

Bioforsk Rapport

Bioforsk Report

Vol. 7 Nr. 165 2012

Differensiert fosforgjødsling- betydning for avling og miljø

Gustav Fystro¹, Annbjørg Øverli Kristoffersen², Tore Krogstad³, Anne-Kristin Løes⁴
og Tor Lunnan¹

¹Bioforsk Øst Løken, ²Bioforsk Øst Apelsvoll, ³UMB og ⁴Bioforsk Økologisk

www.bioforsk.no



<i>Tittel/Title:</i> Differensiert fosforgjødsling – betydning for avling og miljø
<i>Forfatter(e)/Author(s):</i> Gustav Fystro, Annbjørg Øverli Kristoffersen, Tore Krogstad, Anne-Kristin Løes og Tor Lunnan

<i>Dato/Date:</i> 1. desember 2012	<i>Tilgjengelighet/Availability:</i> Åpen	<i>Prosjekt nr./Project No.:</i> 5011071	<i>Saksnr./Archive No.:</i>
<i>Rapport nr./Report No.:</i> 7(165)2012	<i>ISBN-nr./ISBN-no:</i> 978-82-17-01017-3	<i>Antall sider/Number of pages:</i> 63	<i>Antall vedlegg/Number of appendices:</i> 1

<i>Oppdragsgiver/Employer:</i> Klif – Klima og forurensningsdirektoratet	<i>Kontaktperson/Contact person:</i> Ingunn Lindeman
---	---

<i>Stikkord/Keywords:</i> Fosfor, gjødsling, avling, kvalitet, miljø, avrenning	<i>Fagområde/Field of work:</i> Miljøtiltak i landbruket
--	---

<p>Sammendrag:</p> <p>Hovedmålet med rapporten har vært å utrede miljøeffekter og avlingsmessige konsekvenser av lave P-gjødslingsnivå i landbruksområder med avrenning til spesielt utsatte vannforekomster. Rapporten er skrevet på oppdrag fra Klima- og forurensningsdirektoratet (Klif), og har et særlig fokus på virkningene som gjødslingspraksis, plantevekst, driftsmåte og produksjonsintensitet i landbruket har på fosfortap til vann. Utredningen bygger på kunnskap med særlig relevans for norske og nordiske forhold.</p>

Godkjent / Approved

Prosjektleder / Project leader



Ragnar Eltun



Gustav Fystro

Forord

Etter ønske fra Klima- og forurensningsdirektoratet (Klif) og Statens landbruksforvaltning er det gjennomført en FoU-basert utredning for å styrke kunnskapsgrunnlaget om effekter og kostnader av ulike gjødslingstiltak med virkning på miljøet i vannområdene. Kunnskapen skal brukes i arbeidet med å vurdere og målrette tiltak og virkemidler i jordbruket, og for å styrke grunnlaget for rådgiving om hvordan landbruket kan redusere sine fosfortap til vann.

Denne rapporten har fokus på virkningene som gjødslingspraksis, plantevekst, driftsmåte og produksjonsintensitet i landbruket har på fosfortap til vann. Parallelt er det gjennomført en komplementerende utredning på sammenhenger mellom fosforgjødsling, jordas fosforstatus og risiko for fosfortap (Øgaard et al. 2012, Fosforgjødsling - betydning for fosforkonsentrasjon i jord og tap til vann).

Gustav Fystro har vært prosjektleder og har utført arbeidet i samarbeid med Annbjørg Øverli Kristoffersen, Tore Krogstad, Anne-Kristin Løes og Tor Lunnan.

Innhold

1. Sammendrag	6
2. Innledning	8
3. Metode	10
4. Fosfor som faktor i gjødsling	11
4.1 Fosforstatus i jord	11
4.2 Fosforgjødsling fra 1950 og frem til i dag - historisk trend	13
4.2.1 Fosfortilførsler i kraftfôr	15
4.3 Gjødslingsnormer	16
4.3.1 Nye normer til korn, oljevekster og eng	16
4.3.2 Anbefalt P-gjødsling til korn og eng med justering for P-status	17
4.3.3 Oppsummering av anbefalinger til korn og eng	21
4.3.4 Nye normer til potet og grønnsaker	21
5. Balansert gjødsling - N og P	22
5.1 Planters balanserte næringsbehov	22
5.2 Forholdet mellom N og P i planter - N:P-indeks	22
6. Differensiert gjødsling	25
6.1 Arealets risiko for tap av fosfor	25
6.1.1 Erosjonsrisiko	25
6.1.2 P-indeks/stedsindeks	26
6.1.3 P-indeksens rolle for bedre vannmiljø	27
6.1.4 Biotilgjengelighet	28
6.2 Effekt av P-gjødsling	30
6.2.1 Resultater fra norske forsøk i korn	30
6.2.2 Resultater fra norske forsøk i eng	34
6.2.3 Vekstskifte	36
6.2.4 Reduksjon i tilfeller med for sterk gjødsling	37
7. Husdyrgjødsel	39
7.1 Spredareal	40
7.1.1 Revidering av spredarealkrav	42
7.2 Driftsmåter	43
7.3 Tekniske tiltak	45
7.4 Kunnskap og informasjon	46
7.5 Andre faktorer	47
8. Tiltak og virkemiddel	48
8.1 Generelle tiltak og virkemiddel	49
8.1.1 Gjødslingsråd	49
8.1.2 Spredarealkrav	50
8.1.3 Vektlegging av risikofaktorer	51
8.1.4 Rådgiving og informasjon generelt	53
8.1.5 Teknologi og investeringer	53
8.1.6 Kunnskapshull	54
8.2 Differensierte tiltak og virkemidler	56
9. Konklusjon	58
10. Referanser	59
11. Vedlegg	64

1. Sammendrag

Rapporten er skrevet på oppdrag fra Klima- og forurensningsdirektoratet (Klif), og har fokus på virkningene som gjødslingspraksis, plantevekst, driftsmåte og produksjonsintensitet i landbruket har på fosfortap til vann. Utredningen bygger på kunnskap med særlig relevans for norske og nordiske forhold.

Hovedmålet for denne rapporten har vært å utrede miljøeffekter og avlingsmessige konsekvenser av lave P-gjødslingsnivå i landbruksområder med avrenning til spesielt utsatte vannforekomster. Det har vært fokus på fire delmål:

1. Bidra til økt kunnskap om begrensnings av P-avrenningen fra landbruket ved å belyse sammenhengen mellom P-dosering og behov for N-gjødsling, og vurdere hvordan denne kunnskapen kan brukes til å begrense P-avrenningen fra landbruket.
2. Utvikle kriterier for sterkere differensiering i gjødslingsanbefalinger, ut fra risiko for tap av næringsstoffer og tilstand i vannforekomstene.
3. Vurdere bruken av gjødselressurser på typiske husdyrbruk og betydningen av gjeldende praksis for P-avrenning til vann. Videre se på muligheter for bedre praktiske løsninger og sterkere differensiering med hensyn til tiltaksgjennomføring i utsatte vannforekomster.
4. Vurdere muligheter/mulighetsområder for mer effektiv og/eller kraftigere virkemiddelbruk. Skaffe oversikt over erfaringer med virkemiddelbruk i Norge og andre land, fortrinnsvis nordiske land.

Tilført P i mineralgjødsel til jordbruksvekstene hadde en tydelig topp rundt 1980. Bruk og omlegging av gjødselsortimentet til lavere P-innhold halverte denne P-mengden frem mot ca. 1995. I senere tid har endringer i gjødslingsanbefalinger for P til de viktigste jordbruksvekstene i Norge ytterligere halvert tilført mineralsk P i mineralgjødsel over de siste 4 årene. Fosformengden i innkjøpt kraftfôr er nå omtrent like stor som mengden i innkjøpt mineralgjødsel på landsbasis.

Bruk av forholdet mellom N og P i høstet plantemateriale er en lovende metode for å bestemme om P-tilførselen til planteveksten er tilfredsstillende (kapittel 5).

Arealets risiko for tap av P og avlingsrespons på tilført P er drøftet som to viktige kriterier for sterkere differensiering i gjødslingsanbefalinger ut fra risiko for tap av næringsstoffer og tilstand i vannforekomstene (kapittel 6). Risiko for tap av P er særlig knyttet til erosjonsrisiko og jordas P-status i kombinasjon med gjødslingsnivåer over tid. Avlingsresponsen av tilført P i gjødsel er små ved høy P-status i jord. Selv ved moderat P-status er avlingsutslag for P-gjødsling ofte usikre, mens det vil være klare avlingsøkninger etter P-gjødsling over tid på jord med lav P-status.

Bruken av husdyrgjødsel og betydningen av gjeldende praksis er vurdert i sammenheng med risiko for P-avrenning til vann (kapittel 7). Det er pekt på utfordringene i husdyrtette områder, der høy P-status i jord ofte blir resultatet av et overskudd av tilført P i forhold til plantenes behov. Det er konkludert med at en innskjerping av spredearealkravet bør gjennomføres.

Tiltak og virkemiddel for bedring av vannmiljøet relatert til P-gjødsling er drøftet (kapittel 8). Rapporten spesifiserer aktuelle tiltak og virkemiddel på gjødslingsråd, spredearealkrav, risikofaktorer, rådgiving og informasjon, teknologi og investeringer, samt tetting av kunnskapshull. En sterkere differensiering av P-gjødsling og andre relevante tiltak er drøftet spesielt med hensyn til tiltaksgjennomføring i utsatte vannforekomster.

Rapporten har drøftet og sammenlignet gjeldende ordninger og praksis i Norge med relevante erfaringer og tilnærminger i andre land, særlig hos våre nordiske naboer.

2. Innledning

Vannforskriften (Forskrift 15.12.2006 nr. 1446 om rammer for vannforvaltningen) ble iverksatt 1.1.2007. Det generelle miljømålet er at alle vannforekomster minst skal opprettholde eller oppnå «god tilstand» i tråd med nærmere angitte kriterier.

For å oppfylle miljømålet i vannforskriften er landet inndelt i ni vannregioner (<http://www.vannportalen.no/enkel.aspx?m=31143&amid=1242506>). I hver region skal det utarbeides en sektorovergrepene forvaltningsplan med et tilhørende tiltaksprogram. I landbrukspåvirkede vannforekomster med vannstatus dårligere enn god tilstand, vil tiltak innen jordbruk bli viktig for måloppnåelsen. Spesielt er tap av fosfor (P) viktig i denne sammenhengen, siden tilførsler av P reduserer vannkvaliteten gjennom økt algevekst. Det er ønskelig at tiltakene i henhold til vannforskriften skal være så målrettede som mulig. Det er derfor viktig med best mulig kunnskap om hvordan vannpåvirkningen fra landbruket endrer seg som følge av ulike tiltak og tilpasninger i driftspraksis.

Fosfortap fra et areal er bestemt av jordas P-innhold og faktorer som bestemmer risikoen for transport av P til vassdrag (erosjonsrisiko, jordarbeiding, avstand og vegetasjonstype mellom åkerland og vassdrag m.m.). Redusert jordarbeiding om høsten, fangdammer og vegetasjonssoner for å begrense P-tapet er kjente tiltak. Disse tiltakene er imidlertid ikke alltid tilstrekkelige for å oppnå målene i vannforskriften. Det er også nødvendig å se på hva jordas P-status og P-gjødsling betyr for tapsrisikoen.

Etter ønske fra Klima- og forurensningsdirektoratet (Klif) og Statens landbruksforvaltning er det derfor gjennomført to FoU-baserte utredninger for å styrke kunnskapsgrunnlaget om effekter og kostnader av ulike gjødslingstiltak. Kunnskapen skal brukes i arbeidet med å vurdere og målrette tiltak og virkemidler i jordbruket, og for å styrke grunnlaget for rådgiving på hvordan landbruket kan redusere sine negative miljøpåvirkninger.

Denne rapporten har fokus på virkningene som gjødslingspraksis, plantevekst, driftsmåte og produksjonsintensitet i landbruket har på P-tap til vann. Parallelt er det gjennomført en komplementerende utredning på sammenhenger mellom P-gjødsling, jordas P-status og risiko for P-tap (Øgaard et al. 2012, Fosforgjødsling - betydning for fosforkonsentrasjon i jord og tap til vann).

Hovedmålet for denne rapporten har vært å utrede miljøeffekter og avlingsmessige konsekvenser av lave P-gjødslingsnivå i landbruksområder med avrenning til spesielt utsatte vannforekomster. Det har vært fokus på fire delmål:

1. Bidra til økt kunnskap om begrensnig av P-avrenningen fra landbruket ved å belyse sammenhengen mellom P-dosering og behov for N-gjødsling, og vurdere hvordan denne kunnskapen kan brukes til å begrense P-avrenningen fra landbruket.
2. Utvikle kriterier for sterkere differensiering i gjødslingsanbefalinger, ut fra risiko for tap av næringsstoffer og tilstand i vannforekomstene.
3. Vurdere bruken av gjødselressurser på typiske husdyrbruk og betydningen av gjeldende praksis for P-avrenning til vann. Videre se på muligheter for bedre praktiske løsninger og sterkere differensiering med hensyn til tiltaksgjennomføring i utsatte vannforekomster.
4. Vurdere muligheter/mulighetsområder for mer effektiv og/eller kraftigere virkemiddelbruk. Skaffe oversikt over erfaringer med virkemiddelbruk i Norge og andre land, fortrinnsvis nordiske land.

3. Metode

Utredningen bygger på kunnskap med særlig relevans for norske og nordiske forhold. Det er lagt vekt på å få fram gjeldende forutsetninger og praksis for gjødsling og driftsmåter innen de viktigste produksjonene i landbruket i Norge. Relevante tilnærminger og tiltak for å bedre tilstanden i sårbare vannområder er vektlagt. Prosjektet er gjennomført som en litteraturstudie med diskusjoner forankret i eksisterende kunnskap.

Et viktig utgangspunkt har vært å forankre rapporten slik at den er mest mulig relevant for vannforskriften, og å avgrense utredningen til P-relaterte problemstillinger.

Rapporten er organisert i henhold til avtalte mål (se 2. Innledning):

- Klargjøring av viktige forhold rundt P som faktor i gjødsling
- Grunnlag for å begrense P-avrenningen fra landbruket ved å se på sammenhengen mellom fosfor og nitrogen (delmål 1)
- Kriterier for sterkere differensiering i gjødslingsanbefalinger (delmål 2)
- Rett bruk av husdyrgjødsel (delmål 3)
- Aktuelle virkemidler for å bedre miljøet i vannforekomstene (delmål 4)

Rapporten presenterer kunnskap om disse temaene i kapittel 4-7. Vurderingene av aktuelle tiltak og virkemidler er samlet i kapittel 8.

4. Fosfor som faktor i gjødsling

4.1 Fosforstatus i jord

Fosforet i jorda inngår i en rekke ulike fraksjoner, med ulik tilgjengelighet for plantene. På udyrka jord varierer innholdet av total-P vanligvis fra 0,02 til 0,08 % (Krogstad & Løvstad 1987). Etter lang tids dyrking og gjødsling kan innholdet komme opp i 0,2 til 0,3 %, men ligger vanligvis på 0,1 % eller lavere. En slik totalandel kan utgjøre fra 200- 3000 mg P pr. kg jord og er sterkt avhengig av dyrkingspraksis opp gjennom årene. Fosforet i jorda forekommer både som organisk og uorganisk P. I pløyselaget i mineraljord kan andelen organisk P variere fra 20 til 50 % av total-P, og utgjør dermed en betydelig andel av det totale P-innholdet. Fosfor bindes generelt sterkt i mineraljord. Det betyr at mesteparten av fosforet i jorda er i en slik form at det ikke er tilgjengelig for plantene. Ved lav pH bindes P vesentlig til jern- og aluminiumforbindelser. Ved pH over 7 øker bindingen til kalsium, og det dannes tungt oppløselige kalsiumfosfater. Fosfor er mest tilgjengelig for plantene ved pH rundt 6.

Plantene tar opp P hovedsakelig som fosfation. Ionene kan enten finnes som løst i jordvæska eller adsorbent på overflaten av jordpartikler. Ved pH opp til 7 dominerer formen H_2PO_4^- . Når pH er over 7, øker andelen av HPO_4^{2-} . Plantene kan nyttiggjøre seg begge formene. Men det er en svært liten andel av den totale P-mengden som finnes som fosfation i jorda. Løste fosfationer i jordvæska utgjør i størrelsesorden 1-10 mg P pr. kg jord, det vil si 0,01-0,1 kg P pr. daa. P-AL-metoden (Egnér et al. 1960), som brukes til å måle plantetilgjengelig P i norsk jord, ekstraherer omkring 10-20 % av totalfosforet i jorda. I P-AL-fraksjonen inngår fosfationene løst i jordvæska og i tillegg en del P som man går ut fra at planter vil kunne nyttiggjøre seg på kort sikt (ett til flere år).

Bevegelse av P i jord skjer i all hovedsak ved diffusjon. Massestrøm har svært liten betydning for transport av P, siden konsentrasjonen i jordvæska er svært lav. Røttenes P-opptak er derfor avhengig av P-konsentrasjonen ved rotoverflata.

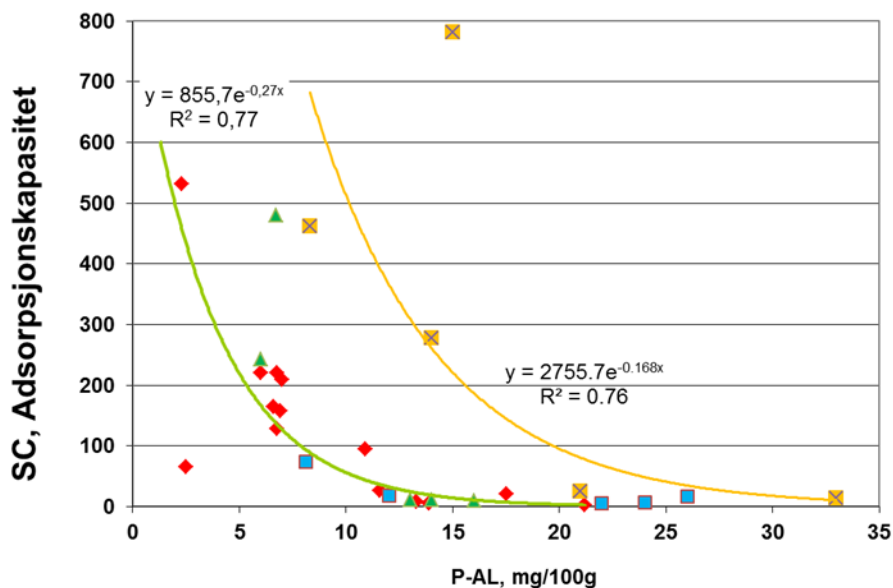
Det skjer en desorpsjon av P fra jordpartiklene til jordvæska. Men samtidig skjer det hele tiden en adsorpsjon av P fra jordvæska til jordpartiklene, som gradvis gjør fosforet mer og mer utilgjengelig for planterøttene. Likevekten mellom P i løst og bundet form er sterkt forskjøvet mot den bundne formen. Det betyr at mer P enn det røttene tar opp, blir tappet fra jordvæska og fastholdt på jordpartiklene. Dette fosforet kan på ny bli frigjort til jordvæska over tid, men mye vil i stedet bli sterkere bundet til jordpartiklene.

Det er flere forhold som påvirker jordas adsorpsjonsevne. Jordas pH påvirker bindingskapasiteten i stor grad, sammen med andelen av jern og aluminiumsoksider i jorda. Ei jord med høyt innhold av jern- og aluminiumsoksider og lav pH vil felle ut mye av det lett tilgjengelige fosforet, og gjøre det

utilgjengelig for plantevekst. Ei jord hvor det er tilført mye P som gjødsel over mange år, vil derimot ha mye mindre evne til å adsorbere fosforet. Innholdet av organisk materiale vil også være av betydning, siden organisk materiale er med å øke løseligheten av P i jorda.

Jordas evne til å reagere på tapping eller anrikning av fosfat kan uttrykkes ved jordas bindingskapasitet for P. Ved tilførsel av løst P, skjer det en forandring i P-konsentrasjonen i jordløsningen. Siden denne fraksjonen er i likevekt med den mer labile P-faksjonen, vil det også skje en endring i denne fraksjonen. Hvordan forandringene blir i P-AL-verdi etter tilførsel av P-gjødsel, avhenger av den enkelte jords bindingsevne for P, og av gjødselslaget som tilføres. Ved økende innhold av plantetilgjengelig P reduseres jordas evne til å adsorbere tilført P. Det skyldes at bindingsplassene for fosfat-ionene brukes opp etter hvert. Risikoen for P-tap øker derfor ved økende P-AL-nivå.

Sammenhengen mellom jordas P-AL-nivå og bindingskapasiteten (adsorpsjonsevne), undersøkes for tiden i et SLF-finansiert prosjekt. Foreløpige resultater fra disse undersøkelsene viser at ved P-AL over 12-13 har jordtypene som er undersøkt så langt, en lav adsorpsjonskapasitet (figur 1, grønn linje). Ved P-AL under 10-11 øker adsorpsjonskapasiteten med synkende P-AL-nivå.



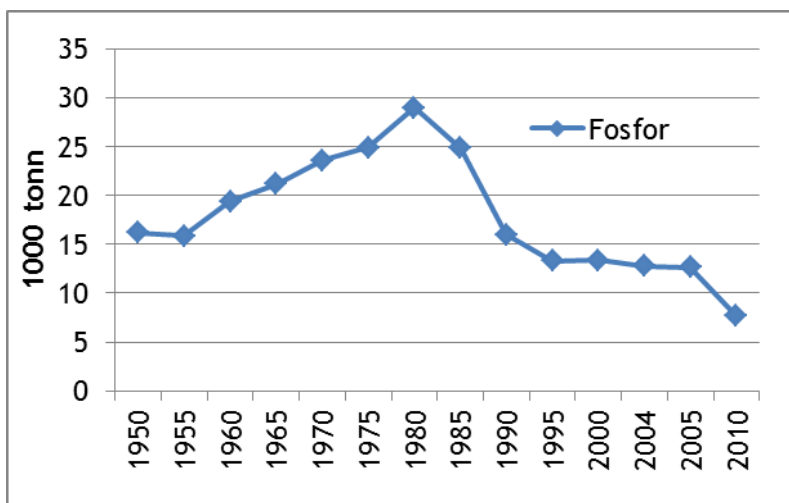
Figur 1. Sammenheng mellom jordas adsorpsjonskoeffisient (SC) for P og jordas P-AL-status, målt på en rekke ulike jordarter i Norge (A. Ø. Kristoffersen, upublisert).

Figuren viser videre at i P-AL-intervallet 5-7, som regnes som optimalt med tanke på å gi tilstrekkelig avlinger uten for stor miljøbelastning, er det store forskjeller mellom ulike jordarters adsorpsjonskapasitet. Det betyr at to jordarter med samme P-AL-nivå vil kunne ha svært ulik evne til å adsorbere P som tilføres med gjødsel. Det har betydning for plantetilgjengeligheten av det

tilførte fosforet, og også selvfølgelig for hvor lett P tapes fra jorda. Undersøkelsen omfatter også karforsøk for å kartlegge responsen for P-gjødsling i forhold til jordas adsorpsjonsevne på korn for de ulike jordartene. Resultater vil bli presentert i løpet av vinteren 2013. En omfattende kartlegging av jordas bindingsevne for P kan gi svært nyttig informasjon for en mer detaljert styring og planlegging av P-gjødsling i forhold til stedlige forhold.

4.2 Fosforgjødsling fra 1950 og frem til i dag - historisk trend

Statistikk over salget av handelsgjødsel i perioden fra 1950 og fram til i dag viser at det var en jevn økning i omsetning fra 1950 til 1980, hvor forbruket lå rett i underkant av 30 tusen tonn P (figur 2). Deretter skjedde det en gradvis nedtrapping i omsetningen gjennom hele 80-tallet, til omsetningen var halvert på begynnelsen av 90-tallet. Videre gjennom 90-tallet var forbruket svært stabilt på rundt 13 tusen tonn per år fram til 2008, da det ble en betydelig prisøkning på fosforgjødsel. Fra 2008 til 2009 ble mengden omsatt fosfor i handelsgjødsel omtrent halvert igjen, til 7 tusen tonn. Både i 2010 og 2011 ble det omsatt mellom 7 og 8 tusen tonn P i handelsgjødsel.



Figur 2. Omsetning av fosfor i handelsgjødsel i perioden 1950 til 2010. (Kilde SSB).

Den stabile økningen i fosforforbruket i landbruket etter krigen var en ønsket utvikling. Mye av den dyrka jorda i Norge hadde generelt lavt P-innhold. Feltforsøk gjennomført på 1940 og 1950-tallet var på jord med et P-nivå i området 1,8-3,8 mg P₂O₅/100 g jord, målt med Egnèr's Lactat-metode (Egnèr et al. 1938). Det tilsvarer et P-AL-nivå på 1,5 - 3,3 mg P/100 g jord. Sorteberg (1956) oppsummerte resultatene fra disse feltforsøkene, og fant stor avlingsrespons for tilført P. Forsøkene ble også brukt til å vurdere hvilke jordanalysemetode som egnet seg i Norge, og man fant at laktatmetoden korrelerte best med avlingsresponsen for P-gjødsling (Semb & Uhlen 1955). I 1960 ble det bestemt at AL-metoden skulle være den gjeldende analysemetoden i Norge. AL-metoden (Egnèr et al. 1960) kombinerer to svake organiske syrer, maursyre (acetat) og melkesyre (lactat) i ekstraksjonsløsningen. Den brukes også som standardmetode i Sverige. En av fordelene med denne metoden er at man kan måle innholdet av kalium, magnesium og andre mineraler i samme ekstrakt.

Forbruket av P i handelsgjødsel nådde et topp-punkt på begynnelsen av 1980-tallet. Det var kjent viten at mye av fosforet som ble tilført jorda raskt ble bundet til jordpartiklene og gjort utilgjengelig for plantene, og også for utvasking til vann og vassdrag. Det ble derfor anbefalt å gjødsle med mer enn det som ble fjernet med avlingene, for å sikre tilstrekkelig fosforforsyning og for å øke innholdet av plantetilgjengelig P i jorda. Dette gjaldt over hele Europa, og var ikke et særnorsk fenomen (Dalgaard et al. 2004, Tunney et al. 1997).

Fullgjødsel-typene var svært P-rike på slutten av 70-tallet. En mye brukt Fullgjødsel-type, var Fullgjødsel 20-5-9. Den ble anbefalt i korn fra P-AL-verdier fra 5 og oppover. Ved svært lavt K-innhold i jorda, og fra P-AL 1 opp til 12 ble Fullgjødsel 16-7-12 anbefalt. Det vil si at gjødsling med 10 kg N pr. daa førte til gjødsling med henholdsvis 2,5 kg eller 4,4 kg P pr. daa. Gjødslingsrådet for fosfor baserte seg på at kornavlingen fjernet rundt 2 kg P pr. daa, videre ble det anbefalt å gi noe mer for å opprettholde fosfortilstanden i jorda (Stabbetorp 1983, Heen 1988). En av de mest solgte gjødseltypene til bruk på blant annet eng var Fullgjødsel A (14-6-16).

Utover på 80-tallet ble det et økende fokus på de uheldige sidene ved for høye P-konsentrasjoner i jord og vann. I 1987 ble Nordsjøavtalen inngått, hvor Norge forpliktet seg til å redusere utslippene av P med 50 % i forhold til 1985-nivået langs kyststrekningen Lindesnes - Svenskegrensa. Landbruksrådgivningen fokuserte på å redusere P-forbruket i landbruket, og Fullgjødsel-typen 20-5-9 ble endret til 21-4-10. I 1999 var målsetningen om en halvering nådd, og frem til 2009 ble tilførselen av P til Nordsjøen redusert med 58 prosent i forhold til utslippene i 1985 (SSB 2011).

Å planlegge gjødselmengden ut fra vekst, forventet avling og jordanalyser var vanlig lenge før det ble utarbeidet elektroniske gjødslingsplanprogrammer. Målet var størst mulig avling med god kvalitet. Landbruket hadde nok mindre fokus på miljøkonsekvenser enn på agronomiske forhold. I 1985 startet arbeidet med å utvikle edb-program for gjødslingsplanlegging, og hensynet til miljø ble sterkere vektlagt. Torpen (1987) oppsummerte tidlig fordelene med gjødslingsplanprogram på data med at bonden da kunne få systematisert opplysningene sine, og i større grad ta hensyn til tidligere års gjødslinger og beregne en forgrødeeffekt.

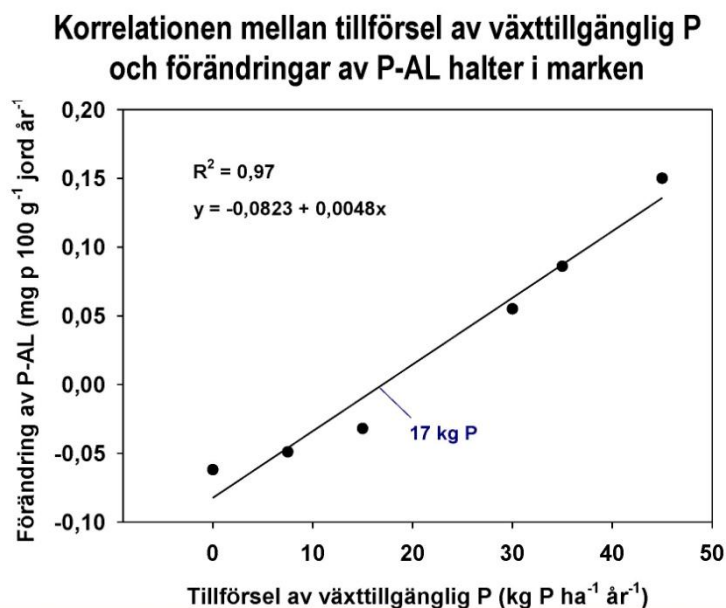
I 1999 ble det obligatorisk å utarbeide en gjødslingsplan før hver vekstsesong for alle landbrukseiendommer som er berettiget til produksjonstilskudd. Gjødslingsplanene har som mål å fremme rett gjødsling tilpasset plantenes behov med lavest mulig miljøbelastning. I forbindelse med innføring av obligatorisk gjødslingsplan, ble det utarbeidet flere edb-baserte gjødslingsplanprogram. Det ble også lagt ned mye arbeid i å utarbeide tabeller for normbehov og korrigeringer ut fra jordanalyser for jordbruksvekstene som grunnlagsmateriale i gjødslingsplanprogrammene.

Fra ca. 1990 til 2005 var omsetningen av P i handelsgjødsel stabil og utgjorde ca. 13000 tonn per år (figur 2). Jordanalyser av P-nivået i 1990 og 1997 på en rekke utvalgte skifter fra viktige

landbruksområder i Norge, viste en nedgang i løpet av 7- års perioden (Øverli 2000). En gruppering av skiftene ut fra driftsform viste at nedgangen i P-AL gjaldt både ved ensidig korndyrking, hvor gjennomsnittlig P-AL-verdi sank fra 9,9 til 8,4 mg per 100 g jord, for allsidig produksjon med husdyr hvor P-AL-verdien sank fra 14,2 til 11,8 og for allsidig produksjon uten husdyr, hvor P-AL-verdien sank fra 13,2 til 10,2. Halveringen i P-forbruket i mineralgjødning fra 1980 til 1990 var sannsynligvis en viktig årsak til den målte nedgangen i P-AL ut over på 90-tallet.

I 2006 ble P-AL på ny målt på de samme skiftene, men fra 1997 til 2006 var det lite endringer i P-AL-nivå (Kristoffersen 2007). Det stabile nivået stemmer godt med den stabile omsetningen av P i handelsgjødsel, og at det heller ikke var noen store endringer i P-gjødslingsanbefalingene i denne tidsperioden. Disse resultatene bekreftes også av tall fra Jorddatabanken (Grønlund 2012, pers. medd.), der gjennomsnittlig P-AL nivå i hvert fylke varierer lite fra år til år i perioden 2000-2007 (Vedlegg 1).

Resultater fra de svenske «bördighetsförsöken» viser at et likevektsnivå for P-AL i jord ble observert ved en gjødning på 1,7 kg P per daa (figur 3) over tid på noe ulik jord og over vekstskifter. Det konkluderes med at tilførsler på 2,2 kg P daa (svensk spredearealkrav) vil føre til en langsom heving av P-AL-verdiene i jord.



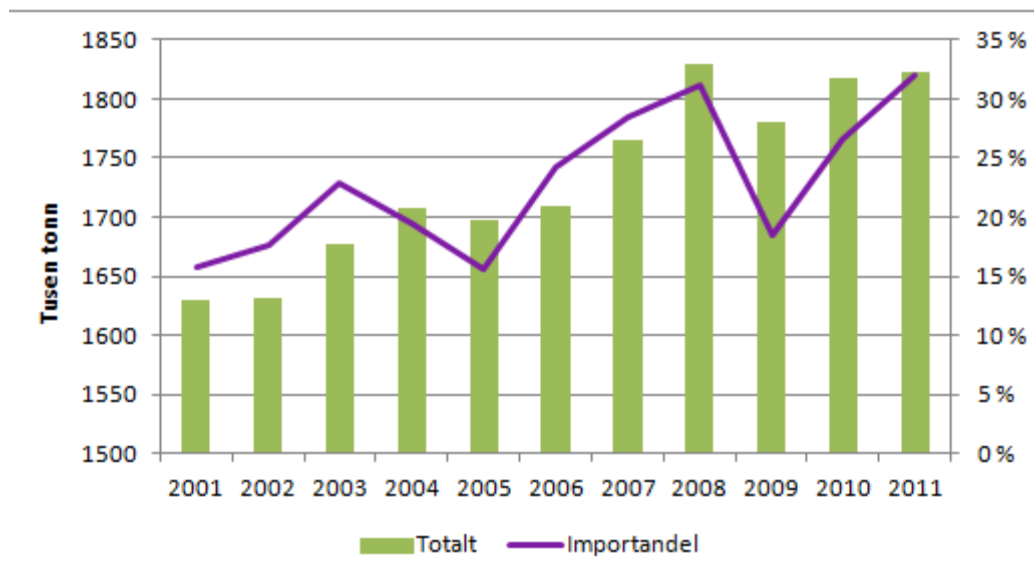
Tillförsel av 17 kg P ha⁻¹ behövs för att bibehålla P-AL halten vid höga N givor

Figur 3. Sammenheng mellom tilført P i gjødning (husdyrgjødsel og mineralgjødning) og årlig endring i P-AL i jord, funnet i de svenske «bördighetsförsöken» (Kilde: Holger Kirchmann, SLU, 2012)

4.2.1 Fosfortilførsler i kraftfôr

På husdyrbruk tilføres det gjerne betydelige mengder P til gården gjennom kraftfôr, i tillegg til i mineralgjødning. Totalforbruket av kraftfôr i landbruket er vel 1,8 millioner tonn per år, og forbruket er økende (SLF^a). Andelen importert kraftfôr har også økt over tid (figur 4). Anslår vi P-andelen i

råvarene til knapt 0,5 % så vil importert P i kraftfôr tilsvare om lag en tredjedel av importert P i mineralgjødsel. Total P-mengde i alt kraftfôr utgjør omtrent like mye som solgt P i mineralgjødsel.



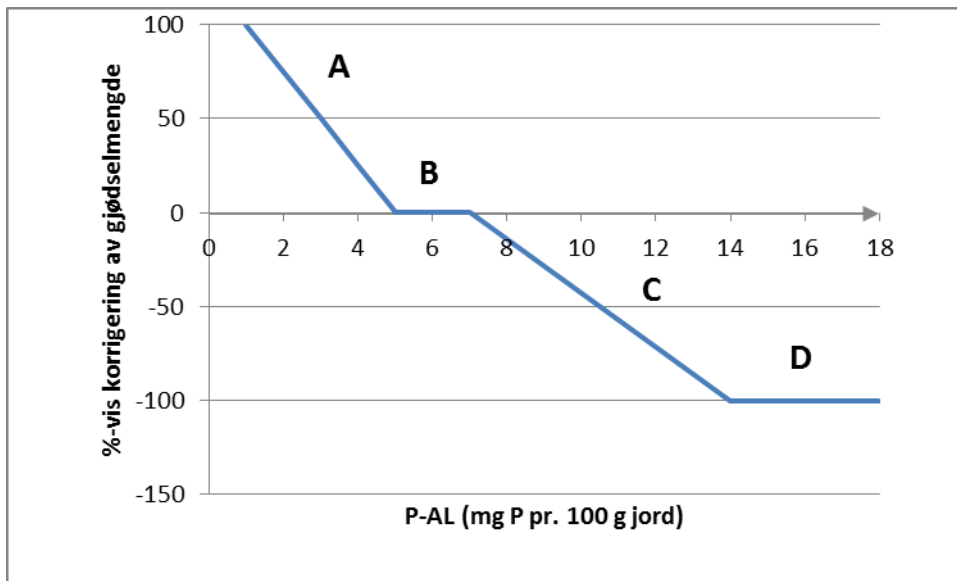
Figur 4. Totalforbruket av råvarer til norsk kraftfôrproduksjon (tonn) og importandel (%) (Kilde SLF^a).

4.3 Gjødslingsnormer

4.3.1 Nye normer til korn, oljevekster og eng

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 per daa, mot tidligere 2 kg P per daa (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 per daa til en avling på 400 fôrenheter melk (FEm) (= 470 kg tørrstoff med en fôrenhetskonsentrasjon på 0,85). Det ble lagt inn en lineær korleksjon for avlingsnivå utover 400 FEm. Det ble ikke lagt inn noen justering i normbehovet ved ulik antall høstinger (www.bioforsk.no/gjodslingshandbok).

Våren 2008 ble det gjort ytterligere justeringer. Da ble korleksjonslinja for justering av gjødselmengde ut fra P-AL endret (figur 5). Den nye korleksjonslinja setter P-AL 5-7 som et optimalt nivå i forhold til plantevekst og miljø. I det intervallet anbefales det å tilføre like mye P som det fjernes med avlingene. Ved P-AL over 7 anbefales det en gradvis nedtrapping av P-mengden. Denne nedtrappingen har en brattere korleksjonslinje enn tidligere. Ved P-AL over 14 anbefales det nå å utelate fosforgjødslingen helt til korn, oljevekster og eng (Krogstad et al. 2008).



Figur 5. Prosent korrigering av normgjødsling til korn, oljevekster og gras ved ulike P-AL nivå i jorda (Gjødslingshåndbok).

Beregninger av P-forbruket ut fra de nye anbefalingene viser at det kunne tilnærmet halveres i forhold til tidligere anbefalingene (Kristoffersen 2010). Det er interessant å se at gjødselstatistikken bekrefter at endrede gjødslingsnormer har hatt stor betydning for P-forbruket av mineralgjødning. Mengde omsatt P i handelsgjødsel ble omtrent halvert fra 2008 til 2009, og nivået har holdt seg like lavt også i 2010 og 2011.

4.3.2 Anbefalt P-gjødsling til korn og eng med justering for P-status

I Norge er P-gjødsling basert på en norm-gjødsling, og deretter en justering i forhold til jordas P-innhold. Men hva som regnes som optimal gjødsling har endret seg over tid. Som nevnt over, ble normgjødslingen for korn senket fra 2 til 1,4 kg P er daa, og for eng fra 2,1 til 1,6 kg P per. daa. Tidligere vurderinger om at man burde gjødsle med litt mer enn det som ble fjernet med avling, ble erstattet med balanse-gjødslingsprinsippet der man prøver å tilføre like mye som man fjerner. Det har også vært en endring over tid i forhold til hvilken betydning man legger i analyseresultater av jordas P-nivå. Det har betydning for hvor mye P-gjødselnivået økes ved lav P-status i jorda, og motsatt, hvor raskt P-gjødslingsnivået senkes når P-konsentrasjonen i jorda øker. Koblingen av analyseresultatene mot P-gjødslingsmengde er ikke eksakt vitenskap, og dette fører til ulike vurderinger over tid og mellom land.

Det er en stor variasjon i Europa med hensyn til hvilke analysemetoder som brukes for å beskrive jordas P-tilstand. Metodene er ulike i forhold til styrke på ekstraksjonsløsningene, og dermed hvilke P-fraksjoner som ekstraheres. Gjødslingsforsøk i det enkelte land har gjort at man har funnet regionale sammenhenger mellom analyseresultater og forventet avlingsrespons. Men den store variasjonen i metoder gjør det vanskelig å sammenligne på tvers av landene (Tunney et al. 1997).

Bare i Europa brukes mer enn ti ulike ekstraksjonsmetoder. Likevel er det interessant å studere andre lands anbefalinger.

Tyske anbefalinger

De tyske anbefalingene er koblet til jordas P-status. Det benyttes to laktatmetoder som analysemetode, ofte kalt enkelt-laktat og dobbelt-laktat metoden (P-CAL: 0,1 M Ca-laktat og eddiksyre, pH 4,1 og P-DL: 0,02 M Ca-laktat og HCl, pH 3,6). Dette er svakere ekstraksjonsmetoder enn AL-metoden. Sibbesen & Sharpley (1997) oppgir AL/CAL (via Olsen) som 1,8 og AL/DL som 1,52. Anbefalingene bygger på balanseprinsippet (tabell 1). Både i Tyskland og i Norge forutsettes en kornavling på 400 kg korn pr. daa å fjerne 1,4 kg P. For hver 100 kg avlingsøkning legges det til 0,3 kg P på gjødselmengden i Tyskland, mens det i Norge legges til 0,35 kg. Deretter anbefales det et tillegg eller fratrekk av P-gjødsling utfra P-status i jorda. I Tyskland anbefales det ingen gjødsling ved P-CAL over 9,1, som tilsvarer ca. P-AL 18. Det er noe høyere enn nivået i Norge på P-AL 14.

Tabell 1. Anbefalt P-gjødsling i Tyskland, gruppert etter P-klasser (Entrup & Oehmichen 2006)

P-klasse	P-CAL /P-DL (mg P/100g)	Tilsvarer ca. P-AL (mg/100g)	Korn 600-1000 kg/daa
A	≤ 2,0	≤ 4,0	Balansegjødsling + 1,7 - 2,6 kg P/daa
B	2,1- 4,4	4,2-8,8	balansegjødsling + 1,1 - 1,7 kg P/daa
C	4,5 - 9,0	9,0-18	balansegjødsling - 1,1 kg P/daa
D	9,1 - 15,0	18,2-30	ingen gjødsling
E	≥ 15,1	≥ 30,2	ingen gjødsling

Engelske anbefalinger

I England er også anbefalingene koblet til jordas P-innhold. Man bruker P-Olsen som analysemetode (0,5 M natriumbikarbonat, bufret til pH 8,5, Olsen et al. 1954). Metoden ekstraherer mindre P enn P-AL, og er særlig egnet på jord med høy pH. Norske undersøkelser har funnet en relativt bra sammenheng mellom P-Olsen og P-AL (Semb 1986, Kristoffersen pers. medd.). Tabell 2 og 3 viser de engelske anbefalingene og beregnet P-AL for henholdsvis korn og eng. Det er brukt en jordtetthet på 1,1 ved omgjøring fra liter jord til kg jord.

Tabell 2. Anbefalt P-gjødsling til korn i England (Kilde: Defra 2010, The Fertiliser Manual RB209)

P-klasse	P-Olsen, mg P/l	Tilsvarende ca. P-AL, mg P/100g	Høstkorn, halm pløyes ned (800 kg/daa) kg P/daa	Vårkorn, halm pløyes ned (600 kg/daa) kg P/daa
A	0-9	≤ 1	5,2	4,6
B	10-15	1-2	4,0	3,3
C	16-25	2-5	2,6	2,0
D	26-45	5-10	0	0
E	≥ 46	≥10	0	0

Hvis halmen fjernes fra jordet anbefales det i England å øke P-mengden med 0,2 kg P per daa. I Norge anbefales det i dette tilfellet å øke med 0,3 kg P per daa. Det har skjedd en endring i P-anbefalingene til korn i England fra 2000 til 2008 (fra 7. utgave av gjødslingsmanualen til Defra (Department for Environment Food and Rural Affairs) og til 8. utgave). Ved lavt P-innhold i jorda, anbefales det nå sterkere P-gjødsling i 2010 enn i 2000. Ved P-Olsen > 26 mg P per liter jord anbefales det nå ingen P-gjødsling, mens det i 2000 ble anbefalt en svak P-gjødsling til korn ved P-Olsen 26-45. Gjødslingsrådene er sterkt rettet inn mot å oppnå vedlikeholds nivået, P-Olsen 16-25, for engelsk jordbruksjord. Nivået for hvor man anbefaler å ikke gjødsle med P er betraktelig lavere enn i Norge.

Tabell 3. Anbefalt P-gjødsling til eng i England (Kilde: Defra 2010, The Fertiliser Manual RB209)

P-klasse	P-Olsen, mg P/l	Tilsvarende ca. P-AL, mg P/100g	1. slått (2,3 t/daa) kg P/daa	2. slått (1,5 t/daa) kg P/daa	3. slått (0,9 t/daa) kg P/daa
A	0-9	≤ 1	4,4	1,1	0,7
B	10-15	1-2	3,1	1,1	0,7
C	16-25	2-5	1,7	1,1	0,7
D	26-45	5-10	0,9	0	0
E	≥ 46	≥10	0	0	0

Svenske anbefalinger

I Sverige gir Jordbruksverket årlig ut retningslinjer for gjødsling og kalking. Tabell 4 viser at det ikke anbefales P-gjødsling ved P-AL over 12 til korn og oljevekster. P-AL-nivået for balanse gjødsling ligger mellom P-AL 4-8. For vår- og høstkorn er justeringen for avling opp eller ned i forhold til

middelnivå 0,3 kg P pr. 100 kg korn, og for oljeverkster 0,5 kg P pr. 100 kg. Det poengteres at anbefalingene ikke er bindende regler, men retningsgivende og at ved gjødslingsplanlegging må både plantenes behov og miljømessige forhold vektlegges.

Tabell 4. Anbefalt P-gjødsling i Sverige (Kilde: Jordbruksverket 2011)

P-klasse	P-AL, mg P/100g	Vårkorn (500 kg/daa) kg P/daa	Høstkorn (600 kg/daa) kg P/daa	Våroljeverkster (200 kg/daa) kg P/daa	Eng (600 kg TS/daa) kg P/daa
I	< 2	2,5	2,5	2,5	2,5
II	2-4	2,0	2,0	2,0	1,5
III	4-8	1,5	1,5	1,5	1,0
IV A	8-12	0,5	0,5	1,0	0
IV B	12-16	0	0	0	0
V	> 16	0	0	0	0

I Sverige fremheves radgjødsling til vårkorn istedenfor breispredning, da det gir en bedre gjødseleffekt, og at risikoen for tap gjennom overflateavrenning og makroporetransport reduseres. I Norge har det vært vanlig med radgjødsling siden begynnelsen av 1970-tallet, etter positive resultater fra feltforsøk (Lyngstad 1977).

Danske anbefalinger

Også i Danmark benyttes P-Olsen som analysemetode. Det anbefales å tilføre samme mengde P som fjernes med avlingen ved fosfortall 2-4 (mg P per 100 g jord), som tilsvarer omtrent P-AL 4,5-10,5. Ved lavere fosfortall anbefales det å tilføre mer enn det som fjernes, og ved fosfortall høyere enn 4 anbefales det en mindre tilførsel enn bortførsel. I tabell 5 er det satt opp retningsgivende normer for P til flere landbruksvekster når jorda har fosfortall 2-4.

Tabell 5. Anbefalt P-gjødsling i Danmark (kilde: Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri 2012a. Vejledning om gødsknings- og harmoniregler)

Vekst	Retningsgivende norm for fosfor kg P/daa
Vårbygg	2,2
Vårhvete	1,9
Havre	2,5
Vinterhvete	2,2
Vårraps	2,5
Eng	2,5-3,5

4.3.3 Oppsummering av anbefalinger til korn og eng

Det er flere likhetstrekk i fosforanbefalingene til korn og eng i Sverige, Danmark, Tyskland, England og Norge. Alle landene anbefaler en normgjødsling ved et gitt nivå av plantetilgjengelig P i jorda. Ved lavere P-nivå anbefales det en økning av P-gjødselmengden for å bygge opp reservene i jorda. Ved et høyere P-innhold i jorda, anbefales det en reduksjon av P-mengden, og ved høyt P-innhold anbefales det å utelate P-gjødsling. Dette har til hensikt å tappe jorda for P til et mer optimalt nivå i forhold til forurensingsrisiko. Forskjellene mellom landene ligger særlig i tolkningen av hva som er optimalt P-nivå i jorda. Siden det også benyttes ulike ekstraksjonsløsninger for å vurdere P-nivået i jord, er en direkte sammenligning, og eventuell synkronisering, vanskelig. Hva som regnes som normbehov, er mer synkronisert mellom landene. Normbehovet vurderes ut fra et balanseperspektiv, og dermed bestemt av avlingsnivå og P-konsentrasjon i plantematerialet.

4.3.4 Nye normer til potet og grønnsaker

Til potet ble P-normene endret i 2009. For ei normavling på tre tonn ble anbefalt P-gjødselmengde redusert fra 4,5 kg P til 3,5 kg P per daa. Det ble ikke anbefalt å utelate P-gjødsling helt ved høye P-AL-verdier, men å redusere P-mengden med 75 % ved P-AL over 15 (www.bioforsk.no/gjodslingshandbok).

Til grønnsaker ble det i 2012 utarbeidet nye P-normer til kulturene løk, kål og gulrøtter. Det ble gjort et omfattende arbeid i forkant med gjennomgang av tidligere og nyere P-gjødslingsforsøk med grønnsaker i Norge (Riley et al. 2012). Det ble også gjort sammenligninger med andre land i forhold til anbefalt P-gjødsling til en rekke grønnsakskulturer. Det pågår fortsatt forsøk i en rekke andre grønnsakskulturer for å kunne vurdere normene i disse kulturene.

For grønnsaker ble det bestemt at korrigeringen for P-AL skulle følge systemet for korn og gras til en viss grad, men med noen justeringer. P-AL-skalaen ble utvidet til å dekke hele området som finnes i praksis. Nivået "meget høyt" ble avsluttet ved P-AL 19, og det ble innført nye klasser for høyere nivå. Endringen markerer at svært høye og ekstremt høye P-AL-nivå bør reduseres. Videre ble det lagt opp til at det korrigeres for absolutte P-mengder framfor prosentvise endringer. Hovedregelen, med unntak av løk, er at P-tilførselen ved et ekstremt høyt P-AL-nivå ikke overstiger det som fjernes med avling.

Både poteter og grønnsaker er vekstgrupper med varierende rotvekstmønster og ulik evne til å utnytte tilført P. Fordi dette er høyverdivekster, betyr verdien av små avlingstap ofte langt mer enn marginale P-gjødselkostnader. Det norske klimaet tilsier kjølige forhold på våren, og gjerne seinere våronn enn land lenger sør, med påfølgende kortere somre, og tid for P-opptak. Dette er årsaken til at nedjusteringene av P-gjødsling til potet og grønnsaker ikke følger balansegjødslingsprinsippet like tydelig som i korn og eng.

5. Balansert gjødsling - N og P

5.1 Planters balanserte næringsbehov

Avlinger vil variere med en rekke forhold, der gjødslingspraksis og erfaringsgrunnlag fra ulike steder og år/vekstsesonger er viktig. I intensive dyrkingssystem vil ofte planlagt avlingsnivå ligge nær opp til det som er mulig å ta ut av avlingspotensial i det enkelte år, og slik at det er et økonomisk utbytte av å gjødsle opp til den mengden som brukes. Et miljøperspektiv skal imidlertid også ligge til grunn, og er blant annet grunnlag for kravet om gjødslingsplaner. I ekstensive systemer, der økologisk landbruk kan være et eksempel, kan det av ulike grunner bli gjødslet svakere enn økonomisk optimalt nivå. I alle systemer bør et mål være å tilføre plantenæringsstoff mest mulig i balanse med hverandre. Gjødsling bør foregå til rett tid, slik at næringsstoffene belaster miljøet minst mulig.

Planteernæring er et stort fagfelt, og spesifikke næringsstoffer og sammenhenger mellom dem er omfattende beskrevet i litteraturen (Mengel & Kirkby 2001). N er på mange måter i en særstilling gjennom sin rolle i proteinsyntesen. Under norske forhold, og spesielt i ekstensive system, er N-tilgangen gjerne det som sterkest begrenser planteveksten. Derfor kan det være praktisk å bestemme behovet for andre plantenæringsstoff ut fra N-forsyningen.

En måte å ekstensivere næringsforsyningen til planteveksten generelt, vil være å sette grenser for hvor mye N som kan tilføres i gjødsel. Regelverket for økologisk landbruk har en slik begrensning, der det ikke kan tilføres mer enn 17 kg total-N per daa og år i gjennomsnitt. Dette er samme begrensning som i EUs vandirektiv. Denne rapporten skal ikke sette fokus på N, men på grunn av dette elementets betydning er det grunn til å nevne det danske systemet for utarbeiding av N-normer og nedjustering av denne til en politisk fastsatt N-kvote (for tiden 10 % ned) (Landbruksinfo), og der det er mulig å inngå kontrakter med ytterligere begrensinger i N-bruk mot et ekstra tilskudd.

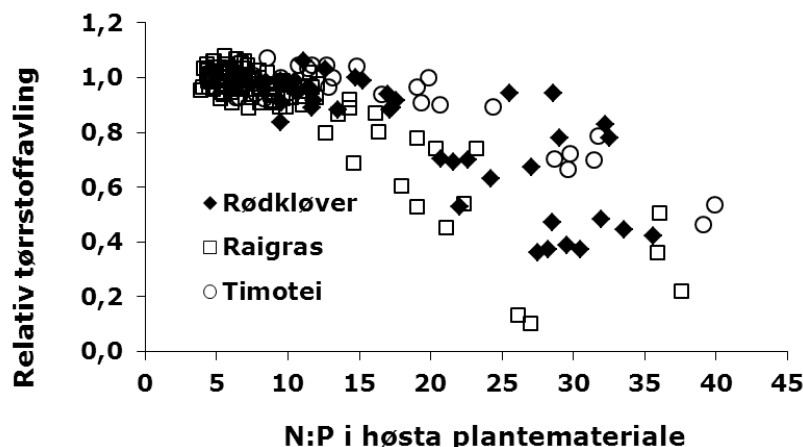
5.2 Forholdet mellom N og P i planter - N:P-indeks

Gjødslingsnormene vil være et utgangspunkt for å sikte mot en balanse mellom næringsstoffer i den gjødsla som tilføres en gitt plantevekst. For å styre gjødslingen enda mer presist kan man også måle det faktiske opptaket i plantemateriale. På den måten kan planteanalyser være et alternativ eller supplement til jordanalyser for vurdering av aktuell næringsstatus og behov for gjødsling. Aktiv bruk av planteanalyser kan være et tiltak for enda mer presis P-gjødsling i utsatte vannområder. Det er utviklet metoder for å fastsette optimale N konsentrasjoner i høsta plantemateriale (kritisk N) til forskjellige avlingsnivåer (f.eks. Lemaire et al. 1989; Greenwood et al. 1991). Sammenhengen mellom avlingsmengde og kritisk N får en kurveform mot en minimumsverdi ved økende avling.

Aktuell næringsstatus kan regnes ut ved å relatere analyseverdier til et slikt optimalt nivå. Til forskjell fra N er det derimot ikke alltid like lett å tolke statusen for P i en plante ut fra P-innhold alene. Responser på avling vil normalt være mindre direkte og i stor grad også avhengig av nitrogenstatus.

Vurderinger av P-status blir mer robust når P-innholdet ses i forhold til N-innholdet i plantematerialet. I henhold til Duru & Thélier-Huché (1997) kan P-status hos gras estimeres ut fra en sammenligning mot optimal P-konsentrasjon regnet ut på grunnlag av N-nivå ($P \% \text{ optimal} = 0,15 + 0,065 N \% \text{ målt}$). Koerselman & Meuleman (1996) fant at N:P-verdier > 16 i plantemateriale over bakken kunne brukes som et kritisk nivå for P-begrensning hos viktige våtmarksplanter. Flere studier har senere vist at bruk av N:P eller en lineær sammenheng mellom N og P kan brukes for å uttrykke aktuell P-status relatert til plantens optimale P-nivå, som for mais (Ziadi et al. 2007), timotei (Bélangier & Ziadi 2008), hvete (Ziadi et al. 2008) og våtmarksplanter (Güsewell et al. 2003). Liebsh et al. (2013) fant nylig at en indeks for P-status i gras (Sveits) basert på forholdet til et slikt optimalnivå kunne skille mellom mangel, tilfredsstillende og overskudd i P-gjødslinga.

I Norge ble det først på 2000-tallet satt i gang undersøkelser på viktige grovfôrvekster for å se på om et slikt forhold mellom N og P kunne brukes til å si noe om eventuell mangel på P for optimal plantevekst (Fystro et al. 2008). Kontrollerte forsøk i potters plassert ute viste at P ikke hemmet plantevekst ved $N:P < 12$ for raigras og $N:P < 16$ for timotei og kløver (figur 6). Stigende N:P-verdier (over $P-AL > 12-16$) økte observerte tilfeller av avlingsnedgang for disse vekstene. En viktig konklusjon var at det ikke var forskjell i disse trendene mellom tre påfølgende høstinger og på tre ulike steder. Det var heller ikke forskjeller i relative responser på plantevekst ut fra N:P ved to ulike gjødslingsnivåer av N. Disse forsøkene var gjort der N-nivået generelt var under kritiske nivåer, og konklusjonene vil ikke gjelde under forhold med luksusopptak av N (over kritisk N). Luksusopptak av N bør normalt heller ikke forekomme.



Figur 6. N:P-verdier i rødkløver, timotei og raigras plottet mot relativ tørrstoffavling observert i pottforsøk (Fystro et al. 2008).

Det ble videre testet om sammenhengene som ble observert i pottforsøkene også gjaldt under praktiske forhold i eng. Det ble etablert feltforsøk på steder med lav P-status (P-AL 2-5), men det ble imidlertid bare små avlingsutslag for P (Nesheim & Fystro 2006). Det var bare noen få planteprøver som hadde N:P verdier > 12, og ingen over 16, selv uten tilførsel av P-gjødsel. Liten eller ingen avlingsrespons i forsøkene samsvarer slik sett med resultatene i pottforsøkene og flere resultater rapportert i litteraturen. Feltforsøkene ble dermed i større grad en demonstrasjon på små avlingsutslag ved lav P-gjødsling enn en dokumentasjon på hvor et kritisk N:P-nivå kan ligge under norske forhold.

Selv om det kunne være behov for en strengere test på hvordan en kan bruke N:P i plantemateriale som indikator for P-status i norsk jord, tyder mye på at dette forholdet burde vært benyttet mer. Særlig vil dette gjelde dersom man for eksempel i et utsatt vannområde, ønsker å redusere fosfortilførselene ut over det generelle råd gir grunnlag for. Da kan man følge med på at N:P verdien ikke blir kritisk høy. Det bør også nevnes at N:P i planten også kan brukes som en indikator på lav N-forsyning når forholdet blir lavt (N:P < 10). Økt N-tilgang kan da gjøre plantene i stand til å utnytte fosfor bedre gjennom generell vekstøkning og kanskje bedre rotutvikling.

I litteraturen er det diskutert ulike utfordringer ved tolkninger av grenseverdier for N:P i plantemateriale som en generell sammenheng. Som eksempel fant Jouany et al. (2004) forskjeller i N:P mellom hvitkløver og raigras, og Bélanger et al. (2011) påviste forskjeller mellom spesifikke plantedeler. Det er også indikasjoner på at virkninger av faktorer som tørkestress og N-stress kan påvirke N:P på ulike måter hos ulike plantetyper (Lü et al. 2012), og forfatterne konkluderer med et behov for en samlet litteraturgjennomgang (meta-analyse) for å avdekke flere forhold relatert til bruk av N:P som indikator for P gjødsling.

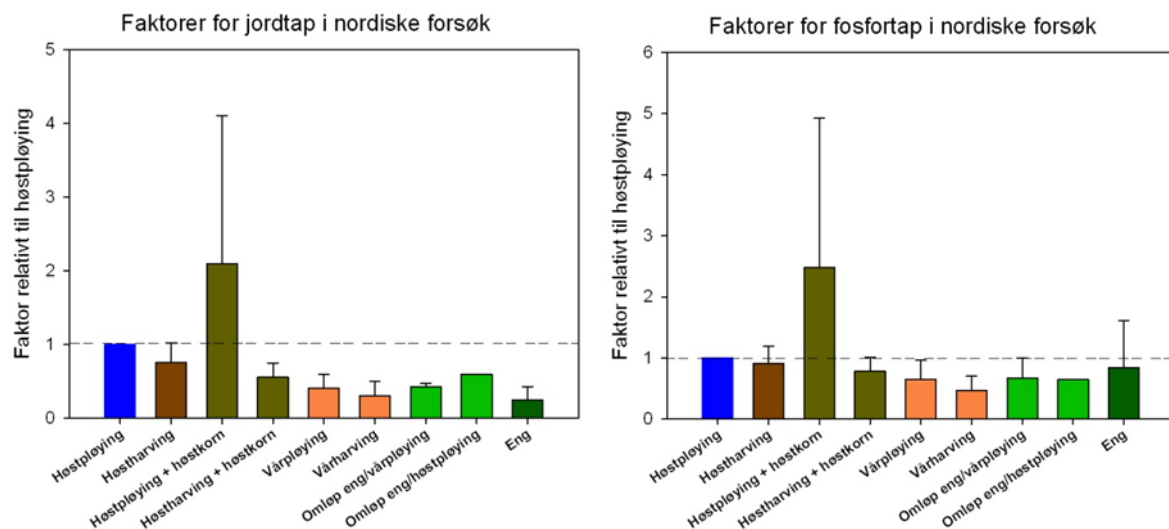
Bruken av N:P i høstet plantemateriale er en lovende metode for å bestemme om P-tilførselen til planteveksten er tilfredsstillende. Koblingen til N er viktig for at en analyse av P i plantematerialet vil kunne brukes til å vurdere en mulig P begrensning i tørrstoffavling ved ulike utviklingsstadier og ved ulik N forsyning. P-status i planter eksponert for både luksusopptak av N, tilfredsstillende N-tilgang og betydelig N-mangel bør undersøkes nærmere. Dette bør undersøkes for avlinger med ulike vekstkarakteristikk, som for eksempel gras (der vegetativ vekst er viktigst), poteter (knolldannelse) og korn (frøutvikling).

6. Differensiert gjødsling

6.1 Arealets risiko for tap av fosfor

6.1.1 Erosjonsrisiko

På grunn av fosforets sterke binding i mineraljord er det en god sammenheng mellom erosjonsrisiko og fare for P-tap. Å redusere erosjon er derfor en god strategi for å redusere avrenningen av P, spesielt på leirholdige jordarter. En grundig gjennomgang av effekter av jordarbeiding på erosjon og P-tap fra nordiske forsøk ble skrevet i 2011 (Bechmann et al. 2011).



Figur 7. Faktorer for jordtap og P-tap fra nordiske forsøk. Standardavvik er angitt. (Bechmann et al. 2011).

Valg av vekst og jordarbeidingsmetode er avgjørende for erosjonsrisikoen. Som det framgår av figur 7, er det til dels store variasjoner innen enkelte jordarbeidingsgrupper. Dette er både relatert til variasjon i jordart og klima. Høstpløying med påfølgende isåing av høstkorn gir maksimal erosjonsrisiko, mens eng utgjør lavest risiko. Tiltak som grasdekte vannveier og vegetasjonssoner mot vassdrag kan dempe noe av risikoen, men tiltak som begrenser høstpløying og dyrking av høstkorn i områder med følsomme resipienter er viktige for vannmiljøet. Selv om eng er meget gunstig med tanke på å dempe erosjon, vil det være en del overflateavrenning av P både på grunn av overflategjødsling og risiko for utfrysing av P fra plantematerialet gjennom vinterhalvåret. Sein høsting av eng og beite og minst mulig plantemateriale om høsten i fangvekster er gunstig med tanke på redusert avrenning av løst P. Det bør også i minst mulig grad tilføres P-gjødsel (mineralgjødsel og husdyrgjødsel) på overflaten om høsten.

Erosjonsrisikokartene med inndeling i erosjonsklasser fra lav til meget høy erosjonsrisiko er et godt hjelpemiddel i planleggingen av en miljøvennlig drift. Erosjonsrisiko i kombinasjon med jordas P-innhold (P-AL) er viktige parametere i P-indeksberegningene beskrevet i kapittel 6.1.2.

6.1.2 P-indeks/stedsindeks

Ulike deler av jordbruksarealene har ulik risiko for å tape P. Erosjonsrisiko, P-innholdet i jorda og nærhet til vassdrag er alle faktorer som har betydning for P-tapene. I tillegg vil driftspraksis som gjødsling og jordarbeiding påvirke tapene (Sharpley & Rekolainen 1997). Den mest effektive reduksjonen i P-tapene fra dyrka mark oppnås dersom en fokuserer på de arealene som bidrar med de største tapene. De mest kritiske arealene utgjør ofte en mindre del av et område, f.eks. der det er mye tilgjengelig P på erosjonsutsatte arealer. Ut i fra dette oppsto idéen om å utvikle et verktøy (P-indeks) som kunne brukes til å rangere arealer i forhold til risiko for P-tap, og for å vurdere hvilke tiltak som er mest effektive for å redusere P-tapene (Lemunyon & Gilbert 1993, Sharpley et al. 2003). I P-indeks er ulike faktorer som har betydning for P-tap fra jordbruksarealer koblet sammen slik at det er en helhetlig vurdering av jordets risiko for P-tap. Det vitenskapelige grunnlaget for en norsk P-indeks er beskrevet av Bechmann (2005).

Et viktig utgangspunkt ved utviklingen av P-indeks var at beregningene skulle være basert på lett tilgjengelige data, slik at den skulle kunne brukes av gårdbrukere og veiledningstjenesten. P-indeksen er derfor basert på opplysninger som er tilgjengelige ved laging av gjødselplan, kartkilder og egen kjennskap til arealene. For hvert skifte kobler P-indeksen sammen faktorer som bestemmer jordas P-innhold (P-AL, P-gjødsling) med faktorer som bestemmer risikoen for transport av P til vassdrag (erosjonsrisiko, jordtype, jordarbeiding, avstand til vassdrag m.m.).

P-indeksen gir en indikator for risiko for P-tap, og beregner derfor ikke P-tapet som kg P per daa. Til det trengs det mer kompliserte beregningsmodeller som også ville ha krevd mye mer data for å kunne utføre beregningene, for eksempel AGRICAT (Borch et al. 2010) og SWAT (Arnold et al. 1998). P-indeksen er et verktøy for å målrette tiltakene mot de arealene som har størst risiko for P-tap. I tillegg kan P-indeksen brukes som hjelpemiddel i tiltaksplanleggingen til å vurdere de mest effektive tiltakene. Redusert P-gjødsling, redusert jordarbeiding om høsten, vegetasjonssoner og grasdekte vannveier er tiltak som vil redusere P-indeksen i ulik grad avhengig av de naturgitte forholdene. Ved å beregne P-indeks for de ulike driftsalternativene fås en indikasjon på hvilke tiltak som er mest effektive.

Noen arealer vil komme ut med en høy P-indeks til tross for en miljømessig god drift, fordi arealet fra naturens side har en høy risiko for å tape P (for eksempel bratte arealer som ligger nær en bekk). Andre arealer kan få en lav P-indeks uten gjennomføring av miljøtiltak. For å gi informasjon om den naturgitte risikoen for å tape P, beregnes en stedsindeks for arealet. Stedsindeksen inkluderer ikke faktorer som angår driftspraksis. Den blir beregnet kun ut i fra de stedsfaste faktorene som er erosjonsrisiko ved høstpløying, flomrisiko, avstand til vassdrag, jordtype, grøfting

og jordas P-AL-tall. Jordas P-AL tall er et resultat av driftspraksis, men fordi det tar lang tid å endre P-AL-tallet er det likevel tatt med i stedsindeksen. Siden en lav P-indeks ikke kan oppnås på alle arealer på grunn av stedgitte faktorer som gir høy risiko, er målet å redusere P-indeksen i forhold til stedsindeksen mest mulig. Driftspraksis (gjødsling og jordarbeiding) og landskapstiltak (vegetasjonssoner og grasdekte vannveier) modifierer stedsindeksen og gir en P-indeks som kombinerer de stedegne faktorene med driftspraksis og miljøtiltak.

Faktorene som påvirker P-tap kan deles inn i to hovedgrupper; kildefaktorer og transportfaktorer (Bechmann et al. 2005). Kildefaktorene bestemmer P-innholdet på et skifte, mens transportfaktorene bestemmer risikoen for at P transporteres fra dette skiftet til vassdraget.

I kildefaktorene i P-indeksen inngår jordas P-AL-tall, P-tilførsel med mineral- og husdyrgjødsel og P i planterester. I transportfaktoren inngår risiko for erosjon, overflateavrenning, grøfteavrenning, utvasking og flom i tillegg til avstand til åpent vann og landskapstiltak (grasdekte vannveier og vegetasjonssoner mot vassdrag). I P-indeks kobles alle disse faktorene sammen ved å summere noen av faktorene, mens andre faktorer blir multiplisert. For en detaljert oversikt over faktorene og vektingen av disse i beregningene henvises det til håndboka for den norske P-indeksen (Krogstad & Øgaard, 2012). Bioforsk tilbyr en kalkulator for beregning av P-indeks fritt tilgjengelig på nettet, på www.webgis.no/pineks.

Utregnet P-indeks er et tall uten benevning. P-indeksen angir bare relativ risiko (fra lav til meget høy risiko) for å tape P. Slik P-indeks beregnes, brukes følgende klassesystem for å gradere risikoen for P-avrenning:

Lav	<30
Middels	30-60
Høy	60-100
Meget høy	>100

6.1.3 P-indeksens rolle for bedre vannmiljø

P-indeks er en modell hvor man kombinerer og vekter de faktorene som har betydning for avrenning av P på en mest mulig optimal måte. Dette gir dermed en indeks som kan brukes til å kartlegge skifter på en gård avhengig av forurensningspotensialet. For gårdbrukeren vil dette være et nyttig verktøy i planleggingen av gårdsdriften på en mest mulig miljømessig måte. P-indeks bør derfor kobles aktivt til gjødslingsplanleggingen og helst på en slik måte at når det regnes ut et gjødslingsbehov for et skifte så blir det samtidig beregnet en P-indeks for skiftet. Dersom resultatet av ønsket dyrking og gjødsling gir en høy P-indeks er dette et signal om at man bør tenke på alternative vekster og driftsformer for dette skiftet dersom det er praktisk mulig. Ved bruk av P-indeks kalkulatoren ser man raskt hvordan nye vekster, jordarbeidingsmetoder og gjødsling påvirker potentialet for avrenning. Det er et godt styringsverktøy til å differensiere gjødslingen mot lavest mulig avrenning.

Jordas P-AL-tall og erosjonsrisiko er de to faktorene som gir størst påvirkning på P-indeks. Størst risiko er det dersom begge disse faktorene er høye. Målet er å redusere P-AL mest mulig ned mot laveste akseptable nivå som er P-AL 5-7, samtidig som man har en jordarbeidingspraksis som sannsynliggjør lav erosjon. Fosfornivået i jorda styres ved gjødsling og en aktiv utnyttelse av jordas egne P-reserver. Erosjonsreduksjon oppnås både i valg av vekster og i jordarbeidingspraksis slik det er vist i rapporten "Effekter av jordarbeiding på fosfortap" hvor både norske og internasjonale resultater er drøftet (Beckmann et al. 2011).

6.1.4 Biotilgjengelighet

I jorda:

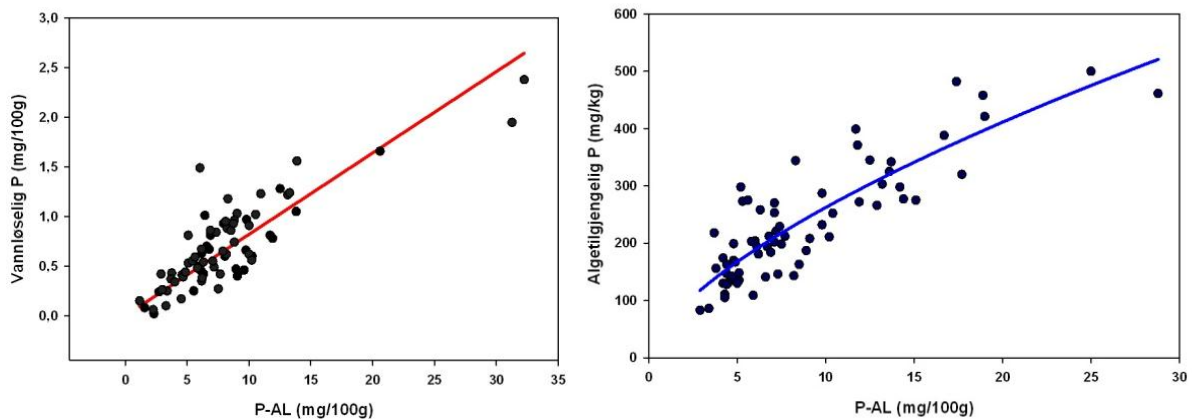
Med biotilgjengelighet mener tilgjengelighet av P for planter som vokser i jorda og for alger i vann. Begge disse to temaene må belyses i og med at miljøfaktoren er viktig i denne utredningen. For både planter og alger er det den uorganiske fraksjonen av P som er viktig for tilgjengeligheten. Fosfor i organiske fraksjoner må regnes for tilnærmet utilgjengelig under våre klimaforhold hvor mineraliseringen av organisk bundet P er liten. I norsk jord, som generelt har pH < 7 og er rik på jern og aluminium, vil løselig fosfor lett bindes i en form som ikke kan utnyttes av planter. Fosfor i handelsgjødsel er i hovedsak i form av ammonium- og kalsiumfosfat og er lett løselig i jorda. Dette er P som lett tas opp av plantene dersom røttene får tak i det før det bindes i for sterk grad til jordpartiklene. Målet om en balansert gjødsling forutsetter at gjødsla tilføres der planterøttene er, for å unngå at jorda binder fosforet før plantene tar det opp. For å klare dette gjenstår fortsatt betydelige tekniske utfordringer som krever fortsatt utvikling. Husdyrgjødsel blir sett på som organisk gjødsel, men når det gjelder P er minst 70 % av det totale innholdet mineralsk ortofosfat, og dermed i en form plantene kan ta opp. Biotilgjengeligheten for P i handelsgjødsel vurderes lik totalinnholdet av P i husdyrgjødsel. Dette skyldes at husdyrgjødsel også inneholder organisk materiale, som påvirker tilgjengeligheten av P på en positiv måte ved å øke tilgjengeligheten av P, som allerede befinner seg i jorda, og ved å redusere bindingen av mineralsk P som tilsettes med husdyrgjødsel. Noe av det organisk bundne vil også mineraliseres i vekstsesongen. Husdyrgjødsel er derfor en effektiv P-kilde som gir en bedre total utnytting av P enn kun bruk av handelsgjødsel.

På jord med høyt innhold av organisk materiale og myrjord vil bindingen av P være liten.

Tilgjengeligheten av tilført P vil derfor være større i slik jord enn i mineraljord. Differensiert gjødsling av P er derfor ikke kun knyttet til vekstgrupper, men også til jordart. I organisk jord bør man ikke øke normgjødslingen selv om P-AL tallene er lave. Gjødsling med P på slik jord vil være vesentlig mer utsatt for utvasking og dermed forurensning enn P på mineraljord. På organisk jord er P-tapet i hovedsak utvasking av løst P, på mineraljord og spesielt på leirjord er P-tapet i hovedsak knyttet til erosjon og partikkelbundet P-tap. Her vil derfor erosjonsdempende tiltak være en god strategi for å redusere P-tapet raskt, mens i organisk jord er redusert gjødsling viktigst for raskt å redusere avrenningen.

I vann:

Ut fra et miljøhensyn er det også viktig å holde P-nivået i jorda på et så lavt nivå som mulig, men ikke lavere enn at det fortsatt oppnås optimale avlinger av god kvalitet. Det er en god sammenheng mellom P-AL nivået i jorda og hvor lett fosfor kan løses ut med regnvann og avrenning på et jorde. Desto høyere innholdet av P i jorda er desto mer P vil være tilgjengelig for alger dersom denne jorda eroderer ut i bekker og innsjøer (Krogstad & Løvstad 1989, 1991). I figur 8 er det vist eksempler på hvordan sammenhengen er mellom vannløselig P og P-AL, og mellom algetilgjengelig P (målt kjemisk som reaktivt fosfor) og P-AL (Krogstad & Løvstad 1991, 2012).



Figur 8. Vannløselig P og algetilgjengelig P som funksjon av P-AL i plogsjiktet i dyrka jord. Eksempel fra leirjord på Østlandet (Krogstad & Løvstad 2012).

Responstiden vil i mange tilfeller være lang fra tiltak med redusert P-gjødsling gjennomføres til man ser effekten på bedre vannkvalitet. Det er derfor viktig at tiltakene settes inn mot de arealene hvor tapet av P er størst og der hvor tiltakene virker raskest. Jordanalysene vil i denne sammenheng være et viktig hjelpemiddel. I jord med svært høyt P-nivå vil jordas evne til å binde P avta. Fosfor er dermed lettere tilgjengelig for planteopptak, men også for utvasking. Noen undersøkelser har vist at opphør av P-gjødsling kan ha en rask respons på P-konsentrasjonen i jordvannet (van der Salm et al. 2009), og man kan da forvente en rask respons på vannkvaliteten dersom gjødslinga reduseres. I utredningen til Øgaard et al. (2012) ble imidlertid ikke antagelsen bekreftet om at den lettest løselige fraksjonen (vannløselig P) reduseres raskere enn andre P-fraksjoner ved redusert P-gjødsling. Dette ble testet ved analyse av vannløselig P av jordprøver fra flere norske P-gjødslingsforsøk. Et svensk utvaskingsforsøk bekreftet heller ikke rask respons på opphør av P-gjødsling (Svanbäck et al., 2012). Det er derfor fortsatt usikkerhet angående hvor raskt en kan forvente respons på P-tap etter reduksjon i P-gjødsling. En P-AL enhet på 1 mg per 100 g jord tilsvarer ca. 2.4 kg P per daa jord i de øverste 20 cm. Det betyr at dersom plantene kan utnytte P fra denne fraksjonen fullt ut, vil en normal avling av korn bruke om lag 2 år på å senke P-AL i jorda med en enhet. I praksis har det også vist seg at en nedgang i P-AL tar lenger tid enn dette, fordi P-AL fraksjonen får påfyll fra tyngre tilgjengelige fraksjoner når jorda tappes for P. Dette viser at det vil ta lang tid før man får redusert P-AL fra høye verdier til et ønsket nivå på 5-7 dersom det kun er

uttak i avling som skal redusere nivået i jorda. Det er likevel viktig at gjødslingen reduseres mest og raskest på arealene med høyest P-AL-nivå, siden dette vil gi de raskeste forbedringer av vannkvaliteten innen et område.

Som det vises i figur 8 er det også en god sammenheng mellom algetilgjengelig P og P-AL i jorda. Ved å senke P-AL vil jorda også få et lavere totalinnhold av P. Dersom man ikke klarer å redusere erosjonen i et område vil likevel belastningen på vannforekomstene avta på grunn av at P-innholdet i den eroderte jorda blir lavere. Tiltaket med å redusere P-AL vil derfor både ha effekt på mengden løst P ut av et jorde og mengden P som renner av som partikkelbundet P.

Både ut fra bindingsmulighetene i jorda og på grunn av at løst P er lett tilgjengelige for alger, vil riktig valg av produksjon være et viktig tiltak for å redusere avrenningen av P og dermed eutrofiering. Fosforkrevende vekster som grønnsaker, hvor det anbefales å gjødsle med vesentlig mer enn det som tas ut i avling, bør i størst mulig grad ikke dyrkes på jord utsatt for utvasking, det vil si organisk jord nært utsatte vannforekomster. Disse vekstene bør også i størst mulig grad dyrkes på jord som er lite utsatt for erosjon.

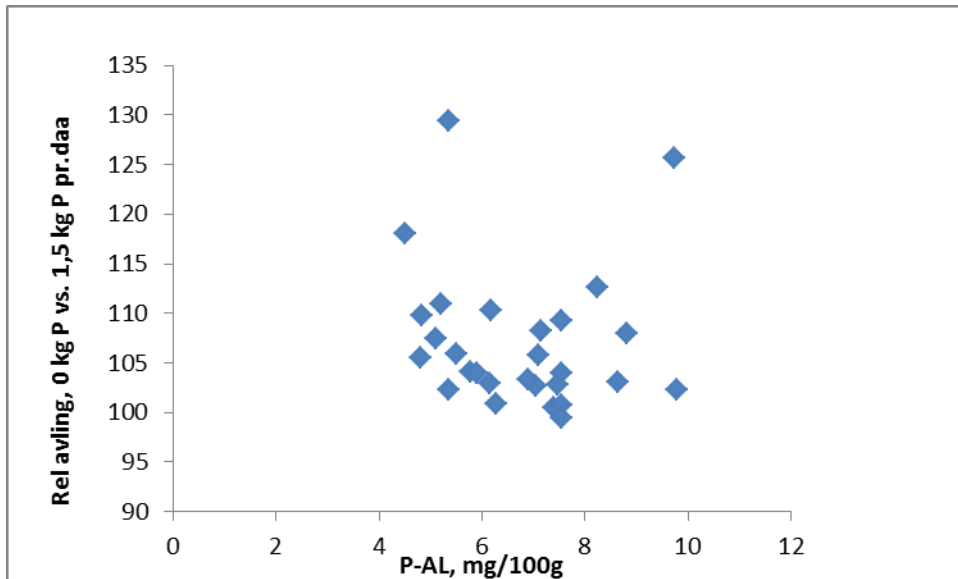
6.2 Effekt av P-gjødsling

6.2.1 Resultater fra norske forsøk i korn

I perioden 1998 til 2003 ble det gjennomført en forsøksserie med 6 fastliggende forsøk i korn. Figur 9 viser sammenhengen mellom P-AL og avlingsutslag for P-gjødsling for det laveste P-gjødslingsnivået (1,5 kg per daa og år). P-AL-verdien ble målt på nullrutene på det enkelte felt det enkelte år. Avlingsresponsen ble beregnet i % av avlingsøkningen, dvs. forskjellen mellom leddet som fikk 1.5 kg P per daa og leddet som ikke fikk fosfor. Avling der det ikke ble gjødslet med fosfor, ble satt til 100.

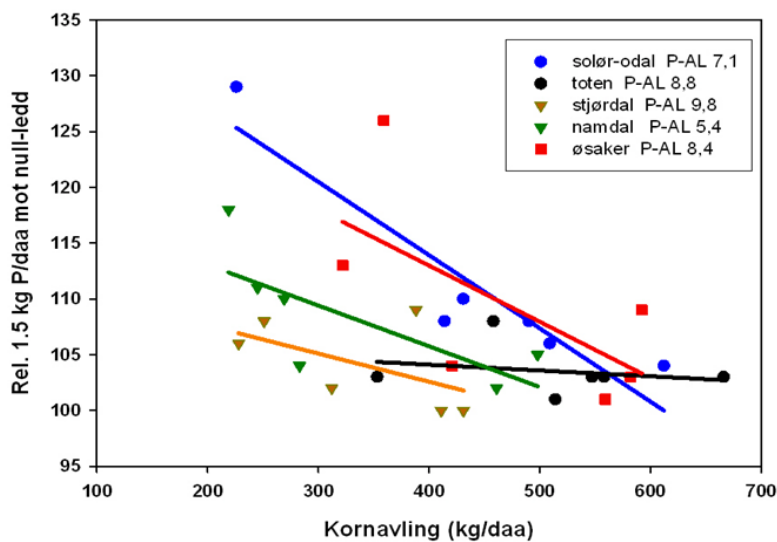
Figuren viser at det var stor variasjon i avlingsresponsen for tilført P. Av totalt 28 målinger var avlingsøkningen i 15 av tilfellene mellom 0 og 5 %. I de resterende 13 målingene var avlingsøkningen fra 5 % og helt opp til 30 %. Forsøkene lå på jord med P-AL innenfor intervallet der normen anbefaler å gjødsle til balanse eller redusere P-gjødslingen noe i forhold til balanse-mengde. Ingen av forsøkene hadde P-AL-verdier i jorda > 14, der normen anbefaler å utelate P-gjødsling.

Siden forsøkene var fastliggende, var det nærliggende å anta at det ville bli en stadig større forskjell i avlingsmengde og -kvalitet mellom ledd som ikke ble gjødslet og ledd som ble gjødslet med P. Men resultatene gav ikke grunnlag for en slik konklusjon. Seks år var for kort periode i dette forsøket til at null-leddet ga lavere avlinger over tid sammenliknet med de andre leddene (Hoel et al. 2005).



Figur 9. Sammenheng mellom P-AL og relativ avling ved gjødsling med 1,5 kg i forhold til ingen P-gjødsling. Data fra 5 felt og 6 år. Basert på data fra Hoel et al. (2005).

En interessant observasjon i denne forsøksserien er den endringen som var i avling mellom år i de forskjellige feltene og som klart viser at det har vært ulike vekstbetingelser som har gitt meget store utslag i avlingsnivå, mest sannsynlig klimatisk relaterte. I figur 10 er relativ avling vist på samme måte som i figur 9, men som funksjon av kornavling i kg/daa.



Figur 10. Sammenhengen mellom kornavling og relativ avling med gjødsling med 1,5 kg P per daa i forhold til ingen P-gjødsling. Basert på data fra Hoel et al. (2005).

Med unntak av forsøksfeltet på Toten viser alle felt en klar tendens til avtagende respons for P-gjødsel med økende avlingsnivå. Det er til dels meget store utslag innen felt med variasjoner i avling mellom år fra ca 200 kg per daa til over 600 kg per daa for et og samme felt og med samme gjødslingsnivå. Fosfor er meget viktig for at plantene får en god start på veksten. Under dårlige vekstvilkår, som for eksempel sein vår, mye regn og lav temperatur vil gjødsling ikke fullt ut ta

igjen en dårlig start avlingsmessig. I disse forsøkene viser resultatene at der det tas store avlinger har utslaget for å gjødsle med P vært svært liten på jord med et P-AL nivå på 7-10. Har det vært dårlige vekstbetingelser har det vært positiv respons avlingsmessig på å gjødsle med P. Dette viser at dersom vekstbetingelsene er gode, og jorda har en optimal P-AL, har jorda stor evne til å forsyne plantene med nødvendig P selv om avlingene er store.

Det er umulig å vite hvordan været blir i vekstsesongen, men dersom man skal forsøke å redusere på bruken av P bør slike resultater brukes til å kunne vurdere noe lavere gjødsling i områder hvor det normalt er stabilt gode vekstforhold. Dette vil både redusere P-innholdet i jorda på sikt og potensialet for avrenning vil avta.

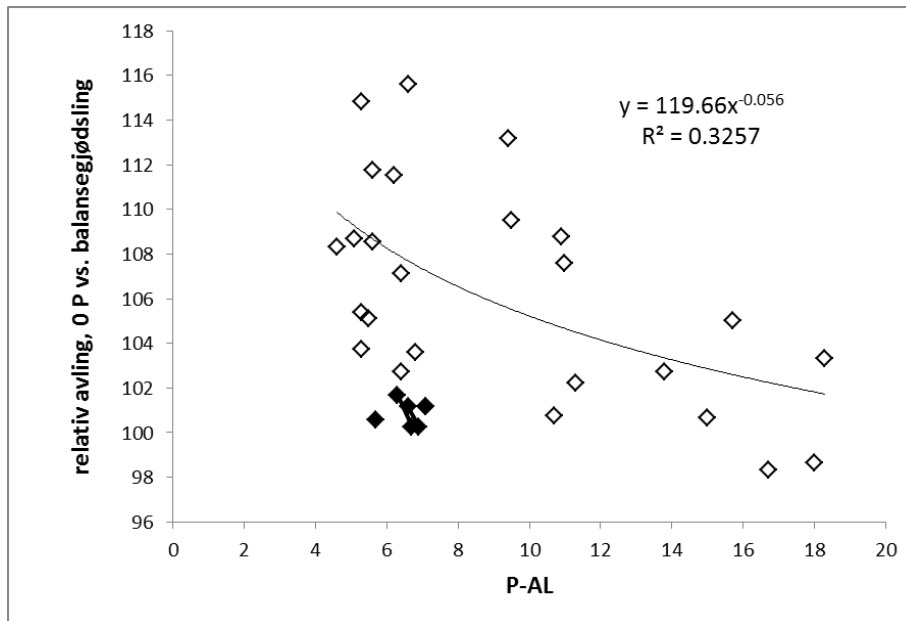
I 2006 ble det startet en ny flerårig forsøksserie i Norge for å skaffe mer kunnskap om P-behovet til korn, og for å se på utviklingen av P-AL-nivået i jorda over tid. Bakgrunnen var den pågående gjennomgangen av P-normene til korn og tolkningen av P-AL som mål for innholdet av plantetilgjengelig P i jorda.

Det ble til sammen anlagt 7 felt. Det ble gjødslet med stigende mengde P, fra 0 til 2,5 kg (0,5, 1, 1,5, 2,0 og 2,5) kg P per daa gitt som Fullgjødsel® eller som startgjødsel (mer om forsøksplan og informasjon om forsøkene i Kristoffersen 2011).

Figur 11 viser sammenhengen mellom P-AL og avlingsutslag for P-gjødsling for alle 7 feltene. P-AL-verdiene ble målt på nullrutene på det enkelte felt hvert år. Avlingsresponsen ble beregnet i % av avlingsøkningen, dvs. forskjellen mellom leddet som ga balansegjødsling med P og leddet som ikke fikk P. Mengden P som trengtes for å gjødsle til balanse varierte her mellom 1,5 og 2 kg P per daa og år. Relativ avling på 100 % vil si ingen avlingsrespons for P i forhold til leddet som ikke fikk P. I motsetning til forsøket som er vist i figur 10, forklarte P-AL-nivået her til en viss grad avlingsresponsen. Ved P-AL > 13-14 var det som regel liten eller ingen respons for P. Ved P-AL 5-11 var det store variasjoner i hvorvidt fosforgjødsling førte til en avlingsøkning. For enkelte år og felt var det til dels betydelige utslag for P-gjødsling, mens det for andre år og felt ikke var utslag for P-gjødsling.

Noen av punktene i figur 11 er markert som svarte. Det er punkter hvor en ikke fikk noe utslag for fosforgjødsling, selv om P-AL verdien i jorda er på et optimalt nivå (5-7). Ved dette P-AL-nivået anbefales det P-gjødsling for å vedlikeholde P-AL-nivået i jorda, og fordi man ofte vil få en meravling ved å gjødsle med P. I enkelte år vil man likevel ikke ha noen avlingsutslag for fosforgjødslinga. Det kan være mange årsaker til dette. For eksempel kan år med gode vekstbetingelser og tilfredsstillende vanntilgang gi gode forhold for rotvekst med høy mineraliseringsgrad. Under slike forhold kan effekten av P-gjødsling utebli fordi jorda forsyner plantene med nok P uavhengig av gjødselnivå.

Den inntegnede trendlinjen ($R^2 = 0,33$) er basert på de åpne punktene i figuren. Punktene som er markert svarte, er utelatte.



Figur 11. Sammenheng mellom P-AL og relativ kornavling ved gjødsling til balanse. Avling der det ikke er gjødslet med P er satt til 100. Data fra alle felt og alle år (A.Ø. Kristoffersen, upublisert).

Heller ikke disse forsøkene viste noen økende forskjell i avlingsmengde og -kvalitet mellom ledd som ikke ble gjødslet og ledd som ble gjødslet med P i løpet av forsøksperioden.

I Sverige har man observert en nedadgående avlingsutvikling over tid ved liten eller ingen P-gjødsling. I Lönnstorp i Skåne har et gjødslingsforsøk pågått i 28 år (Frostgård 2011). I løpet av denne perioden har det blitt en gradvis nedgang i avlingsnivået uten P-gjødsling. Nedgangen har vært mest markant for sukkerbeter og oljevekster, men også for korn ser man at avlingsnivået reduseres over tid uten, eller ved lav P-gjødsling. Vårkorn påvirkes kraftigere enn høstkorn. Høstkorn har lenger vekstsesong og dermed lenger periode for næringsopptak enn vårkorn, og også lenger tid til å etablere rotsystemet. Begge faktorene gjør høstkornet mer robust i forhold til utnyttelse av P-reserver i jorda.

Bedre utnytting av P i høstkornet er også funnet i norske forsøk. Både i forhold til avling og kvalitet er det liten respons for P-gjødsling til høstkorn, både gitt om høsten (Hoel & Tandsæther 2003) eller om våren (Hoel & Tandsæther 2012). Høstkorn gir som regel større avlinger enn vårkorn, og fjerner derfor større mengde P med avlingene. Årene med høstkorn kan derfor være aktuelle i forhold til å redusere P-innholdet i jorda.

I Sverige har man funnet etter gjennomgang av eldre forsøksdata fra 72 ulike steder, at det ved P-AL-verdier > 8 var små avlingseffekter av P-gjødsling (Mattson et al. 2001). Det ble dessuten trukket

frem betydningen av pH-nivået i jord og moldinnhold som tilleggsinformasjon til P-AL for å vurdere avlingsresponsen for P-gjødsling, uten at man hadde klart å kartlegge samspillsfaktorene tilstrekkelig. For forsøkene i Norge er det ikke så langt gjort en systematisk analyse av materialet i forhold til moldinnhold og pH. Det kan være aktuelt å gjøre en slik gjennomgang.

Plassering av gjødsel kan være viktig, særlig på jord med høy bindingskapasitet for P. På 2000-tallet ble det gjennomført en rekke forsøk med startgjødsling til korn, det vil si å gi noe gjødsel, primært P, sammen med såfrøet. Det ble anbefalt å bruke startgjødsling på siltjord og ellers jord med dårlig struktur eller andre forhold som tilsa dårlig rotutvikling på tidlige vekststadier (Kristoffersen et al. 2005). Startgjødsling øker også mulighetene for mer presis dosering av P i forhold til behovet. Dette ble sterkt vektlagt i Finland for å kunne tilpasse P-gjødselmengden i forhold til behovet (Kleemola et al. 1998).

Mekanismer og virkninger som kan forklare lavere P-tilgjengelighet under lave temperaturer på våren er funnet hos Mamo et al. (2005) og Sanchez & Boll (2005) Dette går særlig på nedsett P-desorpsjon.

6.2.2 Resultater fra norske forsøk i eng

Den virkelig store forsøksserien med P- og K-gjødsling til eng ble utført i perioden 1946-1950 med spredte felt over hele landet (Sorteberg 1956). Denne serien var også viktig for valg av P-AL-metoden og for gjødslingsrådgivninga med P i Norge. De fleste felta var toårige (365 felt), men noen var også ett- eller treårige.

I middel for alle toårige felt var middelavlingene i eng med relative tall i parentes:

0 kg superfosfat	685 kg tørrstoff/daa (100)
25 kg superfosfat/daa	748 kg tørrstoff/daa (109)
50 kg superfosfat/daa	765 kg tørrstoff/daa (112)

Mengde superfosfat tilsvarer 2,75 og 5,5 kg P per daa ved et innhold på 11 % P i gjødsla.

Et problem ved tolkinga av mange eldre forsøksserier er at P er tilført som superfosfat. Superfosfat blir framstilt av råfosfat og svovelsyre, og prosessen gjør fosforet vannløselig og lettere tilgjengelig for plantene. Ved bruk av denne kvaliteten av superfosfat blir det derfor ikke bare tilført P, men også svovel. I mange forsøk er det ikke tilført svovel som grunnjødsling til alle ledd, slik at tilførselen av svovel øker proporsjonalt med tilførselen av P. Dermed kan en ikke utelukke at noe av effekten som blir tilskrevet P kan skyldes utslag for svovel, og at den reelle avlingsøkningen for P er noe mindre enn det som er funnet i forsøka.

Forsøksserien fra 1946-1950 hadde relativt sett et lavt innhold av P i jorda. Gjennomsnittlig innhold ved anlegg av felta var et laktat-tall på 4,10, som tilsvarer en P-AL-verdi på ca. 3,5. Vi har vesentlig

høyere P-AL-tall på husdyrbruk i dag. Avlingsutslaget for gjødsling var sterkest i høyereliggende strøk på Østlandet og i Trøndelag der mange felt hadde svært lavt innhold av P i jorda. Spesielt var det store utslag på noen felt i setertraktene, der kort vekstsesong og lav temperatur sammen med lite P i jorda kan forklare sterk respons. Også på myrjord, der P blir dårlig bundet og lett vaskes ut, var det stor respons for P-gjødsling.

Avlingsresponsen for P til eng er generelt avtagende ved stigende mengder P-gjødsling. I en forsøksserie i eng fra Hedmark og Oppland (Hernes 1969) var tørrstoffavlingene ved stigende mengder P per daa tilført som superfosfat i gjennomsnitt for alle felt:

	0 kg P	1,6 kg P	3,2 kg P	4,8 kg P
Kg tørrstoff per daa	837	873	886	893

Ved gruppering av feltene etter fosforinnhold i jorda, var avlingsutslaget størst ved lave verdier. Ved middels- og høye verdier var det små utslag ut over 1,6 kg P (Hernes 1969). Tilsvarende forsøk i Trøndelag og Møre og Romsdal (Foss 1971) med P til eng gitt som superfosfat viste også små utslag for mengder ut over 1,2 kg P per daa med unntak av felt med lave P-AL-tall (<3,5), der det var utslag for større mengder.

I en forsøksserie i dal- og fjellbygdene på Østlandet (Lunnan og Haugen 1993) ble effekten av stigende mengder P til eng undersøkt (tabell 6). Også i denne serien ble det brukt superfosfat som P-kilde, slik at en ikke kan utelukke en soveeffekt i tillegg til P-effekten. Tabellen viser ingen signifikante avlingsutslag ved P-AL > 10, mens det er svært store utslag for små mengder P ved P-AL < 3. Mange av disse feltene var nydyrka i 1970- og 1980-åra i fjelltraktene. Ved midlere P-AL-verdier i jorda var det avlingsutslag for 2 kg P/daa, men ikke utslag for større mengder.

Tabell 6. Avlingsutslag (kg tørrstoff per daa) for P-gjødsling gruppert etter P-AL-innhold i jorda ved anlegg (Lunnan & Haugen 1993)

	Antall felt	Tørrstoffavling gruppert på P-gjødsling, kg per daa			
		0	2	4	6
P-AL < 3	8	285	516	548	570
3 < P-AL < 10	9	650	713	713	729
P-AL > 10	5	720	724	726	719

I en forsøksserie i eng på Vestlandet ble effekten av stigende P-mengder undersøkt (Håland & Aase 1987). Her var jorda bedre oppgjødsla på forhånd, og de fleste feltene hadde P-AL-verdier > 10 ved oppstart av forsøket. Tabell 7 viser at det var utslag for den minste mengden P (1,5 kg P/daa) i alle grupper, mens det var tendens til utslag for større mengder bare på felt ved P-AL < 10. Også i denne

serien ble det brukt superfosfat, slik at en ikke kan utelukke at noe av avlingsutslaget skyldes svovel.

Tabell 7. Avlingsutslag (kg tørrstoff per daa) for P-gjødsling gruppert etter P-AL-innhold i jorda ved anlegg på mineraljord og for torvjord (Håland & Aase 1987).

	Antall felt	Tørrstoffavling gruppert på P-gjødsling, kg per daa			
		0	1,5	3	6
P-AL < 10	6	681	730	745	760
P-AL >10	11	740	794	793	806
Torvjord	5	976	999	1006	1003

I et forsøk med P-gjødsling til eng til tre felt på P-fattig jord (Nesheim et al. 2005) var det ikke sikre avlingsutslag for gjødsling. Alle felt lå på leirholdig jord med P-AL-verdier ved oppstart fra 2,2 til 4,8. Her ble det tilført svovel som grunnjødsling, slik at en er sikker på P-effekten. I middel ble det tatt bort 1,5 kg P med avlingene pr. år, og denne verdien var lite påvirket av gjødslingsnivået. Utnyttningen av P fra gjødsel var dermed dårlig med en virkningsgrad under 20 % for 2 kg P, og enda lavere for større mengder.

Forsøkene med gjødsling til eng viser generelt sterkt avtakende avlingsrespons ved stigende mengder P-gjødsling. Eventuelle svovelutslag etter bruk av superfosfat i de eldre forsøkene gjør tolkinga av P-utslag vanskelig i etterkant. Likevel er det klart at på noen felt med lavt fosforinnhold, spesielt nydyrka jord i fjelltraktene, har det vært store avlingsutslag for gjødsling. En kombinasjon av lite tilgjengelig P fra jorda, kort vekstsesong og lave temperaturer kan forklare at responsen blir stor. På felt med høyere P-innhold i jorda har responsen generelt vært svært liten for mengder utover 1-1,5 kg P per daa. Dette samsvarer godt med langvarige forsøk i Finland (Valkama et al. 2011).

I eldre forsøk kan en ikke utelukke at noe av avlingsutslaget for små mengder P på jord med middels til høye P-AL-tall kan skyldes svoveffekten gjennom gjødsling med superfosfat.

6.2.3 Vekstskifte

Som strategi for å skape et bedre vannmiljø kan det være av interesse å vurdere bruk av vekstskifte. Dette vil være spesielt viktig i områder der det dyrkes vekster med spesielt høyt P-behov og/eller dårlig opptaksevne, som grønnsaker og poteter. Slike vekster har ofte høye P-normer i gjødslingsplan-sammenheng. Vekstskifte kan også brukes som en metode for å flytte næringsstoff fra deler av gården med rikelig næringsinnhold til mindre næringsrike skifter. Dette er særlig aktuelt på husdyrgårder, men kan også være aktuelt mer generelt.

Under norske forhold vil en godt etablert første års eng med to til tre slåtter være den vekstformen som i de fleste tilfeller evner å fjerne størst mengde næringsstoff fra et areal, fordi en flerårig vekst får tidligere vekststart og utnytter sesongen bedre. I en undersøkelse på Öjebyn forsøksgård i Nord-Sverige (Bengtsson et al. 2003) ga første års eng 860 kg tørrstoff per daa uten tilførsel av gjødsel, og fjernet 2,7 kg P per daa. Sammenliknbare verdier for «høsting» av P, uten tilførsel av P-gjødsel, er funnet for gode avlinger av høstkorn og vinterraps i Sør-Sverige (Stenberg et al., 2012), men for norske forhold vil nok disse P-opptakene i høsta materiale overveiende være noe lavere. Eng beskytter også jorda mot erosjon og dermed P-tap til vann. Om enga gjødsles med rein N-gjødsel, eventuelt at det blandes inn N-fikserende belgvekster som ytterligere bedrer N-forsyninga, kan uttaket av P og K fra det aktuelle jordstykket økes. Intensiv dyrking av eng eller andre salgbare vekster etter en slik strategi kan redusere P-AL tallene i jorda raskere enn skissert for korn. Dyrking av gras for salg er derfor en driftsform som bør vurderes på gårder med P-rik jord og sårbare resipienter. Etablering av biogassanlegg, der plantemateriale kan utråtnes og næringsstoffene resirkuleres, kan også bidra til å aktualisere denne strategien for å redusere miljøbelastningene fra landbruket.

Grasdekte vannveier og buffersoner mot åpne vannveier bør høstes jevnlig for å unngå oppblomstring av ugras eller gjengroing med flerårige vekster, som vil redusere evnen til å fange opp næringsstoffer. Plantemateriale fra slike områder bør utnyttes til fôr eller biogass. For grønnsakprodusenter kan også jorddekke med finhakket plantemateriale, som P-kilde og med generell gjødslingseffekt, være et alternativ i enkelte kulturer.

6.2.4 Reduksjon i tilfeller med for sterk gjødsling

Det har ikke vært målsettingen i denne rapporten å vurdere situasjoner der det blir gjødslet over tilrådte P-nivå, og vi har heller ikke sett spesielt på dette. Det er likevel grunn til å nevne at det vil være viktig å få redusert slik gjødslingspraksis. I husdyrtette områder vil dette kunne oppstå, og noen sider av dette er drøftet i kapittel 7. Kombinering av husdyrgjødsel og mineralgjødsel blir ofte ikke tilstrekkelig vurdert, og for mye P kan bli tilført.

Det har vært en tradisjon for å gjødsle med litt mer P enn det plantene trenger, og det kan fortsatt være igjen en arv fra tidligere tiders oppfatting av dette som faglig «god agronomi». Dette er ikke lenger god lære, og det er viktig at informasjon om skadevirkning av for sterk P-gjødsling blir tilstrekkelig fokusert. Det kan også reises et spørsmål om alle bønder er tilstrekkelig motivert til å ta de nødvendige hensyn.

I noen tilfeller kan P-holdige gjødselslag blir brukt på grunn av prismessige forhold. En P-holdig bulkjødsel kan bli foretrukket fordi den blir billigere enn gjødsel uten eller med lavere innhold av

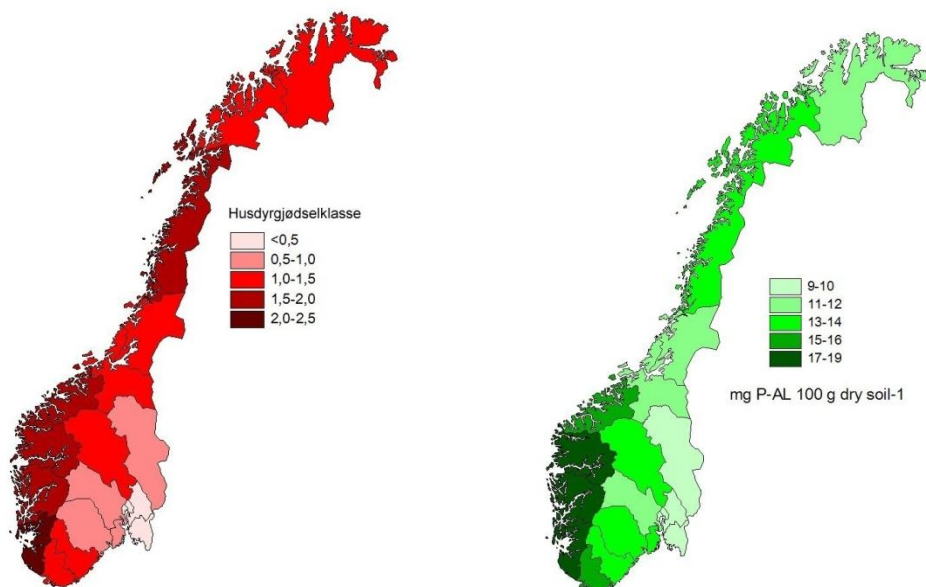
P. Det kan også være et ønske om færrest mulig gjødselkvaliteter å handtere på gården, og da kan det bli vanskeligere å gjødsle riktig på ulike skifter med ulik P-status.

Ved kornproduksjon er det en utfordring med gjødsling over norm ved bruk av organiske gjødselslag, som husdyrgjødsel, slam og kjøttbeinmel. Innen grønnsaksproduksjon er kunnskap og informasjon om nye normer ut til produsentene en viktig faktor.

7. Husdyrgjødsel

Et utviklingstrekk i landbruket helt siden siste verdenskrig har vært separasjon av husdyrhold og åkerdrift. Kanalisering av produksjoner til regioner ut fra egnethet for korndyrking har vært en villet politikk. I tillegg har kostnadskrevende intensivering og spesialisering vært med på å ensrette produksjoner også på lokalt nivå og innen regioner, med stadig færre aktive gårdbrukere og økende andel leiejord. En konsekvens av dette er et økende behov for å transportere husdyrgjødsel over større avstander. Med denne utviklingen har vi fått en trend mot at husdyrgjødsel brukes i større mengder enn det som er agronomisk optimalt på arealer som ligger nærmest gjødsellageret. Samtidig har åkerbruket blitt mer avhengig av innkjøpt mineralgjødsel. Denne utviklingen finner vi også i mange andre land, som i England (Bateman et al. 2011).

De mest husdyrtette områdene, som Rogaland og Sogn og Fjordane, har et betydelig overskudd av P, som over tid har gitt P-AL-verdier langt over optimalt nivå (figur 12). Som figuren viser er det en tett sammenheng mellom gjennomsnittlig P-AL-verdi og gjennomsnittlig mengde tilgjengelig P i husdyrgjødsel i fylkene ($R^2 = 0,64$). Tallgrunnlaget for P-AL-figuren er ca. 294.000 jordanalyser, der antall jordanalyser fra hvert fylke varierte fra ca. 1000 i Oslo til 39.000 i Akershus.



Figur 12. Fylkesvis fordeling av tilgang på husdyrgjødsel i gjennomsnitt per daa og år, målt som kg P (til venstre), sammenliknet med innhold av P-AL i jorda (til høyre). Tallgrunnlaget for venstre figur er fra 2009, med informasjon hentet fra søknad om produksjonstilskudd. Tallgrunnlaget for høyre figur er jordanalysedata fra perioden 2000-2007, hentet fra Jorddatabanken (kilde: Grønlund 2012, pers. medd.).

På husdyrbruk er kraftfôret en betydelig P-ressurs, i tillegg til mineralgjødsla. En undersøkelse av regnskapstall for 2009 på 46 melkeproduksjonsbruk på Nordmøre (Lyche 2010) viste at innkjøpet av P i form av kraftfôr var noe høyere enn innkjøpet i form av kunstgjødsl. Gjennomsnittlig innkjøpt P per gård etter denne undersøkelsen var 255 kg i mineralgjødsl i 2009, og 342 kg i kraftfôr. Kun tre av disse gårdene hadde et P-overskudd som var lavere enn 0,5 kg P per dekar. Gjennomsnittlig P-overskudd var 1,4 kg per daa, eller like mye som en normal gjødsling til en kornavling på 400 kg. P-overskuddet beregnes som differansen mellom P-mengden i innkjøpt og solgt fôr, melk, kjøtt og livdyr. Resultatene av denne undersøkelsen bekreftes av tallene for salg av kraftfôr i Norge, som totalt utgjorde vel 1,8 millioner tonn i 2011 (SSB 2012; <http://www.ssb.no/aarbok/tab/tab-346.html>). Dersom vi regner med et gjennomsnittlig P-innhold på knapt 0,5 % vil det gi like mye P i kraftfôret som solgt i mineralgjødsl i Norge (8901 tonn P i 2011).

Når P-overskuddet er betydelig på gårdsnivå, tilsier dette at P-innholdet i jorda vil øke over tid. Dette bekreftes av statistikk over P-AL-verdiene i jordprøver fra Jorddatabanken (Grønlund 2012 pers.medd.), som vist i figur 12.

7.1 Spredareal

Spredning av gjødsl med organisk opphav er i Norge regulert i "Forskrift om gjødslvarer mv. av organisk opphav" (forskrift 2003-07-04 nr.951), som nå er under revisjon. Kravet og grunnlaget for spredareal er et sentralt element i gjødslvarerforskriften, og en innskjerping av denne vil kunne få konsekvenser for de mest husdyrtette områdene i landet (Knutsen og van Zanten Magnussen 2011). Grunnlaget for revideringsarbeidet er i det vesentlige fundamentert i et krav til redusert næringsavrenning, og der spesielt P er i fokus.

Gjeldende regelverk forutsetter et tilgjengelig disponibelt areal for spredning av husdyrgjødsl. Etter dagens krav må et minimum på fire dekar fulldyrka jord per gjødsladyrenhet (GDE) godkjennes som spredareal. En GDE skal tilsvare en utskilt mengde på 14 kg P i husdyrgjødsla, som i utgangspunktet skulle representere P-mengden i gjødsla fra ei melkeku over et år. En oppdatering av denne verdien som følge av endringer i produksjonsmåter (intensitet og fôringsregimer) vil ventelig være et element i revideringen av gjødslvarerforskriften. Omregning til GDE for ulike dyreslag gjøres tilsvarende ut fra en vurdering av P utskilt i gjødsla. Det norske kravet til spredareal gir en tillatt mengde P på 3,5 kg P per dekar. Kommunen kan godkjenne annet spredareal enn det fulldyrka, som f.eks. en vektet del av innmarksbeite, men utmarksareal skal ikke godkjennes. Noen forhold rundt revidering av spredarealkravet blir drøftet senere.

Danmark

I Danmark legges det vekt på nitrogenet i etablerte retningslinjer for bruk av organisk gjødsl (Ministeriet for Fødevarer, Landbruk og Fiskeri, 2012b). Det er utviklet et relativt omfattende

system for bruk av N-kvoter og korrigeringer for ulike vekster, jordtyper og produksjonsstrukturer. En dansk gjødseldyrenhet, 1dDE, er definert ut fra en mengde på 100 kg N fra gjødsellager av «beste lagertype» og vil tilsvare omtrent 0,75 årskyr. Ut fra tabell-verdier vil dette gi en P-mengde på 14,9 kg per dDE for melkekyr av tung rase. Fosforinnholdet per dDE varierer med dyreslag og produksjonstilpasninger. Spredarealkravene («harmonikravene») skiller mellom produksjonssystemer, der husdyrløse bruk kan tillate 0,14 dDE per dekar, og 0,17 dDE per dekar for noen kategorier husdyrbruk. For slike bruk følger retningslinjene EUs vanndirektiv, der tilførselen av total-N er begrenset til 17 kg N per dekar og år. For storfedominerte produksjoner, definert som at mer enn 2/3 av husdyrholdet er storfe, aksepteres inntil 0,23 dDE per dekar. Dette gir 23 kg N per dekar som største tillatte mengde. Forutsatt at gjødsel fra melkekyr spres på et planteproduksjonsbruk, vil disse retningslinjene gi en maksimal gjødsling på om lag 2,1 kg P per dekar. På eget bruk kan det spres en mengde tilsvarende 3,4 kg P per dekar. Danmark får sin vannforsyning fra grunnvann, og sammenliknet med andre nordiske land er en betydelig større andel av arealet jordbruksområder. Høyt nitratinnhold i grunnvannet har vært et alvorlig miljøproblem som danskene i mange år har hatt sterkt fokus på, og dette preger tilnærmingen til dette regelverket.

Sverige

I Sverige er P-belastningen til Østersjøen en av de viktigste nasjonale miljøutfordringene, og dette preger tilnærmingen til svenske retningslinjer for spredning av husdyrgjødsel. De svenske bestemmelsene for tilførsler av organisk gjødsel tar utgangspunkt i at maksimalt 2,2 kg P per dekar spredareal kan tilføres årlig i snitt over en 5-årsperiode (Jordbruksverket 2012a). En svensk dyreenhet, sDE, er definert lik en melkeku (= 200 slaktekyllinger etc) (Jordbruksverket 2012b). I en ordning som fases ut i 2012 har det på de fleste gårder (> 10 sDE) vært en godkjenning for et maksimalt antall dyr per dekar spredningsareal (dyretetthetsalternativet), for eksempel 0,16 melkekyr, 1,5 sauer osv. Med dyretetthetsalternativet blir det et krav at det skal være minst 6,25 dekar spredareal per årsku.

I en fremtidig ordning i Sverige skal mengden P som skal spres i husdyrgjødsel estimeres med bakgrunn i tabellverdier over P-innholdet i gjødsel fra dyr med ulik produksjonsintensitet (Jordbruksverket 2012c).

Eksempel på slike P-mengder er:

Mjølkeku, 6000 kg melk/år	14.9 kg P per år
Mjølkeku, 8000 kg melk/år	15.9 kg P per år
Mjølkeku, 10000 kg melk/år	17.4 kg P per år

For områder som har næringslekkasje til utsatte vannområder i Sverige er det utarbeidet særlige regler (Jordbruksverket 2012d), som skal følges i tillegg til generelle bestemmelser. Et sammendrag av disse bestemmelsene er:

- Det skal ikke spres mer N enn det planteveksten kan utnytte til sin vekst
- Maksimal mengde N tillatt tilført er 17 kg N per dekar (særlige regler for høstsådde vekster)
- Gjødslingen skal tilpasses miljømessige og økonomiske forutsetninger for N-gjødsling til aktuell vekst
- Ikke tillatt å gjødsla på vannmettet eller oversvømt mark, heller ikke på frossen eller snødekt mark
- Ikke tillatt å spre gjødsla nærmere enn to meter fra åkerkanter som grenser til vassdrag eller sjø
- Nedmolding i åpen åker innen fire timer
- Krav til spredemetode for bløtgjødsel tilført voksende grøde (nedlegging, nedfelling, vanntilsetning eller minst 10 mm vatning)
- Spredetidspunkter (dato) innsnevret
- Begrensing på spredning i svært hellende terreng

7.1.1 Revidering av spredearealkrav

Det er mulig å vurdere flere forhold ved gjeldende spredearealkrav i Norge. I en sammenligning fremstår de svenske retningslinjene som betydelig strengere, mens de danske retningslinjene er mer sammenliknbart med det norske for storfebasert produksjon, men betydelig strengere for gris og fjørfe.

Det kan legges inn et krav knyttet til N i en revidering av det norske systemet, i retning av det danske systemet. Det vil i sterkere grad kunne dra inn gjødslingsintensitet generelt, som alternativ til et fokus på P spesielt.

Fosformengden på 14 kg per GDE er satt lavere enn i våre naboland. Historisk så bygger vår standardverdi på grunnlagsdata fra Sundstøl og Mroz (1988), lik 12,6 kg P fra ei ku per år i husdyrgjødsla, og Bolstad (1994) sin noe høyere verdi på 14,8 kg P årlig. Utvikling i dyremateriell og produksjon vil over tid innvirke på utskilt mengde næringsstoff til gjødsla. Daugstad et al. (2012) har undersøkt konsentrasjon av P i storfegjødsel og fant ingen klare forskjeller mellom ulik intensitet knyttet til kraftfôrbruk eller melkeytelse. Dette kan ha sammenheng med en fortynningseffekt der total-P øker i takt med husdyrgjødselmengdene. Økt driftsintensitet over tid med stadig sterkere gjødsla, fôring, melkeytelse og kortere framfôringstid for slaktedyr tilsier en justering av totalmengden av P i gjødsla. Det bør også nevnes at endringer i fôring på ulike vis kan innvirke på økt P-effektivitet, som for eksempel ved tilsetning av fytase i kraftfôr til enkelte dyreslag eller nedjusteringer av P-konsentrasjoner i fôrrasjonen til dyra.

Nesheim et al. (2011) har konkludert med at vi har et manglende datagrunnlag for utarbeiding av nye tall for gjødselmengder og utskilte mengder N og P, herunder vurderinger mellom dyreslag. Det svenske rammeverket er i så måte interessant som et utgangspunkt, men det bør vurderes tilpasninger ut fra forskjeller i for eksempel dyremateriell og produksjonsmåter mellom landene.

Det pågår et arbeid ved Institutt for husdyr- og akvakulturvitenskap (UMB) der flere av disse spørsmålene blir belyst, blant annet blir planleggingsverktøyet NorFor brukt til utregning av gjødselmengder.

Den tillatte mengden på 3,5 kg P per dekar som kan tilføres som organisk gjødsel per år er nesten 40 % høyere enn i de svenske forskriftene. Reelt vil også P-mengdene være høyere dersom vi underestimerer den totale P-utskillelsen per dyr, som mye tyder på i intensiv melkeproduksjon. For de aller fleste jordbruksarealer vil tillatte P-mengder føre til et P-overskudd i forhold til mengdene som fjernes i avlinger. For de dominerende produksjonene vil det bare helt unntaksvis bli høstet slike P-mengder. En måte å tilnærme seg et fremtidig regelverk på kan være å legge P bortført i avlinger (som standarder) til grunn for tillatte P-tilførsler over tid. I tillegg kan det vurderes å knytte spredearealkravet til P-status i jord.

Hvilke areal som i praksis er aktivt spredeareal er en faktor som kan ha stor betydning for den reelle miljøeffekten. Lang avstand eller utfordrende terrengforhold kan redusere bruken av enkelte arealer, og P-tilførsel på lett tilgjengelige arealer blir sterkere. Andelen leiejord har økt dramatisk i norsk landbruk i seinere år, og dermed avstanden mellom gjødsellager og spredeareal.

7.2 Driftsmåter

Informasjon og råd om bruken av husdyrgjødsel som gjødselressurs kan finnes i Gjødslingshåndboka til Bioforsk. Ved råd om rett bruk av husdyrgjødsel er det særlig lagt vekt på å oppnå god virkning av N, blant annet gjennom mengden av husdyrgjødsel som spres per arealenhet, tidspunkt og forhold ved spredning og plassering (overflatespredning /nedmolding) av gjødsla.

Mange forsøk har vist at virkningsgraden av husdyrgjødsel går ned ved bruk av store mengder (Gjødslingshåndbok). Faktorer som kan ha betydning er spirehemming, uheldige omsetningsforhold i jorda, tilgrising av bladverk, tetting av porer i jorda og næringstilførsel ut over plantebehovet. I gjødslingsanbefalingene blir utnyttningen redusert ved store tilførte mengder husdyrgjødsel, og dette vil gjelde for både mineralisk N, P og K. For tilførsler over ca. tre tonn bløt storfegjødsel, som tilsvarer ca. 12 kg total-N per dekar, blir virkningsgraden satt ned med 25 %, og ytterligere økende husdyrgjødselmengder får enda sterkere reduksjon.

Spredning av husdyrgjødsel utenom vekstsesongen øker risikoen for næringstap. I gjeldende forskrift er spredning uten nedmolding/nedfelling tillatt fra våronnstart til 1. september. Mellom 1. september og 1. november er spredning med nedfelling tillatt. Ingen spredning er tillatt i perioden fra 1. november til 15. februar. Ved spredning i vekstsesongen regnes full virkning av P, mens det i gjeldende gjødslingsråd trekkes 10 % i virkningsgrad ved høstspredning (Gjødslingshåndboka). Husdyrgjødsel spredd utenom vekstsesongen vil som regel medføre P-utlekking, og særlig på organisk jord med liten bindingskapasitet. Som eksempel er det i forsøk funnet 70 % større totalt P-tap ved høstspredning av husdyrgjødsel sammenlignet med vårspredning (Tveitnes 1993). Det er

størst risiko for å tape næringsstoffer med overflateavrenning eller grøftevann når husdyrgjødsel spres utenom vekstsesongen, og spesielt når den spres rett før, eller i perioder med stor avrenning. Ball Coelho et al. (2012) har nylig i en kanadisk undersøkelse beskrevet betydningen av å ta hensyn til de kritiske periodene utenfor vekstsesongen. Det nevnes viktige tiltak for å begrense ulempene ved tap på overflaten, som å sørge for at minst mulig næringsstoff blir liggende på marken når tapsrisikoen er størst. Undersøkelsen framhever betydningen av hydrotekniske tiltak for å redusere P tap fra landbruksarealer.

Modeller for P-avrenning fra tilført husdyrgjødsel er det flere av, som for eksempel beskrevet av Vadas et al. (2007) og testet under forhold i USA. I Finland er det laget relativt enkle modeller for P-tap fra ulike dyrkingssystemer med utgangspunkt i P-balansen i overflaten (Ekholm et al. 2005). Slike modeller kunne vi også hatt stor nytte av i Norge for å etablere plattformer for å redusere P-tapene til utsatte vannforekomster. Et problem, som også er en konklusjon i den finske undersøkelsen, er at det vil være viktig å validere disse modellene med uavhengige data. Slike data er det ofte mangel på, men trolig vil for eksempel JOVA-data (www.bioforsk.no/jova) supplert med tilgjengelige resultater fra relevante detaljstudier være et godt utgangspunkt for en slik validering under våre forhold.

Jord har normalt god evne til å binde fosfor opp til metningsgrense. Sammenlignet med de mer mobile næringsstoffene, som N og K, vil et langsiktig perspektiv bli viktigere. Det betyr ikke at P-tilføring bør inngå i en strategi for utstrakt forrådgjødsling, slik det har vært en kultur for i tidligere perioder. I Sverige har de etablert et system som krever at godkjent spredeareal blir brukt og tilført P etter visse krav innenfor perioder på fem år (Jordbruksverket 2012d), der et gjennomsnitt på maksimalt 2,2 kg P per dekar gjødselareal er en viktig basis. Bare areal som er gjødselareal blir med i dette arealgrunnlaget.

Den refererte undersøkelsen på Nordmøre (Lyche 2010) viser at norske husdyrbrukere kjøper inn langt mer næringsstoff enn de trenger i gårdsdrifta. Med en god utnyttelse av husdyrgjødsel, spredd på all tilgjengelig jord til lagelig tid og i passende mengder, kunne de klart seg med den mengden P de kjøper inn i kraftfôr.

Kombinering av organiske gjødselslag og innkjøpt mineralgjødsel må vektlegges. God bruk av husdyrgjødsel innebærer en planmessig justering av andre næringskilder. I husdyrtette distrikt vil normalt P-behov ofte være dekt uten ytterligere tilføring. Dette vil være tilfelle på jord med høy/moderat P-status. Summen av all gjødsling er derfor avgjørende.

Husdyrgjødselmengdene i dyretette distrikt kan overstige gjødslingsbehovet. Alternativer for akseptabel bruk av gjødselressursen må da utnyttes innen regionen. I utsatte vannområde kan det bli behov for å eksportere gjødsel til andre distrikt med underdekning på P av lokalt opphav, eller en justering av dyretettheten.

Det kan legges til grunn at høy P-status i jord normalt gir små eller ingen utslag for P-gjødsling på kort sikt. Selv ved moderat P-status er det relativt forutsigbart at redusert P-gjødsling vil ha heller liten virkning på avlingsmengde. Normalt bør det ikke være vanlig praksis å gjødsle ut over plantenes krav til vekst for å nå kvalitetskrav til dyrefôr, men næringstilførsler i totalrasjoner til husdyr må sikres.

7.3 Tekniske tiltak

Økt utnyttning av P fra organisk gjødsel vil i stor grad være et spørsmål om å tilpasse gjødslingsmengder til plantenes behov, og der synkronisering av næringsstoff i forhold til plantenes opptak blir viktig. Det er en særlig tapsrisiko fra gjødsel som ligger på overflaten i perioder utenom vekstsesonger. Fosfor inkorporert i jord kan også lekke ut, og spesielt i vinterhalvåret. Derfor vil spredning av husdyrgjødsel tidlig i vekstsesongen være en fordel for utnyttning av fosforet i gjødsla. Det generelle kravet til åtte måneders lagerkapasitet blir da knapt. Investering i husdyrgjødsel-lager vil derfor ha relevans i forhold til bedre utnyttning av P. Generelt vil vanninnblanding øke verdien av gjødsla, særlig gjennom bedre N-utnyttning. Men det er grunn til å tro at også P-utnyttinga vil være bedre med vanntilsetning eller vanning på grunn av en generell virkning på bedre plantevekst, og gjennom mer komplekse mekanismer som totalt gir mindre tap. Det siste vil være knyttet til økt kontakt mellom tilført gjødsel og bindingsplasser for plantenæringsstoff i jorda. Vanntilsetting vil sette krav til lagerkapasitet eller til investeringer i utstyr, som kan muliggjøre vanning eller vanntilsetting under spredning.

Det er usikkerhet rundt gjødselmengdene fra ulike dyreslag. Blant annet har endringer i driftspraksis over tid med stor sikkerhet påvirket utskilt mengde gjødsel, og her er det manglende oppdateringer i tallgrunnlaget. Innovasjon Norge sin gjødselkalkulator blir gjerne brukt ved planlegging av gjødsellager, der data er hentet fra Morken (1999).

Alternativ håndtering til tradisjonell lagring av husdyrgjødsel kan være aktuelt, og løsninger og kostnader er blant annet drøftet av Knutsen og van Zanten Magnussen (2011). Ved å skille gjødsla i en fastere og en flytende fraksjon, kan den P-fattige flytende delen spres lokalt og den P-rikere faste delen transporteres lettere, og også alternativt bearbeides videre. Separering vil kunne foregå ved sedimentering, siling eller sentrifugering. Videre behandling av den faste delen kan gjøres via kompostering eller tørking/pelletering. Forbrenning kan generere energi. Det synes å være noen utfordringer ved å få til god økonomi, særlig på eget anlegg på små gårder, mens større anlegg kan generere transportutfordringer.

I St.meld. nr. 39 (2008-2009) Klimautfordringer - Landbruket en del av løsningen, ble det satt et mål om at 30 prosent av husdyrgjødsel bør behandles i biogassanlegg innen 2020. Denne håndteringsformen kan derfor ha spesiell interesse, selv om blant annet kostnadsaspektet tyder på at dette målet blir krevende å nå. Prosessering til biogass endrer ikke det totale P-innholdet i

husdyrgjødsel. Hvis det tilsettes andre substrater med høyere N-innhold, som fiskeensilasje, er det imidlertid sannsynlig at fosfor kan bli felt ut som struvitt («nyrestein», $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) (Müller & Müller 2012). I større anlegg kan dette utnyttes til å felle P og produsere mineralgjødsel fra organiske kilder. En sentralisert behandling av organisk avfall i et biogassanlegg med avvanningsmuligheter åpner også en mulighet for at P-rik bioest kan behandles videre og/eller transporteres til andre regioner med et behov for næringsressursen.

Det er ikke kjent mange studier som tar opp fosfortap relatert til spredemetodikk under relevante forhold. Skøien et al. (2011) har laget en sammenstilling, der finske studier viser 79 % redusert P-avrenning ved injeksjon i jord sammenlignet med bredspredning, og enda større reduksjon av løst P (Uusi-Kämpä & Heinonen-Tanski 2008). Noe mindre reduksjon ble funnet i Nord-Irland for både injeksjon og stripespredning (slepesko), og der det ble lagt vekt på utslag som følge av værforhold etter tilførsel (McConnel et al. 2010). Utvasking av fosfor etter inkorporering av husdyrgjødsel i jord kan dessuten bli større der det kan foregå makroporetransport (særlig leirjord) og særlig på jord med høye verdier for P-AL (Lindvall et al. 2010). Generelt gjelder det økt risiko for P-avrenning der gjødsla blir spredd på overflaten gjennom bredspredning eller nedlegging, og det er størst risiko i hellende terreng.

7.4 Kunnskap og informasjon

Rett bruk av husdyrgjødsel har vært, og er et vektlagt område innenfor rådgiving til landbruket. Norsk landbruksrådgiving er en viktig formidlingsaktør og informerer jevnlig om viktig kunnskap, Som eksempel kan vi finne på hjemmesiden til landbruksrådgivningen oppdatert informasjon om innhold av næringsstoffer i husdyrgjødsel (Norsk landbruksrådgiving 2012), som er et resultat fra prosjektet ledet av Bioforsk og finansiert gjennom SLF (Daugstad et al. 2012). Denne type samarbeid om informasjon og kunnskapsformidling vil være viktig. I denne sammenhengen vil det ha betydning at rådgivingsapparatet i sterk nok grad også vektlegger hensynet til utfordringer i vannområdene. Dette vil blant annet konkurrere om fokus rettet mot agronomi generelt og produksjonsøkonomi spesielt. Utgangspunktet er bra fordi miljøspørsmål er en viktig del av kulturen innen rådgivingsapparatet rettet mot landbruket.

Rådgivingen rundt bruk av husdyrgjødsel har i sterk grad rettet seg mot utnytting av N, med bakgrunn i de utfordringer som ammoniakktap og også utvasking representerer. Det er også økt fokus på det N-holdige lystgasstapet.

Rådgivingen omkring P kan forsterkes på miljøsidene, der virkningen på vannområdene trer sterkere frem. Det faktum at lett tilgjengelige og rene P-kilder er begrenset vil fortsatt være et særdeles viktig moment. Elles vil gjødsling med P ha virkning på produksjonsøkonomi og produktkvalitet. Godt hushold med en begrenset ressurs er viktig for kostnaden på P i et lengre perspektiv.

Bøndene er de viktigste aktørene i dette, og det er avgjørende hva de gjør. For det første må det være nok kunnskap om hvordan husdyrgjødsel bør brukes. Bondens valg vil til slutt være sammensatt av mange påvirkningsfaktorer, som lovverk og retningslinjer, økonomi, produktkvalitet, miljø, arbeidssituasjon og tid, investeringsvilje, tilgjengelig handteringslinje, arealarrondering og kultur for hvordan man er vant til å tenke og gjøre. Dette, og mer til, er viktig å ta hensyn til for å forstå bakgrunnen for bøndenes handlinger. Informasjon og rådgiving mot bonden er viktig, og må ses i en total sammenheng.

7.5 Andre faktorer

Det er grunn til å peke på at strukturendringer i landbruket er en faktor som kan innvirke på vannområdene gjennom driftsendringer som gjerne følger med. Større bruk vil ofte føre til sterkere konsentrering av husdyrholdet i større produksjonsheter. Krav til for eksempel kapasitet på gjødsellager blir da viktig. Kjøreavstander vil øke, og transport av husdyrgjødsel innenfor enhetene blir mer utfordrende. Areal lengst vekk, eller vanskeligere tilgjengelig, kan bli mindre brukt som spredeareal. Arbeidspress kan virke inn, og behovet for å ha tilleggsinntekt utenfor bruket kan endre det generelle kunnskapsnivået, samt påvirke prioriteringer og vilje til å ta de gode valgene i det daglige og gjennom langsiktig strategi for investering og valg av driftsopplegg. Stadig større innslag av leiejord kan dra i retning av mindre vilje til å holde slike areal i god hevd. Økende grad av entreprenørskap har både fordeler og ulemper, men sannsynligvis blir det vanskeligere å sikre gjennomføring under laglige forhold. Disse forholdene øker utfordringene med å finne gode løsninger innenfor vannområdene.

8. Tiltak og virkemiddel

Jordbruket påvirker miljøtilstanden til vannområdene. Derfor er jordbrukspraksisen viktig, særlig i et langsiktig perspektiv. I dette kapittelet vil vi komme inn på tiltak som kan være aktuelle for å endre landbrukspraksis med tanke på å oppnå en akseptabel miljøbelastning i alle landbrukspåvirkede vannområder. Tiltakene vil gjelde, eller være nært relatert til, gjødsling og utnytting av P-reserver i jord.

Tilstanden og utfordringene i de ulike vannområdene vil avgjøre behovet for tiltak, og som bør vektlegges gjennom handlingsplanene. Derfor har vi i tillegg til generelle tiltak også foreslått enkelte differensierte tiltak som kan være aktuelle å gjennomføre i spesielt utsatte vannområder.

Gjennom SMIL-midler og regionale miljøprogram som Fylkesmannens landbruksavdelinger (FLMA) forvalter, er det åpnet for en viss regional tilpasning av tilskudd til landbruket. Regionale tilskudd kan brukes til å påvirke landbrukets miljøbelastning, og det bør være en god dialog mellom forvalterne av vannregionene, FMLA og utforming av regionale og nasjonale satsinger. Som eksempel kan nevnes prøveordningen med tilskudd til bønder som sprer husdyrgjødsel på en miljøvennlig måte, gjennomført i noen fylker (SLF^b). Denne pilotordningen er forlenget i forhold til det opprinnelig planlagte, for å skaffe bedre erfaringsgrunnlag om miljøvennlig gjødselspredning, og bedre grunnlag for å beslutte fremtidige virkemidler. Den største andelen av de offentlige tilskuddene til landbruket kommer fra sentralt hold gjennom areal- og kulturlandskapstilskudd og produksjonstilskudd for husdyrhold. Utformingen av disse påvirker landbrukets miljøbelastning. For eksempel gis det betydelige tilskudd til kornareal som ikke høstpløyes.

Vi har delt beskrivelsen av tiltakene inn i en generell del, som bør kunne være gyldige f.eks. i en hel vannregion eller nasjonalt, og en spesiell del som kan være aktuell i særlig sårbare eller utsatte vannområder.

Det sies i en del sammenhenger at norsk landbruk er byråkratisert og regulert. I enkelte andre land er det imidlertid betydelig strengere kontroll av hvorvidt tilskuddsordningene fungerer etter sin hensikt. I Østerrike får alle gårder et årlig besøk av en kontrollør som går gjennom viktige sider av drifta som er relevante for tildelingen av tilskudd. Tilskuddene tildeles så ut fra antall poeng som oppnås.

Et alternativ til offentlig kontroll, som selvsagt er kostnadskreven, er at bøndene går sammen i «egenkontroll-grupper» og gjennomfører årlige besøk hos hverandre der de kan diskutere tolkningen av regelverk, hva som er det beste driftsopplegget og hvordan man kan løse aktuelle problemer. Erfaringen med «Stallskoler» (fjøs-skoler) i Danmark viser at bønder i en slik situasjon kan være forbausede åpne om sine utfordringer, lære mye av hverandre og forbedre seg betydelig. Som et

eksempel klarte en gruppe melkeprodusenter på kort tid å halvere bruken av antibiotika (Økologisk landsforening 2012). Stimulering til slik lokal nettverksbygging bør ha et mål om å øke motivering og nivåkunnskap, og spesielt i startfasen vil det være nyttig å ha med en erfaren rådgiver.

8.1 Generelle tiltak og virkemiddel

I dette kapittelet drøfter vi tiltak og virkemiddel som har en viss generell karakter. Det innebærer at de kan tas inn i nasjonale retningslinjer, krav, lover og knyttes til generelle økonomiske virkemidler på statlig nivå, men med muligheter for målretting mot spesielle utfordringer.

8.1.1 Gjødslingsråd

Som utredningen har vist, er det i seinere år gjennomført betydelige endringer i gjødslingsanbefalingene for P. anbefalingene ser ut til å bli lojalt fulgt opp av de fleste bønder, i det innkjøpt mengde P i mineralgjødning ser ut til å holde seg stabilt på et betydelig lavere nivå enn tidligere. Endringer i gjødslingsanbefalinger er altså et tiltak som har hatt stor betydning, og som vil fortsette å få virkning fremover. Som undersøkelser av næringsoverskudd i husdyrholdet viser, er det imidlertid stort behov for å bevisstgjøre husdyrbønder på hvilke P-ressurser kraftfôrinnekjøpene representerer. Gjødslingsanbefalingene bør bli helt klare på at bønder med høye P-AL nivå i jorda ikke bør kjøpe inn P holdig mineralgjødning. Periodevis har det imidlertid vært vanskelig å skaffe NK-gjødning i enkelte deler av landet, og mange jordtyper kan ha behov for kalium selv om P-AL verdiene er høye. Det bør spilles på lag med leverandører og forhandlere av mineralgjødning slik at de viktigste aktørene har mest mulig felles mål.

Gjeldende norske anbefalinger til korn og eng er at P-gjødning ikke bør forekomme på jord med P-AL-nivå over 14. Svenske anbefalinger ligger på null P-gjødning for jord med P-AL-verdi 12. En eventuell vurdering av ytterligere justeringer i de norske anbefalingene bør ha en ryddig prosess med bred involvering.

For eng er det behov for å justere anbefalt P-gjødning ut fra antall slåtter og avbeitinger, slik det er gjort for K. Siden eng i det vesentlige dyrkes med tilgang på husdyrgjødning, bør man ha i mente ved utarbeidelsen av gjødslingsrådene for eng at P-innholdet i jorda gjennomgående er høyt på husdyrbruk, og bør senkes.

Generelt er det et jevnt behov for å kommunisere med landbrukssektoren om betydningen av jordanalyser, hva som er et optimalt P-AL-innhold, og at gårdbrukerne har et ansvar for vannmiljøet. Egne informasjonskampanjer kan være aktuelt, og noen vannregioner (f.eks. Follo) er allerede i god gang med slikt arbeid.

For hagebruksvekster gjelder som nevnt egne vurderinger, og slike vekster dyrkes på begrensede arealer. Det bør vektlegges i rådgivningen at arealene ikke tilføres P-gjødning i år der det ikke dyrkes

grønnsaker dersom vekster som korn eller gras inngår i vekstskiftet. Siden produksjonene er intensive, og har en høy verdi per arealenhet, er det grunn til å tro at areal som brukes i til hagebruksvekster vil være godt ivaretatt med hensyn til drenering, kummer og annen hydroteknisk infrastruktur. Men slike forhold, og erosjonsdempende tiltak som graskledde vannveier og vegetasjonssoner mot åpne vassdrag bør være spesielt godt ivaretatt på gårder som driver med hagebruksproduksjon. I sårbare områder bør man vurdere dialogmøter mellom vann- og landbruksforvaltning, rådgivning og næringsutøvere slik at man kan få en felles forståelse av utfordringene, og komme fram til avbøtende tiltak.

Oppsummering av anbefalte tiltak 8.1.1:

- *Tydligere rådgivning om nullgjødsling*
- *Evaluering og gjennomgang av det norske systemet for korrigerende etter P-AL med involvering av aktuell ekspertise*
- *Gjennomføre endringer i P-gjødslingsanbefalingene i eng etter antall slåtter og avbeitinger*
- *Dialog med produsenter og distributører av mineralgjødning for å sikre tilgjengelighet av N og NK gjødning*
- *Dialogmøter for forvaltning, rådgivning og produksjon innen potet og grønnsaker*

8.1.2 Spredarealkrav

Ut fra et miljøperspektiv er det klart at kravene til spredareal bør skjerpes inn i Norge. Konsentrasjonen av husdyr er i noen områder så stor at husdyrgjødsel forvaltes på en lite bærekraftig måte. Dette henger også sammen med endringer i hvordan landbruket drives. Stadig færre bønder driver stadig mer leiejord, og kan mangle både tid og penger til å sørge for agronomisk riktig spredning av gjødning. Et skjerpet krav til spredareal er et politisk svært brennbart tema. Hvis vi skal legge oss på nivå med Sverige, og redusere kravet fra 3,5 til 2,2 kg P per dekar og år, vil mange husdyrbruk få store problemer med hvor og hvordan de skal bruke gjødning. Kravet til spredareal i Sverige er spesielt strengt grunnet problemer med algeoppblomstringer i Østersjøen.

Hvilke tiltak skal settes inn mot bønder som ikke har tilstrekkelig spredareal? Teoretisk kan man tenke seg at man gir støtte til nydyrking i slike tilfeller. Ved nydyrking vil det være behov for betydelige mengder husdyrgjødsel før jorda får et optimalt P-innhold. For mange vil dette likevel ikke være noe alternativ. Da kan man tenke seg en ordning med utfasing av deler av husdyrholdet fra dagens nivå, gjennom offentlig styring. Det kan være et alternativ i områder med spesielt stor husdyrtetthet å gi offentlig støtte til anlegg som kan håndtere og komprimere gjødning, og kanskje produsere tørr, pelletert handelsgjødsel som kan selges. En slik ordning kan kombineres med en forutsetning om at driftsomfanget i husdyrholdet må tilfredsstille nye krav for spredareal innen rimelig tid. Det er viktig at disse vurderingene blir gjort ved godkjenning av større endringer i drifta, som renovering av driftsbygninger, nybygg eller kjøp av betydelige tilleggsareal. Det kan også

vrurderes å godkjenne spredeareal/husdyrtetthet på lokalt nivå, ut fra aktuelle jordanalyseverdier. Et slikt system ville kreve svært nitid oppfølging, på et nivå som hittil ikke har vært vanlig i norsk landbruksforvaltning. Skal man inn med lokale målinger i spesielt sårbare områder, bør det heller vurderes å måle jordas P-bindingsevne.

Omlegging til økologisk drift kan vurderes som et tiltak for å øke spredearealet i praksis. Det er viktig i denne sammenhengen at økologiske driftsformer bruker mer areal for å produsere samme mengde som mer intensive produksjonssystemer. De lokale virkningene i vannområdet blir derfor en viktig faktor. Det stilles stadig strengere krav til selvforsyning med fôr i økologisk produksjon i EU. Det pågår en høring i Norge om utkast til nye regler der 60 % av fôret til drøvtyggere og 20 % av fôret til svin og fjørfe må komme fra egen gård (Mattilsynet 2012). Før denne endringen var reglene 50 % og 0. En tenkt økologisk melkeproduksjonsgård med 40 % import av kraftfôr ville fortsatt ha et betydelig P-overskudd, men lavere enn konvensjonelle gårder målt per arealenhet. Forutsetter vi et avlingsnivå i eng på 840 kg TS per daa og år, basert på verdier fra dyrkingssystemforsøket på Apelsvoll (Korsæth 2008), og at dette reduseres med 25 % til 630 fordi det i praksis vil bli svinn som ikke oppstår i forsøk, og at hver ku trenger 16,5 kg tørrstoff per dag eller ca. 6000 kg TS per år og produserer 14 kg P i gjødsel, så vil det være et behov på ca. 6 daa fulldyrka areal per ku for å produsere 60 % av fôret. Da får vi at 14 kg P fordelt på 6 daa utgjør 2,3 kg P per daa og år.

Oppsummering av anbefalte tiltak 8.1.2:

- *Spredearealet bør justeres ned fra dagens 3,5 kg P per daa og år. Vannmiljøets tilstand i Norge tilsier ikke at vi bør ha like strenge krav til spredeareal som i Sverige på 2.2 kg P per daa og år. Endringer kan få store konsekvenser for deler av norsk husdyrproduksjon, og kompensende tiltak må utredes grundig for å finne bærekraftige løsninger.*
- *Omlegging til økologisk produksjon (melk, sau, ammekyr) vil redusere P overskuddet per daa sammenliknet med konvensjonell drift.*

8.1.3 Vektlegging av risikofaktorer

Det er en styrke for norsk miljøforvaltning at vi har tilgjengelige kartverk over jordbruksarealene våre i form av jordsmonnkart med bl.a. erosjonsrisiko inntegnet. Kartene er lett tilgjengelige på nett hos Skog og landskap (<http://www.skogoglandskap.no/>), og ca. 50 % av jordbruksarealene er nå jordsmonnkartlagt. P-indeks er også et svært verdifullt redskap, utviklet for norske forhold, og er beregnet på gårdbrukere som utfra lokal kjennskap beregner potensialet for P-tap for hvert enkelt jorde på sin gård. Modellen beskrevet i denne utredningen med kobling av P-gjødsling og P-status med stedlige risikofaktorer for erosjon og P-tap bør vektlegges som et viktig hjelpemiddel for tiltaksvurdering. Vi er kjent med at SLF gjennom info og utviklingsmidler til miljøtiltak støtter pågående prosjekter for integrering av P-indeks i Skifteplan, samt utvikling av modell og kartverk for vurdering av erosjonsrisiko. Slike prosjekter er bra, og bør også videreføres for å sikre størst mulig brukernytte under flest mulige varierende forhold.

Fra forvaltningens side kunne det vært ønskelig å beregne P-indeks på et noe mer overordnet nivå, forutsatt at målinger av P-AL med geografiske koordinater var tilgjengelige. I de årene forskningsinstituttet Jordforsk (del av Bioforsk siden 2006) drev sitt eget jordanalyselaboratorium ble det bygget opp en jorddatabank der resultatene av jordanalyser ble lagt inn. Slike data ligger til grunn for informasjonen om gjennomsnittlig P-AL-innhold i ulike fylker vist i denne utredningen, og det er viktig informasjon for vurdering av landbrukets miljøeffekter. Det er også mulig å lage mer detaljert informasjon, f. eks. for kommuner og grender, og statistikk, som viser fordelingen av klasser for P-innhold. Jordanalyser utføres fortsatt, men uten noe godt system for å rapportere inn resultatene. Et prosjekt drevet av f.eks. Norsk landbruksrådgivning, som ofte står for den praktiske jordprøvetakingen hos sine medlemmer, og Bioforsk Jord og miljø der man kan bygge videre på den jorddatabanken som allerede eksisterer og til en viss grad er oppdatert også etter 2006, ville vært av stor betydning for å kunne vurdere utviklingen i jordas P-nivå over tid, og på et nivå tilpasset forvaltningens behov.

En revitalisering av en Jorddatabank kunne gjøres enda mer relevant hvis man samtidig ga støtte til at bønder som leverer inn jordprøver til analyse også gjennomførte analyse av jordas bindingsevne for fosfor. Geografiske koordinater må være en betingelse, kanskje også noe informasjon om driftsform og liknende. Over tid kunne man da bygge opp innsikt i til hvilken grad norsk dyrka jord er mettet med P i ployelaget. Slik informasjon kan være av stor interesse for miljøforvaltningen, og kan legge grunnlag for en målrettet plassering av utvalgte tiltak, men også for nye typer tiltak for å redusere forurensningen. Vi er kjent med at SLF er engasjert i prosjekter for å forenkle overføring av jordanalyseverdier (P-AL-verdier) fra Skifteplan for å få oversikt over tilstanden for større områder. Dette vil være viktig for effektivt miljøarbeid i vannområdene.

Erfaringer fra undersøkelser av miljøforhold på gårdsnivå der bønder får se sine egne resultater sammen med resultatene fra andre tilsvarende gårder, for eksempel størrelsen på overskuddet av et næringsstoff per daa og år, kan virke svært bevisstgjørende (Koesling 2012, pers.medd.). På samme måte kan man tenke seg bevisstgjøring gjennom grendemøter, eller nedslagsfelt-møter innen et sårbart vannområde der erosjonsrisiko-kart presenteres og bøndene får beregne sine egne P-indeks og sammenlikne med de andre. Her kan det følges opp i lokale nettverksgrupper med oppdateringer av miljøplaner og ellers faglige tema, som virkning av jordarbeiding, erosjonsdpendende tiltak og hydroteknisk vedlikehold.

Oppsummering av anbefalte tiltak 8.1.3:

- *Sikre faglig oppdatering og utvikling av modell for P-indeks for bredest mulig nytte og bruk under varierende forhold*
- *Prosjekt for å revitalisere jorddatabanken ved Bioforsk Jord og miljø, i samarbeid med Norsk landbruksrådgivning*

- *Støtte til målinger av jordas P-bindingsevne i forbindelse med rutinemessige jordanalyser (minst hvert 8. år)*
- *Informasjonstiltak mot gårdbrukere med tema erosjonsrisiko, P-indeks og ellers aktuelle tiltak. Mål om integrering av disse i miljøplaner*

8.1.4 Rådgiving og informasjon generelt

Det er en viktig oppgave for vannforvaltningen å komme i dialog med landbruksrådgiverne, for å motivere disse til å tenke vannmiljø og miljøhensyn generelt når de hjelper bønder med miljøplaner, gjødselplaner, tolking av jordprøveresultater og annen veiledning.

Det er også svært viktig at veiledere så vel som gårdbrukerne selv er mest mulig oppdatert med gode agronomiske kunnskaper. God landbrukspraksis krever kunnskap og innsats. Det er i dag dessverre mye som tyder på at strukturendringene i landbruket, med mye leiejord og for liten tid til å holde jord og infrastruktur i god hevd, er med å begrense avlingsnivået i norsk landbruk (Stabbetorp 2010). Det er derfor viktig at det legges til rette for at bønder og rådgivere kan ta etterutdanning og tilleggsutdanning, gjerne som nettbaserte løsninger. Jordarbeiding, jordstruktur, jordpakking, grøfting, riktig stell av hydrotekniske anlegg og anlegg og vedlikehold av erosjonsdempende tiltak bør stå sentralt. Videre bør god plantekultur, med optimal bruk av egne gjødselressurser og betydningen av jordanalyser være et viktig tema.

Oppsummering av anbefalte tiltak 8.1.4:

- *Etablere god dialog mellom vannforvaltninga og rådgivningstjenesten i landbruket*
- *Etter- og videreutdanning innen landbruk må ha fokus på landbrukets miljøeffekter og hvordan negative effekter kan reduseres*

8.1.5 Teknologi og investeringer

For husdyrbrukere er det av interesse å kunne motta tilskudd til å utbedre eller utvide gjødsellageret. Det vil være en utfordring å kontrollere at støtten ikke glir over i en økning i produksjonen.

Støtte til mer miljøvennlig spredeutstyr er aktuelt. Med miljøvennlig tenker vi ikke minst på utstyr som kan redusere jordpakking og dermed jordas infiltrasjonsevne. Aktuelt er da slepeslangespredere, der traktoren kun bærer en spredeenhet mens gjødsla som spres tilføres i en slange som er koplet til ett eller flere gjødsellagre. Generelt er det dokumentert at husdyrgjødsel som blir lagt ned eller nedfelt med best mulig jordkontakt har gunstig virkning på redusert P-tap. En kombinasjon av gunstig plassering og god virkning på jordstruktur/infiltrasjon bør tilstrebes. I produksjonstyper uten særlig innslag av eng kan det særlig vurderes støtte til etablering av erosjonsdempende tiltak. Alle fysiske installasjoner er avhengig av ettersyn og vedlikehold for å fungere godt. Det kan vurderes om det burde være et eget punkt i miljøplanen der gårdbrukeren

dokumenterer tiltak, ettersyn og vedlikehold. Dersom dette knyttes opp mot en tilskuddsordning vil det øke motivasjonen.

Statlig tilskudd til grøfting har vært mye diskutert i seinere år, da statistikken viser at grøfteaktiviteten er langt lavere enn det som er påkrevd for å holde arealene i hevd. Økende andel leiejord må ta sin del av skylden for denne situasjonen. Det er en utfordring om tilskudd knyttet til areal skal betales ut til den som eier eller den som driver arealet. En tredje løsning kan være å utbetale tilskuddet til den som faktisk utfører arbeidet, eller å subsidiere materialbruken eller planleggingsarbeidet.

Oppsummering av anbefalte tiltak 8.1.5:

- *Tilskudd til miljøvennlig spredeutstyr for husdyrgjødsel*
- *Kontrakt med bønder om å gjennomføre erosjonsdempende eller andre relevante tiltak*
- *Årlige tilskudd til bønder som vedlikeholder sine hydrotekniske installasjoner*
- *Offentlige tilskudd til grøfting*

8.1.6 Kunnskapshull

I Bioforsk arbeides det med å utvikle et eget strategisk instituttprogram (SIP) for å dekke opp for viktige kunnskapsmangler relatert til P-syklusen i jord og planter. Gjennom arbeidet med denne rapporten har vi avdekket noen områder der vi ser behov for en styrking av kunnskapsgrunnet. Vi vil her trekke frem noen punkter vi mener kan være utgangspunkt for tiltak for styrking av forståelsen rundt P-gjødsling og virkning på vannområder.

Det blir ofte hevdet at lave temperaturer på våren under våre forhold reduserer plantetilgjengeligheten av P. Det er noe uklart hvor viktig dette er, men det kan blant annet ikke avvises at grunnen til observerte avlingsøkninger enkelte ganger skyldes lav temperatur på våren og dermed en P-respons i denne perioden. Det er også usikkerhet knyttet til hvor stor betydning en slik effekt har under ulike vekstforhold og for ulike vekstkulturer.

Betydningen av viktige jordfaktorer, som pH og organisk materiale, vet vi er viktige for blant annet løselighet og utnytting av P. Likevel er ikke dette konkretisert i klare sammenhenger i en praktisk anvendbar form. Klare uttrykk for dette ville vært nyttige i en rådgivings-sammenheng.

Parameterisering og valg av faktorer bak P-indeks for sammenhenger mellom P-tilgang og risiko for P-tap er ikke alltid klare. Variasjon mellom ulike klima og jordforhold gjør det utfordrende å ta slik systemer i bruk under ulike forhold. Testing og kalibrering vil være en viktig oppgave. Tilsvarende vil ulike relevante modelltilnærminger oftest ha slike utfordringer. Gode modeller vil øke muligheten for utforming av målrettede tiltak generelt, og dessuten øke forståelsen av hvordan systemer fungerer.

Det vil mest trolig stå igjen vesentlige oppgaver knyttet til å kartlegge husdyrgjødselmengder og næringsinnhold fra ulike dyreslag, selv om vi med nylig avsluttede og igangværende prosjekter får dette bedre klarlagt. Ikke minst ser vi dette behovet for kunnskap ved utforminger av retningslinjer for organiske gjødselslag.

Når anbefalte mengder for P-gjødsling er sterkt nedjustert, og trolig vil kunne tas ytterligere ned, ser vi et større behov for detaljert kunnskap på hvordan virkningen er på plantevekst og -kvalitet. Dess lavere gjødslingsnivåene settes, dess større risiko blir det for økonomisk tap eller forringelse av kvalitet. Dette punktet bør også ses i sammenheng med kombinasjoner av ulike andre faktorer, som klima, jord, planteslag og driftsmåter generelt. Her kan også bruk av planteanalyser være et nyttig felt å se nærmere på.

Vi har drøftet viktige P-tap knyttet til erosjon og P-utlekking i denne rapporten. Det har vært noe mindre fokus på P-tap fra plantemateriale og organiske rester på overflaten gjennom mekanismer som frysing og tining, og tørking og fukting. Særlig kan slike tap bli store på vårparten, gjerne ved tidlig snøsmelting. Mer kunnskap om hvordan slike tap kan reduseres er ønskelig, for eksempel på hvilke muligheter som kan ligge i å finne plantemateriale med egenskaper på innvintring slik at næringsstoffer lagres i røtter og mer beskytta plantedeler.

Indikasjoner på gunstig virkning av grøfting på mulighetene for reduserte P-tap er ikke helt ut forstått. Satsinger på dette område, og knyttet til jordegenskaper, kunne vært nyttige for bedre beskrivelser av jordfysiske faktorer sin virkning på P-tap.

Ytterligere satsinger for å finne gode løsninger på behandling av husdyrgjødsel for å løse utfordringer med P-overskudd er tydelig. Her kan det tenkes ulike typer av tilnærming. Blant annet teknikk for å skille i våte og tørrere gjødselfraksjoner for videre prosessering. Et annet alternativ kan være en satsing rundt biogassproduksjon. Det synes å ligge både økonomiske og infrastrukturmessige utfordringer i dette.

Oppsummering av anbefalte tiltak 8.1.6:

- *Avklare effekt av lave temperaturer på våren på P-tilgjengelighet*
- *Etablere sammenhengene mellom pH og moldinnhold i P-gjødslingsanbefalingene*
- *Validere og utvikle modeller og P-indeks for varierende forhold i Norge*
- *Tette mangler i kunnskap om husdyrgjødselmengder og næringsinnhold for ulike dyreslag*
- *Mer detaljert kunnskap på hvordan nedjusteringer av P-gjødsling virker på plantevekst og -kvalitet*
- *Undersøke mulighetene for å redusere utfrysing av P fra planterester på overflaten*
- *Avklare effekten av grøfting på P-tap*
- *Utvikling av behandlingsmetoder for husdyrgjødsel med mål om reduserte P-tap til vann*

8.2 Differensierte tiltak og virkemidler

I spesielt sårbare og utsatte vannområder vil det være aktuelt å sette i verk kraftigere tiltak enn de mer generelle tiltakene. Det vil i stor grad si enda mer av de tiltakene som kan bety noe.

Vurderingene i kapittel 8.1 vil da fortsatt gjelde, men vi vil her peke på noen områder som kan egne seg som ekstratiltak når det ønskes større effekt i det aktuelle vannområde.

Det kan være en mulighet å innpasse slike tiltak i regionale miljøprogram, men da fortrinnsvis i form av tilskudd som virkemiddel. I prinsippet kan man også se for seg at det utarbeides lokale forskrifter for de enkelte kommuner med sårbare vannområder.

De generelle normene for P skal i utgangspunktet ligge nær de nivåene som gir tilstrekkelig P-opptak i plantene. En strengere praksis vil øke risikoen for tapte avlinger eller kvalitetsforringelser. Hvert aktuelt vannområde bør gjennomføre fagvurderinger ut fra de lokale forholdene. En senkning av innslagspunktet for null P-gjødsling ved P-AL på 14 kan vurderes, for eksempel ned på svensk nivå på P-AL 12. I en kortere periode kan det også vurderes ytterligere nedjustering, men da med en økt risiko for avlingsnedgang over tid. Det kan etableres overvåkingsprogrammer i nedbørområdene for økt kontroll med effektene på matproduksjon.

Bruk av planteanalyser og forholdet mellom N og P kan brukes som en sjekk på sannsynligheten for P-mangel og avlingsnedgang.

Husdyrtette områder vil ha en spesiell utfordring, fordi husdyrgjødsel ofte må brukes på areal som i utgangspunktet ikke blir tilrådd gjødslet ut fra jordas P-status. Dette er en krevende situasjon, og det bør innarbeides i handlingsplaner hvilke tiltak som kan gjennomføres. Det kan vurderes å gi en støtte til transport av husdyrgjødsel som brukes på kartlagte areal med lavt P-AL-innhold innen aktuell region. Det vil være interessant å gjennomføre pilotprosjekt på slik ressurskartlegging i ulike deler av landet. Tiltak for eventuell eksport av P fra vannområdet bør vurderes, herunder ulike behandlingstilsetninger av gjødsel og transportmuligheter. Tilskudd kan gis til oppgradering av eksisterende og ubrukte gjødsellagre. Dette bør inngå i en overordnet plan for et sårbart vannområde der disse lagrene brukes og muliggjør en bedre bruk av husdyrgjødsel i området. Det bør innarbeides en langsiktig plan for hvordan dette skal møtes, og dette må være et viktig grunnlag for framtidige satsinger og investeringsvalg.

God motivering av bøndene tror vi er særlig viktig i de mest utsatte vannområdene. Dette betyr ekstra satsing på ulike nettverksgrupper og gjennomføring av ulike informasjons- og motiveringstiltak. Det kan sies å være et behov for å forstå hvorfor bøndene tar de valg de faktisk gjør. Det som kan oppfattes som urasjonell handling kan ha forklaringer i sosiale, økonomiske, og arbeidsmessige forhold, og er ikke alltid like lett synlige. Det kan ha noe for seg å prøve å avdekke slike forhold.

Enkelte driftsformer har potensiale til å hente mer næringsstoff ut av jorda enn andre. Mest P kan vi fjerne fra et areal ved å dyrke gras som gjødsles med andre næringsstoffer, men uten P. På ekstra næringsrik jord i sårbare vannområder kan det derfor vurderes å gi tilskudd til dyrking av gras gjennom regionale miljøprogram, under forutsetning av at graset gjødsles med andre næringsstoff slik at det sikres en god produksjon, og at graset fjernes fra gården gjennom salg til fôr eller råstoff for biogassproduksjon slik at næringsstoffene utnyttes på en god måte med lavest mulig belastning for miljøet.

Ved bruk av P-indeks og kunnskap generelt kan det utarbeides planer for bruk av arealer ut fra egnethet. Oppfølging av slike planer vil kreve stor grad av motivering, og uten frivillighet kan det bli kostbart. Slike ekspertvurderte tiltak må forankres godt hos praktikere, som bør trekkes med i prosesser.

I de mest utsatte vannområder vil det ha særlig interesse å tilordne tilskudd på ulike erosjonsdempende og hydrologiske tiltak. Ikke bare til etablering, men også til vedlikehold, som ofte blir forsømt over tid.

Differensierte tiltak vil si sterkere innskjerping av praksis og dermed ytterligere behov for detaljert kunnskap. Derfor blir tetting av kunnskapshull (kapittel i 8.1.6.) ytterligere viktig. Spesielt er det krevende å vurdere aktualiteten i å kombinere tiltak. Kunnskap hos rådgivere og bønder blir særdeles viktig, sammen med motivasjon.

Oppsummering av anbefalte tiltak 8.2:

- *En faglig vurdert senkning av innslagspunktet for null P-gjødsling etter P-status*
- *Økt bruk av planteanalyser for vurdering av P-status i høsta materiale*
- *Vekt på løsninger for optimal bruk av husdyrgjødsel i handlingsplan for vannområdet, som for eksempel ordninger for optimal bruk av spredeareal i regionen, samt kartlegging og oppgradering av lagerkapasitet*
- *Fokus på motivering og informasjon til bønder innen vannområdet*
- *Tilskudd til dyrking av gras for salg kan vurderes i sårbare vannområder*
- *Utarbeiding og oppfølging av planer for bruk av arealer etter egnethet*
- *Tilskudd til erosjonsdempende og hydrologiske tiltak, anlegg og vedlikehold*
- *Ekstra viktig med tetting av kunnskapshull*

9. Konklusjon

Bruk av forholdet mellom N og P i høstet plantemateriale er en lovende metode for å bestemme om P-tilførselen til planteveksten er tilfredsstillende (kapittel 5).

Arealets risiko for tap av P og avlingsrespons på tilført P er drøftet som to viktige kriterier for sterkere differensiering i gjødslingsanbefalinger ut fra risiko for tap av næringsstoffer og tilstand i vannforekomstene (kapittel 6). Risiko for tap av P er særlig knyttet til erosjonsrisiko og jordas P-status i kombinasjon med gjødslingsnivåer over tid. Avlingsresponsen av tilført P i gjødsel er små ved høy P-status i jord. Selv ved moderat P-status er avlingsutslag for P-gjødsling ofte usikre, mens det vil være klare avlingsøkninger etter P-gjødsling over tid på jord med lav P-status.

Bruken av husdyrgjødsel og betydningen av gjeldende praksis er vurdert i sammenheng med risiko for P-avrenning til vann (kapittel 7). Det er pekt på utfordringene i husdyrtette områder, der høy P-status i jord ofte blir resultatet av et overskudd av tilført P i forhold til plantenes behov. Det er konkludert med at en innskjerping av spredearealkravet bør gjennomføres.

Tiltak og virkemiddel for bedring av vannmiljøet relatert til P-gjødsling er drøftet (kapittel 8). Rapporten spesifiserer aktuelle tiltak og virkemiddel på gjødslingsråd, spredearealkrav, risikofaktorer, rådgiving og informasjon, teknologi og investeringer, samt tetting av kunnskapshull. En sterkere differensiering av P-gjødsling og andre relevante tiltak er drøftet spesielt med hensyn til tiltaksgjennomføring i utsatte vannforekomster.

Rapporten har drøftet og sammenlignet gjeldende ordninger og praksis i Norge med relevante erfaringer og tilnærminger i andre land, særlig hos våre nordiske naboer.

10. Referanser

- Arnold, J.G., Srinivasan, R., Muttiah, R.S. & Williams, J.R. 1998. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development. *Journal of the American Water Resources Association* 34 (1):73-89.
- Ball Coelho B, Murray R. Lapen D., Topp E. & Bruin A. 2012. Phosphorus and sediment loading to surface waters from liquid swine manure application under different drainage and tillage practices. *Agric. Water Manage.* 104: 53-61.
- Bateman A, van der Horst D., Boardman D., Kansal A. & Carliell-Marquet C. 2011. Closing the phosphorus loop in England: The spatio-temporal balance of phosphorus capture from manure versus crop demand for fertiliser. *Resources, Conservation and Recycling* 55: 1146-1153
- Bechmann, M. 2005. The phosphorus index tool for assessing phosphorus transfer from agricultural areas in Norway. Doctor Scientiarum Thesis 2005:24, Norwegian University of Life Sciences. ISBN 82-575-0670-2
- Bechmann, M., Krogstad, T. & Sharpley, A.N. 2005. A phosphorus index for Norway. *Acta Agric. Scand.* 55:205-213.
- Bechmann, M., Kværnø, S., Skøien, S., Øygarden, L., Riley, H., Børresen, T. & Krogstad, T. 2011. Effekter av jordarbeiding på fosfortap. Sammenstilling av resultater fra nordiske forsøk. *Bioforsk Rapport* 6 (61):73 s.
- Bélanger G. & Ziadi N. 2008. Phosphorus and nitrogen relationships during spring growth of an aging timothy sward. *Agron. J.* 100: 1757-1762.
- Bélanger G., Claessens A. & Ziadi N. 2011. Relationship between P and N concentrations in maize and wheat leaves. *Field Crops Research* 123: 28-37.
- Bengtsson, H., Öborn, I., Jonsson, S., Nilsson, I. & Andersson, A. 2003. Field balances of some mineral nutrients and trace elements in organic and conventional dairy farming - a case study at Öjebyn, Sweden. *Europ. J. Agronomy* 20: 101-116.
- Bolstad T. 1994. Utskiljing av nitrogen og fosfor frå husdyr i Norge. Sluttrapport. Norges Landbrukshøgskole, Ås.
- Borch, H., Farkas, C., Øgaard, A.F. & Bechmann, M. 2010. The AGRICAT-P Model - a tool for modeling the mitigation effects of agricultural runoff in Norwegian catchments. *Bioforsk Rapport* nr. 9: 50 s.
- Dalgaard, T. Rubæk, G., Hansen, J.F. Kyllingsbæk, A. & Børgesen, C.D. 2004. Surpluses of phosphorus in Danish agriculture. *Nordic Workshop: Tools for Assessing Phosphorus Loss from the Nordic Agriculture.* Danish Institute of Agricultural Sciences, Research Centre Foulum. p. 77.
- Daugstad, K., Kristoffersen, A.Ø. & Nesheim, L. 2012. Næringsinnhold i husdyrgjødsel. Analyser av husdyrgjødsel frå storfe, sau, svin og fjørfe 2006-2011. *Bioforsk Rapport* 7 (24): 29 s.
- Duru, M., Thélier-Huché, L., 1997. N and P-K status of herbage: use for diagnosis of grasslands, in: INRA (Eds.) *Diagnostic Procedures for Crop N Management and Decision Making*, pp. 125-138.
- Ekholm P., Turtola E., Grönroos J., Seuri P. & Ylivainio K. 2005. Phosphorus loss from different farming systems estimated from soil surface phosphorus balance. *Agric Environ.* 110: 266-278.
- Egnér, H., Köhler, G. & Nydahl, F. 1938. Die Laktatmethode zur Bestimmung leichtlöslicher Phosphorsäure in Ackerböden. *Lantbr.högsk. Ann.* 6:253-298.
- Egnér, H., Riehm, H. & Domingo, W.R. 1960. Untersuchungen über die chemische Boden-Analyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Boden. *Kungliga Lantbrukshögskolans Annaler* 26, 199-215.
- Entrup, N.L., & Oehmichen, J. 2006. Lehrbuch des Pflanzenbaues. Band 1 Grundlagen. ISBN-13:978-3-9810575-1-5. 823 pp.

- Foss, S. 1971. Eng-gjødslingsforsøk i Trøndelag og i Møre og Romsdal. *Forskning og forsøk i landbruket* 22: 21-42.
- Frostgård, G. 2011. Skördarna sjunker snabbt utan fosfor. www.yara.se
- Fystro, G. 2007. Fosforgjødsling til eng - behov for endring. *Plantemøte Vest 2007. Bioforsk FOKUS* 2(7): 40-42.
- Fystro G., Nesheim L. & Bakken A.K. 2008. The N:P ratio in plant tissues as a diagnostic tool for P supply: 5 pp. In: Rubæk G (ed) Phosphorus management in nordic -baltic agriculture - reconciling productivity and environmental protection. NJF Report: NJF Seminar 401
- Greenwood, D.J., Gastal, F., Lemaire, G., Draycott, A., Millard, P. & Neeteson, J.J, 1991. Growth rate and % N of field grown crops: theory and experiments. *Ann. Bot.* 67: 181-190.
- Güsewell S., Koerselman W. & Verhoeven J.T.A. 2003. Biomass N:P ratios as indicators of nutrient limitation for plant population in wetlands. *Ecol. Appl.* 13: 372-384.
- Heen, A. 1988. Korn. Forelesningsnotat I PK2. *Jordbruksvekster til frømodning, Ås.* 121s.
- Hernes, O. 1969. Gjødslingsbehov til eng i Hedmark og Oppland. *Forskning og forsøk i landbruket* 20: 165-186.
- 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.
- Hoel, B. & Tandsæther, H. 2003. Høst- og vårgjødsling med P og K til høstkorn. *Grønn Forskning* 1:83-85.
- Hoel, B. & Tandsæther, H. 2012. Fosforgjødsling til høstkorn. *Bioforsk FOKUS* 7(1): 120-124.
- Håland, Å. og Aase, K. 1987. Fosfor til eng på tidlegare sterkt fosforgjødsla jord. *Norsk landbruksforskning* 1: 147-159.
- Jordbruksverket 2011. Riktlinjer för gödsling och kalkning 2012. *Jordbruksinformasjon* 21: 90 s
- Jordbruksverket 2011. Gödsel och miljö 2011 - lagring och spridning av gödsel - höst- och vinterbevuxen mark. *Versjon 3:* 121s
- Jordbruksverket 2012a:
http://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf_jo/jo11_21.pdf
- Jordbruksverket 2012b:
<http://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/odling/vaxtnaring/spridagodseldel/spridagodseldelhelalandet/djurenheternardetgallergodseldel.4.4b00b7db11efe58e66b80003248.html>
- Jordbruksverket 2012c:
<http://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/odling/vaxtnaring/spridagodseldel/spridagodseldelhelalandet.4.207049b811dd8a513dc80002742.html>
- Jordbruksverket 2012d:
<http://webbutiken.jordbruksverket.se/sv/artiklar/riktlinjer-for-godsling-och-kalkning-2012.html>
- Jouany, C., Cruz, P., Petibon, P. & Duru, M. 2004. Diagnosing phosphorus status of natural grassland in the presence of white clover. *Europ. J. Agronomy* 21: 273-285.
- Kleemola, J. Järvi, A. & Kauppila, R. 1998. Placing nutrients with seed. *Kungliga Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift.* 137:93-98.
- Knudsen L. & Østergaard H.S. 2004. Using phosphorus loss assessment tools in practice - the agricultural advisor's perspective. *Nordic Workshop: Tools for Assessing Phosphorus Loss from the Nordic Agriculture. Danish Institute of Agricultural Sciences, Research Centre Foulum.*pp. 68-70
- Knutsen H. & van Zanten Magnussen A. 2011. Gjødselvereforskriften er under revisjon - mulige konsekvenser for jordbruket i Rogaland. *NILF. Notat* 2011-10: 57
- Koerselman, W. & Meuleman A.F.M., 1996. The vegetation N:P ratio: a new tool to detect the nature of nutrient limitation. *J. Appl. Ecol.* 33, 1441-1450.

- Korsaeth, A. 2008. Relations between nitrogen leaching and food productivity in organic and conventional cropping systems in a long-term field study. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 127: 177-188.
- Kristoffersen, A.Ø., Bakkegard, M. & Hoel, B.O. 2005. Starter fertilizer to spring barley and spring wheat in southeast Norway: Effects on growth and nutrient uptake. *Acta Agri. Sc. Sec. B-Soil and Plant*. 55:252-263.
- Kristoffersen, A.Ø. 2007. Innhold av lett tilgjengelig fosfor på viktige jordbruksarealer i Norge i 1997 og 2006. *Jord- og Plantekultur 2007. Bioforsk FOKUS 2(2):32-36*
- 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. 2011. Flerårig forsøk med fosforgjødsling til vårkorn. *Jord- og Plantekultur 2011. Bioforsk FOKUS 6(1):114-117*
- Kristoffersen, A.Ø., Hoel, B., Krogstad, T & Øgaard, A.F. 2008. Reduserte fosfornormer til korn. *Bioforsk FOKUS 3(1): 50-51*.
- Krogstad, T. & Løvstad, Ø. 1987. Fosfor i jord og vann. Særtrykk av *Jord og myr* nr 6.
- Krogstad, T. & Løvstad, Ø. 1989. Erosion, phosphorus and phytoplankton response in rivers of South-Eastern Norway. *Hydrobiologia* 183:33-41.
- Krogstad, T. & Løvstad, Ø. 1991. Available soil phosphorus for planktonic blue-green algae in eutrophic lake water samples. *Arch. Hydrobiol.* 122:117-128.
- Krogstad, T. & Løvstad, Ø. 2012. Integrert vann- og jordovervåkning (LIMNO-SOIL). IPM-rapport nr.1: 28s.
- Krogstad, T. & Øgaard, A.F. 2012. Kalkulator for fosforindeks (P-Indeks) - Innføring i P-Indeks og veiledning i bruk av kalkulatoren. PURA vannområde Follo/Oslo, 42 s. ISBN 978-82-483-0071-7
- Landbruksinfo: (<https://www.landbruksinfo.dk/planteavl/goedskning/naeringsstoffer/kvaelstof-n/kvaelstofnormer-og-prognose/sider/startside.aspx>)
- Lemaire, G., Gastal, F. & Salette, J. 1989. Analysis of the effect of N nutrition on dry matter yield of a sward by reference to potential yield and optimum N content. In: *Proceedings of the XVI International Grassland Congress, Nice*, pp. 179-180.
- Lemunyon, J.L. & Gilbert, R.G. 1993. The concept and need for a phosphorus assessment tool. *Journal of Production Agriculture* 6:483-496.
- Liebisch F., Bünemann E.K., Huguenin-Elie O., Jeangros B., Frossard E. & Oberson A. 2013. Plant phosphorus nutrition indicators evaluated in agricultural grasslands managed at different intensities. *Europ. J. Agronomy* 44: 67-77.
- Lindvall A., Ulén B., Etana A., Bergström L., Kleinman P. & Mattson L. 2010. The influence of soil and manure variables on phosphorus leaching from Swedish agricultural soils. 6th International Phosphorus Workshop. Sevilla 27 September -1 October. *Proc. IPW6*, p 111
- Lü X.-T., Kong D.-L., Pan Q.-M., Simmons M. E. & Han X.-G. 2012. Nitrogen and water availability interact to affect leaf stoichiometry in a semi-arid grassland. *Oecologia* 168: 301-310
- Lunnan, T. & Haugen, L.E. 1993. Kalk, fosfor og nitrogen til eng i fjell- og dalbygdene på Austlandet. *Norsk landbruksforskning* 7: 57-64.
- Lyche, A. 2010. Beregninger av nitrogenbalansen på 50 gårdsbruk i kommunene Midsund, Fræna, Gjemnes, Surnadal og Rindal. Rapport utgitt av Landbruk Nordvest, Sunndalsøra. Tilgjengelig på: <http://livskraftigekommuner.ks.no/upload/124951/Rapport,%20beregninger%20av%20nitrogenbalansen%20p%C3%A5%2050%20g%C3%A5rdsbruk.pdf>
- Lyngstad, I. 1977. Radgjødning til korn. Forsøk i perioden 1966-75. *Forskn. Fors. Landbr.* 28:159-177.
- Mamo M., Gupta S.C., Rosen, C.J., Singh U.B. 2005. Phosphorus leaching at colt temperatures as affected by wastewater application and soil phosphorus levels. *J. Environ. Qual.* 34: 1243-1250.

- Mattson L, Börjesson T., Ivarsson K & Gustafsson K. 2001. Utvidgad tolkning av P-AL för mark- och skördeanpassas fosforgödsling. Institutionen för markvetenskap, SLU, Uppsala. Rapport 202 : 29s
- McConnel D., Doody D., Ferris C., Elliot C. & Matthews D. 2010. The influence of soil and manure variables on phosphorus leaching from Swedish agricultural soils. 6th International Phosphorus Workshop. Sevilla 27 September -1 October. Proc. IPW6
- Mengel, K. & Kirkby, E.A. 2001. Principles of plant nutrition. 5th edn. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher. 849 pp
- Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri. 2012a. Vejledning om gødsknings- og harmoniregler. Planperioden 1. august 2012 til 31. juli 2013. Revidert september 2012. NaturErhvervstyrelsen: 150 s
- Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri. 2012b.
<http://1.naturerhverv.fvm.dk/goedningsregnskab.aspx?ID=2268>)
- Morken J 1999. Planleggingstal for gjødselvolum ved dimensjonering av gjødsellager. IFT-trykk 21
- Müller K & Müller T. 2012. Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review. Eng. Life. Sci, 12 (3): 242-257
- Nesheim, L., Fystro, G. og Harbo, O. 2005. Respons på fosfor til eng på fosforfattig jord. Grønn Kunnskap 9 (2): 467-473.
- Nesheim, L. & Fystro, G., 2006. Effects of fertilizer phosphorus on soils initially low in phosphorus. Grassland Science in Europe 11: 113-115.
- Nesheim L., Dønnem I. & Daugstad K. 2011. Mengd utskilt husdyrgjødsel - revidering av normtal. Gjennomgang av norske og utlandske tal for utskiljing av husdyrgjødsel og næringsstoff. Bioforsk Rapport, 6 (74): 20 s
- Norsk Landbruksrådgiving 2012. Husdyrgjødsel - egenskaper og bruksområder. Veileder fra Norsk Landbruksrådgiving Viken (<http://viken.lr.no/fagartikler/15591/>) 8 s
- Olsen S.R., Cole C.V., Watanabe F.S. and Dean L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with NaHCO₃. US Department of Agriculture Circular No. 939, Washington DC, USA, 19 pp.
- 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):44 s.
- van der Salm, C., Chardon, W.J., Koopmans, G.F., van Middelkoop, J.C. & Ehlert, P.A.I. 2009. Phytoextraction of Phosphorus-Enriched Grassland Soils. J. Environ. Qual. 38 (2):751-761.
- Sanchez M., & Boll J. 2005. The effect of flow path and mixing layer on phosphorus release: Physical mechanisms and temperature effects. J. Environ. Qual. 34: 1600-1609.
- Semb, G. & Uhlen, G. 1955. A Comparison of Different Analytical Methods for the Determination of Potassium and Phosphorus in Soil Based on Field Experiments. Acta Agric. Scand. V: 1:44-68.
- Semb, G. 1986. Sammenligning av AL- og natriumbikarbonatløselig fosfor i jord med pH over 6,6. Tidsskrift for det norske jord og myrselskapet. 5:185-193.
- Sharpley, A.N. & Rekolainen, S. 1997. Phosphorus in agriculture and its environmental implications. In: H. Tunney et al. (ed). Phosphorus loss from soil to water, CAB International, Wellingford,UK: 1-54. ISBN 0-85199-156-4
- Sharpley, A.N., Weld, J.L., Beegle, D.B., Kleinman, P.J.A., Gburek, W.L., Moore, P.A. & Mullins, G. 2003. Development of phosphorus indices for nutrient management planning strategies in the US. Journal of Soil Water Conservation 58:137-152.
- Sibbesen, E. & Sharpley A.N 1997: Setting and justifying upper critical limits for phosphorus in soils. In: Tunney, H. et al. (eds). Phosphorus loss from soil to water. CAB International, UK. :151-176.
- Skøien S. Hansen S., Neshaim L., Fystro G., Øgaard A.F., Øpstad S. & Beckman M. 2011. Evaluering av pilotordning for miljøvennlig spredning av husdyrgjødsel. Bioforsk Rapport Vol. 6 Nr. 9: 42.
- SLF^a: <https://www.slf.dep.no/no/produksjon-og-marked/korn-og-kraftfor/rapportering-salg-og-produksjon/%C3%98kt+importandel+i+norsk+kraftf%C3%B4rproduksjon.17491.cms>

- SLF^b: <https://www.slf.dep.no/no/miljo-og-okologisk/klima/spredning-husdyrgjodsel/Milj%C3%B8vennlig+spredning+av+husdyrgj%C3%B8dsel.10041.cms>
- Sorteberg, A. 1956. Sammenhengen mellom resultater av kjemisk jordanalyse for fosfor og kalium og utslaget for fosfor-kaliumgjødsling i eng 1946-1950. Særtrykk av Forskning og forsøk i landbruket nr. 9. 726 s.
- Stabbetorp, H. 1983. Gjødsling til korn på Østlandet. Norsk Landbruk 7:9-11.
- Stabbetorp, H. 2010. Manglende avlingsframgang i norsk korndyrking de siste årene. Utredning februar 2012, Bioforsk. 8s.
- Stenberg, M., Ulén, B., Söderström, M., Roland, B., Delin, K. & Helander, C.-A. 2012. Tile drain losses of nitrogen and phosphorus from fields under integrated and organic crop rotations. A four-year study on a clay soil in southwest Sweden. *Science of the Total Environment* 434: 79-89.
- Sundstøl F. og Mroz Z. 1988. Utskillelse av nitrogen og fosfor i gjødsel og urin fra husdyrgjødsel og urin fra husdyr i Norge. Landbrukspolitikk og miljøforvaltning. SEFO Rapport nr.4.
- Svanbäck, A., Ulén, B. & Bergström, L. 2012. Phosphorus leaching after mining the soil reserves. Poster.
- Torpen, H. 1987. Erfaringer fra gjødselplanlegging med EDB. Jord- og plantekultur på Østlandet. 3:61-62
- Tunney, H., Breeuwsma, A., Withers, P.J.A & Ehlert, P.A.I. 1997. Phosphorus fertilizer strategies: Present and future. In: *Phosphorus Loss from Soil to Water* (eds H. Tunney, O.T. Carton, P.C. Brooks & A.E. Johnston), CAB International Wallingford, UK pp.177-203.
- Tveitnes S. 1993. Husdyrgjødsel - frå problem til ressurs. Faginfo nr. 27. Statens fagtjeneste for landbruket. ISSN 0803-2173
- Uhlen, G. 1987. Gjødsling - økonomi og forurensning. Jord- og plantekultur på Østlandet. 3:50-60.
- Uusi-Kämppe J., Heinonen-Tanski H. 2008. Evaluating slurry broadcasting and injection to ley for phosphorus losses and fecal microorganism in surface runoff. *J. Environ. Qual.* 37: 2339-2350
- Vadas P.A., Gburek W.J. Sharpley A.N., Kleinman P.J.A., Moore Jr. P.A., Cabrera M.L. & Harmel R.D. 2007. A model for phosphorus transformation and runoff loss for surface-applied manures. *J. Environ. Qual.* 36: 324-332
- Valkama, E., Uusitalo, R. & Turtola, E. 2011. Yield response models to phosphorus application: a research synthesis of Finnish field trials to optimize fertilizer P use of cereals. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 91: 1-15.
- Øgaard, A.F., Kristoffersen, A.Ø & Pedersen, R. 2012. Fosforgjødsling - betydning for fosforkonsentrasjon i jord og tap til vann. Bioforsk Rapport 7 (147). 47 s.
- Øverli, A. 2000. Forandringer i innhold av lett tilgjengelig fosfor og kalium på viktige jordbruksareal i Norge. *Grønn Forskning* 2:97-107.
- Ziadi N., Bélanger G., Cambouris A.N., Tremlay N., Nolin M.C., Claessens A. 2007. Relationship between P and N concentrations in corn. *Agron. J.* 99: 833-841.

11. Vedlegg

Vedlegg 1. Fylkesvise målinger av P-AL i jordprøver over fire ulike perioder frem mot 2007 og antall prøver (N) bak gjennomsnittene. Tallgrunlaget er fra jordanalysedata fra Jorddatabanken (kilde: Grønlund 2012, pers. medd.).

Fylke	P-AL 2000-07	N	P-AL 2004-07	N	P-AL 2005-07	N	P-AL 2006-07	N
Østfold	10,4	37066	11,1	12889	10,8	8438	10,6	5001
Akershus	8,6	39481	9,9	12634	9,7	8095	9,5	4238
Oslo	15,0	908	16,5	279	15,6	121	15,3	61
Hedmark	10,0	21125	10,2	7191	9,9	5377	9,8	3743
Oppland	12,6	25188	13,5	8092	13,2	5231	13,2	2720
Buskerud	11,0	18007	11,4	5729	11,3	3756	10,8	2494
Vestfold	13,5	2071	14,3	865	14,6	683	14,2	573
Telemark	13,2	1140	14,5	479	14,1	405	11,2	341
Aust-Agder	14,2	1369	13,3	322	12,3	197	12,8	113
Vest-Agder	16,0	3095	18,4	71	17,2	31	17,4	24
Rogaland	19,0	26188	19,9	8960	19,8	4776	20,4	1080
Hordaland	16,9	13605	18,3	4253	17,8	2774	17,4	1710
Sogn og Fjordane	17,9	22810	18,8	5886	18,6	3905	18,7	2065
Møre og Romsdal	15,2	31309	16,5	9079	16,1	5911	15,7	2408
Sør-Trøndelag	11,7	17992	12,2	6670	12,5	4184	12,3	1892
Nord-Trøndelag	11,1	15902	11,2	8601	11,2	5866	10,8	2814
Nordland	12,5	10606	13,3	4398	12,1	2632	11,5	1143
Troms	12,7	3816	11,9	3026	12,5	1869	11,6	965
Finnmark	11,3	2240	10,7	1446	10,7	803	10,5	382