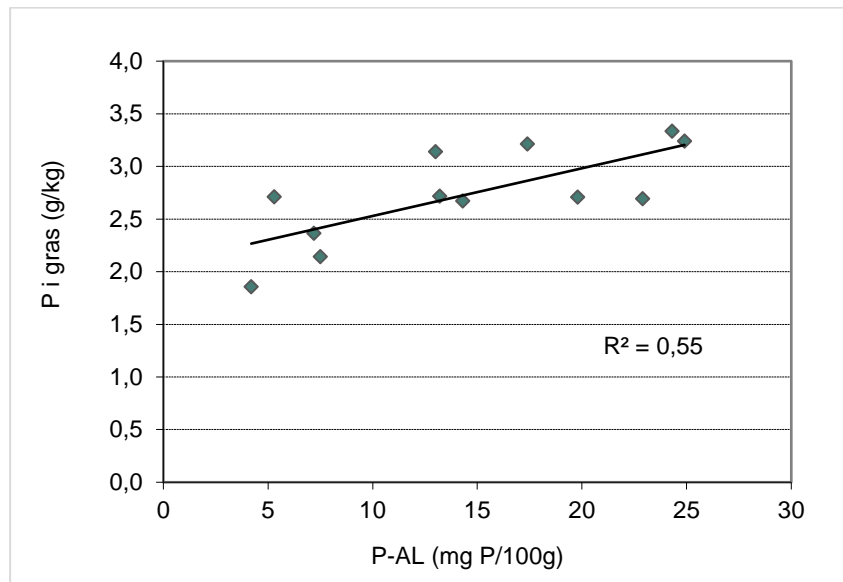


Figur 3-6. Sammenheng mellom jordas fosforbindingsevne, uttrykt ved en beregnet adsorpsjonskoeffisient og jordas P-AL-verdi, målt på en rekke ulike jordarter i Norge (A. Ø. Kristoffersen, upublisert).

3.3.3 Effekt av gjødsling og planterester på fosforavrenning fra eng

Ved avrenningsmålinger i to forsøksfelt på Ås, Akershus fant Uhlen (1989) at fosfortapene i overflateavrenning fra eng under snøsmeltingen økte med økende fosforgjødsling i foregående år og med økende mengde fosfor i planterestene. Ved engdyrking tilføres gjødselen på overflaten. Dette gir økt fosforkonsentrasjon i jordsjiktet som har kontakt med overflatevannet og påvirker dermed fosfortapene. Det ble ikke funnet tilsvarende effekt av fosforgjødsling i foregående år på avrenning fra ruter med kornproduksjon. Ved korndyrking blir gjødsla blandet inn i jorda og endring i jordas fosforkonsentrasjon fra ett år til det neste blir svært liten.

Fosfor i planterester har betydning for fosfortap etter frost, fordi fosfor i plantecellene frigis når plantecellene fryser i stykker. Ved påfølgende overflateavrenning vil løst fosfor vaskes ut. Økende fosforgjødsling øker fosformengden i graset, men også jordas P-AL-tall påvirker fosformengden i graset (Figur 3-7). Figuren viser data fra en serie feltforsøk i eng med lik fosforgjødsling, men med ulikt P-AL-tall i jorda.



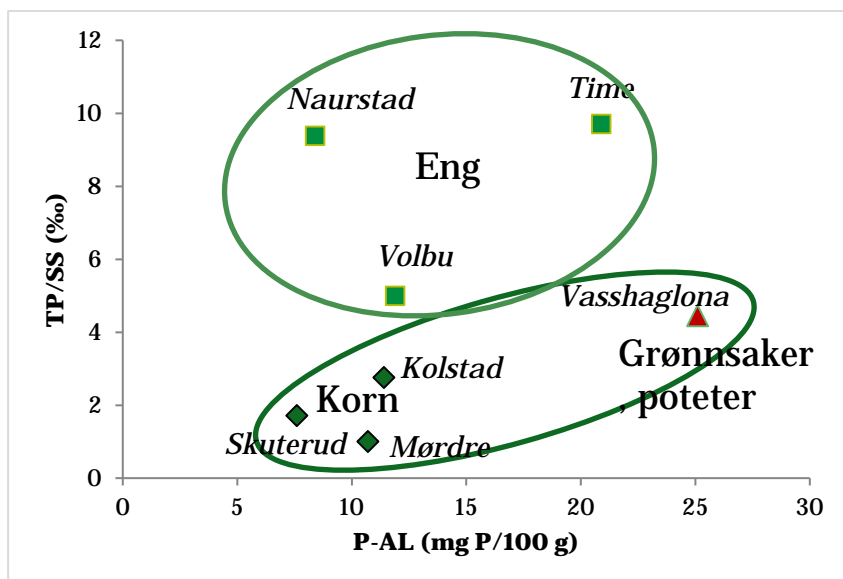
Figur 3-7. Sammenheng mellom P-AL i jord og fosforkonsentrasjon i graset ved lik fosforgjødsling (A.F. Øgaard, upubliserte data).

3.4 Sammenheng mellom jordbruksdrift og vannkvalitet i bekker - resultater fra program for jord- og vannovervåking (JOVA)

Resultater fra JOVA-feltene kan gi en indikasjon på effekten av jordas P-AL-nivå på fosfortapene. Det totale fosfortapet er imidlertid også påvirket av erosjon og type drift. For å vurdere effekten av jordas P-AL-verdi på fosfortapene, kan en se på forholdet mellom totalfosfor (TP) og partikler (SS). Dette forholdet sier noe om hvor mye fosfor som transporteres med en gitt mengde partikler. En sterkt oppgjødslet jord vil ha mer fosforrike partikler og et høyere TP/SS-forhold enn en svakere gjødslet jord. Avrenning fra eng forventes imidlertid å gi et generelt høyere TP/SS-forhold enn avrenning fra åpenåker-produksjon, fordi jordtapet fra eng er lavt, gjødsel fosfor konsentreres i overflaten og planterester kan gi fosfortap når plantecellene fryser i stykker. Eng og åpenåker-produksjoner (korn, oljevekster, grønnsaker og poteter) må derfor vurderes hver for seg når en skal se på effekten av jordas P-AL-tall.

Innenfor åpenåker-produksjonene har grønnsaks-/potetfeltet (Vasshaglona) med middel P-AL-tall på 25 mg P/100 g tydelig høyere TP/SS-forhold enn kornfeltene som har middel P-AL-tall på 8-11 (Figur 3-8). Disse feltene er sammenlignbare med hensyn til andel jordbruksareal i nedbørfeltet, men forskjeller i jordart mellom feltene og utslipp fra spredt avløp kan også påvirke sammenhengen mellom P-AL og TP/SS-forholdet i avrenningen. Grønnsaks-/potetfeltet har sandjord, mens det er leirjord i kornfeltene.

Når det gjelder engfeltene har Naurstadfeltet høyt TP/SS-forhold til tross for et moderat P-AL-nivå i jorda (Figur 3-8). Dette skyldes at feltet delvis består av organisk jord som har dårligere bindingsevne for fosfor enn mineraljord. Feltene i Time og Volbu ligger begge på siltig sandjord. Høye P-AL-tall og relativt stort fosforoverskudd i Time er med på å forklare et høyt TP/SS-forhold sammenlignet med Volbu, men høy andel jordbruksareal i Timefeltet (94 %) sammenlignet med Volbu (41 %) er også med på å forklare et høyt TP/SS-forhold i Time.



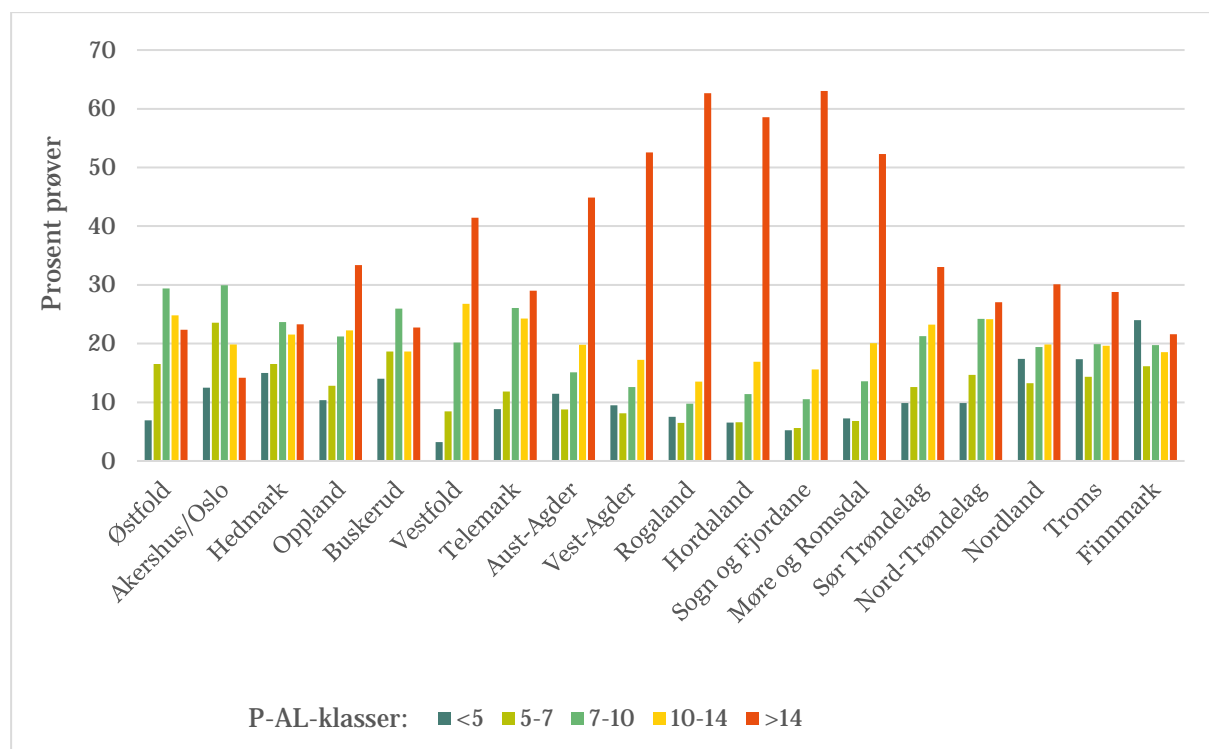
Figur 3-8. Effekt av jordas P-AL-tall og driftssystem på mengden fosfor som transporteres med en gitt mengde partikler, gitt som forholdet mellom totalfosfor (TP) og jordpartikler (SS) i avrenningen fra 7 JOVA-felt (Bechmann et al. 2013b).

4 P-AL og total fosforinnhold i dyrka jord i Norge

4.1 Klassefordeling for P-AL i ulike fylker

Figur 4-1 viser prosentvis fordeling av jordprøver på P-AL-klasser i hvert enkelt fylke og Tabell 4-1 viser tolkningen av P-AL-klassene. Inndelingen i P-AL-klassene og tolkningen/anbefalingen innen de ulike klassene har NIBIO utarbeidet, i samarbeid med NMBU. Anbefalingene i forhold til fosforgjødsling er samlet i Gjødslingshåndboka (www.bioforsk.no/gjodslingshandbok). Som skrevet i kap 2.1.1 har det skjedd store endringer i fosforanbefalingene de siste årene.

P-AL-verdier i området 5-7 regnes som optimalt for korn, oljevekster og gras med hensyn til å sikre optimale avlinger samtidig som miljøbelastningen er minst mulig. Agder- og vestlandsfylkene skiller seg ut med en stor andel av jorda med P-AL >14, klasse "Meget høyt", hvor det er anbefalt å utelate fosforgjødsling. Vestfold har også høy andel jord i P-AL-klasse "Meget høyt". Her er stor grønnsaks- og potetproduksjon årsak til høye P-AL-tall, fordi disse vekstene krever mye fosfor for å gi optimal avling og kvalitet. For en del grønnsaksvekster er antagelig optimal P-AL høyere enn 7 (Riley et al. 2012).



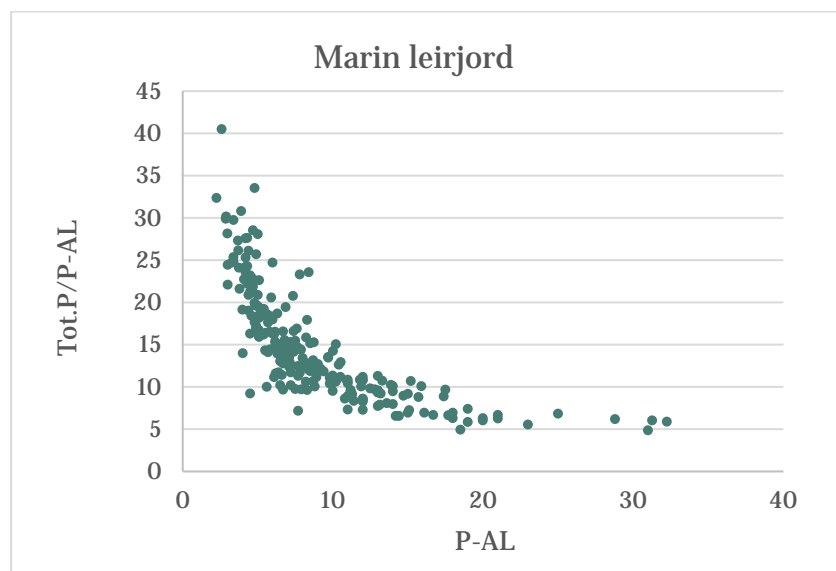
Figur 4-1. Prosentvis fordeling av jordprøver på P-AL-klasser i hvert enkelt fylke. P-AL-verdiene er hentet fra NIBIO's jorddatabase.

Tabell 4-1. Klassifisering av jordas P-AL-tall og anbefalt fosforgjødsling til korn, oljevekster og gras for de enkelte P-AL-klassene (www.bioforsk.no/gjodslingshandbok).

P-AL-verdi (mg P/100 g)	Klasse	Anbefalt gjødsling
1-5	Lavt	Anbefalt fosforgjødsling > enn fosfor fjernet med avlingen
5-7	Middels/optimalt	Anbefalt fosforgjødsling = enn fosfor fjernet med avlingen
7-10	Moderat høyt	Anbefalt fosforgjødsling < enn fosfor fjernet med avlingen Lineær reduksjon med økende P-AL tall.
10-14	Høyt	Anbefalt fosforgjødsling < enn fosfor fjernet med avlingen Lineær reduksjon i fosforgjødsling med økende P-AL tall
>14	Meget høyt	Anbefalt fosforgjødsling = 0

4.2 Middelerverdier for totalt fosforinnhold i dyrka jord

Vi har mye data for P-AL i dyrka jord, men lite data for jordas totale fosforinnhold. Jordas totale fosforinnhold kan imidlertid beregnes fra P-AL-verdiene. Faktoren mellom P-AL og totalfosfor varierer både med jordart og jordas P-AL-nivå. Figur 4-2 viser et eksempel på hvordan forholdet totalfosfor/P-AL varierer med P-AL. Forholdet mellom totalfosfor/P-AL synker med økende P-AL i jorda. Ved høye P-AL er det ca. 5 ganger så mye total P som P-AL, mens ved lave P-AL-verdier er det opp til 35 ganger så mye total P som P-AL.



Figur 4-2. Forhold mellom totalfosfor (Tot.P) og P-AL ved ulike P-AL-verdier for marin leirjord (A.F. Øgaard, upubliserte data).

Tabell 4-2 viser beregnet total fosforkonsentrasjon i jorda ved ulike P-AL-verdier for marin leirjord og siltig sandjord. Fosforkonsentrasjonene kan videre brukes til å estimere mengde fosfor pr. dekar i de

øvre 20 cm av jorda. Ved omregning fra fosforkonsentrasjon (%) i jorda til kg P pr. dekar i øvre 20 cm har vi brukt en jordtetthet på 1,2 kg/dm³. Resultatene for disse beregningene er også gitt i Tabell 4-2.

Tabell 4-2. Total fosforkonsentrasjon (%) og mengde (kg) fosfor per dekar i øvre 20 cm ved ulike P-AL-verdier for leirjord og siltig sandjord.

P-AL	Leirjord		Siltig sandjord	
	Total P %	Total P kg/dekar	Total P %	Total P kg/dekar
7	0,10	245	0,08	185
10	0,11	268	0,09	207
15	0,12	297	0,10	235
20	0,13	319	0,11	257
25	0,14	337	0,12	275

Tabellen viser for eksempel at når P-AL-verdien øker fra 7 til 25 i leirjord, øker konsentrasjonen av totalfosfor i jorda fra 0,10 til 0,14 %, og mengden totalfosfor pr. dekar i øvre 20 cm øker fra 245 til 337 kg P pr. dekar. Tabellen viser også at ved samme P-AL-verdi er jordas totale fosforinnhold høyere i leirjord enn i sandjord.

Ut i fra verdiene i Tabell 4-2 kan det beregnes at for begge jordartene må 18 kg fosfor pr. dekar fjernes for å redusere P-AL fra 25 til 20 (3,6 kg P per P-AL-enhet), ytterligere 22 kg fosfor pr. dekar for å redusere P-AL fra 20 til 15 (4,4 kg P per P-AL-enhet), 28-29 kg for å redusere P-AL fra 15 til 10 (5,6-5,8 kg P per P-AL-enhet) og 22-23 kg for å redusere P-AL fra 10 til 7 (7,3-7,7 kg P per P-AL-enhet). Dette betyr at det går raskere å redusere høye P-AL-tall enn å redusere de siste P-AL-enhetene ned mot optimalnivået P-AL 7. Forskjellen skyldes kjemiske bufringsforhold i jorda, det vil si i hvilken grad tyngre tilgjengelig fosfor fyller på P-AL-fraksjonen når jorda tappes for fosfor. Hvis fosforunderskuddet hadde blitt tappet bare fra P-AL-fraksjonen, hadde det vært tilstrekkelig å fjerne 2,4 kg fosfor pr. dekar for å redusere P-AL med en enhet med den jordtettheten vi har forutsatt her (1,2 kg/dm³).

5 Fosforbalanser

For å kunne vurdere konsekvensene på vannmiljø av ulike restriksjoner på fosforgjødsling, må det beregnes hvilken effekt restriksjonene har på fosforbalansen (tilført fosfor med gjødsel minus fosfor fjernet med avling). Negative fosforbalanser er nødvendig for å redusere jordas fosforinnhold og dermed fosfortapene. Nedenfor viser vi gjennomsnittlige avlinger av korn og gras og mengde fosfor fjernet med avlingene for alle landets fylker. Dette viser hvordan avlingsnivået varierer mellom ulike regioner. Fosforbalanser ved de ulike gjødslingalternativene har vi bare beregnet for noen utvalgte eksempelfylker som representerer ulike produksjoner i ulike regioner.

Som eksempler på hvordan foreslåtte endringer i fosforgjødsling påvirker fosforstatus i jord har vi valgt kornproduksjon på marin leirjord i Akershus og Sør-Trøndelag og grasproduksjon på siltig sandjord i Rogaland, Sør-Trøndelag, Nordland og Troms.

5.1 Fosfor i kornavlinger

Fylkesvise gjennomsnittlige kornavlinger for perioden 2010 til 2015 (Tabell 5-1) er beregnet fra årlige gjennomsnittstall som vi har hentet fra Statistisk sentralbyrå's (SSB) nettside. Disse gjennomsnittsverdiene er på nivå med gjennomsnittsverdiene for perioden 1981 til 2001 (data ikke vist) og kan derfor regnes som representative for de ulike fylkene. Ved beregning av mengde fosfor som fjernes med avlingen er det regnet med 0,35 % fosfor i kornavlingen.

Tabell 5-1. Fylkesvis gjennomsnittlig avling og fosforinnhold i avling av hvete, bygg og havre for perioden 2010-2015. Data fra Statistisk sentralbyrå (SSB).

Fylke	Hvete		Bygg		Havre	
	Avling	P i avling	Avling	P i avling	Avling	P i avling
Østfold	441	1,5	401	1,4	386	1,3
Akershus og Oslo	431	1,5	361	1,3	363	1,3
Hedmark	467	1,6	406	1,4	344	1,2
Oppland	463	1,6	366	1,3	353	1,2
Buskerud	437	1,5	368	1,3	356	1,2
Vestfold	427	1,5	399	1,4	387	1,4
Telemark	362	1,3	325	1,1	322	1,1
Aust-Agder			287	1,0	257	0,9
Vest-Agder			257	0,9	295	1,0
Rogaland			400	1,4	378	1,3
Sør-Trøndelag	377	1,3	341	1,2	347	1,2
Nord-Trøndelag	311	1,1	343	1,2	307	1,1

5.2 Fosforbalanser for korn i Akershus og i Trøndelag ved ulike gjødslingsalternativer

Vi har gjort beregninger av fosforbalanser for fire alternativer for fosforgjødsling:

1. Fosforgjødsling etter dagens forskrift

Dagens forskrift gir en maksimal fosfortilførsel med husdyrgjødsel på 3,5 kg P pr. dekar. Utover dette inneholder dagens forskrift ingen restriksjoner på fosfortilførsel. Det betyr at det kan tilføres fosfor med mineralgjødsel i tillegg til husdyrgjødsel.

2. Maksimal fosforgjødsling basert på høyeste normale avling

Dette alternativet angir maksimalt tillatt fosfortilførsel ifølge tabeller over fosforbehovet til høyeste normale avling av ulike vekster i ulike regioner (Kristoffersen et al. 2014). Maksimalverdiene inkluderer fosfor fra alle typer gjødsel.

3. Fosforgjødsling justert etter middelavling og jordas P-AL-tall (NIBIO's gjødslingsanbefalinger)

Etter NIBIO's gjødslingsanbefalinger skal en ta utgangspunkt i næringsbehovet til arealets middelavling og korrigere dette for jordas P-AL, som vist i kap 2.1.1 og Tabell 4-1.

4. Fosforgjødsling med en strengere P-AL-korreksjon enn NIBIO's gjødslingsanbefalinger

I dette alternativet har vi beregnet med ingen fosforgjødsling ved P-AL >10 i stedet for ved P-AL >14.

5.2.1 Alternativ 1: Fosforbalanse ved fosforgjødsling etter dagens forskrift

Dagens forskrift gir en maksimal fosfortilførsel med husdyrgjødsel på 3,5 kg P/dekar. Utover dette inneholder dagens forskrift ingen restriksjoner på fosfortilførsel.

Middelavling av korn fjerner mye mindre fosfor enn tilførslene ved maksimalt tillatt husdyrhold. Tabell 5-2 viser at en korngård med maksimalt tillatt husdyrhold vil ha et betydelig overskudd på fosforbalansen, i middel 2,0-2,2 kg P/dekar/år i Akershus og 2,2-2,3 kg P/dekar/år i Sør-Trøndelag. Vi har her forutsatt at det ikke blir brukt mineralfosfor i tillegg.

Tabell 5-2. Fosforbalanser (tilført fosfor med gjødsel minus fosfor fjernet med avling) for korn i Akershus og Sør-Trøndelag ved maksimalt tillatt husdyrhold etter dagens forskrift.

	P i avling	Tilført P med husdyrgj. Kg P/dekar/år	P balanse
Akershus			
Hvete	1,5	3,5	+2,0
Bygg	1,3	3,5	+2,2
Havre	1,3	3,5	+2,2
Sør-Trøndelag			
Hvete	1,3	3,5	+2,2
Bygg	1,2	3,5	+2,3
Havre	1,2	3,5	+2,3

Årlig oppbygging av jordas fosforinnhold kan føre til at arealene blir «hotspots» for fosfortap til vassdrag. Husdyrholdet i Akershus er imidlertid ganske lavt, og den totale husdyrgjødselmengden utgjør bare cirka 0,34 kg P/dekar/år, hvis den fordeles på alt dyrka areal (Hanserd et al. 2015). Tilsvarende tall for Sør-Trøndelag er høyere, cirka 1,2 kg P/dekar/år. Dette gjenspeiles i fordelingen på P-AL-klasser, hvor Akershus har bare 14 % av jordprøvene i P-AL-klasse Meget høyt, mens i Sør-Trøndelag er 33 % av jordprøvene i P-AL-klasse Meget høyt.

5.2.2 Alternativ 2: Fosforbalanse ved maksimal fosforgjødsling basert på høyeste normale avling

Dette alternativet angir maksimalt tillatt fosfortilførsel ifølge tabeller over fosforbehovet til høyeste normale avling av ulike vekster i ulike regioner (Kristoffersen et al. 2014). Maksimalverdiene inkluderer fosfor fra alle typer gjødsel.

Maksimal fosfortilførsel er større for høstvetete enn for vårvetete på grunn av større avlinger. Avlingsstatistikken skiller imidlertid ikke mellom høst- og vårvetete. Derfor er det bare gitt ett tall for fosfor i avling i Tabell 5-3. Dette er et middeltall for høst- og vårvetete. Maksimal fosfortilførsel og fosforbalanse for hvete har vi gitt som et intervall hvor laveste fosfortilførsel og fosforoverskudd representerer vårvetete og de høyeste verdiene representerer høstvetete. Siden det i praksis er en avlingsforskjell, vil fosforbalansene bli likere for høst- og vårvetete i praksis.

Tabell 5-3 viser at en korngård med maksimalt tillatt fosfortilførsel etter tabellene i Kristoffersen et al. (2014) i middel vil ha et mindre fosforoverskudd enn ved gjeldende forskrift, men likevel et betydelig fosforoverskudd, i middel 1,2-2,0 kg P/dekar/år i Akershus og 1,3-1,9 kg P/dekar/år i Sør-Trøndelag. Årsaken til fortsatt overskudd på fosforbalansen er at det bare er de beste arealene hos de beste bøndene som oppnår de høyeste normale avlingene. Middelaavling for hele fylket er betydelig lavere enn de høyeste normale avlingene.

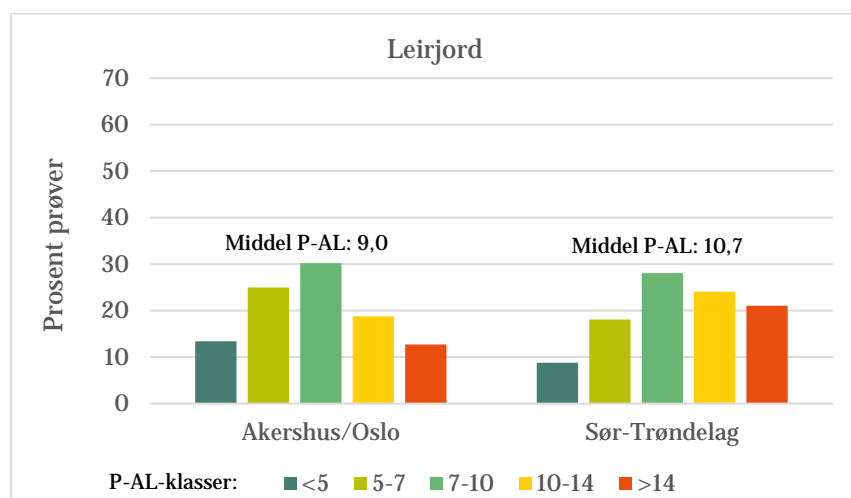
Tabell 5-3. Fosforbalanser (tilført fosfor med gjødsel minus fosfor fjernet med avling) for korn i Akershus og Sør-Trøndelag ved maksimal fosfortilførsel ifølge fosforbehovet til høyeste normale avling.

	P i avling	Maks P tilførsel kg P/dekar/år	P balanse
Akershus			
Hvete	1,5	2,6-3,5	+1,1- +2,0
Bygg	1,3	2,5	+1,2
Havre	1,3	2,5	+1,2
Sør-Trøndelag			
Hvete	1,3	2,6-3,2	+1,3- +1,9
Bygg	1,2	2,5	+1,3
Havre	1,2	2,5	+1,3

5.2.3 Alternativ 3: Fosforbalanse ved fosforgjødsling ifølge NIBIO's anbefalinger

Etter NIBIO's gjødslingsanbefalinger skal en ta utgangspunkt i næringsbehovet til arealets middellavling og korrigere dette for jordas P-AL (jfr. pkt 2.1.1).

I dette alternativet har vi beregnet middel fosforgjødslingsbehov ifølge NIBIO's gjødslingsanbefalinger i de enkelte P-AL-klassene for de fylkesvise middellavlingene. Middel fosforbehov for fylket er beregnet ved å vekte middel fosforbehov for de enkelte P-AL-klassene med andel jordprøver i de respektive klassene. Vi har antatt at det meste av kornproduksjonen foregår på leirjord og klassefordelingen for P-AL på leirjord i det enkelte fylket er brukt for å beregne et vektet middel for kornarealenes gjødselbehov (Figur 5-1).



Figur 5-1. Prosentvis fordeling av jordprøver på ulike P-AL-klasser for leirjord i Akershus/Oslo og Sør-Trøndelag. Middelerdiene for P-AL er for leirjord i de enkelte fylkene (Jorddatabanken, NIBIO).

Tabell 5-4 viser at gjødsling etter NIBIO's anbefalinger vil gi et underskudd på fosforbalansen på kornarealene; $-0,4$ kg P/dekar/år i Akershus og $-0,5$ kg P/dekar/år i Sør-Trøndelag. Underskuddet ved anbefalt fosforgjødsling skyldes at 62 % av leirjordsarealene i Akershus og 73 % av leirjordsarealene i Sør-Trøndelag har P-AL-nivåer som tilsier at det skal gjødsles med mindre fosfor enn det som fjernes med avlingene.

Tabell 5-4. Fosforbalanser (tilført fosfor med gjødsel minus fosfor fjernet med avling) for korn i Akershus og Sør-Trøndelag ved NIBIO's anbefalte fosforgjødsling til middellavlingen med korrigerende for fylkenes aktuelle P-AL-nivå i jorda.

	P i avling	Middel P gjødsling kg P/dekar/år	P balanse
Akershus			
Hvete	1,5	1,1	-0,4
Bygg	1,3	0,9	-0,4
Havre	1,3	0,9	-0,4
Sør-Trøndelag			
Hvete	1,3	0,8	-0,5
Bygg	1,2	0,7	-0,5
Havre	1,2	0,7	-0,5

Tabell 5-5 viser at ved å følge NIBIO's anbefalinger er fosforbalansen styrt av P-AL-nivået i jorda. Sterkest negativ fosforbalanse er det ved P-AL > 14, der det anbefales å utelate fosforgjødsling. Underskuddet vil være direkte koblet til avlingsnivået. Høyt avlingsnivå ved høye P-AL-nivå i jorda vil føre til raskere tapping av fosforinnholdet i jorda sammenlignet med lavere avlingsnivå. Ved P-AL 5-7 er fosforbalansen lik null. Her ønskes det ikke noen ytterligere nedtrapping av P-AL. Ved P-AL < 5 viser fosforbalansen et overskudd. I dette intervallet er det ønskelig å heve P-AL opp til 5-7, da dette er et mer gunstig nivå for plantevekst, og utgjør svært liten risiko i miljøsammenheng.

Tabell 5-5. Fosforbalanser (tilført fosfor med gjødsel minus fosfor fjernet med avling) ved ulike P-AL-verdier ved NIBIO's anbefalte fosforgjødsling til en kornavling som fjerner 1,5 kg P/dekar.

P-AL	P i avling kg P/dekar	P balanse
1-4	1,5	+0,4 - +1,5
5-7	1,5	0
8-10	1,5	-0,2 - -0,6
11-13	1,5	-0,9 - -1,3
>14	1,5	-1,5

5.2.4 Alternativ 4: Fosforbalanse ved fosforgjødsling med strengere P-AL-korrigerings enn NIBIO's anbefalinger

Ingen fosforgjødsling ved P-AL >10 i stedet for ved P-AL >14.

Dette alternativet er beregnet på samme måte som alternativet i kapittel 5.2.3 (fosforgjødsling ifølge NIBIO's anbefalinger), men med den forskjell at det er lagt inn null fosforgjødsling på arealer med P-AL >10 i stedet for P-AL >14.

Tabell 5-6 viser at sammenlignet med tallene i Tabell 5-4, ga denne gjødslingsstrategien bare en liten økning i underskuddet på fosforbalansen. Dette skyldes at det allerede er et betydelig underskudd på fosforbalansen i P-AL-intervallet 10-14 når NIBIO's gjødslingsanbefalinger følges, som vist i tabell 5-5.

Tabell 5-6. Fosforbalanser (tilført fosfor med gjødsel minus fosfor fjernet med avling) for korn i Akershus og Sør-Trøndelag ved null fosforgjødsling ved P-AL>10, ellers som NIBIO's anbefalte fosforgjødsling til middelavlingen med korrigerings for fylkenes aktuelle P-AL-nivå i jorda.

	P i avling	Middel P gjødsling kg P/dekar/år	P balanse
Akershus			
Hvete	1,5	1,0	-0,5
Bygg	1,3	0,9	-0,4
Havre	1,3	0,9	-0,4
Sør-Trøndelag			
Hvete	1,3	0,7	-0,6
Bygg	1,2	0,6	-0,6
Havre	1,2	0,6	-0,6

5.2.5 Oppsummering – fosforbalanser ved fire gjødslingsalternativer for fosfor til korn

Tabell 5-7 gir en oversikt over beregnede fosforbalanser ved de fire ulike gjødslingsalternativene som er utredet her. Gjødslingsalternativene er følgende:

1. Fosforgjødsling etter dagens forskrift
2. Maksimal fosforgjødsling basert på høyeste normale avling (Kristoffersen et al. 2014)
3. Fosforgjødsling justert etter middelavling og jordas P-AL-tall (NIBIO's gjødslingsanbefalinger)
4. Fosforgjødsling med en strengere P-AL-korreksjon enn NIBIO's gjødslingsanbefalinger

Tabell 5-7. Fosforbalanser (tilført fosfor med gjødsel minus fosfor fjernet med avling) for korn i Akershus og Sør-Trøndelag ved 4 ulike gjødslingsalternativer for fosfor. Se hovedtekst for beskrivelse av de ulike gjødslingsalternativene.

	Alternativ 1	Alternativ 2	Alternativ 3	Alternativ 4
	kg P/dekar/år			
Akershus				
Hvete	+2,0	+1,1- +2,0	-0,4	-0,5
Bygg	+2,2	+1,2	-0,4	-0,4
Havre	+2,2	+1,2	-0,4	-0,4
Sør-Trøndelag				
Hvete	+2,2	+1,3- +1,9	-0,5	-0,6
Bygg	+2,3	+1,3	-0,5	-0,6
Havre	+2,3	+1,3	-0,5	-0,6

5.3 Fosfor i grasavlinger

Det har vært en reduksjon i registrert gjennomsnittlig grasavling fra perioden 1981-2001 til 2010-2015 (Tabell 5-8). For eksempel hadde Rogaland en gjennomsnittlig avling på 976 kg tørrstoff pr. dekar i den første perioden, mens i den siste perioden er registrert gjennomsnittsavling bare 711 kg tørrstoff pr. dekar. Dette kan delvis skyldes usikkerheter i avlingsberegningene for gras. Det er dermed usikkert hva som kan regnes som et representativt avlingsnivå for de enkelte fylkene. I beregningene av fosforbalanser har vi brukt begge alternativene for middelavling. Ved beregning av mengde fosfor som fjernes med avling er det regnet med 0,3 % fosfor i graset.

Tabell 5-8. Fylkesvis gjennomsnittlig tørrstoffavling av gras og fosforinnhold i avlingen for periodene 2010-2015 og 1981-2001. Data fra SSB.

Fylke	2010-2015		1981-2001	
	Avling	P i avling	Avling	P i avling
	kg/dekar			
Østfold	662	2,0	824	2,5
Akershus og Oslo	653	2,0	689	2,1
Hedmark	642	1,9	597	1,8
Oppland	694	2,1	621	1,9
Buskerud	552	1,7	556	1,7
Vestfold	635	1,9	691	2,1
Telemark	555	1,7	465	1,4
Aust-Agder	503	1,5	531	1,6
Vest-Agder	574	1,7	648	1,9
Rogaland	711	2,1	976	2,9
Hordaland	579	1,7	687	2,1
Sogn og Fjordane	588	1,8	707	2,1
Møre og Romsdal	653	2,0	765	2,3
Sør-Trøndelag	643	1,9	712	2,1
Nord-Trøndelag	715	2,1	782	2,3
Nordland	515	1,5	533	1,6
Troms	343	1,0	424	1,3
Finnmark	332	1,0	379	1,1

5.4 Fosforbalanser for gras i Rogaland, Sør-Trøndelag, Nordland og Troms ved ulike gjødslingsalternativer

Vi har gjort beregninger av fosforbalanser for fire alternativer for fosforgjødsling:

1. Fosforgjødsling etter dagens forskrift

Dagens forskrift gir en maksimal fosfortilførsel med husdyrgjødsel på 3,5 kg P/dekar. Utover dette inneholder dagens forskrift ingen restriksjoner på fosfortilførsel. Det betyr at det kan tilføres fosfor med mineralgjødsel i tillegg til husdyrgjødsel.

2. Maksimal fosforgjødsling basert på høyeste normale avling

Dette alternativet angir maksimalt tillatt fosfortilførsel ifølge tabeller over fosforbehovet til høyeste normale avling av ulike vekster i ulike regioner (Kristoffersen et al. 2014). Maksimalverdiene inkluderer fosfor fra alle typer gjødsel.

3. Fosforgjødsling justert etter middelavling og jordas P-AL-tall (NIBIO's gjødslingsanbefalinger)

Etter NIBIO's gjødslingsanbefalinger skal en ta utgangspunkt i næringsbehovet til arealets middelavling og korrigere dette for jordas P-AL, som vist i kap 2.1.1 og Tabell 4-1.

4. Fosforgjødsling ved økt spredearealskrav for husdyrgjødsel

I dette alternativet har vi regnet med et større spredearealskrav for husdyrgjødsel enn det som er i gjeldende forskrift. Vi har her valgt det svenske spredearealskravet som gir maksimal middel fosfortilførsel på 2,2 kg P/dekar/år.

5.4.1 Alternativ 1: Fosforbalanse ved fosforgjødsling etter dagens forskrift

Dagens forskrift gir en maksimal fosfortilførsel med husdyrgjødsel på 3,5 kg P/dekar. Utover dette inneholder dagens forskrift ingen restriksjoner på fosfortilførsel.

Ved beregninger av fosforbalanse har vi forutsatt at det ikke blir brukt mineralfosfor i tillegg til husdyrgjødsel. I JOVA-feltet i Time kommune på Jæren har tilførselen av mineralfosfor vært meget lav de siste årene, og vi antar derfor at forutsetning om utelatelse av mineralfosfor der det tilføres maksimal mengde husdyrgjødsel ikke avviker veldig mye fra praksis. Tabell 5-9 viser at med maksimalt tillatt husdyrhold blir det i middel et betydelig overskudd på fosforbalansen i alle landets regioner. Overskuddet blir spesielt stort i Nord-Norge (2,1 – 2,6 kg P/dekar/år) på grunn av lavere avlingsnivå. For fjellbygdene antar vi at avling og fosforoverskudd ved maksimalt tillatt husdyrhold er på nivå med Nordland.

Tabell 5-9. Fosforbalanser (tilført fosfor med gjødsel minus fosfor fjernet med avling) for gras i Rogaland, Sør-Trøndelag, Nordland og Troms ved maksimalt tillatt husdyrhold etter dagens forskrift.

	P i avling	Tilført P med husdyrgj. kg P/dekar/år	P balanse
Rogaland			
2010-2015	2,1	3,5	+1,4
1981-2001	2,9	3,5	+0,6
Sør-Trøndelag			
2010-2015	1,9	3,5	+1,6
1981-2001	2,1	3,5	+1,4
Nordland			
2010-2015	1,5	3,5	+2,0
1981-2001	1,6	3,5	+1,9
Troms			
2010-2015	1,0	3,5	+2,5
1981-2001	1,3	3,5	+2,2

I Rogaland utgjør den totale husdyrgjødselmengden cirka 2,2 kg P/dekar/år, hvis den fordeles på alt dyrka areal (Hanserud et al. 2015). Tilsvarende tall for Sør-Trøndelag er 1,2 kg P/dekar/år, for Nordland 1,3 kg P/dekar/år, og for Troms 1,1 kg P/dekar/år. På fylkesnivå blir overskuddet på fosforbalansen derfor til dels lavere enn verdiene i Tabell 5-9 (se fylkesvise fosforbalanser i Tabell 2-1). Den fylkesvise totale fosformengen i husdyrgjødsel gjenspeiles i fordelingen på P-AL-klasser, hvor Rogaland har 63 % av jordprøvene i P-AL-klasse Meget høyt, mens Sør-Trøndelag har 33 %, Nordland 30 % og Troms 29 % av jordprøvene i P-AL-klasse Meget høyt.

5.4.2 Alternativ 2: Fosforbalanse ved maksimal fosforgjødsling basert på høyeste normale avling

Dette alternativet angir maksimalt tillatt fosfortilførsel ifølge tabeller over fosforbehovet til høyeste normale avling av ulike vekster i ulike regioner (Kristoffersen et al. 2014). Maksimalverdiene inkluderer fosfor fra alle typer gjødsel.

Tabell 5-10 viser at med maksimalt tillatt fosfortilførsel til gras etter tabellene i Kristoffersen et al. (2014), vil det i middel bli et mindre fosforoverskudd enn ved gjeldende forskrift, men likevel et betydelig fosforoverskudd. Reduksjonen i fosforoverskudd blir størst for Nordland og Troms, fordi reduksjonen i tillatt maksimal fosfortilførsel blir størst her. Årsaken til fortsatt overskudd på fosforbalansen er at det bare er de beste arealene og de beste bøndene som oppnår de høyeste normale avlingene. Middelaavling for hele fylket er betydelig lavere enn de høyeste normale avlingene.

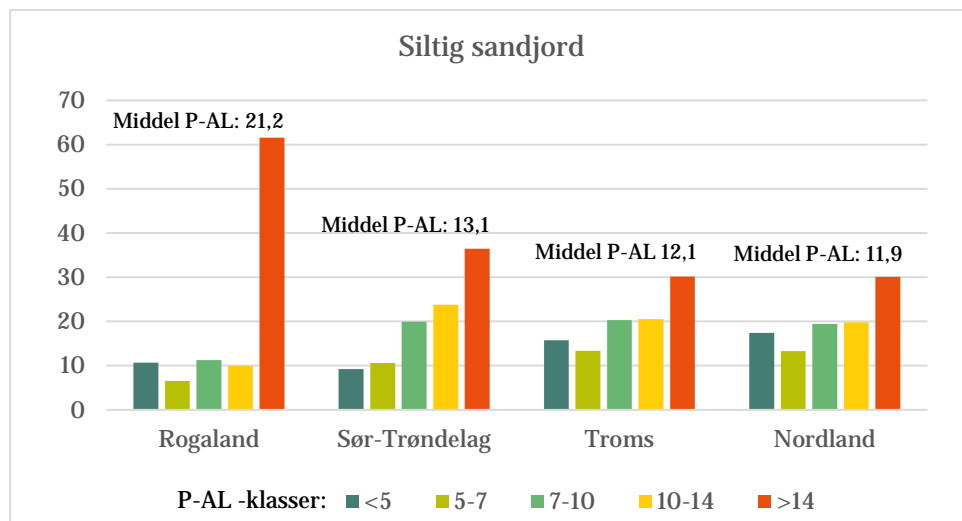
Tabell 5-10. Fosforbalanser (tilført fosfor med gjødsel minus fosfor fjernet med avling) for gras i Rogaland, Sør-Trøndelag, Nordland og Troms ved maksimal fosfortilførsel ifølge fosforbehovet til høyeste normale avling.

	P i avling	Maks P tilførsel kg P/dekar/år	P balanse
Rogaland			
2010-2015	2,1	3,2	+1,1
1981-2001	2,9	3,2	+0,3
Sør-Trøndelag			
2010-2015	1,9	3,2	+1,3
1981-2001	2,1	3,2	+1,1
Nordland			
2010-2015	1,5	2,8	+1,3
1981-2001	1,6	2,8	+1,2
Troms			
2010-2015	1,0	2,5	+1,5
1981-2001	1,3	2,5	+1,2

5.4.3 Alternativ 3: Fosforbalanse ved fosforgjødsling ifølge NIBIO's anbefalinger

Etter NIBIO's gjødslingsanbefalinger skal en ta utgangspunkt i næringsbehovet til arealets middelaavling og korrigere dette for jordas P-AL, som vist i kap 2.1.1 og Tabell 4-1.

I dette alternativet har vi beregnet middel fosforgjødslingsbehov i de enkelte P-AL-klassene for de fylkesvise middelaavlingene. Middel fosforbehov for fylket er beregnet ved å vekte middel fosforgjødslingsbehov for de enkelte P-AL-klassene med andel jordprøver i de respektive klassene. Vi har valgt å gjøre beregningene for grasproduksjon på siltig sandjord. Klassefordelingen for P-AL på siltig sandjord i det enkelte fylket er brukt for å beregne et vektet middel for grasarealenes gjødselbehov (Figur 5-2).



Figur 5-2. Prosentvis fordeling av jordprøver på P-AL-klasser for siltig sandjord i Rogaland, Sør-Trøndelag og Troms. Middelerverdiene for P-AL er for siltig sandjord i de enkelte fylkene (Jorddatabanken, NIBIO).

Tabell 5-11 viser at gjødsling etter anbefalingene vil gi et underskudd på fosforbalansen på grasarealene i alle disse fire fylkene. Underskuddet blir størst i Rogaland og minst i Troms. Underskuddet ved anbefalt fosforgjødsling skyldes at 86 % av arealene i Rogaland, 76 % i Sør-Trøndelag, 69 % i Nordland og 68 % av arealene i Troms har P-AL-nivåer som tilsier at det skal gjødsles med mindre fosfor enn det som fjernes med avlingene.

Tabell 5-11. Fosforbalanser (tilført fosfor med gjødsel minus fosfor fjernet med avling) for gras i Rogaland, Sør-Trøndelag, Nordland og Troms ved NIBIO's anbefalte fosforgjødsling til middelavlingen med korrigering for fylkenes aktuelle P-AL-nivå.

	P i avling	Middel P gjødsling kg P/dekar/år	P balanse
Rogaland			
2010-2015	2,1	0,6	-1,5
1981-2001	2,9	0,8	-2,1
Sør-Trøndelag			
2010-2015	1,9	0,7	-1,2
1981-2001	2,1	0,8	-1,3
Nordland			
2010-2015	1,5	0,8	-0,7
1981-2001	1,6	0,8	-0,8
Troms			
2010-2015	1,0	0,5	-0,5
1981-2001	1,3	0,6	-0,7

Tabell 5-12 viser at ved å følge NIBIO's gjødslingsanbefalinger er fosforbalansen styrt av P-AL-nivået i jorda. Sterkest negativ fosforbalanse er det ved P-AL > 14, der det anbefales å utelate fosforgjødsling. Underskuddet vil være direkte koblet til avlingsnivået. Høyt avlingsnivå ved høye P-AL-nivå i jorda vil føre til raskere tapping av fosforinnholdet i jorda sammenlignet med lavere avlingsnivå. Ved P-AL 5-7 er fosforbalansen lik null. Her ønskes det ikke noen ytterligere nedtrapping av P-AL. Ved P-AL < 5 viser fosforbalansen et overskudd. I dette intervallet er det ønskelig å heve P-AL opp til 5-7, da dette er et mer gunstig nivå for plantevekst, og utgjør svært liten risiko i miljøsammenheng.

Tabell 5-12. Fosforbalanse (tilført fosfor med gjødsel minus fosfor fjernet med avling) ved ulike P-AL-verdier ved NIBIO's anbefalte fosforgjødsling til en grasavling som fjerner 2,0 kg P/dekar.

P-AL	P i avling kg P/dekar	P balanse
1-4	2,0	+0,5 - +2,0
5-7	2,0	0
8-10	2,0	-0,3 - -0,9
11-13	2,0	-1,1 - -1,7
>14	2,0	-2,0

5.4.4 Alternativ 4: Fosforbalanse ved fosforgjødsling med økt spredearealskrav for husdyrgjødsel (reduisert husdyrtetthet)

I dette alternativet har vi regnet med et større spredearealskrav for husdyrgjødsel enn det som er i gjeldende forskrift. Vi har her valgt det svenske spredearealskravet som gir maksimal middel fosfortilførsel på 2,2 kg P/dekar/år.

Ved beregninger av fosforbalanser i alternativ 4 har vi forutsatt at det ikke blir brukt mineralfosfor i tillegg til husdyrgjødsel.

Tabell 5-13 viser at det i middel fortsatt vil være et overskudd på fosforbalansen ved maksimal fosfortilførsel med husdyrgjødsel på 2,2 kg P/dekar/år. Unntaket er for Rogaland ved det høyeste avlingsestimateret, der en fosfortilførsel på 2,2 kg P/dekar/år gir et underskudd på fosforbalansen.

Tabell 5-13. Fosforbalanser (tilført fosfor med gjødsel minus fosfor fjernet med avling) for gras i Rogaland, Sør-Trøndelag, Nordland og Troms ved fosforgjødsling med økt spredearealskrav for husdyrgjødsel (maksimum 2,2 kg P/dekar).

	P i avling	Tilført P med husdyrgj. kg P/dekar/år	P balanse
Rogaland			
2010-2015	2,1	2,2	+0,1
1981-2001	2,9	2,2	-0,7
Sør-Trøndelag			
2010-2015	1,9	2,2	+0,3
1981-2001	2,1	2,2	+0,1
Nordland			
2010-2015	1,5	2,2	+0,7
1981-2001	1,6	2,2	+0,6
Troms			
2010-2015	1,0	2,2	+1,2
1981-2001	1,3	2,2	+0,9

5.4.5 Oppsummering – fosforbalanser ved fire gjødslingsalternativer for fosfor til gras

Tabell 5-14 gir en oversikt over beregnede fosforbalanser ved de fire ulike gjødslingsalternativene som er utredet her. Gjødslingsalternativene er følgende:

1. Fosforgjødsling etter dagens forskrift
2. Maksimal fosforgjødsling basert på høyeste normale avling (Kristoffersen et al. 2014)
3. Fosforgjødsling justert etter middelavling og jordas P-AL-tall (NIBIO's gjødslingsanbefalinger)
4. Fosforgjødsling ved økt spredearealskrav for husdyrgjødsel

Tabell 5-14. Fosforbalanser (tilført fosfor med gjødsel minus fosfor fjernet med avling) for gras i Rogaland, Sør-Trøndelag, Nordland og Troms ved 4 ulike gjødslingsalternativer for fosfor. Se hovedtekst for beskrivelse av de ulike gjødslingsalternativene.

	Alternativ 1	Alternativ 2	Alternativ 3	Alternativ 4
	kg P/dekar/år			
Rogaland				
2010-2015	+1,4	+1,1	-1,5	+0,1
1981-2001	+0,6	+0,3	-2,1	-0,7
Sør-Trøndelag				
2010-2015	+1,6	+1,3	-1,2	+0,3
1981-2001	+1,4	+1,1	-1,3	+0,1
Nordland				
2010-2015	+2,0	+1,3	-0,7	+0,7
1981-2001	+1,9	+1,2	-0,8	+0,6
Troms				
2010-2015	+2,5	+1,5	-0,5	+1,2
1981-2001	+2,2	+1,2	-0,7	+0,9

6 Endring i P-AL ved ulike fosforbalanser

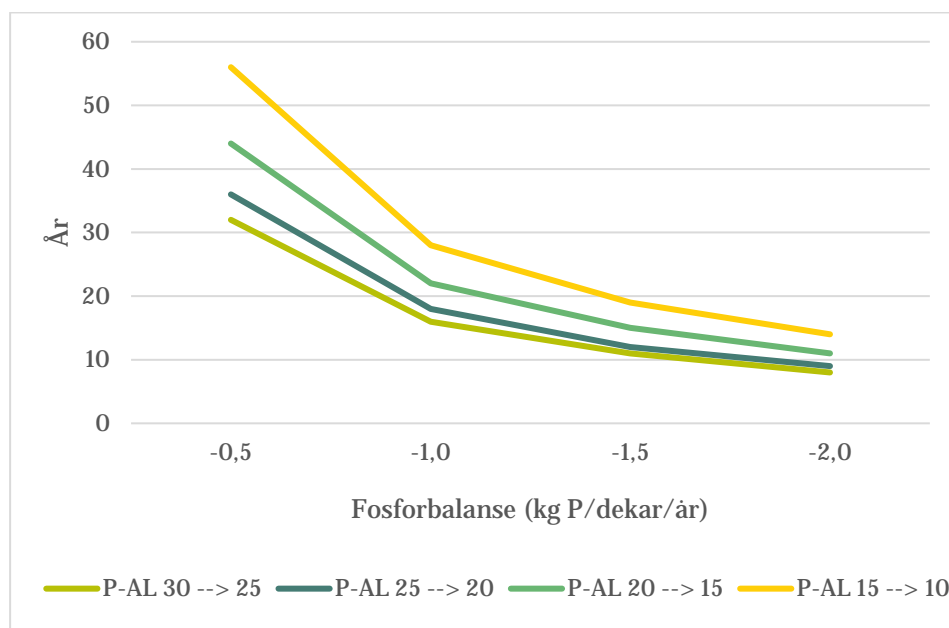
Funksjoner for sammenhengen mellom total P/P-AL og P-AL som er brukt i kapittel 4.2 for å beregne jordas totale fosforinnhold ved ulike P-AL-verdier kan også brukes for å estimere endringen i P-AL over tid ved ulike fosforbalanser. Tabell 6-1 viser hvor mange år det vil ta å redusere P-AL med 5 P-AL enheter fra henholdsvis P-AL 30, 25, 20 og 15 ved ulike negative fosforbalanser (tilført fosfor minus fosfor fjernet med avling). De samme tallene er illustrert i Figur 6-1. Ved positive fosforbalanser vil det ta tilsvarende lang tid å øke jordas P-AL-verdier.

Tabellen og figuren viser at å endre P-AL i jord er en svært langsom prosess. Ved en negativ fosforbalanse på en kilo fosfor hvert år, vil det for eksempel ta 56 år å redusere P-AL fra 30 til 15. Hvis fosforbalansen er -1,5 kg P pr år, vil det ta 38 år å redusere fra P-AL 30 til 15.

Tabellen og figuren viser også at jo høyere start-verdien for P-AL er, jo raskere reduseres P-AL ved negative fosforbalanser. Dette skyldes at en del av fosforet er mindre sterkt bundet ved høye P-AL-verdier enn ved lavere P-AL-verdier.

Tabell 6-1. Estimert antall år det vil ta å redusere P-AL med 5 enheter fra henholdsvis P-AL 30, 25, 20 og 15 ved ulike negative fosforbalanser (tilført fosfor minus fosfor fjernet med avling).

Fosforbalanse kg P/daa/år	P-AL 30 → 25	P-AL 25 → 20	P-AL 20 → 15	P-AL 15 → 10
-0,5	32	36	44	56
-1,0	16	18	22	28
-1,5	11	12	15	19
-2,0	8	9	11	14



Figur 6-1. Estimert antall år det vil ta å redusere P-AL med 5 enheter fra henholdsvis P-AL 30, 25, 20 og 15 ved ulike negative fosforbalanser (tilført fosfor minus fosfor fjernet med avling).

7 Endring i fosfortap ved negative fosforbalanser

Kompliserte prosesser i resipienten styrer i hvilken grad fosfor fra jordbruksavrenning bidrar til algevekst i elver og innsjøer (Øgaard et al. 2012). Det er spesielt usikkert i hvilken grad partikkelbundet fosfor bidrar til algevekst i resipienten. Estimering av effekter av redusert fosforgjødsling på vannmiljø er derfor begrenset til å estimere effekten på fosforavrenning fra jordbruksarealer. Vi forventer at redusert fosforavrenning vil bidra til at vannkvaliteten i sårbare resipienter forbedres over tid. Vi har bare estimert effekten av negative fosforbalanser (fosfor i gjødsel < fosfor fjernet med avling) på fosfortapene for å vise potensialet ved redusert fosforgjødsling. Vi har vurdert effekten av redusert fosforgjødsling på tapene av både totalfosfor og løst fosfat. Totalfosfor er den parameteren som brukes i tilstandsvurderinger og tiltaksanalyser, men deler av fosforet som følger med erosjonen fra jordbruksarealer kan være sterkt bundet til partiklene og lite biologisk tilgjengelig. Vi har derfor også vurdert effekten på tapene av løst fosfat. Det er den vannløselig fosforfraksjonen som er mest biologisk tilgjengelig, og som i størst grad vil påvirke algeveksten i elver og innsjøer.

7.1 Endring i tap av totalfosfor

Vi har estimert effekten av negative fosforbalanser på tap av totalfosfor ved ulike erosjonsrisiko. Vi har valgt en erosjonsrisiko fra hver av erosjonsrisikoklassene Lav, Middels, Høy og Meget høy. Videre har vi valgt P-AL 20 som startnivå. Dette nivået er i klasse Meget høyt hvor det er anbefalt å utelate fosforgjødsling. Med disse forutsetningene har vi beregnet endring i fosfortap hvis jordas totale fosforinnhold reduseres med henholdsvis 10 og 30 kg P pr. dekar. Antall år det tar for å redusere jordas fosforinnhold med 10 eller 30 kg P pr. dekar avhenger av størrelsen på fosforunderskuddet. Tap av totalfosfor for de ulike eksemplene er estimert med beregningsmodellen Agricat 2 (Kværnø et al. 2014). Agricat er en modell som kan brukes til å beregne tap av jord og fosfor fra jordbruksarealer med ulike erosjonsrisiko og med ulike driftssystem. Modellen er utviklet av Bioforsk/NIBIO, og den er brukt i en rekke prosjekter hvor resultatene brukes som støtte i tiltaksplanleggingen for redusert fosfortap. Modellen er basert på eksisterende kunnskap og er det beste verktøyet vi har for å estimere effekter på fosfortap ut i fra lett tilgjengelige parametere. Vi vil imidlertid understreke at resultater fra slike beregningsmodeller har stor usikkerhet og kan derfor bare gi indikasjoner på effekten av redusert fosforinnhold i jord på fosfortapene.

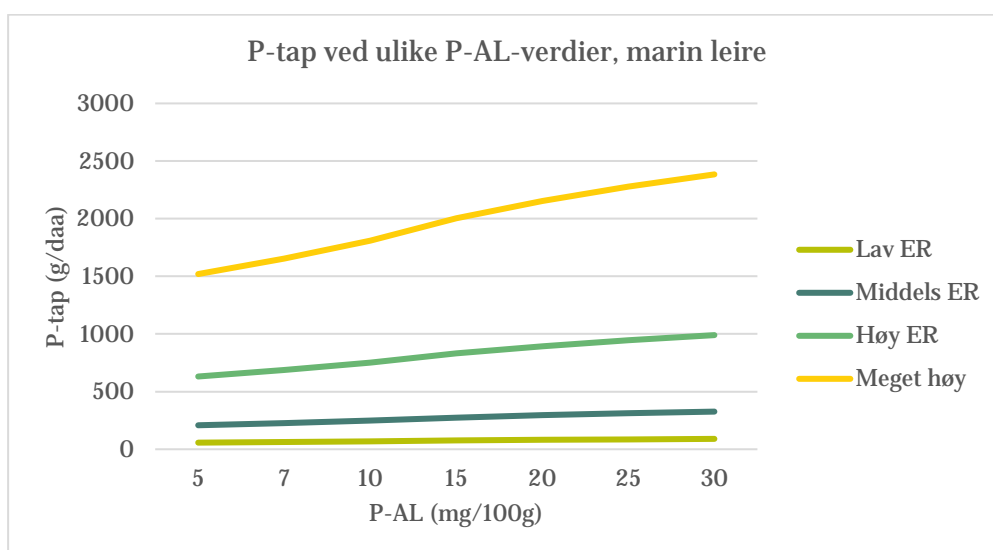
Resultatene fra beregningene med Agricat 2 er vist i Tabell 7-1, Figur 7-1 og Figur 7-2. Tabellen viser at ved samme P-AL-verdi (P-AL 20) er de estimerte fosfortapene større fra marin leirjord enn fra siltig sandjord. Endringene i fosfortap etter reduksjon i jordas fosforinnhold på henholdsvis 10 og 30 kg P pr. dekar, ble imidlertid likt for begge jordtypene. Det er derfor ikke skilt på jordtype i Tabell 7-1 for endring i tap ved tapping av jordas fosforinnhold.

Tabell 7-1. Estimert årlig fosfortap (g P/dekar/år) for marin leirjord og siltig sandjord med P-AL 20 ved ulike erosjonsrisiko (kg jord/dekar/år), og endring i årlig fosfortap etter fjerning av henholdsvis 10 og 30 kg P/dekar. Fosfortap er beregnet med beregningsmodellen Agricat 2.

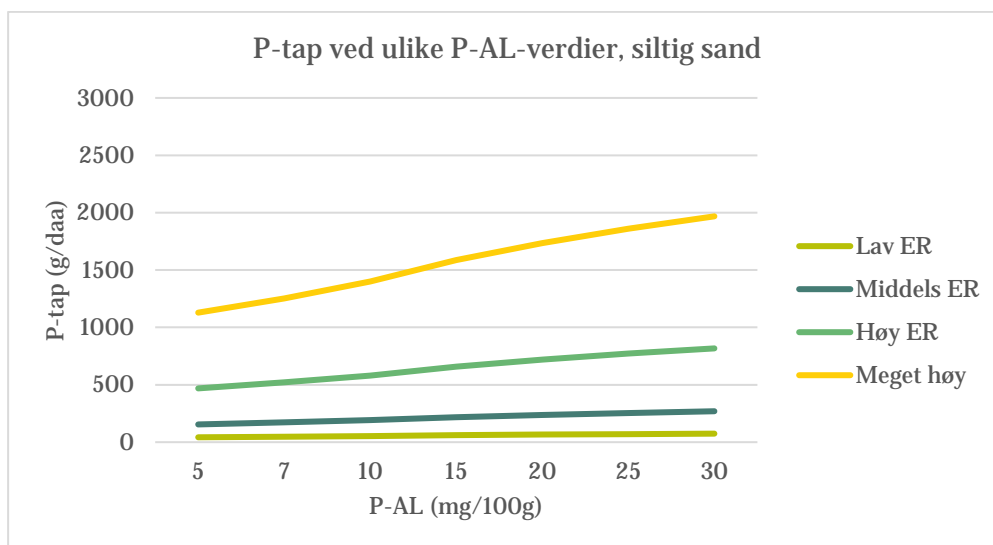
	Erosjons-risiko: 25 (Lav) 125 (Middels) 500 (Høy) 1500 (Meget høy)				
	P reduksjon i jord (kg P/daa)		Årlig P-tap og endring i årlig tap (g P/dekar/år)		
Tap leirjord		81	295	894	2153
Tap sandjord		66	238	721	1736
Endring i tap	-10	-3	-9	-30	-71
Endring i tap	-30	-8	-29	-88	-212

Sammenlignet med estimert fosfortap fra jord med P-AL 20 ved ulike erosjonsrisiko, er reduksjonen i fosfortap etter tapping av jordas fosforinnhold med henholdsvis 10 og 30 kg P pr. dekar lav.

Figur 7-1 og Figur 7-2 viser hvordan estimert fosfortap endres med P-AL ved ulike erosjonsrisiko for marin leirjord og siltig sandjord. Ved lav erosjonsrisiko er absoluttverdien for tap lav og effekten av redusert fosforinnhold i jord blir derfor meget lav, målt som tap i g P pr. dekar (Tabell 7-1). Ved høy erosjonsrisiko blir reduksjonen i tap ved redusert fosforinnhold i jorda betydelig selv om det bare utgjør en liten andel av det opprinnelige tapet. Årsaken til at endringene i totalt fosfortap utgjør en svært liten andel av startverdiene for fosfortap, er at reduksjon i jordas fosforinnhold på 10-30 kg P pr. dekar bare utgjør en liten del av jordas totale fosforinnhold (Tabell 4-2). Tabell 4-2 viser også at en jord med P-AL 20 inneholder 70-75 kg mer fosfor pr. dekar enn en jord med P-AL 7. Oppbyggingen av jordas fosforinnhold har pågått i flere ti-år, og det er derfor mye fosfor som skal fjernes for at jorda skal komme ned på det fosfornivået vi anser som optimalt med hensyn til både avling og miljø.



Figur 7-1. Fosfortap ved ulike P-AL-verdier og erosjonsrisiko (ER) for marin leirjord. Beregnet med Agricat 2. Se Tabell 7-1 for verdiene av erosjonsrisiko som er brukt i beregningene.



Figur 7-2. Fosfortap ved ulike P-AL-verdier og erosjonsrisiko (ER) for siltig sandjord. Beregnet med Agricat 2. Se Tabell 7-1 for verdiene av erosjonsrisiko som er brukt i beregningene.

7.2 Løst fosfat

7.2.1 Endring i tap av løst fosfor

Det er den vannløselig fosforfraksjonen i avrenningen fra jordbruksarealer som er mest biologisk tilgjengelig, og som i størst grad vil påvirke algeveksten i elver og innsjøer. Det er derfor denne fosforfraksjonen det er viktigst å få redusert. Mengden løst fosfor øker med økende P-AL i jorda (Figur 3-3), men mengden løst fosfor i avrenningen styres også av flere andre faktorer enn P-AL. Direkte tap fra planterester og avrenning fra gjødsel er faktorer som i tillegg har betydning for tapet av vannløselig fosfor fra jordbruksarealer. Det er derfor vanskelig å sette en faktor for andel vannløselig fosfor i jordbruksavrenningen ut i fra feltresultater. Ekstraksjoner i laboratoriet kan si noe om det relative bidraget av løst fosfor for jord med ulikt P-AL-nivå, men fordi det er høy jordkonsentrasjon i ekstraksjonsvæska sammenlignet med avrenningsvann, blir den faktiske vannløselige mengden underestimert i ekstraksjoner i laboratoriet. Vi kan derfor ikke estimere de faktiske tapene av løst fosfat ved ulik P-AL-verdi i jorda. Vi har i stedet valgt å vise de relative konsentrasjonene av vannløselig fosfor i jord med ulik P-AL (Tabell 7-2). Konsentrasjonen av vannløselig fosfor i jord med P-AL 7 er satt til 1. Tabell 7-2 er basert på resultater hentet fra flere ulike prosjekter. De fleste dataene er upubliserte per i dag. Verdiene i tabellen viser for eksempel at tapet av vannløselig fosfor er 3,6 ganger høyere ved P-AL 25 enn ved P-AL 7.

Tabell 7-2. Relative konsentrasjoner av vannløselig fosfor (Vann-P) i jord med ulik P-AL. Konsentrasjonen av vannløselig fosfor i jord med P-AL 7 er satt til 1.

P-AL	Rel. kons. Vann-P
7	1
10	1,4
15	2,1
20	2,9
25	3,6

Tapping av jordas fosforinnhold gir ulik grad av reduksjon i P-AL avhengig av hvor på P-AL-skalaen jorda befinner seg. Jo høyere P-AL-verdi, jo raskere reduksjon i P-AL ved underskudd på fosforbalansen. Dette betyr videre at ved tapping av fosfor i jorda, blir reduksjonen i vannløselig fosfor også raskere når P-AL er høy sammenlignet med tapping fra lavere P-AL-verdier.

Tabell 7-3 viser hvordan relative verdier for vannløselig fosfor endres ved tapping av henholdsvis 10 og 30 kg fosfor pr. dekar fra ulike P-AL-nivåer. Konsentrasjonen av vannløselig fosfor i jord med P-AL 7 er også her satt til 1. Tapping av 30 kg fosfor pr. dekar fra P-AL 15 gir reduksjon i faktoren for vannløselig fosfor på 0,7, mens tilsvarende tapping fra P-AL 30 gir reduksjon i denne faktoren på 1,3. Tapping av fosfor fra høye P-AL-verdier har dermed en betydelig større effekt på tapene av vannløselig fosfor enn fosfortapping fra lavere P-AL-verdier. Sammenlignet med den relative reduksjonen i totalt fosfortap ved tapping av 10 eller 30 kg P pr. dekar (Tabell 7-1), er reduksjonen i vannløselig fosfor større. Dette indikerer at effekten på vannmiljø av tapping av jordas fosforinnhold er større enn det reduksjonen i de totale fosfortapene skulle tilsi.

Tabell 7-3. Endring av relative konsentrasjoner for vannløselig fosfor (Vann-P) ved tapping av henholdsvis 10 og 30 kg fosfor pr. dekar fra ulike startverdier for P-AL. Konsentrasjonen av vannløselig fosfor i jord med P-AL 7 er satt til 1.

	Start	-10 kg P/dekar	-30 kg P/dekar
P-AL	15	13	9,6
Relativ Vann-P	2,1	1,9	1,4
P-AL	20	17,6	13,3
Relativ Vann-P	2,9	2,5	1,9
P-AL	25	22,2	17,3
Relativ Vann-P	3,6	3,2	2,5
P-AL	30	26,8	21,2
Relativ Vann-P	4,3	3,8	3,0

7.3 Potensielt algetilgjengelig fosfor

Løst fosfat er nesten fullstendig tilgjengelig for algevekst (Løvstad, 1984; Blakar og Løvstad, 1990; Foy, 2005). Men også en del av det partikkelbundet fosforet kan være tilgjengelig for algene. Organiske forbindelser utskilt av alger og blågrønnbakterier kan bidra til å øke frigjøringen av partikkelbundet fosfor (Grobbehaar, 1983). I sterkt eutrofe innsjøer med høy pH, kan en også få økt frigjøring på grunn av det høye pH-nivået. I norsk jord er fosfor hovedsakelig bundet til jern og aluminium og disse bindingene avtar med økende pH. Det organiske fosforet i erodert jord har antagelig lav algetilgjengelighet (Øgaard et al., 2012).

Det er en lineær sammenheng mellom P-AL og potensielt algetilgjengelig fosfor, målt som totalt reaktivt fosfor (TRP) (Øgaard, 1995):

$$\text{TRP} = 2,94 + 1,76 \text{ P-AL}$$

Ligningen forteller at konsentrasjonen av potensielt algetilgjengelig fosfor i jord er omtrent det dobbelte av P-AL-konsentrasjonen. Vi vil imidlertid understreke at dette er potensielt algetilgjengelig fosfor. I hvilken grad partikkelbundet fosfor blir utnyttet av algene ute i vassdraget er som nevnt tidligere, avhengig av mange prosesser i innsjøen, og vil derfor sannsynligvis variere fra innsjø til innsjø. Ligningen antyder likevel at reduksjon av unødvendige høye P-AL-verdier i jord er viktig for å redusere miljøbelastningen av erodert jord.

8 Konsekvenser for vannmiljø og jordbruk

Dette kapitlet gir en samlet vurdering av konsekvensene av ulike restriksjoner på fosforgjødsling for vannmiljø. Konsekvensene for vannmiljø begrenses til effekt på fosfortapene fra jordbruksarealer. Effekt på vannkvaliteten i innsjøer av endrede fosfortilførsler er ikke inkludert her. I tillegg blir konsekvensene for avlinger og husdyrhold i grasdistriktene utredet.

8.1 Korn

Følgende fire gjødslingsalternativer er vurdert:

1. Fosforgjødsling etter dagens forskrift
2. Maksimal fosforgjødsling basert på høyeste normale avling (Kristoffersen et al. 2014)
3. Fosforgjødsling justert etter middelavling og jordas P-AL-tall (NIBIO's gjødslingsanbefalinger)
4. Fosforgjødsling med en strengere P-AL-korreksjon enn NIBIO's gjødslingsanbefalinger (Ingen fosforgjødsling ved P-AL >10)

8.1.1 Korndyrking - konsekvenser for vannmiljø

Begrensningene i fosfortilførsel etter dagens forskrift (alternativ 1), gjelder bare for husdyrgjødsel. Siden det totale husdyrholdet i kornområdene er lavt, er det få som gjødsler med maksimalt tillatt mengde. Men det kan være enkeltgårder som fungerer som "hot spots" i nedbørfeltet. Bruk av avløpsslam gir store fosfortilførsler på enkeltgårder i kornområdene. Løseligheten av dette fosforet varierer mellom slamtyper, men er mye lavere enn for husdyrgjødsel. Effekt av avløpsslam på risiko for fosfortap er utredet tidligere (Øgaard og Bøen, 2012), og er derfor ikke inkludert i denne utredningen.

I kornområdene gir innstramningene på tillatt fosfortilførsel ifølge alternativ 2 (maksimal fosforgjødsling basert på høyeste normale avling) minimal effekt på vannmiljø. Høstvetarealene blir nesten ikke berørt av innstramningen, mens på vårkornarealene må den maksimale tilførselen med fosfor reduseres fra 3,5 kg til 2,5 kg fosfor/dekar/år. Det kan være enkeltgårder med husdyrproduksjon som må øke sitt spredeareal og dermed redusere overdoseringen med fosfor. Vi har ikke tall på hvor store arealer dette gjelder, men siden det totale husdyrholdet i kornområdene er lavt, antar vi at det bare er en svært liten del av arealet som vil få innstramninger på fosfortilførselene. Videre, en fosfortilførsel på 2,5 kg fosfor/dekar/år til vårkorn vil som regel øke jordas fosforstatus. En reduksjon i fosforoverskudd på enkeltgårder kan imidlertid gi en lokal reduksjon i fosfortap, siden disse arealene kan være «hot spots» i nedbørfeltet.

Fosforgjødsling etter NIBIO's gjødslingsanbefalinger (alternativ 3) vil på sikt ha en positiv effekt på vannmiljø, fordi gjødslingen skal reguleres etter jordas P-AL-verdi, slik at over tid vil jordas P-AL bevege seg mot P-AL 5-7. Dette P-AL-intervallet regner vi som optimalt med hensyn til å oppnå gode avlinger samtidig som miljøbelastningen blir minst mulig.

Den årlige endringen i jordas totale fosforinnhold ved å utelate fosforgjødsling ved høye P-AL-tall er liten sammenlignet med jordas totale fosforinnhold. Dette medfører at reduksjonen i det totale fosfortapet som følge av redusert fosforgjødsling er liten i et ti-års perspektiv. Det viktigste tiltaket for å redusere tapene av totalfosfor er å redusere erosjonsrisikoen.

Effekten av å redusere jordas fosforinnhold på tap av biotilgjengelig fosfor er imidlertid større. Vannløselig fosfor øker lineært med jordas P-AL-verdi, slik at tapene av løst fosfat kan være dobbelt så høyt ved P-AL 20 som ved P-AL 10. Tilsvarende vil tapene av potensielt biotilgjengelig fosfor (løst

fosfat + en andel av partikkelbundet fosfat) også avta lineært med avtagende P-AL. Reduksjon i jordas P-AL-verdi vil også føre til at gjødsel fosfor bindes raskere til jorda, slik at det blir mindre risiko for tap i tilfeller med avrenningsepisoder like etter gjødsling.

Sterkere restriksjoner på fosforgjødsling enn NIBIO's gjødslingsanbefalinger (alternativ 4) ved å utelate fosforgjødsling ved P-AL >10 i stedet for P-AL > 14 vil totalt sett ha en liten effekt på fosfortapene, fordi det allerede er en sterk reduksjon i anbefalt fosforgjødsling i P-AL-intervallet 10-14.

Som nevnt i kapittel 2.1.1 ble det innført nye gjødslingsanbefalinger i 2007/08. Beregninger av fosforforbruket basert på de nye anbefalingene viser at fosfortilførselen til kornarealer kan tilnærmet halveres i forhold til tidligere anbefalinger (Kristoffersen 2010). Gjødselstatistikken bekrefter at endrede gjødslingsnormer har hatt betydning for fosforforbruket i mineralgjødsel (Figur 2-2), men reduksjonen er mindre enn det de nye anbefalingene skulle tilsi. En del bønder velger å gjødsle med mer fosfor enn det anbefalingene sier. På sikt vil likevel de nye gjødslingsanbefalingene føre til en nedtrapping av fosfornivået i jorda mange steder. Dette gjelder spesielt der det bare brukes mineralgjødsel. Med husdyrgjødsel på gården, vil nødvendigheten av å spre denne gjødselen overstyre optimal fosforgjødsling ut i fra jordas P-AL-verdier.

8.1.2 Konsekvenser for kornavling

Konsekvensene for avling av korn begrenses til fosforgjødslingsalternativ nr. 4 (ingen fosforgjødsling ved P-AL >10). Vi anser at fosforgjødslingsalternativene 1-3 ikke har negative konsekvenser for avling. Ved vurdering av konsekvenser for bonden, antar vi også at overskudd av husdyrgjødsel ikke blir et problem i kornområdene, fordi det sannsynligvis finnes nabogårder som kan ta imot overskuddsgjødsel.

Det er gjennomført to større gjødslingsserier med fosfor til korn i Norge de siste 20 årene som gir grunnlag for å vurdere avlingskonsekvensene av å utelate fosforgjødsling ved P-AL >10. I tillegg er det gjennomført et potteforsøk for å undersøke responsen på fosforgjødsling ved ulike P-AL-nivå. Oppsummert viser disse forsøkene at null fosforgjødsling fra P-AL >10 i stedet fra P-AL >14 vil redusere avlingen med i gjennomsnitt 5 % i P-AL-intervallet 10-14. Nærmere beskrivelse av forsøksresultatene er gitt nedenfor.

8.1.2.1 Beskrivelse av forsøksresultater

Avlingseffekten av fosforgjødsling i felt viser stor variasjon. I tillegg til jordas fosforstatus har jordfysiske forhold, temperatur og nedbør betydning for responsen på fosforgjødsling.

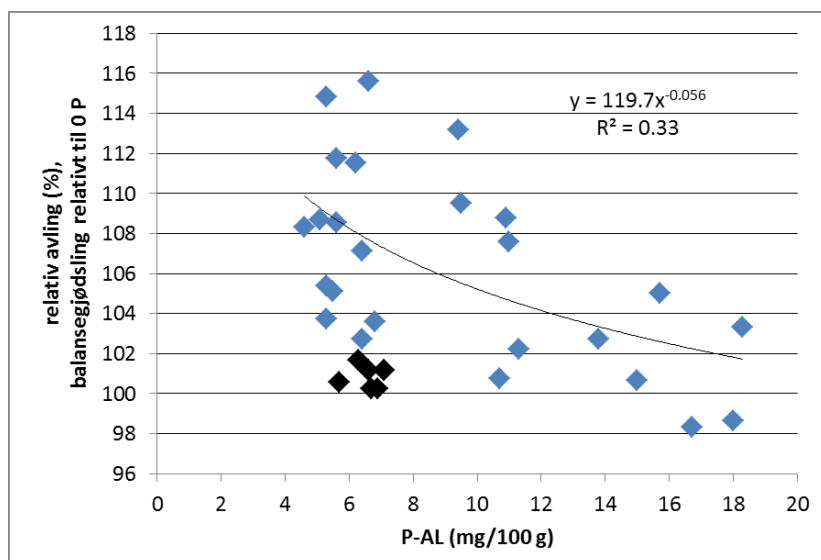
I 1998-2003 ble det gjennomført fastliggende fosforgjødslingsforsøk på ulike steder i Norge (Hoel et al. 2005). Resultatene viste til en viss grad en sammenheng mellom P-AL og avlingsrespons (Tabell 8-1).

Tabell 8-1. Relativ avlingsøkning for P-gjødsling (1,5 kg P/dekar) i forhold til ugjødslet ledd gruppert ut fra P-AL-nivået i jorda ved anlegg av forsøkene.

P-AL-intervall (mg P/100 g jord)	Relativ avlingsøkning for P-gjødsling, %
under 5	110 ± 11
5-7	107 ± 6
7-10	105 ± 8
10-14	105 ± 6
over 14	101 ± 4

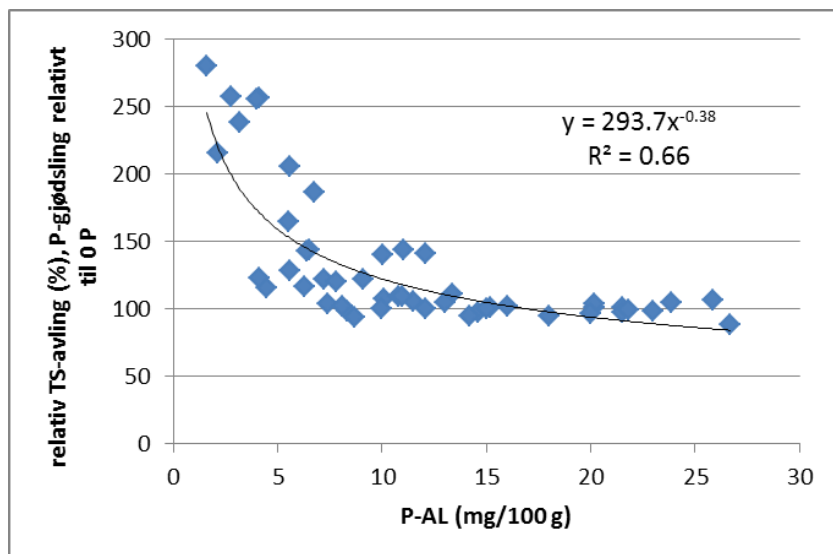
Ved P-AL mellom 10-14 var avlingsøkning ved fosforgjødsling i gjennomsnitt 5 % i forhold til ugjødsla, med et standardavvik på 6 %. Det vil si at i noen tilfeller var det ikke utslag for fosforgjødsling, mens det andre ganger var avlingsøkning langt over 5 % ved fosforgjødsling.

Dette resultatet bekreftes også av en forsøksserie som gikk fra 2006-2011 (Kristoffersen 2013). Figur 8-1 viser store variasjoner i avlingsrespons, men likevel en klar tendens til avtagende respons for fosforgjødsling ved økende P-AL. Ved P-AL over 14 var det som regel liten/ingen respons for fosfor, mens ved P-AL 10-14 vil utelatelse av fosforgjødsling i gjennomsnitt redusere avlingen med rundt 5 %.



Figur 8-1. Sammenheng mellom P-AL og relativ avling ved fosforgjødsling. Avling uten fosforgjødsling er satt til 100.

I potteforsøk i veksthus blir vekstforholdene like, slik at det bare er jorda som bestemmer forskjellene i avlingsrespons på fosforgjødsling. I et potteforsøk med ulike jordtyper med ulike P-AL-nivå viste resultatene samme bildet som feltforsøkene, men med mindre variasjon. Responsen for fosforgjødsling avtok ved økende P-AL (Figur 8-2). Ved P-AL over 14 var det svært liten respons for fosforgjødsling. Nivået på den relative avlingsøkningen fra potteforsøk har mindre relevans sammenlignet med feltforsøk. Men resultatene bekrefter at ved å utelate fosforgjødsling allerede fra P-AL 10 innebærer en kostnad i form av redusert avling, sammenlignet med å beholde P-AL 14 som nivå for utelatelse av fosforgjødsling.



Figur 8-2. Sammenheng mellom P-AL og relativ tørrstoff(TS)-avling ved fosforgjødsling. Avling der det ikke er gjødslet med fosfor er satt til 100.

8.1.3 Oppsummering av konsekvenser for korn

Av de fire alternativene for restriksjoner på fosforgjødsling er det alternativ 4 (ingen fosforgjødsling ved P-AL >10) som gir den største reduksjonen i fosfortap fra jordbruksarealene på grunn av størst tapping av jordas fosforinnhold, men reduksjonen er bare litt større enn for gjødslingsalternativ 3 (gjødsling etter NIBIO's gjødslingsanbefalinger). På grunn av redusert fosfortap har vi angitt positiv effekt på vannmiljø for alternativ 3 og 4 (Tabell 8-2). Den positive effekten på vannmiljø er imidlertid langsiktig. Det forventes at det vil ta mange år før den positive effekten blir tydelig. Alternativ 1 og 2 (fosforgjødsling etter dagen forskrift og maksimal fosforgjødsling basert på høyeste normale avling) vil begge kunne gi et overskudd på fosforbalansen og dermed økning av jordas fosforinnhold. Vi har derfor angitt en negativ effekt på vannmiljø for disse to alternativene (Tabell 8-2). Forskjellen mellom alternativ 1 og 2 er ikke så stor, og vi har derfor angitt lik effekt på vannmiljø. Alternativ 4 er det eneste av disse gjødslingsrestriksjonene som kan ha negative konsekvenser for bonden i form av reduserte avlinger.

Tabell 8-2. Konsekvenser for vannmiljø og bonde av de fire gjødslingsalternativene til korn¹⁾.

0 = ingen effekt, - = negativ effekt og + = positiv effekt

Gjødslings- alternativ ¹⁾	Østlandet		Midt-Norge	
	Vannmiljø	Bonde	Vannmiljø	Bonde
1	-	0	-	0
2	-	0	-	0
3	+	0	+	0
4	+	-	+	-

¹⁾ 1. Fosforgjødsling etter dagens forskrift

2. Maksimal fosforgjødsling basert på høyeste normale avling (Kristoffersen et al. 2014)

3. Fosforgjødsling justert etter jordas P-AL-tall (NIBIO's gjødslingsanbefalinger)

4. Fosforgjødsling med en strengere P-AL-korreksjon enn NIBIO's gjødslingsanbefalinger. Ingen fosforgjødsling ved P-AL >10.

8.2 Gras

Følgende fire gjødslingsalternativer er vurdert:

1. Fosforgjødsling etter dagens forskrift
2. Maksimal fosforgjødsling basert på høyeste normale avling (Kristoffersen et al. 2014)
3. Fosforgjødsling justert etter middelavling og jordas P-AL-tall (NIBIO's gjødslingsanbefalinger)
4. Fosforgjødsling ved økt spredearealskrav for husdyrgjødsel (2,2 kg P/dekar/år)

8.2.1 Grasproduksjon med husdyrgjødsel - konsekvenser for vannmiljø

Det er bare alternativet med gjødsling etter NIBIO's gjødslingsanbefalinger (alternativ 3) som gir underskudd på fosforbalansen og reduserte fosfortap, og dermed forventes å ha en positiv effekt på vannmiljø på sikt. Ved fosforgjødsling etter NIBIO's gjødslingsanbefalinger vil jordas P-AL-verdi bevege seg mot P-AL 5-7. Dette P-AL-intervallet regner vi som optimalt med hensyn til å oppnå gode avlinger samtidig som miljøbelastningen blir minst mulig. Den årlige endringen i jordas totale fosforinnhold ved å utelate fosforgjødsling ved høye P-AL-tall er imidlertid liten sammenlignet med jordas totale fosforinnhold. Dette medfører at reduksjonen i det totale fosfortapet som følge av redusert fosforgjødsling er liten i et ti-års perspektiv.

Effekten av å redusere jordas fosforinnhold på tap av biotilgjengelig fosfor er imidlertid større. Vannløselig fosfor øker lineært med jordas P-AL-verdi, slik at tapene av løst fosfat kan være dobbelt så høyt ved P-AL 20 som ved P-AL 10. Tilsvarende vil tapene av potensielt biotilgjengelig fosfor (løst fosfat + en andel av partikkelbundet fosfat) også avta lineært med avtagende P-AL. Reduksjon i jordas P-AL-verdi vil også føre til at gjødsel fosfor bindes raskere til jorda, slik at det blir mindre risiko for tap i tilfeller med avrenningsepisoder like etter gjødsling.

For alternativ 1, 2 og 4 vil det være et overskudd på fosforbalansen, det vil si at det tilføres mer fosfor enn hva som fjernes med avling. Det vil dermed ikke skje en nedtrapping av fosforinnholdet i jorda der spredearealkravet utnyttes fullt ut, og i en del tilfeller vil jordas fosforinnhold fortsatt øke. Alternativene vil dermed gi en fortsatt negativ effekt på vannmiljøet, men en negativ utvikling på vannmiljø kan bremses ved redusert fosforoverskudd ved alternativ 4 og til dels ved alternativ 2.

8.2.2 Konsekvenser for grasavling

Vi anser at fosforgjødslingsalternativene 1 til 4 for gras ikke har negative konsekvenser for avling. Gjødsling etter NIBIO's gjødslingsanbefalinger er det alternativet som gir minst fosforgjødsling (alternativ 3), og anbefalt fosforgjødsling skal være tilstrekkelig for plantenes fosforbehov.

8.2.3 Konsekvenser for husdyrhold

8.2.3.1 Fosforgjødsling etter dagens forskrift – alternativ 1

Fosforgjødsling etter dagens forskrift vil ikke få noen konsekvenser for husdyrholdet utover de rammene som allerede ligger der.

8.2.3.2 Maksimal fosforgjødsling basert på høyeste normale avling – alternativ 2

Konsekvenser for husdyrhold av maksimal fosfortilførsel basert på høyeste normale avling ble utredet i konsekvensvurderingen i 2014 (Øgaard et al., 2014). På kommunenivå var det bare Hå og Klepp i Rogaland som har utskilt mengde fosfor i husdyrgjødsel som overstiger forslagene til maksimale tilførsler. I de regionene som får redusert maksimal mengde fosfor som kan tilføres, vil det være

tilstrekkelig med spredeareal på kommunenivå. Enkeltbruk kan likevel få for lite spredeareal i disse områdene.

8.2.3.3 Fosforgjødsling justert etter middelavling og jordas P-AL-tall (NIBIO's gjødslingsanbefalinger) – alternativ 3

Dette alternativet vil gi stort overskudd av husdyrgjødsel i husdyrregionene. Vi har gjort beregninger av fosforoverskudd for Rogaland hvor husdyrtettheten er størst. Vi har regnet med to alternativer for middel avling, 700 og 1000 kg tørrstoff pr. dekar. Totalt fosforbehov i Rogaland for disse to avlingsalternativene er henholdsvis 630 og 845 tonn fosfor. Vi har da antatt grasproduksjon på hele jordbruksarealet. I praksis vil noen arealer ha mindre fosforbehov (korn), mens andre arealer (grønnsaker og poteter) kan til dels ha større fosforbehov. Utskilt fosfor i husdyrgjødsel ble beregnet til 2188 tonn fosfor som middel for årene 2009-2011 (Hanserud et al., 2015). Overskuddet av fosfor i husdyrgjødsel innenfor regionen blir dermed i størrelsesorden 1343 - 1558 tonn pr. år (384 000 – 445 000 gjødseldyrenheter (GDE)), hvis NIBIO's gjødslingsanbefalinger skal følges.

8.2.3.4 Fosforgjødsling ved økt spredearealskrav for husdyrgjødsel (2,2 kg P/dekar/år) – alternativ 4

Konsekvensene av dette forslaget for husdyrhold i Rogaland ble utredet i 2011 (Knutsen og Magnussen, 2011). Da ble det beregnet at hvis kravet til spredeareal skjerpes til 2,2 kg P/dekar/år, vil Rogaland mangle nesten 206 tusen dekar spredeareal når beitefradrag er trukket fra og spredeareal på innmark er lagt til. Det ble videre beregnet at husdyrholdet i fylket da må reduseres tilsvarende 32 175 GDE i forhold til dagens produksjon, noe som tilsvarer om lag 113 tonn fosfor pr. år. Utenfor Rogaland er det svært få kommuner som har utskilt mengde fosfor i husdyrgjødsel som overstiger 2,2 kg P/dekar/år (Øgaard et al., 2014), men enkeltbruk vil få for lite spredeareal i disse områdene og husdyrgjødsel må da transporteres over lengre avstander hvis ikke husdyrholdet skal reduseres.

8.2.4 Oppsummering av konsekvenser for gras

Av de fire alternativene for restriksjoner på fosforgjødsling er det bare alternativ 3 (gjødsling etter NIBIO's gjødslingsanbefalinger) som gir tapping av fosfor i jorda og som dermed kan gi reduksjon i fosfortap fra jordbruksarealene (Tabell 8-3). På grunn av redusert fosfortap har vi angitt positiv effekt på vannmiljø for alternativ 3. Den positive effekten på vannmiljø er imidlertid langsiktig. Det forventes at det vil ta mange år før den positive effekten blir tydelig. Alternativ 1, 2 og 4 (fosforgjødsling etter dagens forskrift, maksimal fosforgjødsling basert på høyeste normale avling og fosforgjødsling med spredearealskrav på 2,2 kg P/dekar/år) vil alle gi et overskudd på fosforbalansen og dermed økning av jordas fosforinnhold. Økt fosforinnhold i jorda vil gi økte fosfortap, og vi har derfor angitt en negativ effekt på vannmiljø for alle disse alternativene (Tabell 8-3).

Alternativ 2 (maksimal fosforgjødsling basert på høyeste normale avling) gir bare marginalt mindre fosforoverskudd i de store jordbruksområdene sammenlignet med dagens restriksjoner på husdyrhold (alternativ 1), og vi har derfor angitt lik effekt på vannmiljø for disse to alternativene. Det er bare fjellbygdene og Nord-Norge som vil få en betydelig innstramning på tillatte spredemengder for fosfor. Alternativ 4 gir mindre fosforoverskudd enn alternativ 1 og 2, og vi har derfor angitt en mindre negativ effekt på vannmiljø for dette alternativet. Konsekvensene for bonden av sterkere restriksjoner på fosforgjødsling er knyttet til overskudd av husdyrgjødsel. Alternativ 3 gir størst overskudd på husdyrgjødsel og har dermed også størst konsekvenser for bonden.

Tabell 8-3. Konsekvenser for vannmiljø og bonde av de fire gjødslingsalternativene til gras¹⁾. 0 = ingen effekt, - = negativ effekt og + = positiv effekt. Antall «-» angir graden av negativ effekt.

Gjødslings- alternativ ¹⁾	Rogaland, Agder		Midt-Norge		Fjellbygdene og Nord-Norge	
	Vann	Bonde	Vann	Bonde	Vann	Bonde
1	--	0	--	0	--	0
2	--	0	--	(-)	- (-)	-
3	+	---	+	---	+	---
4	-	--	-	--	-	--

¹⁾ 1. Fosforgjødsling etter dagens forskrift

2. Maksimal fosforgjødsling basert på høyeste normale avling (Kristoffersen et al. 2014)

3. Fosforgjødsling justert etter jordas P-AL-tall (NIBIO's gjødslingsanbefalinger)

4. Fosforgjødsling ved økt spredearealskrav for husdyrgjødsel (2,2 kg P/dekar/år)

Litteraturreferanser

- Bechmann, M. 2005. The phosphorus index tool for assessing phosphorus transfer from agricultural areas in Norway. Dr. Scient. Thesis 2005:24, Norwegian University of Life Sciences.
- Bechmann, M., Greipsland, I., Øgaard, A.F., 2013a. Phosphorus use in agriculture. In: Bechmann, M., Deelstra, J. (Eds.). *Agriculture and Environment - Long Term Monitoring in Norway*. *Akademika Publishing*, Trondheim, Norway, ISBN nr. 978-82-321-0014-9, 69-82.
- Bechmann, M., Øgaard A.F., Stålnacke, P., Ulén, B., 2013b. Phosphorus concentrations and losses. In: Bechmann, M., Deelstra, J. (Eds.). *Agriculture and Environment - Long Term Monitoring in Norway*. *Akademika Publishing*, Trondheim, Norway, ISBN nr. 978-82-321-0014-9, 213-230.
- Bechmann, M., Stenrød, M., Pengerud, A., Grønsten, H.A., Deelstra, J., Eggestad, H.O. & Hauken, M. 2014. Erosjon og tap av næringsstoffer og plantevernmidler fra jordbruksdominerte nedbørfelt – Sammenendragsrapport fra program for jord- og vannovervåking i landbruket (JOVA) for 1992-2013. *Bioforsk Rapport 9 (84)*.
- Bechmann, M., Kværnø, S. & Eklo, O.M. 2016. Kjelle avrenningsforsøk. Årsrapport 2014-2015 for jordarbeidingsforsøk på lav erosjonsrisiko. NIBIO Rapport 2(80).
- Blakar, I. & Løvstad, Ø. 1990. Determination of available phosphorus for phytoplankton populations in lakes and rivers of southeastern Norway. *Hydrobiologia* 192: 271-277.
- Börling, K., Ottabong, E. & Barberis, E. 2004. Soil variables for predicting potential phosphorus release in Swedish noncalcareous soils. *J. Environ. Qual.* 33: 99-106.
- Dorich, R.A., Nelson, D.W. & Sommers, L.E. 1984. Algal availability of phosphorus in suspended stream sediments of varying particle size. *J. Environ. Qual.* 13:82-86.
- Foy, R.H. 2005. The return of the phosphorus paradigm: Agricultural phosphorus and Eutrophication. In: Sims, J.T. and Sharpley, A.N. *Phosphorus: Agriculture and the environment*. *Agronomy* 46: 911-939.
- Fystro, G., Kristoffersen, A.Ø., Krogstad, T., Løes, A.K. & Lunnan T. 2012. Differensiert fosforgjødsling – betydning for avling og miljø. *Bioforsk Rapport 7 (165)*. 64 s.
- Grobbelaar, J.U. 1983. Availability to algae of N and P adsorbed on suspended solids in turbid waters of the Amazon River. *Arch. Hydrobiol.* 96: 302-3016.
- Hanserud, O.S., Brod, E., Øgaard, A.F., Müller, D.B. & Brattebø, H. 2015. A multi-regional soil phosphorus balance for exploring secondary fertilizer potentials – the case of Norway. *Nutr. Cycl Agroecosys, Open Access*, doi:[10.1007/s10705-015-9721-6](https://doi.org/10.1007/s10705-015-9721-6).
- Hoel, B., Kristoffersen, A.Ø., Bakkegard, M & Tandsæther, H. 2005. Flerårig forsøk med fosfor- og kaliumgjødsling til vårkorn. *Jord- og Plantekultur 2005*. *Grønn kunnskap 9(1)*:116-128.
- Knutsen, H. & Magnussen, A.v.Z. 2011. Gjødselvereforskriften er under revisjon – mulige konsekvenser for jordbruket i Rogaland. NILF-notat 2011-10.
- Kristoffersen, A.Ø. & Riley, H. 2005. Effects of soil compaction and moisture regime on the root and shoot growth and phosphorus uptake of barley plants growing on soils with varying phosphorus status. *Nutrient Cycling in Agroecosystems.* 72:135-146.
- Kristoffersen, A.Ø., Riley, H. & Sogn, T.A. 2005. Effects of P fertilizer placement and temperature on root hair formation, shoot growth and P content of barley grown on soils with varying P status. *Nutrient Cycling in Agroecosystems.* 73:75-89.
- Kristoffersen, A.Ø., Hoel, B., Krogstad, T & Øgaard, A.F. 2008. Reduserte fosfornormer til korn. *Bioforsk FOKUS* 3(1):50-51.
- Kristoffersen, A.Ø. 2010. Innføring av ny fosfornorm til korn og ny korreksjonslinje for P-AL – hvilken betydning har det for fosforforbruket? *Bioforsk FOKUS* 5 (1): 136-138.

- Kristoffersen, A.Ø. 2013. Fosforgjødsling til vårkorn i forhold til P-AL-nivå i jorda. *Jord- og Plantekultur* 2013. Bioforsk FOKUS 8(1): 138-143.
- Kristoffersen, A.Ø., Riley H., Stubhaug, E., Møllerhagen, P., Lunnan, T., Fystro, G. & Nesheim, L. 2014. Tabeller over maksimal tilførsel av fosfor, versjon 2. Notat Bioforsk Øst Apelsvoll, 20. juni 2014.
- Krogstad, T. 1986. Fosfor i erosjonsmaterialet. NLVF-rapport nr 643: 13s.
- Krogstad, T. 1987. Utvikling og vurdering av fosfortilstand i dyrka jord i perioden 1960-85 med hovedvekt på Romerike og Jæren. *Jord og Myr* 11:153-163.
- Kværnø, S., Turtumøygard, S., Grønsten, H.A. & Bechmann, M. 2014. Agricat 2 – modell for beregning av jord- og fosfortap fra jordbruksarealer. *Bioforsk TEMA*, nr. 25/2014.
- Løvstad, Ø. 1984. Competitive ability of laboratory batch phytoplankton populations at limiting nutrient levels. *Oikos* 42: 176-184.
- Pedersen, R. 2008. Fosforfraksjoner i jord og sedimenter. Masteroppgave, Inst.for plante- og miljøvitenskap, UMB. 40 s.
- Pote, D.H., Daniel, T.C., Sharpley, A.N., Moore, P.A., Edwards, D.R. & Nichols, D.J. 1999. Relationships between phosphorus levels in three Ultisols and phosphorus concentrations in runoff. *J. Environ. Qual.* 28:170-175.
- Riley, H. 2007. Long-term fertilizer trials on loam soil at Møystad, SE Norway: Crop yields, nutrient balances and soil chemical analyses from 1983 to 2003. *Acta Agriculturae Scandinavica Sec. B. Soil and Plant Science*, 57 (2):140-154.
- Riley, H., Stubhaug, E., Kristoffersen, A.Ø., Krogstad, T., Guren, G. & Tajet, T. 2012. P-gjødsling til grønnsaker – Evaluering og nye anbefalinger. *Bioforsk Rapport* 7(68), 64 s.
- Sharpley, A.N. 1995. Dependence of runoff phosphorus on extractable soil phosphorus. *J. Environ. Qual.* 24:920-926.
- Stubhaug, E., Riley, H. & Kristoffersen, A.Ø. 2015. P-gjødsling til brokkoli, blomkål, kålrot og isbergsalat. Nye anbefalinger. *Bioforsk Rapport* 10(14), 14 s.
- Uhlen, G. 1989. Surface runoff losses of phosphorus and other elements from fertilized grassland. *Norwegian J. Agric. Sci.* 3:46-55.
- Uhlen, G. & Østerud, J.G. 1992. Nitrogen, fosfor og kalium i grøftevannsprøver fra dyrket mark. *Norsk Landbruksforskning*, 6:61-72.
- Øgaard, A.F. 1995. Effect of phosphorus fertilization and content of plant-available phosphorus (P-AL) on algal-available phosphorus in soils. *Acta Agric. Scand. Sect. B, Soil and Plant Sci.* 45: 242-250.
- Øgaard, A.F. 1996. Effect of phosphorus fertilization on the concentration of total and algal-available phosphorus in different particle-size fractions in Norwegian agricultural soils. *Acta Agric. Scand. Sect. B, Soil and Plant Sci.* 46: 24-29.
- Øgaard, A.F., Kristoffersen, A.Ø. og Pedersen, R. 2012. Fosforgjødsling – betydning for fosforkonsentrasjon i jord og tap til vann. *Bioforsk Rapport* 7 (147). 47 s.
- Øgaard, A.F., Krogstad, T., Skarbøvik, E. & Bechmann, M. 2012. Biotilgjengelighet av fosfor fra jordbruksavrenning – kunnskapsstatus. *VANN* 03/2012: 357-368.
- Øgaard, A.F., Knutsen, H., Kårstad, S., Fystro, G., Bechmann, M. og Morken J. 2014. Konsekvensvurderinger av utkast til revidert forskrift om lagring og bruk av gjødsel til landbruksformål. *Bioforsk Rapport* 9 (148). 60 s.

NOTATER

NOTATER

Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) ble opprettet 1. juli 2015 som en fusjon av Bioforsk, Norsk institutt for landbruksøkonomisk forskning (NILF) og Norsk institutt for skog og landskap.

Bioøkonomi baserer seg på utnyttelse og forvaltning av biologiske ressurser fra jord og hav, fremfor en fossil økonomi som er basert på kull, olje og gass. NIBIO skal være nasjonalt ledende for utvikling av kunnskap om bioøkonomi.

Gjennom forskning og kunnskapsproduksjon skal instituttet bidra til matsikkerhet, bærekraftig ressursforvaltning, innovasjon og verdiskaping innenfor verdikjedene for mat, skog og andre biobaserte næringer. Instituttet skal levere forskning, forvaltningsstøtte og kunnskap til anvendelse i nasjonal beredskap, forvaltning, næringsliv og samfunnet for øvrig.

NIBIO er eid av Landbruks- og matdepartementet som et forvaltningsorgan med særskilte fullmakter og eget styre. Hovedkontoret er på Ås. Instituttet har flere regionale enheter og et avdelingskontor i Oslo.