



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Høy fosforstatus på grasarealer – hva er responsen for fosforgjødsling?

NIBIO RAPPORT | VOL. 10 | NR. 80 | 2024



Kristoffersen, A.Ø. & Øgaard, A.F.
Divisjon for matproduksjon og samfunn

TITTEL/TITLE

Høy fosforstatus på grasarealer – hva er responsen for fosforgjødsel?

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

Annbjørg Øverli Kristoffersen, Anne Falk Øgaard

DATO/DATE:	RAPPORT NR./ REPORT NO.:	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKT NR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
24.06.2024	10/80/2024	Åpen	52236	20/01276
ISBN:	ISSN:	ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:	ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:	
978-82-17-03538-1	2464-1162	30	0	

OPPDRA GSGIVER/EMPLOYER:

Landbruksdirektoratet

KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

Nanna Bergan

STIKKORD/KEYWORDS:

Fosfor, gras, husdyrgjødsel, P-AL

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Jord og gjødsling

SAMMENDRAG/SUMMARY:

Denne rapporten presenterer resultater fra et prosjekt som hadde til formål å øke kunnskapen om effekten av å utelate fosfor på grasarealer med meget høye P-AL-verdier etter langvarig gjødsling med ulike typer husdyrgjødsel. Vi har gjennomført gjødslingsforsøk med fosfor både i veksthus og felt. Jorda, som ble brukt i veksthusforsøket, ble kartlagt ved hjelp av en rekke ulike kjemiske analyser for å best mulig kunne forklare avlingsresponsen på fosforgjødsel. Feltforsøkene ble gjennomført både i Nord-Norge og Sør-Norge. Vi fant ingen effekt av husdyrgjødseltype på hvordan fosforet er bundet i jorda. I veksthusforsøket viste P-AL en brukbar sammenheng med avlingsresponsen for fosforgjødsel. I feltforsøkene var det bare feltet med det laveste P-AL-nivået (P-AL 11) som viste signifikante avlingsutslag for fosforgjødsling. På de andre feltene ble det ikke registrert noe utslag på avling eller fosforopptak for økende mengde fosforgjødsling. På grunn av meget høye P-AL-verdier (P-AL > 14) har jorda bidratt med nok fosfor til å dekke behovet til gras, og bekrefter dermed anbefalingen i NIBIOs gjødslingshåndbok om at det ikke er behov for fosforgjødsling når P-AL > 14. Avlingsresultatene fra Nordland kunne ikke bekrefte et ekstra fosforbehov på grunn av kald jord om våren. Ved kald jord blir også veksten begrenset, og fosforbehovet blir da mindre.

LAND/COUNTRY:

Norge

FYLKE/COUNTY:

Østfold, Akershus, Innlandet, Vestland og Nordland

**NIBIO**NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

GODKJENT /APPROVED

Wendy Waalen

NAVN/NAME

PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER

Annbjørg Øverli Kristoffersen

NAVN/NAME



Forord

Denne rapporten presenterer resultater fra prosjektet «Høy fosforstatus på grasarealer – hva er responsen for fosforgjødsel?» som er finansiert av Landbruksdirektoratets Klima- og miljøprogram.

Vi takker NLR Øst, NLR Vest, NLR Innlandet og NLR Nord-Norge for gjennomføring av i alt ni feltforsøk i løpet av årene 2021-2023. Vi takker også NIBIO Fureneset for bidrag til gjennomføring av feltforsøkene i Vestland.

Apelsvoll, 24.06.2024

Annbjørg Øverli Kristoffersen

Forord.....	4
1 Innledning.....	6
2 Materialer og metoder	7
2.1 Jordprøver.....	7
2.2 Jordanalyser	7
2.3 Beregninger.....	8
2.4 Veksthusforsøk.....	8
2.5 Feltforsøk i eng.....	9
2.6 Statistikk.....	11
3 Resultater og diskusjon.....	13
3.1 Veksthusforsøk.....	13
3.1.1 Jordanalyser	13
3.1.2 Avlingsrespons	17
3.2 Feltforsøk i eng.....	20
3.2.1 Oversikt over avling, næringsopptak og kvalitet på enkeltfeltene	20
3.2.2 Grasavling.....	20
3.2.3 Næringsopptak i graset	22
3.2.4 Fôrkvalitet	24
4 Konklusjoner	27
5 Litteratur.....	28

1 Innledning

I 2007/08 ble normen for fosforgjødsling til korn og gras redusert (Kristoffersen m.fl. 2008, Fystro 2007). Det ble blant annet innført en sterkere korrigerende av normbehovet basert på jordas P-AL-tall. På jord med meget høye P-AL-verdier (over 14), er gjødslingsanbefalingen å utelate fosforgjødsling til korn, oljevekster og gras. Jord med $P-AL > 14$ bidrar med nok fosfor til å forsyne plantene gjennom vekstsesongen. Gjødsling med fosfor på slik jord fører til vedlikehold av det høye fosfornivået i jorda, og er uheldig for vannkvaliteten i vann og vassdrag som mottar overskuddsvannet fra denne jorda. Mer fosforgjødsel enn nødvendig er også uheldig i et ressursperspektiv, siden fosfatstein er en begrenset ressurs. Det er imidlertid en del skepsis til om det er riktig å redusere fosforgjødslingen så mye som dagens anbefalinger sier, både til korn og gras. I en spørreundersøkelse blant landbruksrådgivere i hele landet oppga 8 % av de som svarte at de forventer at det som oftest vil bli avlingsnedgang i grasproduksjonen ved å bruke fosforfri gjødsel når $P-AL > 14$, mens 63 % svarte at de forventer avlingsnedgang noen ganger (Bechmann m.fl. 2018). Klimatiske forhold, som kald jord om våren, var en viktig begrunnelse for at det forventes avlingsnedgang ved null-gjødsling med fosfor.

For korn har det blitt gjennomført flere forsøk for å dokumentere fosforbehovet ved meget høye P-AL-verdier i jorda. Forsøkene bekreftet at det ikke er avlingsrespons for fosfortilførsel når P-AL ligger over 14 (Kristoffersen & Øgaard 2019). For gras har noen forsøk vist at det ikke er behov for fosforgjødsling når P-AL tallene er høye (Lunnan og Haugen 1993; Daugstad og Lunnan, 2016), men det er behov for mer dokumentasjon av behovet for fosforgjødsling ved meget høye P-AL-verdier. Oppgjødsling av jorda med gjødsel fra ulike dyreslag kan ha ulik effekt på plantetilgjengeligheten av fosforet. I veksthusforsøk er det funnet at fosforopptak fra fjørfegjødsel er lavere enn fra storfejødsel (Brod m.fl. 2015). Det er derfor spørsmål om P-AL-tallene gir riktig bilde av plantetilgjengelig fosfor i jorda der det er brukt mye husdyrgjødsel og om det har betydning hvilket dyreslag husdyrgjødsel stammer fra.

Det blir ofte nevnt at kald jord om våren kan gi ekstra behov for fosfortilførsel, men dette er ikke godt dokumentert i praksis. I feltforsøk med startgjødsling til korn ble det størst utslag for fosforgjødsel på siltjorda, som ble antatt å være en temperatureffekt. Måling av jordtemperaturen viste at ved sådato og i spiringsfasen var temperaturen høyere på siltjorda enn morenejorda, og den positive effekten av startgjødsel skyldes derfor ikke lav jordtemperatur (Kristoffersen et al. 2005). I forsøk med golfgress i veksthus ble det funnet at lav temperatur begrenset veksten mer enn fosforopptaket (Øgaard & Aamlid 2020). Fosforkonsentrasjonen i gresset var høyere i gresset som vokste ved 7 grader enn i gresset som vokste ved 17 grader. Det var heller ikke større respons på fosforgjødsling ved lav temperatur enn ved høy temperatur.

Målet med prosjektet som denne rapporten viser resultater fra, var å øke kunnskapen om effekten av å utelate fosfor på grasarealer med meget høye P-AL-verdier etter langvarig gjødsling med husdyrgjødsel. Prosjektet har også undersøkt om responsen for fosforgjødsel varierer mellom jord som er gjødslet med gjødsel fra forskjellige dyreslag.

Det ble gjennomført gjødslingsforsøk med fosfor både i veksthus og felt. Resultater fra veksthusforsøk kan beskrive jordas evne til å forsyne plantene med fosfor, når alle andre vekstbetingelser holdes optimalt og likt for alle plantene. Til veksthusforsøket ble det samlet inn jord fra arealer som har fått mye husdyrgjødsel fra gris, ku eller fjørfe over mange år. Jorda ble kartlagt ved hjelp av en rekke ulike kjemiske analyser for å kunne beskrive jorda og styrke tolkingen av P-AL-tallene. Jordas evne til å levere fosfor ble også undersøkt i feltforsøk. Det ble anlagt felt i både Nord-Norge og Sør-Norge for å se på effekten av fosforgjødsling ved ulike temperatur- og vekstforhold. Det ble valgt ut områder med P-AL rett under og over 14.

2 Materialer og metoder

2.1 Jordprøver

Det ble samlet inn jord fra Jæren og Østfold, hovedsakelig fra arealer med meget høye P-AL-verdier (P-AL >14) forårsaket av mange års gjødsling med enten storfe gjødsel, grise gjødsel eller fjørfegjødsel (tabell 2.1). Det ble også inkludert jord med middels (P-AL 5-7) og høyt (P-AL 10-14) P-AL-nivå. Jorda ble samlet inn høsten 2021. Flere analyser av jorda er vist i tabell 3.1.

Tabell 2.1 Jordart, organisk materiale og P-AL for innhentet jord fra Jæren og Østfold, gjødslet med storfe gjødsel, grise gjødsel eller fjørfegjødsel.

ID:	Sted	Husdyrgj.	Jordart	Org. m.* %	P-AL (mg/100 g)
1	Jæren	Fjørfe	Siltig mellomsand	10,8	20
2	Jæren	Fjørfe	Siltig finsand	6,7	20
3	Jæren	Gris	Siltig finsand	5,1	27
4	Jæren	Gris	Siltig finsand	7,3	19
5	Jæren	Storfe	Siltig finsand	6,2	12
6	Jæren	Storfe	Sandig silt	4,0	17
7	Jæren	Storfe	Siltig finsand	5,6	18
8	Jæren	Storfe	Siltig finsand	6,8	22
9	Jæren	Storfe	Siltig finsand	6,3	32
10	Jæren	Storfe	Finsand	3,6	20
11	Jæren	Storfe	Siltig finsand	4,8	4,7
12	Jæren	Storfe	Siltig finsand	7,4	10
13	Østfold	Kylling	Siltig lettleire	5,2	31
14	Østfold	Gris	Finsand	4,0	14
15	Østfold	Gris	Siltig lettleire	4,0	13
16	Østfold	Ku	Lettleire	3,4	35
17	Østfold	Kylling	Mellomleire	3,5	10
18	Østfold	Ku	Siltig finsand	6,8	18

*Beregnet fra total C-verdiene (Total C * 1,724)

2.2 Jordanalyser

Jordprøvene ble analysert med standard jordanalysepakke ved Eurofins Agro. For nærmere karakterisering av fosforfraksjonene i jorda ble følgende analyser utført ved NIBIOs kjemiske laboratorium på Ås:

Total P i jordprøvene ble analysert med metoden til Møberg og Petersen (1982). For å bestemme konsentrasjonen av totalfosfor, ble tørket og malte prøver glødet ved 550 °C før oppslutning i 6 M H₂SO₄. Fosfor i ekstraktene ble målt på ICP-AES.

AL-løselig P, jern (Fe) og aluminium (Al) ble målt på ICP-AES etter ekstraksjon med 0,1 M ammoniumlaktat og 0,4 M eddiksyre justert til pH 3,75 (Egnér et al. 1960).

P-CaCl₂ ble ekstrahert med 0,0025 M CaCl₂ i prøve:væske forhold 1:20 (vekt:volum). En løsning med 0,0025 M CaCl₂ har en ionestyrke tilsvarende det en kan finne i jordvæska.

Hedley-fraksjonering

En sekvensiell fraksjonering av fosfor i jordprøvene ble utført med en forenklet versjon av originalmetoden utviklet av Hedley et al. (1982). Formålet med denne analysen er at man stegvis ekstraherer fosforfraksjoner av ulik løselighet.

Fraksjoneringen er definert til å gi følgende fosforfraksjoner:

P-H₂O: Løst bundet uorganisk fosfor ekstrahert med vann

P-NaHCO₃: Lett plantetilgjengelig fosfor ekstrahert med 0,5 M NaHCO₃

P-NaOH: Uorganisk fosfor bundet til jern- og aluminium(hydr)oksider eller i jern- og aluminiumfosfater, og organisk fosfor ekstrahert med 0,1 M NaOH

P-HCl: Stabile kalsiumfosfater, okkludert P (fosfor dekket av jern- og aluminium(hydr)oksider) og organisk fosfor ekstrahert med 1 M HCl

Rest P: Tungt løselig fosfor

3 g jord ble ekstrahert i 180 mL deionisert vann i 1 time, før ekstraksjoner i 180 mL av først 0,5 M NaHCO₃, deretter 0,1 M NaOH og til slutt 1 M HCl i 16 timer for hver ekstraksjon. Etter hver ekstraksjon ble prøvene sentrifugert ved 1160 relativ sentrifugalkraft i 20 minutter før dekantering og tilsetning av ny ekstraksjonsvæske. Ortho-fosfat i vannekstraktet ble analysert spektrofotometrisk ved molybdenblått-metoden etter Murphy og Riley (1962), mens for de øvrige ekstraktene ble totalfosfor i ekstraktene analysert på ICP-AES. Restfosfor i prøvene etter de fire ekstraksjonene ble bestemt på ICP-AES etter oppløsning i konsentrert HNO₃ i ultraklav.

Innhold av totalt karbon i jorda ble bestemt ved NIBIOs laboratorium ved hjelp av en HCN-analysator (ISO 10694 (1995)). Totalt karbon ble omregnet til organisk materiale ved å multiplisere med faktoren 1,724.

2.3 Beregninger

Fosformetningsgrad

På grunnlag av prøvenes konsentrasjoner av AL-løselig P, Fe og Al, ble jordas fosformetningsgrad (DPS-AL) beregnet. Konsentrasjonene (mg/kg) ble omregnet til mmol/kg og følgende formel ble brukt for å beregne DPS-AL:

$$\text{DPS-AL (\%)} = 100 \times \left(\frac{P - AL}{Al - AL + Fe - AL} \right)$$

2.4 Veksthusforsøk

Det ble gjennomført veksthusforsøk ved NIBIO Apelsvoll med den innsamlede jorda som er beskrevet i kapittel 2.1. Hensikten med forsøket var å kartlegge jordas evne til å forsyne plantene med fosfor ut fra jordas fosforstatus. Den innsamlede jorda ble siktet gjennom en 1 cm-sikt for å fjerne grus og stein, og oppbevart mørkt ved 4 °C frem til forsøket startet.

Tre kilo jord-tørrestoff ble fylt i 5 l pottene. Halvparten av pottene ble gjødslet med 10 mg P/kg jord, tilsvarende 2 kg P/daa, gitt med Trippel superfosfat. Resten av pottene fikk ikke fosforgjødsel. Alle pottene ble gjødslet med nitrogen (120 mg N/kg jord) og kalium gitt med OPTI-NK 22-0-11. All gjødsla ble lagt i et sjikt 5 cm under såfrøet. Jorda ble pakket for hånd til en relativ pakkingsgrad på 75 % (Kristoffersen & Riley 2005).

Pottene ble sådd med 12 frø av Heder bygg (*Hordeum vulgare* L.), som ble luket ned til 10 planter per potte litt etter spiring. Plantene vokste i vekstroom med 8 t og 10 °C natt og 16 t og 14 °C dag.

Vanninnholdet i jorda ble holdt på 30 vekt % ved veiing av pottene ved hver vanning. Pottene ble

vannet 3 ganger per uke. Plantene ble høstet på vekststadium 55, hvor omtrent 50 % av aksene hadde skutt. Ved høsting ble plantene klippet ved jordoverflaten og tørket ved 60 °C i 48 timer for å måle tørrstoffavling og opptak av næringsstoffer i kornplantene.

Plantematerialet ble malt og analysert for innhold av næringsstoffer ved Megalab analyselaboratorium i England.

Responser for fosforgjødslingen ble presentert som relativ avlingsrespons for fosforgjødsling, og ble beregnet som avlingsforskjellen mellom ingen fosforgjødsling (P0) og gjødsling med 2 kg P/daa (P2) relativt til avlingen ved ingen fosforgjødsling med følgende formel:

$$\text{Relativ avlingsrespons (\%)} = \left(\frac{\text{avling P2} - \text{avling P0}}{\text{avling P0}} \right) \times 100$$

2.5 Feltforsøk i eng

Det ble anlagt tre felt i etablert eng hver av årene 2021, 2022 og 2023. Ett av feltene ble hvert år anlagt i Lofoten, Nordland, blant annet for å undersøke fosforbehovet ved lave jordtemperaturer. De andre feltene ble anlagt i Sør-Norge. All fosfor ble tilført på våren i henhold til forsøksplanen (tabell 2.2). Det var ett ledd uten fosfor og tre ledd med stigende mengde fosfor. Siden fosforet ble tilført gjennom ulike Fullgjødsel-typer, ble det på ledd 2 og 4 supplert med Opti-NK for å kunne gi lik mengde N og K på våren på alle ruter. Etter slått ble det gjødslet med N og K på hele feltet.



Bilde 1. Grasfelt i Ørje 2022, klargjort for andreslått. Foto: Peder Holm Løvstad

Alle rutene innen felt fikk samme mengde N og K, men total mengde N og K varierte mellom feltene avhengig av forventet avling og antall slåtter (tabell 2.3). All gjødsel ble sendt fra NBIO Apelsvoll og ble håndgjødslet på oppmålte ruter i enga, og alle feltene hadde tre gjentak. Noen av feltene var ettårige, mens ett felt var toårig og ett felt treårig. Plassering av feltene, dato for gjødsling og høsting er ført opp i tabell 2.4. Jordanalysedata for enkeltfeltene er oppført i tabell 2.5. P-AL varierte fra 11 mg/100 g jord og opp til 38 mg/100 g jord. Værdata for de ulike feltene er oppført i tabell 2.6. Det er hentet månedlig middeltemperatur (°C) og månedssum (mm) nedbør fra nærmeste værstasjon til det enkelte felt.

Tabell 2.2. Forsøksplan og tilført gjødsel P og N på våren, samt gjødseltyper

Ledd	kg P/daa	kg N/daa	Gjødseltype
1	0	13	Opti-NK
2	0,75	13	Fullgjødsel 22-2-12 + Opti-NK
3	1,5	13	Fullgjødsel 22-3-10
4	2,3	13	Fullgjødsel 17-5-13 + Opti-NK

Tabell 2.3. Tilførsel av nitrogen (kg/daa) og kalium (kg/daa) per felt i 2021, 2022 og 2023.

År	Felt	Vår		etter 1. slått		etter 2. slått		Total N	Total K
		N	K	N	K	N	K		
2021	1	13	7	8	4,2	6	3,2	27	14,4
2021-22	2	13	7	8	4,2	6	3,2	27	14,4
2021-23	3	13	14	8	6			21	20
2022	4	13	7	8	4,2	6	3,2	27	14,4
2023	5	13	7	8	4,2	6	3,2	27	14,4
2023	6	13	7	8	4,2	6	3,2	27	14,4

Tabell 2.4. Sted og ansvarlig for etablering og stell av forsøksfeltene, dato for gjødsling og slått, samt anleggsår av enga

År	Felt	Sted	Ansv	Vårgj.	1. slått	2. slått	3. slått
2021	1	Vormsund	NLR Øst	14.04.21	07.06.21	03.08.21	xx.09.21
2021	2	Hellevik i Fjaler	NLR Vest/NIBIO Fureneset	06.05.21	09.06.21	22.07.21	
2021	3	Leknes	NLR Nord Norge	28.05.21	06.07.21		
2022	4	Ørje	NLR Øst	20.04.22	13.06.22	18.07.22	15.09.22
2022	2	Hellevik i Fjaler	NLR Vest/NIBIO Fureneset	28.04.22	08.06.22	17.08.22	
2022	3	Leknes	NLR Nord Norge	19.05.22	05.07.22	26.08.22	
2023	5	Våler i Østfold	NLR Øst	20.04.23	14.06.23	20.08.23	26.09.23
2023	6	Brumunddal	NLR Innlandet	15.05.23	20.06.23	18.08.23	
2023	3	Leknes	NLR Nord Norge	23.05.23	5.06.23	23.08.23	

Tabell 2.5. Jordanalysedata for feltene i 2021, 2022 og 2023

År	Feltnr	P-AL	K-AL	Mg-AL	Ca-AL	pH	Glødetap	Volumvekt
2021	1	16	13	16	69	5,8	5,8	1,1
2021	2	20	9	11	200	5,7		1,0
2021	3	13	14			6,4		2,0
2022	4	11	11	17	93	5,5	7,6	1,2
2022	2	20	9	11	200	5,7	17,9	1,0
2022	3	13	14			6,4		2,0
2023	5	15	11	13	199	5,6	17,6	0,9
2023	6	38	11	21	188	5,9	6,3	1,4
2023	3	12	19	30	115	6,2	8,1	1,3

Tabell 2.6. Middeltemperatur (°C) og månedssummer av nedbør (mm) målt ved nærmeste værstasjoner til forsøksfeltene for årene 2021, 2022 og 2023

2021	Temperatur, °C			Nedbør, mm		
	Vormsund ¹	Hellevik ²	Leknes ³	Vormsund	Hellevik	Leknes
april	3.9	4.8	1.8	25	90	175
mai	9.3	9.4	6	86	64	27
juni	16.3	13.4	11.1	49	141	61
juli	18.2	16	12	118	96	138
august	14.5	14	0	15	65	52
september	11.8	12.7	11.6	45	201	87
2022	Ørje ⁴	Hellevik	Leknes	Ørje	Hellevik	Leknes
april	4.4	5.9	1.8	10	52	80
mai	10.1	9.1	6.5	57	171	162
juni	15.3	13.1	11	84	161	79
juli	15.9	12.9	13.2	80	234	78
august	15.8	13.9	12.3	55	227	207
september	10.5	11.9	9.1	55	130	46
2023	Våler ⁵	Brumunddal ⁶	Leknes	Våler	Brumunddal	Leknes
april	5.7	3.2	3.4	115	88	163
mai	11.1	10.1	5.9	11	10	312
juni	17.5	17.7	11	39	23	57
juli	15.6	15.1	14.7	100	139	18
august	15	14.6	14.6	146	166	73
september	14.2	12.6	9.8	93	110	168

Nærmeste værstasjon: ¹Årnes, ²Fureneset, ³Sortland, ⁴Rakkestad, ⁵Rygge, ⁶Illseng

Graset ble høstet av Norsk Landbruksrådgiving (NLR). Råvekt ruteavling, råvekt prøve og tørrvekt prøve ble veid av NLR. Registreringene og graset ble sendt til NIBIO Apelsvoll for videre analysering. Innhold av fosfor, nitrogen og kalium ble analysert ved NIBIO Apelsvoll for feltene i 2021, og ved Megalab analyselaboratorium i England for feltene i 2022 og 2023.

Fôrkvaliteten i graset ble bestemt gjennom NIRS-analyser ved NIBIO Særheim. Kvaliteten ble vurdert ut fra proteininnhold (% av ts), fordøyelighet (% av ts), totalt fiberinnhold (NDF, % av ts), karbohydrater (% av ts), og fôrenheter melk (FEm, pr. kg ts).

2.6 Statistikk

For jordprøvene ble sammenhengen mellom ulike jordanalyser undersøkt med enkel lineær regresjon.

I potteforsøket ble sammenhengen mellom relativ avlingsrespons på fosforgjødsel og ulike jordanalyser undersøkt med ikke-lineær regresjon hvor vi brukte potensfunksjoner gitt av Excel.

Resultatene fra feltforsøkene ble beregnet statistisk med Minitab® 20 (Mixed Effects Model).

Resultatene ble gruppert etter landsdel og antall slåtter. På Østlandet ble det også gjort en gruppering

innen P-AL-nivået på feltene. For avling og næringsopptak ble slåttene vurdert hver for seg og samlet. For fôrkvaliteten til graset ble første- og andreslåttene behandlet hver for seg.

3 Resultater og diskusjon

3.1 Veksthusforsøk

3.1.1 Jordanalyser

Fra Jæren var det inkludert ni jordtyper med siltig finsand, en siltig mellomsand, en sandig silt og en finsand i veksthusforsøket. Jorda fra Jæren hadde ganske lav pH, varierende fra pH 4,9 til pH 6,1 (tabell 3.1). Plantetilgjengeligheten av fosforet i jorda forventes å være best rundt pH 6,5. Jorda fra Jæren var dermed surere enn det en regner som optimalt for plantetilgjengelighet av fosforet. Standard fosforanalyse, P-AL, ekstraheres ved lav pH (pH 3,75). Lav pH i jorda påvirker derfor sannsynligvis ikke P-AL-verdien, selv om konsentrasjonen av det lettest løselige fosforet (for eksempel vannløselig fosfor) kan bli redusert. Innholdet av organisk materiale i jorda varierte fra 3,4 til 10,8 %. Mengden jern og aluminium som blir ekstrahert sammen med fosfor i AL-ekstraksjonen gir et relativt mål på jordas evne til å binde fosfor. Jo høyere verdier, jo høyere er den totale bindingsevnen for fosfor. Siden jern og aluminium har ulik atomvekt og dermed ulik overflatestørrelse per vektenhet, er disse verdiene omregnet til mmol/kg (antall atomer/kg) før summering (tabell 3.1). Både jordas geologiske opphavsmateriale, kornfordeling og innhold av organisk materiale påvirker konsentrasjonen av ekstraherbart jern og aluminium. For jorda fra Jæren varierte Fe-AL+Al-AL fra 15,1 til 41,1 mmol/kg jord, og viser dermed betydelig forskjell i jordas totale bindingsevne for fosfor.

Fra Østfold var det inkludert fire leirjordstyper og to sandjordstyper i veksthusforsøket. Jorda fra Østfold hadde jevnt over høyere pH-verdier enn jorda fra Jæren, varierende fra pH 5,8 til pH 6,4 (tabell 3.1). Jordas innhold av organisk materiale varierte fra 3,4 til 6,8 %, mens Fe-AL+Al-AL varierte fra 14,3 til 28,2 mmol/kg, og hadde dermed litt lavere verdier enn jorda fra Jæren.

Tabell 3.1 Karakteristikk av jordtypene i veksthusforsøket. Organisk materiale (Org. m.) er beregnet fra total C-verdiene (Total C * 1,724).

	Sted	Gjødsel	Jordart	Org. m. %	pH	Fe-AL mg/kg	Al-AL mg/kg	Fe-AL+Al-AL mmol/kg
1	Jæren	Fjørfe	Siltig mellomsand	10,8	5,4	791	523	33,6
2	Jæren	Fjørfe	Siltig finsand	6,7	6,1	310	556	26,1
3	Jæren	Gris	Siltig finsand	5,1	5,9	247	639	28,1
4	Jæren	Gris	Siltig finsand	7,3	6,0	284	592	27,0
5	Jæren	Storfe	Siltig finsand	6,2	6,1	323	539	25,7
6	Jæren	Storfe	Sandig silt	4,0	5,2	179	655	27,5
7	Jæren	Storfe	Siltig finsand	5,6	5,9	272	720	31,6
8	Jæren	Storfe	Siltig finsand	6,8	6,1	297	966	41,1
9	Jæren	Storfe	Siltig finsand	6,3	5,4	507	507	27,9
10	Jæren	Storfe	Finsand	3,6	4,9	242	290	15,1
11	Jæren	Storfe	Siltig finsand	4,8	5,7	253	725	31,4
12	Jæren	Storfe	Siltig finsand	7,4	5,8	473	858	40,3
13	Østfold	Kylling	Siltig lettleire	5,2	6,2	689	179	19,0
14	Østfold	Gris	Finsand	4,0	6,3	278	627	28,2
15	Østfold	Gris	Siltig lettleire	4,0	6,1	342	220	14,3
16	Østfold	Ku	Lettleire	3,4	6,1	538	182	16,4
17	Østfold	Kylling	Mellomleire	3,5	6,4	360	281	16,8
18	Østfold	Ku	Siltig finsand	6,8	5,8	306	445	22,0

Jordtypene som ble inkludert i veksthusforsøket, hadde P-AL-verdier som varierte fra 4,7 til 35 mg/100 g, med de aller fleste i klasse meget høy (P-AL >14) (tabell 3.2). Det var også stor variasjon i jordas totale fosforinnhold. Jordas P-AL-verdi økte med økende fosforinnhold ($R^2 = 0,43$). P-AL som en andel av totalfosfor varierte fra 4,7 til 25,8 %, det vil si at det er mye mer fosfor i jorda enn det som blir målt som P-AL. P-AL er likevel en stor fosforfraksjon sammenlignet med fosformengden som faktisk er plantetilgjengelig. De lettest løselige fosforfraksjonene er P-CaCl₂ og P-Vann (merk at de har benevnelse mg/kg i stedet for mg/100 g som for P-AL). P-CaCl₂ er ekstrahert med en løsning med en saltkonsentrasjon tilsvarende det en kan finne i jordvæska og ved et jord:væske forhold på 1:20, mens P-Vann er ekstrahert med deionisert vann (vann uten salter) ved et jord:væske forhold på 1:60. Disse fosforfraksjonene viser jordas evne til å frigjøre fosfor raskt til jordvæska etter planteopptak av fosfor eller til for eksempel en overflateavrenning etter kraftig nedbør.

Både P-CaCl₂ og P-Vann økte med økende P-AL-verdi i jorda (figur 3.1 a&b), hvor P-Vann viste en litt bedre sammenheng med P-AL enn P-CaCl₂, med R²-verdier på henholdsvis 0,37 og 0,22. Men for to av jordtypene ble det ekstrahert mye mer fosfor i CaCl₂-løsningen og vann enn det P-AL-verdien skulle tilsi. Litt lav total bindingsevne for fosfor, målt som Fe-AL + Al-AL, kan være en forklaring på dette (tabell 3.2).

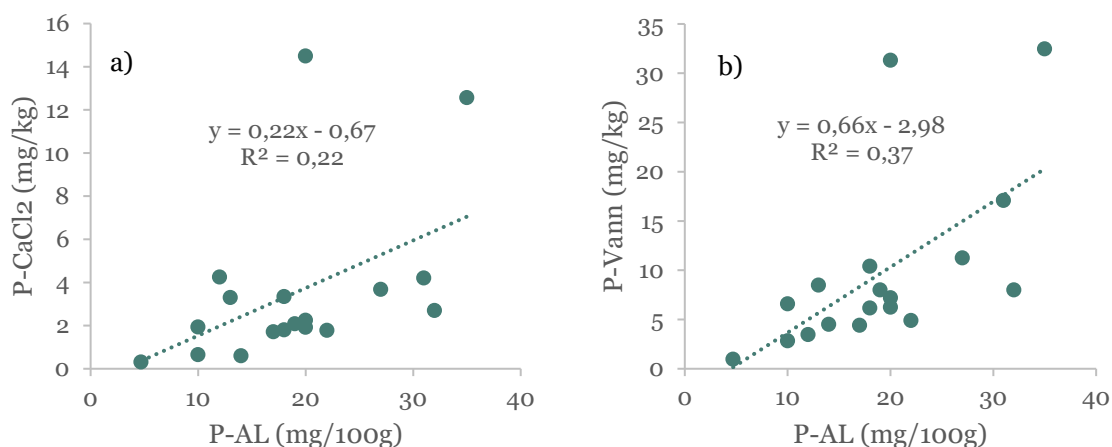
Tabell 3.2. Karakteristikk av ulike fosforfraksjoner i jordtypene i veksthusforsøket

	Gjødsel	Jordart	Tot P mg/kg	P-AL mg/100 g	P-AL/Tot P %	P-CaCl ₂ mg/kg	P-Vann* mg/kg	DPS-AL %
1	Fjørfe	Siltig m.sand	1309	20	15,3	2,2	7,2	14,7
2	Fjørfe	Siltig finsand	1251	20	16,0	1,9	6,2	18,6
3	Gris	Siltig finsand	1604	27	16,8	3,7	11,3	22,5
4	Gris	Siltig finsand	1820	19	10,4	2,1	8,0	16,8
5	Storfe	Siltig finsand	975	12	12,3	4,2	3,5	10,0
6	Storfe	Sandig silt	1984	17	8,6	1,7	4,4	16,3
7	Storfe	Siltig finsand	1332	18	13,5	1,8	6,2	13,9
8	Storfe	Siltig finsand	1241	22	17,7	1,8	4,9	12,1
9	Storfe	Siltig finsand	1777	32	18,0	2,7	8,0	22,7
10	Storfe	Finsand	775	20	25,8	14,5	31,3	41,0
11	Storfe	Siltig finsand	1010	4,7	4,7	0,3	1,0	3,3
12	Storfe	Siltig finsand	1161	10	8,6	0,7	2,8	5,7
13	Fjørfe	Siltig lettleire	1641	31	18,9	4,2	17,1	33,5
14	Gris	Finsand	618	14	22,6	0,6	4,5	9,8
15	Gris	Siltig lettleire	1232	13	10,6	3,3	8,5	16,9
16	Ku	Lettleire	2027	35	17,3	12,6	32,5	55,1
17	Fjørfe	Mellomleire	840	10	11,9	1,9	6,6	15,6
18	Ku	Siltig finsand	881	18	20,4	3,3	10,4	20,1

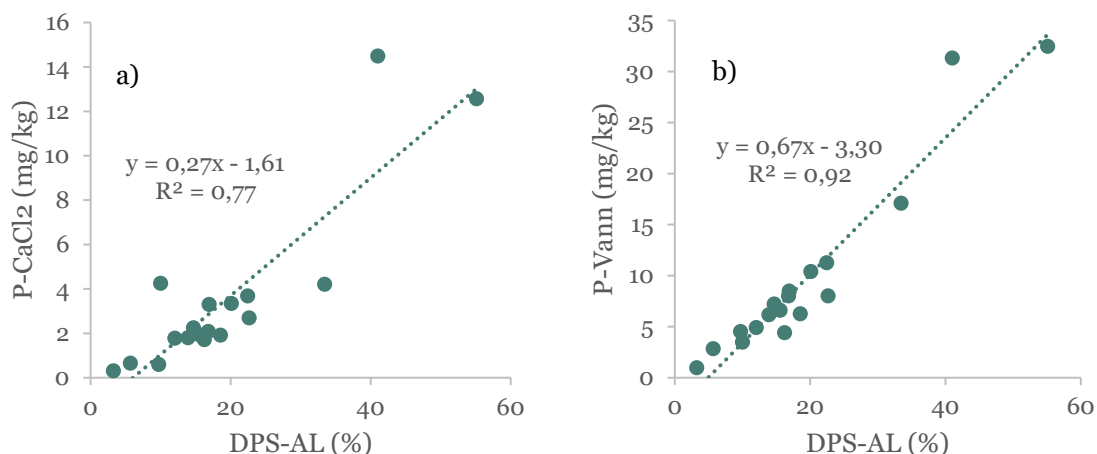
*Første trinn i Hedley fraksjoneringen

DPS-AL er et relativt mål på jordas metningsgrad for fosfor, beregnet ut ifra konsentrasjonene av fosfor, jern og aluminium i AL-ekstraktet. Se kapittel 2.3 for hvordan DPS-AL er beregnet. Metningsgraden er bestemt av mengden bindingsplasser for fosfor i jorda (overflaten på jern- og aluminiumhydroksider) og mengden fosfor som har akkumulert i jorda. Dette målet for jordas metningsgrad for fosfor viste en god sammenheng med det vannløselige fosforet, P-CaCl₂ og P-Vann

(figur 3.2a & b), med R^2 -verdier på henholdsvis 0,77 og 0,92. En høy DPS-verdi betyr at de fleste bindingsplasser for fosfor i jorda er fylt opp, og ny tilførsel av fosfor vil bli bundet mye svakere i jorda enn for jord med lavere DPS-verdi. Når fosforet bindes svakt, vil mer fosfor kunne løses opp i vannet som er i jorda. Det er årsaken til at man får en god sammenheng mellom vannløselig fosfor og metningsgraden av fosfor i jorda, som figur 3.2 a & b viser. Denne sammenhengen var bedre enn sammenhengen mellom vannløselig fosfor og P-AL (figur 3.1 a & b). De avvikende prøvene i figur 3.1 kunne her forklares med en høy metningsgrad for fosfor i jorda.



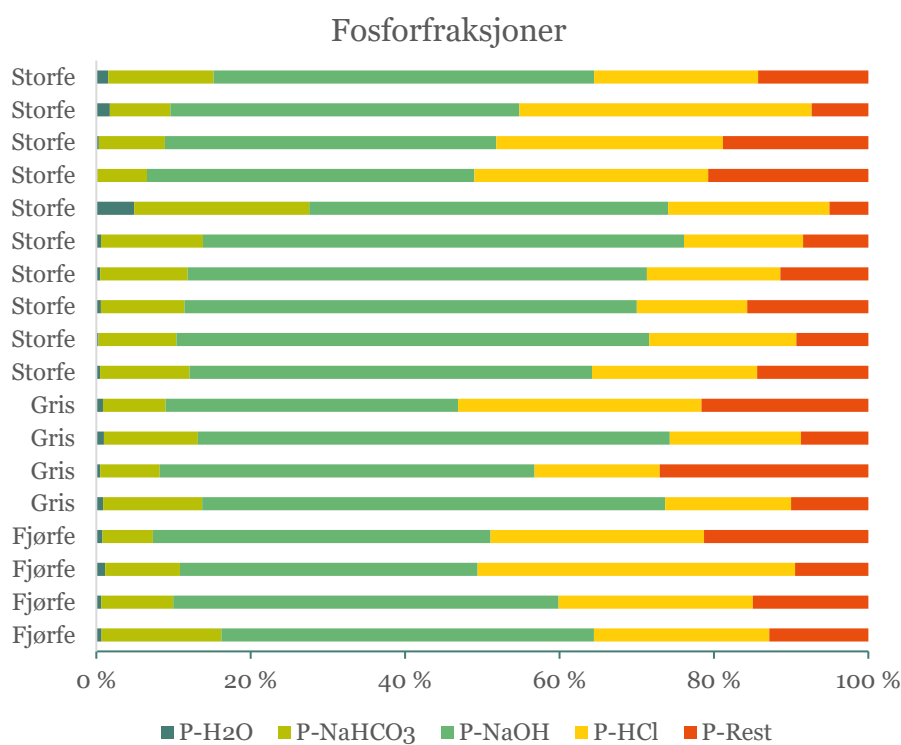
Figur 3.1. Sammenhengen mellom P-AL og P-CaCl₂ (a) og P-Vann (b).



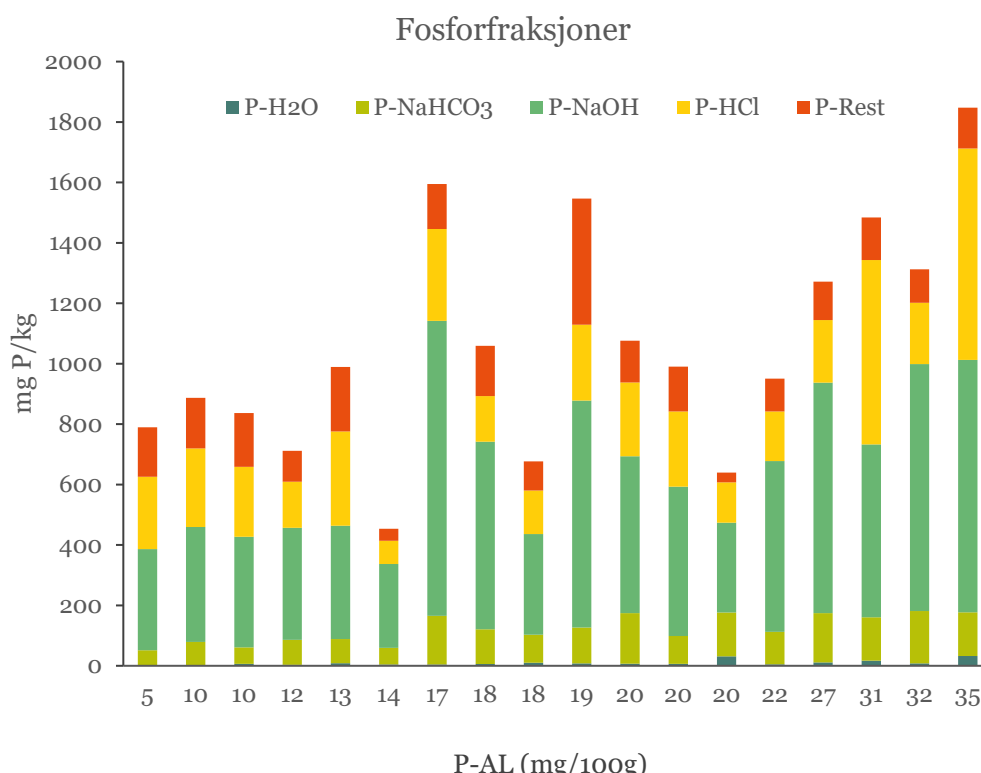
Figur 3.2. Sammenhengen mellom DPS-AL og P-CaCl₂ (a) og P-Vann (b).

Hedley-fraksjonering

Som forklart i kapittel 2.2 innebærer Hedley-fraksjonering stegvis ekstraksjon av fosforfraksjoner av ulik løselighet og med ulik bindingsform i jorda. For alle jordtypene var den største fraksjonen fosfor som var bundet til jern og aluminium (P-NaOH), noe som var forventet for våre sure jordtyper (figur 3.3). Vi hadde en hypotese om at jord med langvarig tilførsel av fjørfegjødsel kunne ha en større andel av fosforet bundet som tungt løselige kalsiumfosfater (inngår i P-HCl) enn de øvrige jordtypene. Bakgrunn for hypotesen er at det tidligere er vist ved Hedley-fraksjonering at fosfor i fjørfegjødsel har en lavere løselighet enn fosfor i storfejødsel (Brod m.fl. 2015). Resultatene fra fosforfraksjoneringen av jord med ulik gjødslingshistorie viste ingen tydelige forskjeller mellom gruppene med tanke på husdyrgjødseltype. Variasjonen mellom gruppene så ikke ut til å være større enn variasjonen innen gruppene. Jordas geologi, pH og de totale fosformengdene som har blitt tilført over mange år hadde også betydning for hvordan fosforet fordelte seg på de ulike fosforfraksjonene. Figur 3.4 viser at det var stor variasjon i de absolutte mengdene av de ulike fosforfraksjonene fra sted til sted. I denne figuren er jorda sortert etter økende P-AL-verdi. De lettest løselige fosforfraksjonene er P-H₂O og P-NaHCO₃, og disse viste en økende trend med økende P-AL-verdi jorda.



Figur 3.3. Andel av totalfosfor (%) i de ulike fosforfraksjonene i jorda etter Hedley-fraksjonering (fraksjonene er definert i kap 2.2)



Figur 3.4. Fosformengde i de ulike fosforfraksjonene i jorda etter Hedley-fraksjonering (fraksjonene er definert i kap 2.2).

Oppsummert:

Det så ikke ut til at hvilken husdyrgjødseltype jorda var blitt gjødslet med over mange år, påvirket hvordan fosfor var bundet i jorda. P-AL gav i de fleste tilfeller et brukbart bilde av løseligheten av fosforet i jorda, målt som P-CaCl₂ og P-Vann, men noen jordtyper avvek fra sammenhengen. Ved å beregne en metningsgrad for fosfor i jorda ut ifra P-AL og konsentrasjonen av jern og aluminium som blir ekstrahert sammen med fosforet i AL-ekstraksjonen (DPS-AL) (se avsnitt 2.3), oppnådde vi et meget godt mål for løseligheten av fosforet i jorda. Det løste fosforet i jordvæska er direkte plantetilgjengelig fosfor.

Det er per i dag dessverre ikke mulig å få tall for jern og aluminium (Fe-AL og Al-AL) i standard jordanalysepakke fra Eurofins.

3.1.2 Avlingsrespons

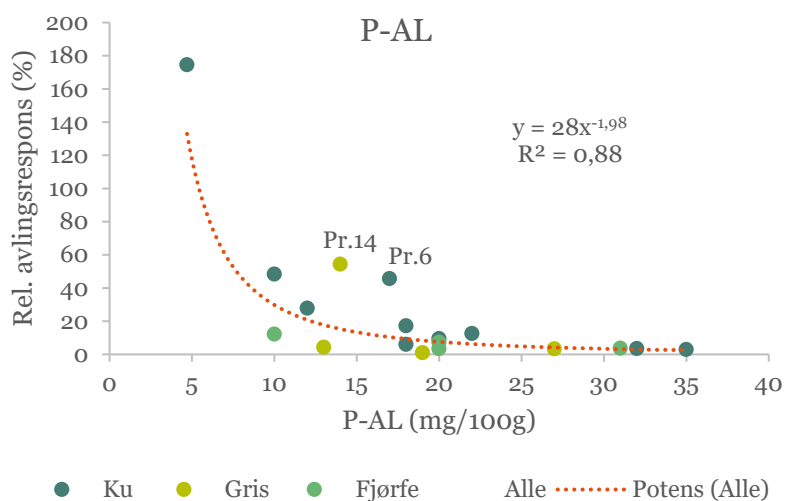
Avlingsrespons for fosforgjødsling er oppgitt som relativ avlingsrespons, og er avlingsforskjellen mellom ingen fosforgjødsling og tilførsel av fosforgjødsel (tilsvarende 2 kg P/daa), relativt til avlingen ved ingen fosforgjødsling (se kapittel 2.4 for utregning av relativ avlingsrespons).

Avlingsresponsen for fosforgjødsling viste jevnt over en god sammenheng med jordanalysene når det ble brukt en potensfunksjon for sammenhengen (figur 3.5-3.8). Det så ikke ut til at gjødslingshistorien til de ulike jordtypene, gjødslet med ulike typer husdyrgjødsel over mange år, påvirket sammenhengene. Merk at avlingsresponsen på fosforgjødsling er større i veksthusforsøk enn det en vil finne under feltforhold.

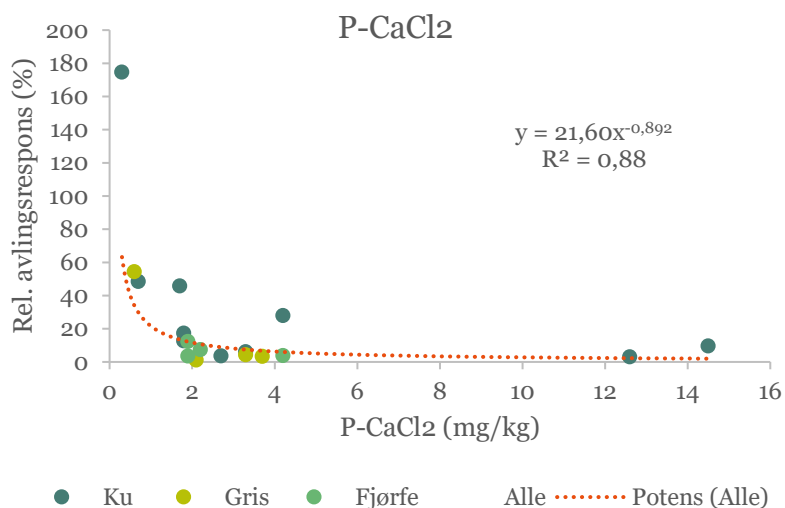
P-AL-verdiene kunne forklare 88 % av variasjonen i avlingsrespons (figur 3.5), men det var spesielt jordtyper som skilte seg ut ved å gi høy avlingsrespons på fosforgjødsel i forhold til P-AL-verdien i jorda. Den ene var en siltjord (prøve 6) med lav pH (5,2), mens den andre var en finsand (prøve 14) med lavt totalt fosforinnhold og ganske høy konsentrasjon av jern og aluminium i AL-ekstraksjonen.

Dette kan være faktorer som har gitt lavere plantetilgjengelighet av fosforet enn det P-AL-verdiene tilsier. P-AL ekstraheres ved lav pH (pH 3,75) og reflekterer derfor ikke så godt lav plantetilgjengelighet som skyldes lav pH. Ved P-AL > 18 var det ingen eller svært liten avlingsrespons på fosforgjødsling. Like god sammenheng var det mellom den relative avlingsresponsen for fosfor og P-CaCl₂, med R² = 0,88 (figur 3.6).

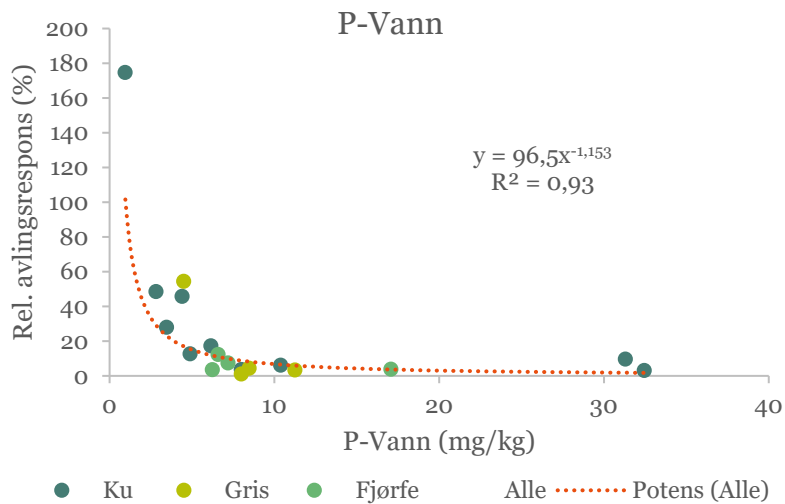
Forklaringsgraden for den relative avlingsresponsen var litt høyere ved bruk av verdiene for P-Vann (R² = 0,93, figur 3.7) og DPS-AL (R² = 0,91, figur 3.8), men de prøvene som skilte seg ut for P-AL, skilte seg ut også her.



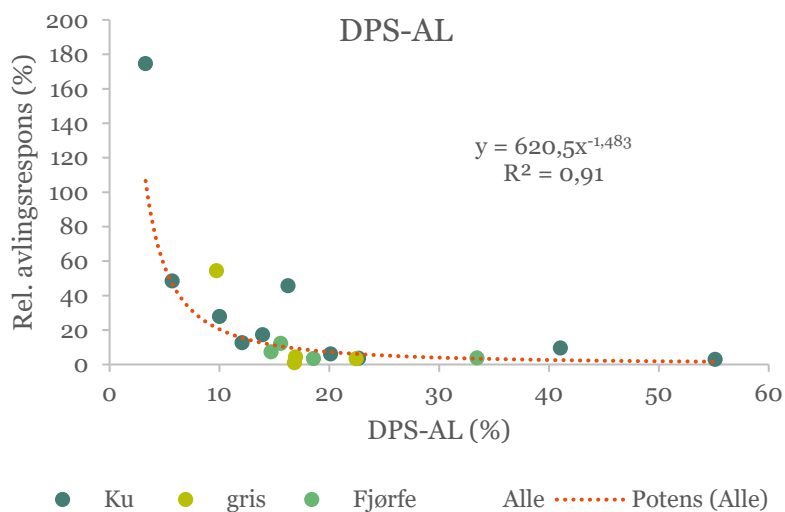
Figur 3.5. Sammenhengen mellom P-AL i jorda og relativ avlingsrespons for fosforgjødsel for jord gjødslet med ulike typer husdyrgjødsel.



Figur 3.6. Sammenhengen mellom P-CaCl₂ i jorda og relativ avlingsrespons for fosforgjødsel for jord gjødslet med ulike typer husdyrgjødsel.



Figur 3.7. Sammenhengen mellom P-Vann i jorda og relativ avlingsrespons for fosforgjødsel for jord gjødslet med ulike typer husdyrgjødsel.



Figur 3.8. Sammenhengen mellom DPS-AL i jorda og relativ avlingsrespons for fosforgjødsel for jord gjødslet med ulike typer husdyrgjødsel.

Oppsummert:

I veksthusforsøket viste P-AL en brukbar sammenheng med avlingsresponsen for fosfor. Det så ikke ut til at gjødslingshistorie med ulik type husdyrgjødsel påvirket sammenhengen mellom jordanalysene og avlingsrespons for fosfor. Andre faktorer som jordas pH, tekstur og fosforbindingsegenskaper kan ha påvirket responsen på fosforgjødsling i veksthusforsøket. Den relative fosformetningsgraden (DPS-AL), som viste god sammenheng med den mest løselige fosforfraksjonen i jord, viste også god sammenheng med den relative avlingsresponsen. Sammenhengen her var litt bedre enn for P-AL. Resultatene fra denne undersøkelsen bekrefter resultatene fra tidligere veksthusforsøk gjennomført med jord med et stort spenn i P-AL-nivå (Kristoffersen m.fl. 2020).

3.2 Feltforsøk i eng

3.2.1 Oversikt over avling, næringsopptak og kvalitet på enkeltfeltene

Feltforsøkene ble gjennomført i tre år, med tre felt hvert år. To av feltene var flerårig, mens de andre var ettårige. En oversikt over totalavling, N- og P-opptaket og kvaliteten på graset i gjennomsnitt for det enkelte felt er gitt i tabell 3.3.

Tabellen viser stor spredning i totalavling mellom sted og år. Høyest avling ble oppnådd på felt 1, som var i Østfold i 2021, med 1275 kg ts-avling/daa. Lavest avling var på feltet i Nordland, med rundt 750 kg/daa. Første året ble kun førsteslåtten høstet for registrering på feltet i Nordland, og er årsaken til det lave avlingsnivået på dette feltet i 2021. Proteininnholdet varierte fra 10,6 til 16,3 % mellom feltene. Fordøyeligheten til graset varierte fra 63,7 til 71,1 % av ts og det totale fiberinnholdet varierte fra 56,4 til 65,5 % av ts. Mengden karbohydrater varierte fra 8,3 til 16,0 % av ts, mens føreheter melk varierte fra 0,76 til 0,89 pr. kg ts.

Tabell 3.3. Gjennomsnittverdier på enkeltfeltene (gj.snitt av fire gjødslingsledd og tre gjentak) for total grasavling (kg ts/daa), opptatt N og P i grasavlingen (kg/daa) og førkvaliteten i graset ut fra proteininnhold (Råprotein, % av ts), fordøyelighet (Fordøy, % av ts), totalt fiberinnhold (NDF, % av ts), karbohydrater (Karbo, % av ts) og føreheter melk (FEm, pr. kg ts)

År/felt	Totalavling kg ts/daa	Opptatt N kg/daa	Opptatt P kg/daa	Råprotein % av ts	Fordøy % av ts	NDF % av ts	Karbo % av ts	FEm pr. kg ts
2021								
1	1275	21,3	2,5	14,1	68,0	62,9	8,3	0,82
2	973	17,3	2,0	12,2	67,8	63,3	15,9	0,83
3	486	10,2	0,9	14,2	69,5	59,5	11,3	0,84
2022								
2	1088	21,3	3,1	12,0	67,3	63,1	16,0	0,81
3	748	15,7	1,8	12,1	63,7	65,5	9,8	0,76
4	1171	24,2	2,8	10,6	65,7	65,3	12,9	0,78
2023								
3	779	10,8	1,3	11,3	65,1	64,6	11,3	0,78
5	1116	28,0	2,6	12,4	68,1	60,3	15,2	0,84
6	729	19,0	2,7	16,3	71,1	56,4	13,1	0,89

3.2.2 Grasavling

I tabell 3.4 er grasavlingene (kg ts/daa) oppgitt for 1., 2. og 3. slått og totalavling. Resultatene er gruppert på landsdel og antall slåtter. Feltene på Østlandet er også gruppert ut fra P-AL-nivå. På Østlandet har det vært to ettårige felt med tre slåtter (Østlandet 1, P-AL 15-16), ett ettårig felt med tre slåtter (Østlandet 2, P-AL 11) og ett ettårig felt med to slåtter (Østlandet 3, P-AL 38).

For Østlandet 1 var avlingen høyest på førsteslåtten (ca. 500 kg ts/daa), middels på andreslåtten (ca. 400 kg ts/daa) og lavest på tredjeslåtten (ca. 280 kg ts/daa), totalt en grasavling på 1150-1200 kg ts/daa. Det var ingen utslag for fosforgjødsling på enkelt-slåttene eller på totalavlingen.

Østlandet 2 lå på jord med P-AL 11. Her var det utslag for fosforgjødsling på førsteslåtten og også på totalavlingen, som lå på 1150-1250 kg ts/daa. Det ble signifikant høyest avling der det ble gjødslet med

2,3 kg P/daa. Ved P-AL 11 anbefales det å gjødsle med fosfor, med mengder som ligger under balanse gjødslingsnivået med fosfor.

For Østlandet 3 ble det høstet bare 700-750 kg ts/daa. Dette feltet ble gjennomført i den vanskelige 2023-sesongen, som på Østlandet startet med langvarig forsommertørke etterfulgt av betydelig nedbørsoverskudd og ekstremværet Hans i august (nedbørmengder oppgitt i tabell 2.6). Det var svært høyt P-AL-nivå på dette feltet og det var ingen utslag for fosforgjødsling.

Det var heller ikke utslag for fosforgjødsling på det toårige feltet på Vestlandet, med to slåtter og P-AL 20. Der ble totalavlingen på 1000-1050 kg ts/daa. Det var ingen utslag for fosforgjødsling på de enkelte slåttene, og heller ikke på totalavling.

Dette gjaldt også for det treårige feltet i Nordland med to slåtter, og P-AL 12-13. Her lå avlingsnivået på 650-700 kg ts/daa i sum for begge slåttene i de to årene med to slåtter, og det var ingen utslag for fosforgjødsling, hverken på enkeltslåttene eller på totalavlingen. Det blir ofte nevnt at kald jord om våren gir ekstra behov for fosfortilførsel. Avlingsresultatene fra feltet i Nordland bekreftet ikke et ekstra fosforbehov.

Tabell 3.4. Grasavlinger (kg ts/daa) fordelt på slått og totalavling, for Østlandet 1 (t0 ettårig felt og tre slåtter), Østlandet 2 (ett ettårig felt og tre slåtter), Østlandet 3 (ett ettårig felt og to slåtter), Vestlandet (ett toårig felt og to slåtter) og Nordland (ett treårig felt og to slåtter). Ulike bokstaver innen sted betyr signifikante forskjeller mellom behandlingene

	Ledd	Behandling kg P/daa	1. slått kg ts/daa	2. slått kg ts/daa	3. slått kg ts/daa	Totalavling kg ts/daa
Østlandet 1	1	0	515	395	279	1190
Felt 1 og 5	2	0,75	514	375	297	1186
	3	1,5	502	405	308	1215
	4	2,3	509	389	292	1191
P-verdi			<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>
Østlandet 2	1	0	599 ab	292	256	1148 b
Felt 4	2	0,75	590 ab	298	255	1143 b
	3	1,5	577 b	323	241	1141 b
	4	2,3	665 a	312	273	1251 a
P-verdi			<i>0,03</i>	<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>	<i>0,01</i>
Østlandet 3	1	0	186	509		695
Felt 6	2	0,75	229	516		745
	3	1,5	208	529		737
	4	2,3	183	524		706
P-verdi			<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>		<i>i.s.</i>
Vestlandet	1	0	625	433		1058
Felt 2	2	0,75	606	438		1044
	3	1,5	585	421		1005
	4	2,3	599	416		1015
P-verdi			<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>		<i>i.s.</i>
Nordland	1	0	498	238		657
Felt 3	2	0,75	463	270		643
	3	1,5	520	301		721
	4	2,3	499	252		667
P-verdi			<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>		<i>i.s.</i>

Oppsummert:

Feltet med laveste P-AL-nivå (P-AL 11, Østlandet 2) hadde utslag for fosforgjødsling på førsteslåtten og på totalavling. Dette samsvarer med NIBIOs gjødslingsanbefalinger som oppgir et fosforgjødslingsbehov ved dette P-AL-nivået. På de andre feltene ble det ikke registrert noe utslag på avling for økende mengde fosforgjødsling. På grunn av meget høye P-AL-verdier (P-AL>14) har jorda bidratt med nok fosfor til å dekke behovet til graset, og bekrefter dermed anbefalingen i NIBIOs gjødslingshåndbok som sier at det ikke er behov for fosforgjødsling når P-AL>14. Med hensyn til tørrstoffavling kunne resultatene fra Nordland ikke bekrefte et ekstra fosforbehov på grunn av kald jord om våren. Ved kald jord blir også veksten begrenset, og fosforbehovet blir da mindre.

3.2.3 Næringsopptak i graset

Fosforkonsentrasjonen i graset ble målt for alle steder og slåtter. Opptaket av fosfor i grasavlingen ble beregnet ut fra ts-avling og fosforkonsentrasjon i graset, og det totale fosforopptaket for hvert sted og år ble summert opp. Opptaket av nitrogen og kalium ble beregnet på samme måte (tabell 3.5).

Tabell 3.5. Totalt opptak av P, N og K (kg/daa) for Østlandet 1 (to ettårige felt og tre slåtter), Østlandet 2 (ett ettårig felt og tre slåtter), Østlandet 3 (ett ettårig felt og to slåtter), Vestlandet (ett toårig felt og to slåtter) og Nordland (ett treårig felt og to slåtter). Ulike bokstaver innen sted betyr signifikante forskjeller mellom behandlingene

	Ledd	Behandling kg P/daa	P kg/daa	N kg/daa	K kg/daa
Østlandet 1	1	0	2,6	24,5	23,3
Felt 1 og 5	2	0,75	2,6	24,6	22,9
	3	1,5	2,6	24,7	24,0
	4	2,3	2,6	24,8	23,5
P-verdi			<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>
Østlandet 2	1	0	2,7	22,6	25,5 b
Felt 4	2	0,75	2,8	23,7	25,1 b
	3	1,5	2,8	23,4	23,7 b
	4	2,3	3,1	27,3	28,4 a
P-verdi			<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>	<i>0,01</i>
Østlandet 3	1	0	2,7	18,8	19,4
Felt 6	2	0,75	2,9	20,3	19,8
	3	1,5	2,9	30,3	19,7
	4	2,3	2,8	19,6	19,5
P-verdi			<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>
Vestlandet	1	0	2,5	19,0	12,8
Felt	2	0,75	2,6	19,9	12,7
	3	1,5	2,5	18,5	11,5
	4	2,3	2,5	19,8	14,3
P-verdi			<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>
Nordland	1	0	1,17 b	11,2	13,8
Felt 3	2	0,75	1,24 ab	11,4	13,9
	3	1,5	1,47 a	13,1	15,2
	4	2,3	1,35 ab	13,2	16,4
P-verdi			<i>0,05</i>	<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>

Resultatene viser at det var små forskjeller i det totale fosforopptaket mellom feltene i Sør-Norge. Her var det også små forskjeller mellom gjødslingsleddene. Feltet i Nordland skilte seg ut, med signifikant utslag for fosforgjødsling på fosforopptaket. Men det var bare leddet gjødslet med 1,5 kg P/daa som hadde signifikant høyere fosforopptak enn leddet uten fosforgjødsling. Dette feltet hadde P-AL 12-13, og dermed på et nivå som tilsier et mulig fosforgjødslingsbehov

Siden all fosfor ble tildelt på våren, var det interessant å se om førsteslåttene hadde større forskjell i fosforopptaket enn hva som ble målt for totalavlingen. Tabell 3.6 viser fosforkonsentrasjon og fosforopptak i **førsteslåttene** gruppert på sted og behandling. Fosforkonsentrasjonen lå mellom 0,20 - 0,29 % og var lavest på feltet i Nordland og høyest for feltet Østlandet 3. Det var kun feltet i Nordland som fikk signifikant økning i fosforkonsentrasjonen i graset av fosforgjødsling. Fosforkonsentrasjonen i graset på de andre feltene ble ikke signifikant påvirket av fosforgjødslingen, som samsvarer med avlingsresultatene, som heller ikke økte med økende fosforgjødsling.

Fosforopptaket (kg/daa) i førsteslåttene ble signifikant påvirket av fosforgjødslingen på Østlandet 2 (tabell 3.6). Dette feltet hadde det laveste P-AL-nivået, og fosforgjødslingen førte til et økt fosforopptak, opp til høyeste gjødselmengde. På de andre feltene ble fosforopptaket ikke signifikant påvirket av fosforgjødslingen. Det bekrefter at jorda kan bidra med tilstrekkelig fosfor når jordas P-AL-verdi er >14.

Tabell 3.6. Fosforkonsentrasjon (%) i graset og opptak av P (kg/daa) i førsteslåttene for Østlandet 1 (tre ettårige felt), Østlandet 2 (ett ettårig), Vestlandet (ett toårig felt) og Nordland (ett treårig felt). Ulike bokstaver innen sted betyr signifikante forskjeller mellom behandlingene

Sted	Ledd	Behandling kg P/daa	P %	P kg/daa	
Østlandet 1	1	0	0,23	1,2	
	Felt 1 og 5	2	0,75	0,22	1,1
		3	1,5	0,22	1,1
		4	2,3	0,24	1,2
<i>P-verdi</i>			<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>	
Østlandet 2	1	0	0,22	1,3 b	
	Felt 4	2	0,75	0,22	1,3 b
		3	1,5	0,22	1,3 b
		4	2,3	0,22	1,4 a
<i>P-verdi</i>			<i>i.s.</i>	<i>0,008</i>	
Østlandet 3	1	0	0,28	0,51	
	Felt 6	2	0,75	0,28	0,63
		3	1,5	0,29	0,60
		4	2,3	0,29	0,53
<i>P-verdi</i>			<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>	
Vestlandet	1	0	0,22	1,4	
	Felt 2	2	0,75	0,24	1,5
		3	1,5	0,24	1,4
		4	2,3	0,26	1,5
<i>P-verdi</i>			<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>	
Nordland	1	0	0,20 b	0,99	
	Felt 3	2	0,75	0,21 ab	0,98
		3	1,5	0,23 a	1,19
		4	2,3	0,22 ab	1,11
<i>P-verdi</i>			<i>0,03</i>	<i>i.s.</i>	

Oppsummert:

Fosforopptaket i førsteslåtten økte signifikant med fosforgjødslingen på feltet med den laveste P-AL-verdien (P-AL 11). På de andre feltene ble fosforopptaket ikke signifikant påvirket av fosforgjødslingen. Det bekrefter at jorda kan bidra med tilstrekkelig fosfor når jordas P-AL-verdi er >14.

3.2.4 Fôrkvalitet

Ved vurdering av effekten på fôrkvaliteten av ulike fosforgjødslinger ble første- og andreslåtten analysert hver for seg. Det er brukt samme gruppering av feltene som for avling og P-opptak.

For Østlandet 1, med P-AL 15-16 var det ingen forskjeller i kvalitetsparameterne ved ulike fosforgjødslinger (tabell 3.7).

Tabell 3.7. Gjennomsnittstall for Østlandet 1. Fôrkvaliteten i graset; proteininnhold (% av ts), fordøyelighet (% av ts), totalt fiberinnhold (NDF, % av ts), karbohydrater (% av ts), og fôrenheter melk (FEm, pr. kg ts)

	Behandling	Råprotein	Fordøy.	NDF	Karbo	FEm
	kg P/daa	% av ts	% av ts	% av ts	% av ts	pr. kg ts
1. slått	0	12,6	67,7	61,9	12,1	0,82
	0,75	13,1	68,3	62,1	11,8	0,83
	1,5	13,3	68,4	60,7	12,0	0,83
	2,3	14,1	67,7	61,7	11,2	0,83
p-verdi		<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>
2. slått	0	16,1	69,6	56,0	13,8	0,85
	0,75	15,4	69,2	57,1	14,5	0,85
	1,5	15,3	70,3	55,9	14,9	0,86
	2,3	15,9	69,2	56,5	13,8	0,85
p-verdi		<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>

For Østlandet 2, med P-AL 11 (tabell 3.8) var det høyest verdi for FEm ved gjødsling med 0,75 kg P/daa på andreslåtten. Utover det var det ingen signifikante forskjeller for ulike fosforgjødslinger, selv om det ble målt forskjeller på avling og P-opptak på dette feltet.

Tabell 3.8. Gjennomsnittstall for Østlandet 2. Fôrkvaliteten i gras; proteininnhold (% av ts), fordøyelighet (% av ts), totalt fiberinnhold (NDF, % av ts), karbohydrater (Karbo, % av ts), og fôrenheter melk (FEm, pr. kg ts)

	Behandling kg P/daa	Råprotein % av ts	Fordøy. % av ts	NDF % av ts	Karbo % av ts	FEm pr. kg ts
1. slått	0	10,3	66,0	65,4	12,8	0,79
	0,75	11,0	65,5	65,6	11,6	0,78
	1,5	10,4	65,8	64,6	14,4	0,79
	2,3	10,6	65,4	65,6	12,6	0,78
	<i>p-verdi</i>		<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>
2. slått	0	16,3	74,0	53,7	14,7	0,91 b
	0,75	17,6	77,3	51,3	15,5	0,96 a
	1,5	15,9	75,2	52,8	16,1	0,93 b
	2,3	17,9	74,5	53,9	12,7	0,92 b
	<i>p-verdi</i>		<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>

Østlandet 3 hadde svært høyt P-AL-nivå. Kun proteininnholdet var påvirket av fosforgjødslingsnivået, med høyst proteininnhold i gras ved sterkeste fosforgjødsling på førsteslått, men ut over det var det ingen forskjeller i kvalitetsparameterne med ulik fosforgjødsling (tabell 3.9).

Tabell 3.97. Gjennomsnittstall for Østlandet 3. Fôrkvaliteten i gras; proteininnhold (% av ts), fordøyelighet (% av ts), totalt fiberinnhold (NDF, % av ts), karbohydrater (Karbo, % av ts), og fôrenheter melk (FEm, pr. kg ts)

	Behandling kg P/daa	Råprotein % av ts	Fordøy. % av ts	NDF % av ts	Karbo % av ts	FEm pr. kg ts
1. slått	0	16,7 ab	72,1	54,9	13,5	0,91
	0,75	15,3 b	70,0	58,5	12,9	0,88
	1,5	15,9 ab	70,7	56,8	12,9	0,89
	2,3	17,2 a	71,5	55,3	12,9	0,90
	<i>p-verdi</i>		0,02	<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>
2. slått	0	15,7	65,7	62,4	7,6	0,79
	0,75	16,0	66,0	59,6	8,0	0,80
	1,5	16,0	65,9	60,7	8,4	0,80
	2,3	16,3	65,6	60,8	7,8	0,79
	<i>p-verdi</i>		<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>

Graset på Vestlandsfeltet hadde høyst proteininnhold i førsteslått på leddet med høyeste fosforgjødsling (tabell 3.10). Videre var FEm på andre slått lavest på ugjødsle ledd, og lik på fosforleddene. Utover det var det ingen forskjeller i kvalitetsparameterne ved ulik fosforgjødsling.

Tabell 3.0. Gjennomsnittstall for Vestland. Førkvaliteten i gras; proteininnhold (% av ts), fordøyelighet (% av ts), totalt fiberinnhold (NDF, % av ts), karbohydrater (Karbo, % av ts), og føreheter melk (FEm, pr. kg ts)

	Behandling kg P/daa	Råprotein % av ts	Fordøy. % av ts	NDF % av ts	Karbo % av ts	FEm pr. kg ts
1. slått	0	11,9 b	67,5	63,5	16,5	0,82
	0,75	12,0 b	67,3	63,6	15,6	0,82
	1,5	11,6 b	67,9	62,9	17,2	0,82
	2,3	12,9 a	67,5	62,8	14,5	0,82
<i>p-verdi</i>		0,04	<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>
2. slått	0	10,5	65,0	62,7	16,5	0,77 b
	0,75	11,1	66,3	61,7	16,3	0,79 a
	1,5	10,9	66,3	61,7	16,7	0,79 a
	2,3	10,6	65,9	62,7	16,7	0,78 a
<i>p-verdi</i>		<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>	0,014

For Nordland, med P-AL 12-13 var det ingen forskjeller i kvalitetsparameterne ved ulike fosforgjødsling (tabell 3.11).

Tabell 3.81. Gjennomsnittstall for Nordland. Førkvaliteten i gras; proteininnhold (% av ts), fordøyelighet (% av ts), totalt fiberinnhold (NDF, % av ts), karbohydrater (Karbo, % av ts), og føreheter melk (FEm, pr. kg ts)

	Behandling kg P/daa	Råprotein % av ts	Fordøy. % av ts	NDF % av ts	Karbo % av ts	FEm pr. kg ts
1. slått	0	11,6	66,2	63,5	11,1	0,79
	0,75	12,5	66,4	62,6	10,9	0,80
	1,5	12,7	66,0	63,1	11,9	0,79
	2,3	13,1	65,8	63,7	9,3	0,79
<i>p-verdi</i>		<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>
2. slått	0	13,7	73,5	55,5	14,7	0,88
	0,75	14,4	72,5	56,0	14,1	0,87
	1,5	14,4	71,4	57,0	13,6	0,86
	2,3	14,5	72,2	56,9	12,6	0,87
<i>p-verdi</i>		<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>	<i>i.s.</i>

Oppsummert:

Økende mengde fosforgjødsling hadde liten påvirkning på kvaliteten på gras. Det var på enkelte av feltene noen signifikante forskjeller, men ingen entydig trend å trekke ut av resultatene.

4 Konklusjoner

Det ser ikke ut til at husdyrgjødseltypen påvirker hvordan fosfor er bundet i jorda. P-AL gir i de fleste tilfeller et brukbart bilde av løseligheten av fosforet i jorda, målt som P-CaCl₂ og P-Vann, men noen jordtyper avviker fra sammenhengen. Ved å beregne en metningsgrad for fosfor i jorda ut ifra P-AL og konsentrasjonen av jern og aluminium som blir ekstrahert sammen med fosforet i AL-ekstraksjonen (DPS-AL) (se avsnitt 2.3), kan en få et meget godt mål for løseligheten av fosforet i jorda. Det er dessverre ikke mulig å få tall for jern og aluminium i standard jordanalysepakke fra Eurofins.

I vekshusforsøket viste P-AL en brukbar sammenheng med avlingsresponsen for fosfor. Det så ikke ut til at gjødslingshistorie med ulik type husdyrgjødsel påvirket sammenhengen mellom jordanalysene og avlingsrespons for fosfor. Andre faktorer som jordas pH, tekstur og fosforbindingsegenskaper kan ha påvirket responsen på fosforgjødsling i veksthusforsøket. Den relative fosformetningsgraden (DPS-AL) som viste god sammenheng med den mest løselige fosforfraksjonen i jord, viste også god sammenheng med den relative avlingsresponsen. Sammenhengen med avlingsresponsen var litt bedre for DPS-AL enn for P-AL.

I feltforsøkene var det bare feltet med det laveste P-AL-nivået (P-AL 11, Østlandet 2) som viste signifikante avlingsutslag for fosforgjødsling. På dette feltet økte også fosforopptaket i førsteslåtten signifikant med fosforgjødslingen. Etter NIBIOs gjødslingsanbefalinger er det fosforgjødslingsbehov ved dette P-AL-nivået. På de andre feltene ble det ikke registrert noe utslag på avling eller fosforopptak for økende mengde fosforgjødsling. På grunn av meget høye P-AL-verdier (P-AL>14) har jorda bidratt med nok fosfor til å dekke behovet til grasen, og bekrefter dermed anbefalingen i NIBIOs gjødslingshåndbok som sier at det ikke er behov for fosforgjødsling når P-AL>14. Med hensyn til tørrstoffavling kunne resultatene fra Nordland ikke bekrefte et ekstra fosforbehov på grunn av kald jord om våren. Ved kald jord blir også veksten begrenset, og fosforbehovet blir da mindre.

Økende mengde fosforgjødsling hadde liten påvirkning på kvaliteten på grasen i disse feltforsøkene. Det var på enkelte av feltene noen signifikante forskjeller, men ingen entydig trend å trekke ut av resultatene.

5 Litteratur

- Bechmann, M., Øgaard, A.F. & Veidal, A. 2018. Fosforgjødsling på arealer med meget høye fosforverdier – Landbruksrådgivningens forhold til gjødslingsanbefalingene. NIBIO Rapport 4(7). 36 s.
- Brod, E., Øgaard, A.F., Hansen, E., Wragg, D., Haraldsen, T.K. & Krogstad, T. 2015. Waste products as alternative phosphorus fertilisers. Part I: inorganic P species affect fertilisation effects depending on soil pH. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 103(2): 167-185.
- Daugstad, K. & Lunnan, T. 2016. Redusert fosforgjødsling til eng – effekt på avling og fosforstatus i jord. Rapport til Gjødslingshåndboka. NIBIO. 9 s.
- Égner, H., Riehm, H. & Domingo, W.R. 1960. Untersuchung über die chemische Boden-Analyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Boden. *Kungliga landbrukshögskolans Annaler*. 26:199-215.
- Fystro, G. 2007. Fosforgjødsling til eng – behov for endring. *Bioforsk FOKUS* 2(7):40-42.
- Hedley, M.J., Stewart, J.W.B., Chauhan, B.S. 1982. Changes in inorganic and organic phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 24: 904-910.
- 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 Agric. Scand. Sec B –Soil and Plant* 55: 252-263.
- Kristoffersen, A.K. & Riley, H. 2005. Effects of soil compaction and moisture regime on the root and shoot growth and phosphorus uptake of barley plants growing on soils with varying phosphorus status. *Nutr. Cycl. Agro Ecosyst.* 72: 135-146.
- Kristoffersen, A.Ø., Hoel, B., Krogstad, T. & Øgaard, A.F. 2008. Reduserte fosfornormer til korn. *Bioforsk FOKUS* 3(1): 50-51.
- Kristoffersen, A.Ø. & Øgaard, A.F. 2019. Fosforgjødsling bestemt av P-AL. *Jord- og Plantekultur* 2019. NIBIO BOK 1(5): 131-136.
- Kristoffersen, A.Ø., Øgaard, A.F. & Krogstad, T. 2020. Prediction of available phosphorus in soil: Combined use for crop production and water quality protection. *Journal of Environmental Quality* 49(6): 1575-1584.
- Lunnan, T. & Haugen, L.E. 1993. Kalk, fosfor og nitrogen til eng i fjell- og dalbygdene på Austlandet. *Norsk Landbruksforskning* 7:57-64. ISSN 0801-5333.
- Møberg, J.P. & Petersen, L. 1982. Øvelsesvejledning til geologi og jordbundslære, Den kgl. Veterinær og Landbohøjskole, Copenhagen, Denmark. Part 2., 136 pp.
- Øgaard, A.F. & Aamlid, T.S. 2020. Temperature effects on phosphorus requirements for creeping bentgrass establishment and spring growth. *Agronomy Journal* DOI: 10.1002/agj2.20288.

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

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

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

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