



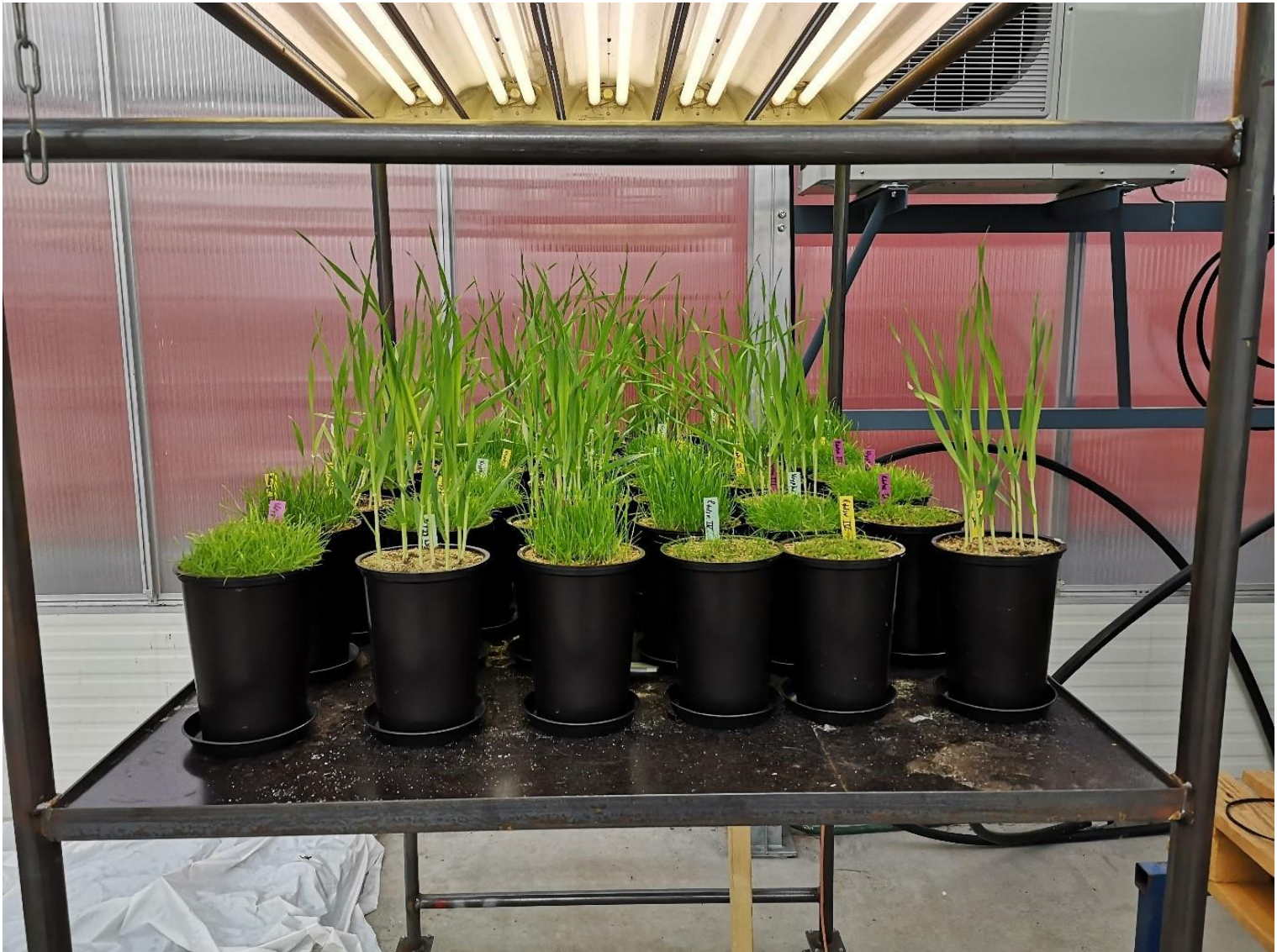
NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Forprosjekt Struvitt

Undersøkelse av gjødselverdien i struvitt fra HIAS IKS

NIBIO RAPPORT | VOL. 6 | NR. 32 | 2020



Karin Juul Hesselsøe, Anne Falk Øgaard, Trygve Aamlid og Trond Pettersen
Divisjon for miljø og naturressurser

TITTEL/TITLE

Forprosjekt struvitt – undersøkelse av gjødselverdien i struvitt fra HIAS IKS

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

Karin Juul Hesselsøe, Anne Falk Øgaard, Trygve Aamlid & Trond Pettersen

DATO/DATE:	RAPPORT NR./ REPORT NO.:	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKTNR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
09.03.2020	6/32/2020	Åpen	51330	19/01057
ISBN:	ISSN:	ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:	ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:	
978-82-17-02532-0	2464-1162	31		

OPPDRAKSGIVER/EMPLOYER:

HIAS IKS

KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

Morten Finborud

STIKKORD/KEYWORDS:

Struvitt, P-opptak, P-effektivitet, krybkvein, raigrass

Struvite, P-uptake, P-efficiency, creeping bent, ryegrass

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Grøntanlegg og vegetasjonsøkologi

Urban greening and vegetation ecology

SAMMENDRAG/SUMMARY:

Gjødselverdi av struvitt fra HIAS IKS ble i potteforsøk sammenlignet med vanlig handelsgjødsel-P (Opti-P), samt et kontrollledd uten tilførsel av P. Til forsøket ble anvendt krybkvein, flerårig raigras, rødsvingel og bygg. Potter med krybkvein og raigras gjødslet med struvitt og Opti-P vokste stort sett likt frem til 1-2 uker før forsøkets avslutning, hvor det var tendens til at tilveksten i potter med struvitt falt. I potter med null P var tilveksten lavere enn i potter med struvitt og Opti-P i hele perioden. Resultatene viser, at potter med krybkvein og raigras gjødslet med struvitt hadde samme tørrstoffproduksjon som potter gjødslet med Opti-P de første ca. 12 uker etter såing, hvilket tyder på, at struvitten i dette forsøket hadde potensiale til rask frigjøring av P.

LAND/COUNTRY:

Norge/Norway

FYLKE/COUNTY:

Agder

KOMMUNE/MUNICIPALITY:

Grimstad

STED/LOKALITET:

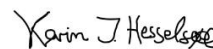
Landvik

GODKJENT /APPROVED



HÅKON BORCH

PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER



KARIN J. HESSELSØE



NIBIO

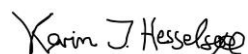
NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Forord

Målet for dette prosjektet var å undersøke gjødselverdien i struvitt på tre forskjellige gressarter (krypkvein, raigress og rødsvingel), samt bygg ved potteforsøk i veksthus i høsten 2019. Struvitt til forsøket ble levert av oppdragsgiver Hias IKS, som ønsket mer kunnskap om struvitts egenskaper som gjødselmiddel.

Gjødselverdien ble målt som avling i gram tørstoff/potte og gjødsling med struvitt ble sammenlignet med null fosfor og mineralsk fosfor (Opti-P). Planteanalyser for P-innhold ble målt to gange i forsøksperioden – 8 uker etter såing og ved forsøkets avslutning.

Mer kunnskap om struvitt og dets gjødselsverdi er nødvendig for bedre at kunne utnytte det i en sirkulær økonomi fremover.



Landvik, 09.03.20

Karin Juul Hesselsøe

Prosjektleder

Innhold

1	Struvitt som gjødselmiddel.....	6
1.1	Innledning.....	6
1.2	Kunnskap om struvitts gjødselverdi	7
1.3	Potensiale for anvendelse av struvitt	8
2	Materiale og metoder	9
2.1	Pottforsøkets utførelse.....	9
2.1.1	Etablering av pottforsøk.....	10
2.1.2	Stell av pottforsøk	13
2.2	Registreringer, statistikk og presentation av resultater	14
3	Resultater	16
3.1	Dekning og farge.....	16
3.1.1	Krypkvein.....	16
3.1.2	Raigras	16
3.1.3	Bygg.....	18
3.2	Avling.....	19
3.2.1	Krypkvein.....	19
3.2.2	Raigras	20
3.2.3	Rødsvingel	21
3.2.4	Bygg.....	22
3.3	Rotutvikling.....	23
3.4	Planteanalyser for P.....	25
3.4.1	P-konsentrasjon i raigras, krypkvein og rødsvingel	25
3.4.2	Bygg.....	25
3.4.3	P-opptak	26
3.5	Planteanalyser for N	27
3.5.1	N-konsentrasjon i raigras, krypkvein og rødsvingel	27
4	Diskusjon/Konklusjon	28
4.1	Avling	28
4.2	P-opptak og P-effektivitet.....	28
4.3	Rotutvikling.....	29
	Litteraturreferanse.....	30

Sammendrag

Struvitt er et fosforholdig utfellingsprodukt, der dannes i rejektvannet fra avvanning av spillvannsslam. Struvitt inneholder dessuten magnesium og ammonium. Hias IKS produserer dette gjødselsprodukt som er godkjent av Mattilsynet.

Hias IKS ønsket mer kunnskap om struvitts egenskaper som gjødselsmiddel i forskjellige kulturer og i grøntanlegg med henblikk på, at de om ca. to år vil ha en produksjon på omkring 500 kg struvitt/uke.

Resultater fra tidligere potte- og feltforsøk i bygg og raigras viser, at den struvitt som ble anvendt hadde en gjødningsverdi på høyde med triple-superfosfat.

Struvitts gjødselverdi ble sammenlignet med vanlig handelsgjødsel-P (Opti-P), samt et kontrolledd uten tilførsel av P. Til forsøket ble anvendt krypkvein, flerårig raigras og rødsvingel. Desuten ble bygg valgt, da der tidligere er utført forsøk i Norge med struvitt til denne kornarten.

Pottforsøkene ble etablert 5. september og avsluttet 3. desember 2019 i veksthus på Landvik. Der ble brukt en sandbasert vekstjord med et lavt og kjent innhold av næringsstoffer. En komplett løsning av andre næringsstoffer enn fosfor ble tilført hver uke i mengder, tilsvarende plantenes behov.

Etter etablering ble pottene vannet til feltpasitet 2-3 ganger pr. uke, og etter ca. 3 uker ble pottene med gress klippet første gang. Rødsvingel og krypkvein ble klippet ukentlig til ca. 1 cm og raigras ukentlig til ca 3 cm høyde; avklippet av disse arter ble tørket og veid for tørrstoffbestemmelse. Dessuten ble disse avklipsprøver samlet og tatt vare på for bladanalyser for P og N-innhold for de første 8 (inngroing) og de siste 6 ukene av forsøket. Pottene med bygg stod urørt fram til forsøksavslutning, hvor de ble klippet og veid for bestemmelse af tørrstoffavling, samt bladanalyser. Rotutvikling ved forsøkets avslutning ble også oppgjort for de tre gressarter: Krypkvein, raigras og rødsvingel.

Potter med krypkvein og raigras gjødslet med struvitt og Opti-P vokste stort set likt frem til 1-2 uker før forsøkets avslutning, hvor det var tendens til at tilveksten i potter med struvitt falt. I potter med null P var tilveksten lavere enn i potter med struvitt og Opti-P i hele perioden. Til og med nest siste klipping (26. nov.) var der ingen statistisk forskjell på tilveksten i krypkvein og raigras-potter gjødslet med struvitt og Opti-P. Ved forsøkets avslutning (3.des.) var denne forskjell blitt signifikant.

Resultatene viser, at potter med krypkvein og raigras gjødslet med struvitt hadde samme tørrstoffproduksjon som potter gjødslet med Opti-P de første ca. 12 uker etter såing, hvilket tyder på, at struvitten i dette forsøket hadde potensiale til rask frigøring av P.

Potter med rødsvingel vokste stort set likt for alle tre gjødselstyper frem til 2-3 uker før forsøkets avslutning, hvor det var tendens til at tilveksten i potter med null P falt. Denne tendens var dog ikke statistisk signifikant.

I potter med bygg ga struvitt mindre avling enn Opti-P, men større avling enn ved null P. Effekten for alle tre behandlinger i bygg var statistisk signifikant.


Der var tendens til større rotutvikling i potter gjødslet med struvitt for alle tre gressarter, men forskjellene var ikke statistisk sikre.

1 Struvitt som gjødselmiddel

1.1 Innledning

Struvitt er et fosforholdig utfellingsprodukt fra avløpsvann på Hias IKS i Hamar. Det dannes i rejevtvannet fra avvanning av spillvannsslam. Struvitt inneholder magnesium, ammonium og fosfat, og har den kjemiske formel $MgNH_4PO_4 \cdot H_2O$. Ukontrollert utfelling av struvitt kan være plagsomt, da krystallene tetter til rør og dyser. Denne utfellingsprosessen er i dag kontrollert, og Hias IKS produserer et meget rent gjødselsprodukt ut fra spillvannsslammet. Formuleringen av struvitten fra Hias IKS er som fin sand.

Struvitt er godkjent som gjødningsmiddel hos Mattilsynet (Figur 1). Innholdet av magnesium på 9,2 %, nitrogen (som ammonium) på 5,4% og fosfor (som fosfat) på ca. 11,6% gjør, at struvitten deklarerer som en fosforgjødsel med noe innhold av nitrogen og magnesium.

Hias Sandvikavegen 136, 2312 Ottestad Postboks 4065, 2306 Hamar Telefon: 459 75 500 post@hias.no Org.nr. NO 947 293 265		 Hias Sammen om et bedre miljø	
VAREDEKLARASJON STRUVITT Hias IKS			
nr. Mattilsynet:	187077		
Handelsnavn:	Hias Struvitt		
Varetype:	Uorganisk Gjødsel		
Bruksområde:	Gjødsel		
Firma:	Hias IKS		
Innhold:			
Ammonium-N (NH_4):	54000	mg/kg TS	(5,4%)
Nitrogen (N):	54000	mg/kg TS	(5,4%)
Fosfor (P):	116000	mg/kg TS	(11,6%)
Kalsium (K):	308	mg/kg TS	(0,03%)
Kalsium (Ca):	1190	mg/kg TS	(0,119%)
Magnesium (Mg):	92400	mg/kg TS	(9,24%)
Natrium (Na):	24,7	mg/kg TS	(0,00247%)
Bor(B):	2	mg/kg TS	(0,0002%)
Kobolt (Co):	0,99	mg/kg TS	(0,000099%)
Kobber (Cu):	2,14	mg/kg TS	(0,000214%)
Jern (Fe):	2430	mg/kg TS	(0,243%)
Mangan (Mn):	211	mg/kg TS	(0,0211%)
Molybden (Mo):	0,144	mg/kg TS	(0,000144%)
Svovel (S):	86,9	mg/kg TS	(0,00869%)
Sink (Zn):	4,99	mg/kg TS	(0,000499%)
Kadmium (Cd):	>0,01	mg/kg TS	(>0,00001%)
<0,086 mg Kadmium (Cd) per kg Fosfor (P)			
Hias IKS er sertifisert etter :		NS - EN ISO 14001	
Sikkerhet: Det anbefales å ikke fortære produktet.			
Anbefalt oppbevaring: Anbefales å oppbevares tørt men ikke over 45 grader C.			
Bruksbegrensninger: Produktet kan nyttes til plantenæring i pletter, private hager, parker, gjødselprodukter og jordbruksareal.			
Anbefalt bruk: Struvitt er sakteoppløselig og næringseffekt er dermed langsom. Struvitt må regnes som et fosforgjødsel med noe nitrogen og magnesium. Det er ikke et fullgjødsel da mengdene nitrogen og kalsium er lave i forhold til fosfor.			

Figur 1. Varedeklarasjon for struvitt fra Hias IKS. Bemerk feil i varedeklarasjon: Innhold av kadmium er: <0,01 mg/kg tørstoff.

Hias IKS ønsker mer kunnskap om Struvitts egenskaper som gjødselmiddel i forskjellige kulturer og i grøntanlegg med henblikk på, at de om ca. to år vil ha en produksjon på omkring 500 kg struvitt/uke, som vil kunne omsettes som et kommersielt gjødselmiddel.

Dette forprosjektet avsluttes i vinteren 2019/20 med en rapport til Hias IKS med resultater av pottforsøkene og ytterligere oppsummering av kunnskap om struvitts egenskaper og anvendelse som gjødselmiddel.

Videre framover kan neste fase i prosjektet bli feltforsøk på NIBIO Landviks forsøksarealer for sportsgress og på Atlungstad Golfklub. Foruten plengress har NIBIO Landvik bred kompetanse på jord og hagebruksvekster. Feltforsøk i andre kulturer kan derfor også være aktuelt.

1.2 Kunnskap om struvitts gjødselverdi

Struvitt utvunnet fra danske rensesanlegg er for nylig undersøkt i (Rubæk et al., 2018). Her ble struvitts egenskaper som gjødselmiddel testet mot andre fosforholdige restprodukter og alminnelig handelsgjødsel. Resultater fra både potte- og feltforsøk i bygg viste at den struvitt som ble anvendt hadde en gjødningsverdi på høyde med triple-superfosfat (tilsvarer Opti-P, med innhold av P på 20%). Disse resultatene er i overensstemmelse med lignende potteforsøk (Brod & Øgaard, 2020; Antonini et al., 2012).

Disse lovende resultatene av struvittens gjødselverdi gir et godt grunnlag for å utføre lignende undersøkelser av struvitt fra Hias IKS.

Som det fremgår av varedeklarasjonen fra Mattilsynet er struvitt ikke et fullstendig gjødselprodukt, da innholdet av nitrogen og kalium er lavt i forhold til fosfor og magnesium. Planter har bruk for en balansert næringsløsning, der stort sett tilsvarende plantens innhold av essensielle næringsstoffer. Ifølge Kvalbein og Eldhuset (2017) har de fleste planter bruk for rundt 14 forskjellige næringsstoffer i et konstant forhold til nitrogen (Tabell 1). Dette betyr at en optimal gjødselsblanding kun inneholder 14% P, 65% K, 9% S, 7% Ca, 6% Mg, osv. i forhold til N-mengden. Struvitt inneholder ca. dobbelt så meget P som N, og vil i sine rene form kunne egne seg som en grunnfjødsling (forrådgjødsling) på jord som mangler f.eks. P og Mg. Ellers vil den kunne tilsettes andre næringsstoffer, så innholdet blir mer balansert for plantevekst.

Tabell 1. Mengdeforhold som gir planter optimal vekst relativt til nitrogen. Etter Kvalbein & Eldhuset (2017).

Næringsstoff	Optimal vekst (relativt til N)
Nitrogen (N)	100
Kalium (K)	65
Fosfor (P)	14
Svovl (S)	9
Kalsium (Ca)	7
Magnesium (Mg)	6
Jern (Fe)	0,7
Mangan (Mn)	0,4
Bor (B)	0,2
Sink (Zn)	0,06
Kobber (Cu)	0,03
Klor (Cl)	0,03
Molybden (Mo)	0,003
Nikkel (Ni)	*

Struvitts potensiale i økologisk dyrking er nylig undersøkt av Rittl et al. (2019). I feltforsøk i eng på Tingvoll, Nordmøre, ble struvitt tilsatt til jorden ved tre forskjellige gjødselsnivåer (0, 11 og 22 kg N/daa) i fullgjødsel. Struvitt økte avlingene ved null og lav tilførsel av husdyrgjødsel, men ikke ved høy tilførsel. Tilførsel av struvitt økte fosforinnholdet i gresset, og innholdet av P i jorda målt som AL-løselig P. Jordas P-status (målt som P-AL) for struvitt-tilførsel varierte fra 23 mg P/kg tørr jord i felter uten tilførsel av gjødsel til 35 mg P/kg i felter med høy tilførsel av gjødsel. Struvitt økte også innholdet av magnesium i jord og planter. pH i jorda økte fra vår til høst etter tilførsel av husdyrgjødsel, men tilførsel av struvitt reduserte denne effekten.

En ny EU-rapport (Huygens et al., 2019) som omhandler regulering av gjødselsprodukter fra bl.a. rense- og biogassanlegg konkluderer, at struvitt har en generelt god dyrkningsmessig verdi (agronomic

value), når det gjelder P-tilgjengelighet sammenlignet med almindelige P-gjødnings på markedet (f.eks. triple-superfosfat). Se mere under diskusjon i avsnitt 4.

1.3 Potensiale for anvendelse av struvitt

Anvendelse av STRUBIAS-materialer vil i 2030 kunne erstatte mellom 17 og 31 % av det nåværende forbruk av fosfor i Europa (Huygens et al., 2019). STRUBIAS er en samlebetegnelse for en gruppe av restprodukter - stru=struvitt, bi=biochar (biokull) og as=ashes (aske). Ifølge denne rapporten er struvitt lovlig å anvende som gjødselmiddel i Holland, Belgia, Tyskland, Frankrike, Danmark og Storbritannia, og som tidligere nevnt er struvitt fra Hias IKS også godkjent som gjødselmiddel hos Mattilsynet i Norge.

Ifølge Huygens et al. (2019) er det beste estimat for den samlede produksjon i Europa i dag på omkring 15000 tonn struvitt årlig, primært fra renseanlegg.

Kommersiell anvendelse af struvitt kan foregå ved at lage tradisjonel P-gjødsel, men markedet kan også utvides ved f.eks. å lage nye kombinasjoner, hvor P forekommer både i en vannoppløselig og en ikke-vandoppløselig form. Den store internasjonale gjødselprodusenten ICL markedsfører forskjellige typer av gjødsel til hage/park, som inneholder ren struvitt eller blandinger hvor en del av fosforet stammer fra struvitt og en del er vannoppløselig fosfor. Denne P-gjødselen blandes med N, K og andre næringsstoffer. Struvitten som anvendes er produsert ut fra «Pearl-technology», og produktene kalles «Crystal Green» (www.crystalgreen.com). De blir markedsført som miljøvenlige, fordi de er produsert ut fra resirkulert fosfor, og fordi de er sakteoppløselige, så overskudd av fosfor ikke utvaskes fra jorden.

I Danmark har rejektivannsprødselt struvitt vært opført i gjødningsfortegnelsen siden 2014. Varemærket «PhosphorCare» er registrert ved merkevarestyrelsen, senere internasjonalt under navnet «PhosphoGreen». Gjødselprodusenten Kongerslev Kalk har tidligere markedsført en luksus hagegjødsel (NPK 12-4-14), hvor fosfor-delen inneholdt PhosphorCare. Denne gjødselen er dog tatt ut av sortimentet i 2020, da prisen var for høy.

Potensialet for anvendelse av struvitt er stort. Det er derfor viktig å få klarlagt dets egenskaper som gjødselmiddel for planter, og dets miljømessige egenskaper.

2 Materiale og metoder

Den dyrkningsmessige verdi af et gjødselsmiddel kan bestemmes på forskjellige måter. I dette forsøk har vi valgt potteforsøk, hvor planterne dyrkes i jord gjødslet med struvitt, og undersøkt hvor mye fosfor de tar opp. Til sammenligning har vi hatt potter uten tilførsel av fosfor og potter tilført P i vanlig handelsgjødning. Jorden vil også stille fosfor til rådighet for planterne, så det kan være vanskelig å måle et meropptak i av fosfor ved gjødsling eller en vekstrespons. I dette potteforsøket har vi målt vekstrespons (avling) etter tilførsel av struvitt og fosfor i handelsgjødning og vi har også bestemt plantenes opptak av P ved planteanalyser.

P-opptaket i plantene (pr potte) finnes ved å beregne produktet av tørstoffavling og konsentrasjonen av fosfor i tørstoffet. For å sammenligne P-opptaket i planter gjødslet med struvitt og handelsgjødning har vi beregnet P-effektivitet (%) som forholdet mellom P-opptak i struvitt delt med P-opptak i handelsgjødning x 100. P-opptaket i dette forsøk er kun beregnet for den overjordiske delen av plantene, og altså ikke for røttene.

2.1 Potteforsøkets utførelse

Det ble valgt å utføre et potteforsøk med tre forskjellige behandlinger i veksthuset på NIBIO Landvik. Struvitts gjødselverdi ble sammenlignet med vanlig handelsgjødning-P (Opti-P), samt et kontrollledd uten tilførsel av P. Til forsøket ble valgt tre gressarter som er mye anvendt i grøntanlegg; rødsvingel (*Festuca rubra*) og flerårig raigrass (*Lolium perenne*) som anvendes til vanlige plener, fotball- og golfbaner, og krypkvein (*Agrostis stolonifera*), som for det meste brukes på greener på golfbaner. Desuten ble bygg (*Hordeum vulgare*) valgt, da der tidligere er utført forsøk med struvitt til denne kornarten. Forsøket hadde fire blokker (gjentak), hver med tilfeldig fordeling av pottene med de 12 kombinasjoner av art og gjødsling.

Arter (4)	Gjødsling (3) Farvemarkering i potter angiver gødningstype	Sum potter
Rødsvingel (<i>Festuca rubra</i>) Flerårig raigras (<i>Lolium perenne</i>) Krypkvein (<i>Agrostis stolonifera</i>) Bygg (<i>Hordeum vulgare</i>)	Kontroll (Ingen P-gjødsel) (Gul) Handelsgjødning-P (Opti-P20) (Grønn) Struvitt (Lilla)	4 repetisjoner → 48 potter a 2 liter hver.

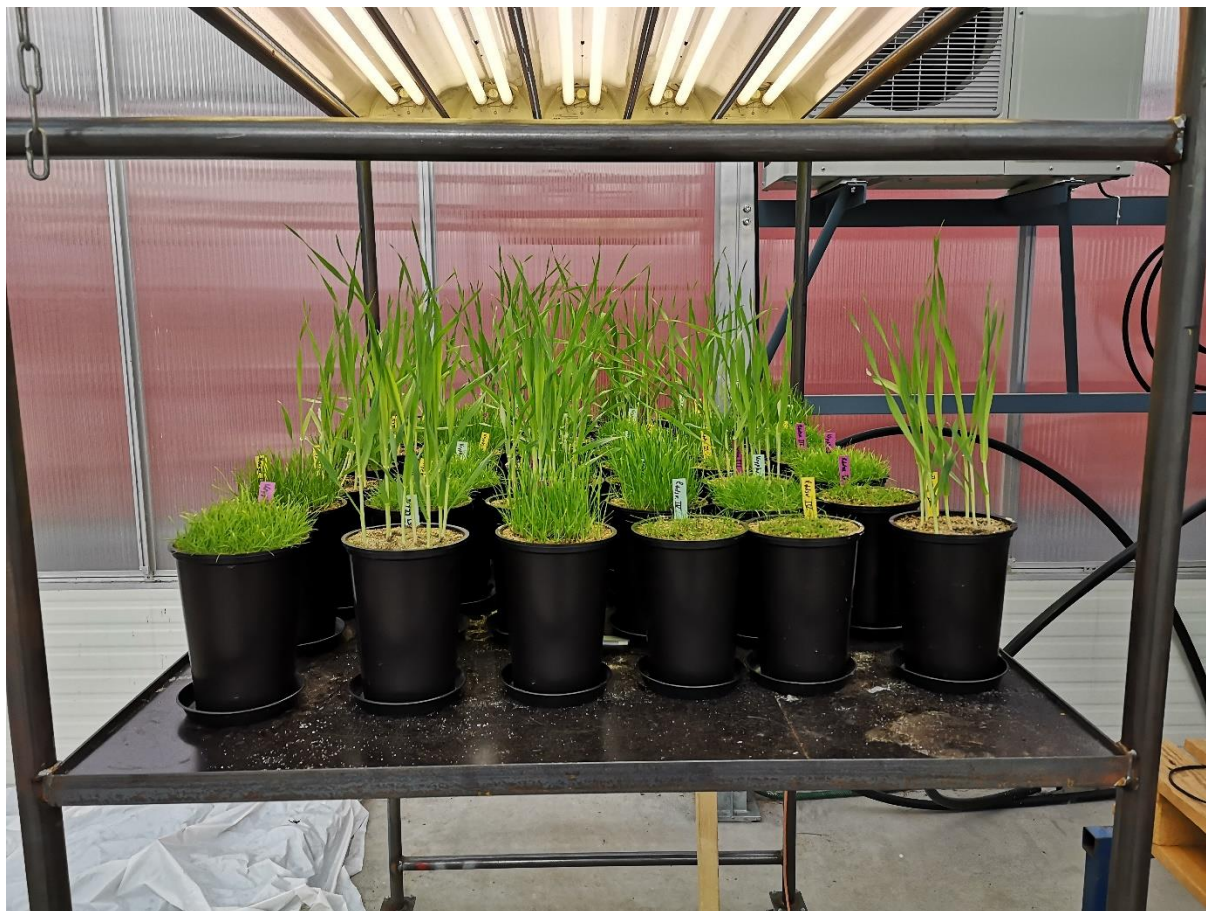


Foto 1. Potteforsøket under kunstig lys ca. 4 uker etter såing Foto: Karin J. Hesselsøe

2.1.1 Etablering av potteforsøk

Potteforsøkene ble etablert 5. september og avsluttet 3. desember 2019 i veksthus på Landvik. Potter med bygg ble sådd en uke senere end potter med gress pga. mangel på denne rette sort av bygg ('Heder').

Veksthuset hadde tilgang til kunstig varme og lys; temperaturen varierte fra 10 til 25°C, og daglengden ble justeret til 16 timer.

Der ble brukt en sandbasert vekstjord (vekstmasse sand/torv) med et lavt og kjent innhold av næringsstoffer. Jordprøver ble analysert ved forsøksstart (Tabell 2). P-AL ved forsøksstart var 23 mg P/kg jord. For korn, eng og oljevekster regnes en P-AL verdi på 50-70 mg/kg jord som optimal for å sikre både gode avlinger og minst mulig miljøbelastning (Krogstad & Øgaard, 2012).

Tabell 2. Jordanalyser av vekstjorden.

pH	P-AL mg/kg	K-AL mg/kg	Mg-AL mg/kg	Ca-AL mg/kg	Na-AL mg/kg	Glødetap % av tørstoff
5,7	23	15	39	230	<17,5	1

Potter med et volum på ca. 2 liter (overflate 1,227 dm²) ble pakket med vekstjord og tilført struvitt eller Opti-P i en mengde svarende til 3 kg totalfosfor/daa (36,8 mg P/potte). Dette var samme mengde som ble anvendt av Rubæk et al. (2018).

Da Opti-P er en granulert gjødsel med kornstørrelse på 2-4 mm, ble denne gjødselen malt til et fint pulver før tilførsel til potterne for å sikre en jevn fordeling. Struvitten ble tildelt i den form vi fikk den fra Hias IKS (Foto 2), som var en kornstørrelse som fint sand på ca. 0.5-1,5 mm.

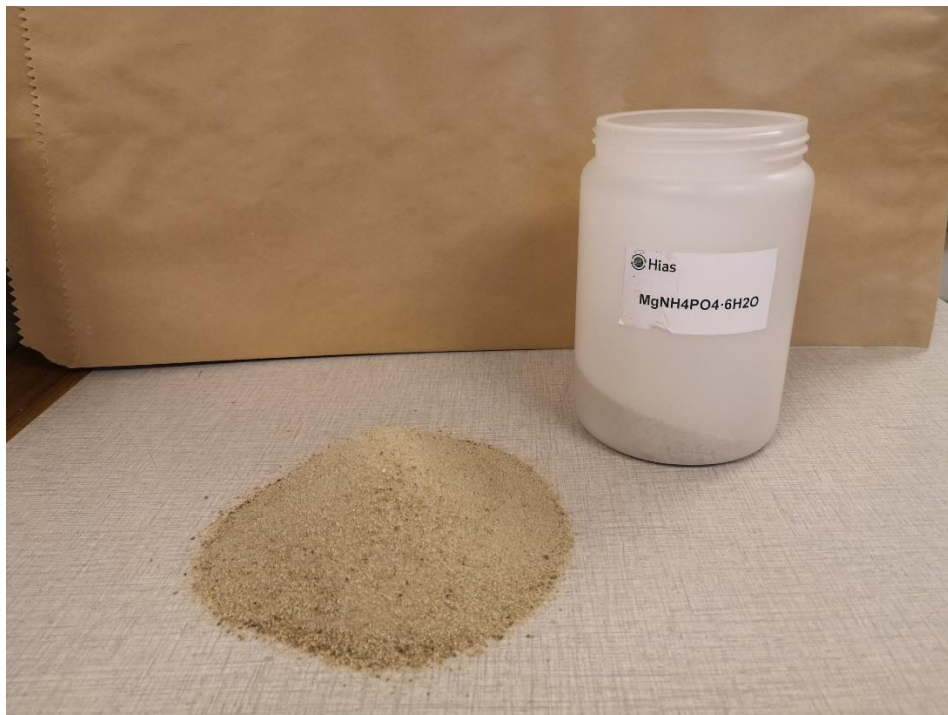


Foto 2: Struvitt fra Hias IKS. Foto: Karin J. Hesselsøe.

Begge P-gjødslene ble blandet inn i de øverste 1-3 cm af vekstmediet før såing. Kontrollpotter uten P ble også etablert. En komplett løsning av andre næringsstoffer enn fosfor ble tilført hver uke i mengder, tilsvarende plantenes behov. Potter med Opti-P og uten P fikk tilført ekstra N og Mg ved forsøkets start for å kompensere for ammonium og magnesium i struvitt. Potterne ble oppvannet, hvoretter de ble tilsådd med rødsvingel, raigras og krypkvein i mengder svarende til normal såmengde for plengress (se oversikt i Tabell 3). Bygg ble sådd med 9 kjerner/potte. Av sorter ble valgt rødsvingel 'Cezanne', flerårig raigras 'Clementine' og krypkvein 'Independence', som alle er toppsorter i Landviks sortsprøvinger av plengress. Sorten 'Heder' av 6-radsbygg ble valgt, da denne har vist god respons på fosforgjødsling i andre pottforsøk (Annbjørg Øverli Kristoffersen, pers. komm.).

Tabell 3. Oversikt over forsøket.

Art	Gjødseltype	Kg totalfosfor/ 1000 m ²	mg gjødsel /potte
Rødsvingel (Cezanne) Såmengde: 0,4 g/potte	Ingen P-gjødsel	0	0
	Opti-P	3	184
	Struvitt	3	317
Flerårig raigras (Clementine) 0,5 g/potte	Ingen P-gjødsel	0	0
	Opti-P	3	184
	Struvitt	3	317
Krypkvein (Independence) 0,1 g/potte	Ingen P-gjødsel	0	0
	Opti-P	3	184
	Struvitt	3	317
Bygg (Heder) 9 kjerner/potte	Ingen P-gjødsel	0	0
	Opti-P	3	184
	Struvitt	3	317



Foto 3: Oversikt over alle 48 pottes i forsøket. Foto: Karin J. Hesselsøe.

2.1.2 Stell av pottforsøk



Foto 4: Første klipping av pottar 23. september 2019. Foto: Karin J. Hesselsøe.

Etter etablering ble pottene vannet til feltkapasitet 2-3 ganger pr. uke. Overskytende vand fra pottene ble oppsamlet i underskåler og tilbakeført til pottene. Etter ca. 3 uker ble pottene med gress klippet første gang (Foto 4). Rødsvingel og krypkvein ble klippet ukentlig til ca. 1 cm og raigras ukentlig til ca 3 cm høyde; avklippet av disse arter ble tørket og veid for tørrstoffbestemmelse.

2.2 Registreringer, statistikk og presentation av resultater

For samtlige pletter ble farge og evt. misvekst/sykdom registrert én gang pr uke fra tre uker etter såing. Farge ble registrert på en skala fra 1 til 9, hvor 1 er lys grønn, 5 er medium grønn, 7 er mørk grønn og 9 er meget mørk grønn. Et mindre angrep av sykdom ble registrert i pottene med krypkvein fra ultimo oktober. For gressartene ble dekningsprosent også registrert ukentlig fra tre uker etter såing, som areal av hver plette dekket med frisk gress. Bilder for dokumentasjon ble tatt annenhver uke. Avklippsprøver fra hver klipping av krypkvein, raigras og rødsvingel ble tørket og veid. Vekt i g tørstoff ble notert for senere statistisk behandling. Dessuten ble disse avklippsprøver samlet og tatt vare på for bladanalyser for P og N-innhold for de første 8 (inngroing) og de siste 6 ukene av forsøket. Pottene med bygg stod urørt fram til forsøksavslutning, da de ble klippet i 2 cm høyde (halm, blad og korn sammen), tørket i to døgn ved 60 °C og veid for bestemmelse af tørstoffavling. Før sending til laboratoriet (ALS Laboratory Group Norway AS) for analyse av N og P ble alle prøver også malt. Konsentrasjonen av P ble oppgitt i mg/kg tørstoff, og for N i % av tørstoffet.



Foto 5: Uttak av sylinder til bestemmelse av rotutvikling. Foto. Karin J. Hesselsøe

Etter ønske fra Hias IKS ble rotutviklingen ved forsøkets avslutning oppgjort for de tre gressarter: Krypkvein, raigras og rødsvingel. Oppgørelse av rotutvikling er en tidskrevende oppgave, derfor ble det valgt å gjøre dette kun i to gjentak (II og III). Etter siste klipping ble en cylinder (ca. 8 cm i diameter) tatt ut med jordbor til bunnen av potten (Foto 5). Røttene ble vasket, tørket i to døgn ved 60 °C og veid for tørstoffbestemmelse. Se kalender fra forsøkets protokoll (Tabell 4) for oversikt over samtlige registreringer.

Tabell 4. Kalender for forsøket.

	September				Oktober					November				Desember			
Uke	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49			
Jordanalyser	x																
Gjødsling med P og såing	x																
Gjødsling med øvrige næringsstoffer			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
Bilder	x		x		x		x		x		x		x				
Vanning	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
Dekning, sykdom og farge				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
Klipping (1 cm, krypkvein og rødsvingel) Avling i gram tørstoff				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
Klipping (3 cm, raigras) Avling i gram tørstoff				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
Bladanalyser av N og P i avklipp								x						x			
Klipping (1 cm, Bygg)														x			
Avling i gram tørstoff (bygg)														x			
Bladanalyser af N og P (Bygg)														x			
Rotutvikling av gressarterne, blokk II og III														x			

Data fra forsøket ble analysert ved at anvende prosedyren 'ANOVA mixed effects model' i programmet Minitab.

3 Resultater

3.1 Dekning og farge

Generelt etablerte alle fire plantearter seg godt i pottene. Etter ca. fire uker hadde alle pottes med gress en gjennomsnittlig dekning på 93% med krypkvein som den høyeste (100%) og rødsvingel som den laveste (82,5%). Der var ingen forskjell i dekning mellom de tre behandlingene med P i pottes med gress.

I slutten av oktober ble det observert et mindre angrep av soppsykdom i pottene med krypkvein, opp til 35% i en enkelt potte, men dette angrepet forsvant igjen etter 2-3 uker. Angrepet var tilfeldig og hadde ingen sammenheng med P-gjødsling.

3.1.1 Krypkvein

I pottes med krypkvein var det tendens til mørkere farge i pottes med Opti-P enn i pottes med struvitt og null-P.



Foto 6: Krypkvein, blokk I, 25. nov. 2019. Fra venstre: gul=null P, lilla=struvitt og grøn=Opti-P.

Foto: Karin J Hesselsøe.

3.1.2 Raigras

På samme måte som i krypkvein var det mørkere farge i pottes med Opti-P enn i pottes med struvitt og null P.



Foto 7: Raigras, blokk II, 25.nov. 2019.

Foto: Karin J Hesselsøe.

I pottes med rødsvingel var det ingen fargeforskjeller i pottene. Generelt var veksten i pottes med rødsvingel mindre enn i pottes med krypkvein og raigras.



Foto 8: Rødsvingel, blokk III, 25. nov. 2019.

Foto: Karin J Hesselsøe.

3.1.3 Bygg

Etter såing etablerte byggen seg 100% etter 14 dager i alle pottes med struvitt og Opti-P. I tredje gjentak var bygg uten P også etablert 100%, men i de tre andre gjentak var bygg kun fremspiret med en dekning på 89%.

Primo november var alle planter i pottes med struvitt og Opti-P begynt å skyte, mens det ikke ble registrert skyting i pottes uten P. Medio november ble det observert begynnende skyting i pottes uten P, men det var tomme aks. Ultimo november ble det tatt bilder av alle fire gjentak, som viste tydelige forskjeller i plantenes utvikling (Foto 9). Det var 2-3 utviklede aks i pottes uten P mot 9-10 utviklede aks i pottes med struvitt og Opti-P.

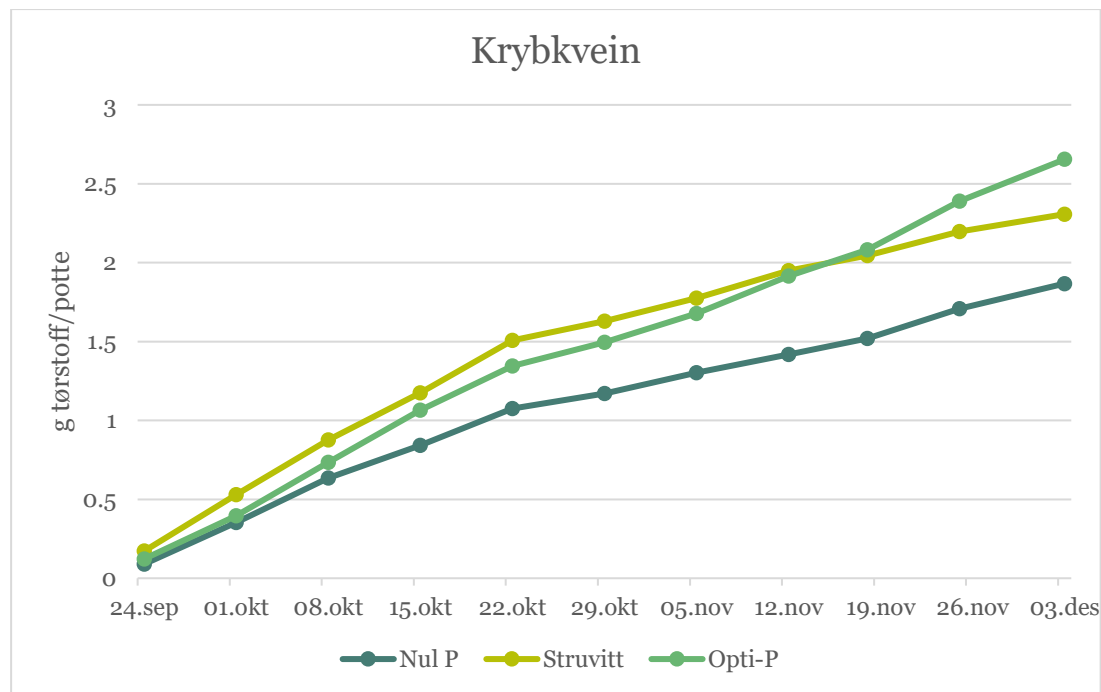


Foto 9. Bygg, blokk III, 25. november. Fra venstre: Gul=null P, lilla=struvitt og grøn=Opti-P. Tydelig tendens til fiolet farge på stængel og mindre utvikling av aks i potten til venstre.

Foto: Karin J Hesselsøe.

3.2 Avling

3.2.1 Krypkvein



Figur 2. Akkumulert tilvekst i g tørstoff/potte for krypkvein fra første klipping til forsøkets avslutning. Gjennomsnitt for fire gjentak.

I potter gjødslet med struvitt vokste krypkveinen lidt bedre end i potter gjødslet med Opti-P, men det var stort sett likt frem til 1-2 uker før forsøkets avslutning, hvor det var tendens til at tilveksten i potter med struvitt falt. I potter med null P var tilveksten lavere enn i potter med struvitt og Opti-P i hele perioden.

Til og med nest siste klipping (26. nov.) var der ingen statistisk forskjell på tilveksten i potter gjødslet med struvitt og Opti-P (Tabell 5). Ved forsøkets avslutning (3.des.) var denne forskjell blitt signifikant (Tabell 6).

Tabell 5. Akkumulert tørstoffavling av krypkvein (g/potte) pr. 26.nov.

Behand	N	Mean	Grouping
Opti-P	4	2.3900	A
Struvitt	4	2.1975	A
Null P	4	1.7075	B

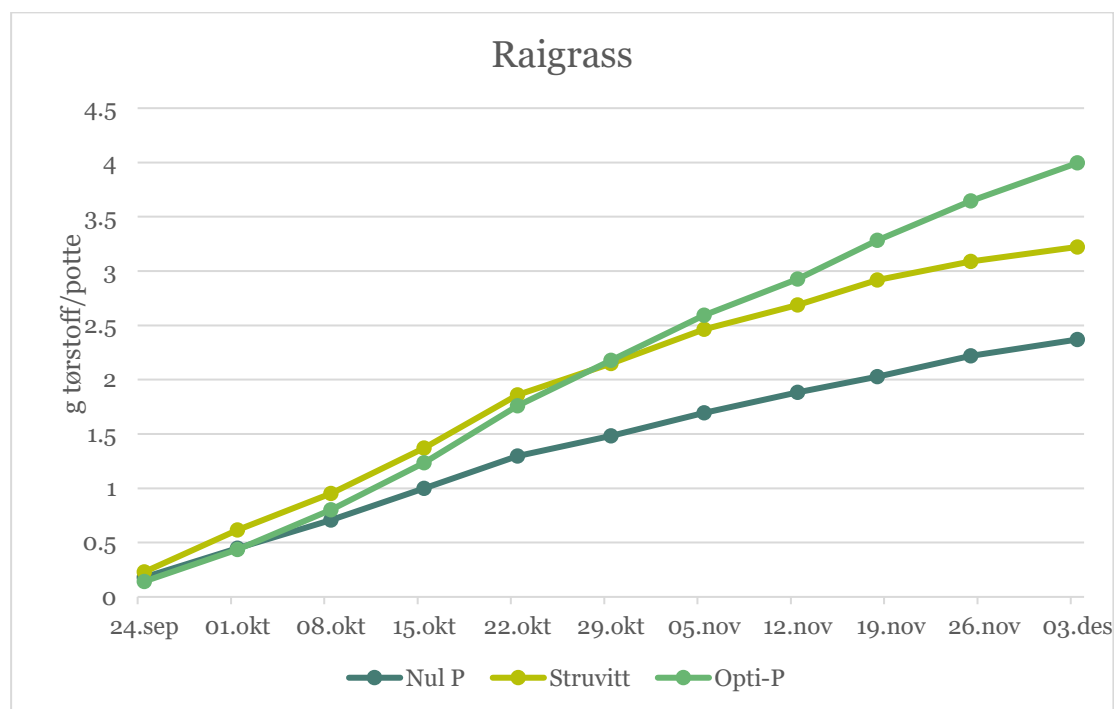
Means that do not share a letter are significantly different.

Tabell 6. Akkumulert tørstoffavling av krypkvein (g/potte) pr. 3. des.

Behand	N	Mean	Grouping
Opti p	4	2.6550	A
Struvitt	4	2.3075	B
Null P	4	1.8675	C

Means that do not share a letter are significantly different.

3.2.2 Raigrass



Figur 3. Akkumulert tilvekst i g tørstoff/potte for raigras fra første klipping til forsøkets avslutning. Gjennomsnitt for fire gjentak.

I potter gjødslet med struvitt og Opti-P vokste raigras stort sett likt frem til 2-3 uker før forsøkets avslutning, hvor det var tendens til at tilveksten i potter med struvitt falt. Det var nesten samme tendens som for krypkvein. I potter med null P var tilveksten lavere enn i potter med struvitt og Opti-P i hele perioden (figur 3).

Statistisk behandling av data viste at det var ingen forskjell i gjødsling med struvitt og Opti-P frem til nest siste klipping (Tabell 7), men ved forsøkets avslutning (3. des.) var denne forskjell blitt signifikant (Tabell 8).

Tabell 7. Akkumulert tørrstoffavling av raigras (g/potte) pr 26.november.

Behand	N	Mean	Grouping
Opti-P	4	3.645	A
Struvitt	4	3.090	A
Null P	4	2.200	B

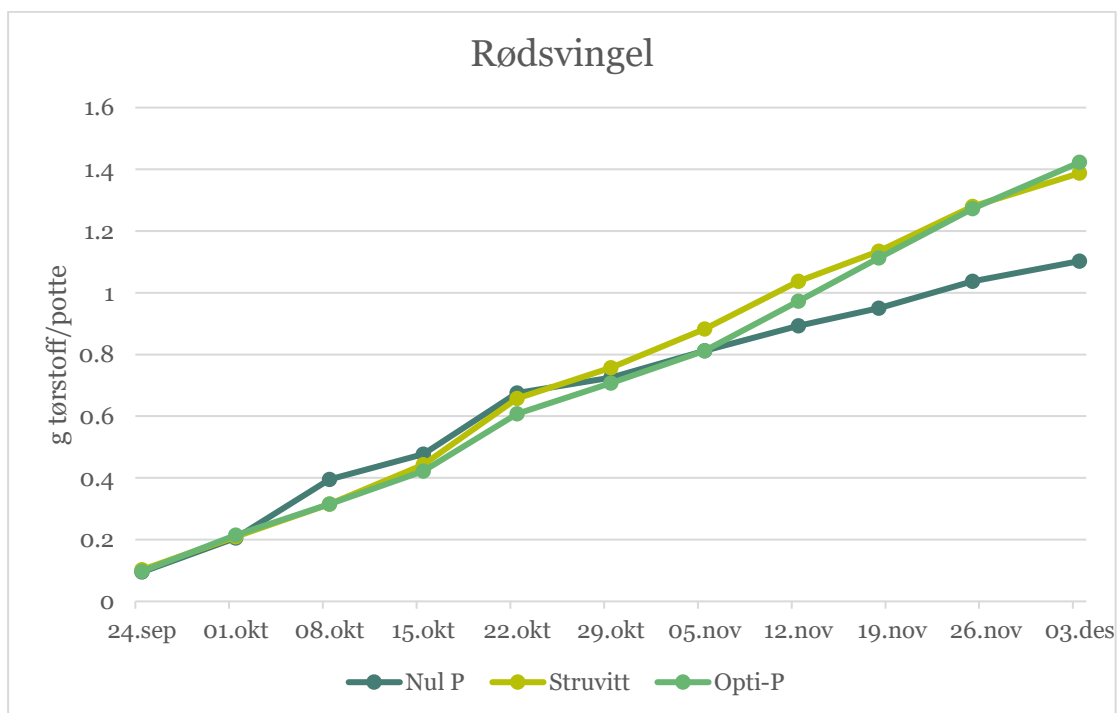
Means that do not share a letter are significantly different.

Tabell 8. Akkumulert tørrstoffavling av raigras (g/potte) pr 3. desember.

Behand	N	Mean	Grouping
Opti p	4	3.9925	A
Struvitt	4	3.225	B
Null P	4	2.3700	C

Means that do not share a letter are significantly different.

3.2.3 Rødsvingel



Figur 4. Akkumulert tilvekst i g tørrstoff/potte for rødsvingel fra første klipping til forsøkets avslutning. Gjennomsnitt for fire gjentak.

Potter med rødsvingel vokste stort sett likt for alle tre gjødselstyper frem til 2-3 uker før forsøkets avslutning, hvor det var tendens til at tilveksten i potter med null P falt. Denne tendens var dog ikke statistisk signifikant (Tabell 9).

Tabell 9. Akkumulert tørrstoffavling av rødsvingel (g/potte) pr 3. desember.

Behand	N	Mean	Grouping
Opti-P	4	1.4225	A
Struvitt	4	1.3875	A
Null P	4	1.1025	A

Means that do not share a letter are significantly different.

3.2.4 Bygg

I potter med bygg ble tilveksten målt ved forsøket avslutning 3. des, hvor både stengler, blader og aks ble høstet. Her gav struvitt mindre avling enn Opti-P, men større avling enn ved null P (Tabell 10). Effekten for alle tre behandlinger var statistisk signifikant.

Tabell 10. Akkumulert tørrstoffavling av bygg (g/potte) pr 3. desember.

	Tørrvekt i avklipsprøver 3. des.		
	Null P	Struvitt	Opti-P
Bygg I	7.79	12.09	13.47
Bygg II	7.02	11.42	14.01
Bygg III	7.36	12.63	14.34
Bygg IV	7.11	12.25	13.4
Gns.	7.32	12.10	13.81

Behand	N	Mean	Grouping
Opti-P	4	13.8050	A
Struvitt	4	12.0975	B
Null P	4	7.3200	C

Means that do not share a letter are significantly different.

3.3 Rotutvikling



Foto 10. Rotutvikling i krybkvein 3. des. Gul= null P, lilla=struvitt, grøn=Opti-P. Bilde til venstre: Gjentak II, høyre: Gjentak III. Foto: Karin J. Hesselsøe.

Målet var å undersøke om struvitt hadde en målbar effekt på plantenes rotutvikling sammenlignet med null P og Opti-P. Resultatene viste en tendens til større rotutvikling i potter gjødslet med struvitt for alle tre gressarter, samt en mindre tendens til større rotutvikling i potter uten P-gjødsling, men forskjellene var ikke statistisk sikre (Tabell 11).



Foto 11. Rotutvikling i raigrass 3. des. Gul= null P, lilla=struvitt, grøn=Opti-P. Bilde til venstre: Gjentak II, høyre: Gjentak III. Foto: Karin J. Hesselsøe.



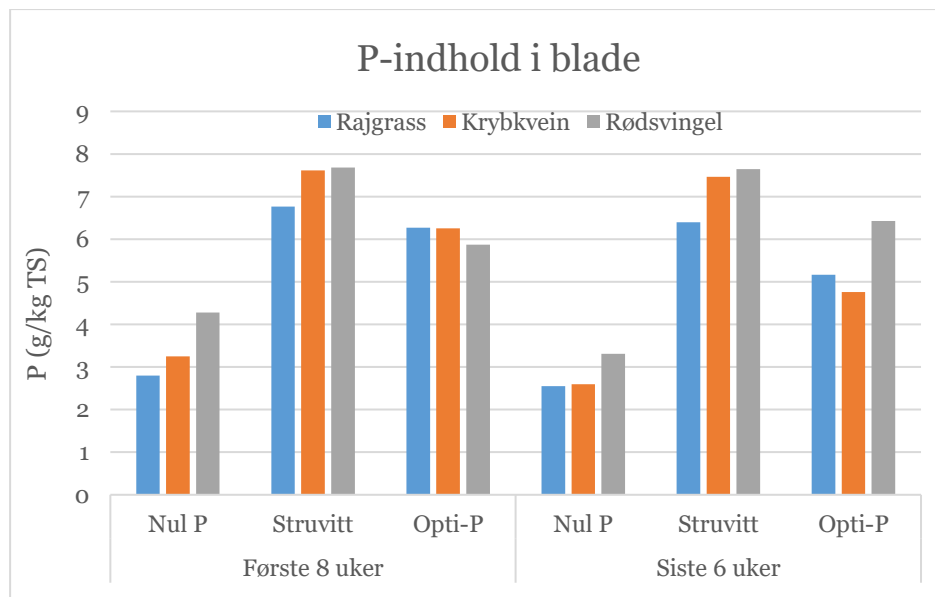
Foto 12. Rotutvikling i rødsvingel 3. des. Gul= null P, lilla=struvitt, grøn=Opti-P. Bilde til venstre: Gjentak II, høyre: Gjentak III. Foto: Karin J. Hesselsøe.

Tabell 11. Rotutvikling for to gjentak av krypkvein, raigras og rødsvingel (g tørstoff/sylinder). ns= ikke signifikante forskjeller mellom null P, struvitt og Opti-P.

Tørrvekt i røtter - gjentak II og III			
	Null P	Struvitt	Opti-P
Krypkvein II	0.16	0.17	0.12
Krypkvein III	0.39	0.5	0.31
Gns.	0.28	0.34	0.22
	ns	ns	ns
Raigrass II	0.3	0.44	0.2
Raigrass III	0.34	0.3	0.32
Gns.	0.32	0.37	0.26
	ns	ns	ns
Rødsvingel II	0.18	0.48	0.24
Rødsvingel III	0.33	0.33	0.13
Gns.	0.26	0.41	0.19
	ns	ns	ns

3.4 Planteanalyser for P

3.4.1 P-konsentrasjon i raigras, krypkvein og rødsvingel



Figur 5: P-innhold i tørket plantemateriale (g P/kg tørstoff) for de første 8 og de siste 6 uker av forsøket.

Gress gjødslet med struvitt hadde den høyeste P-konsentrasjon både i de første otte og de siste seks uker av forsøket (Figur 5). For disse pottene var P-innholdet også lavest i pottene med raigras og høyest i pottene med rødsvingel.

For krypkvein var forskjellene både i behandlinger og periode statistisk sikre. Data ikke vist.

For raigras var det ikke statistisk sikker forskjell mellom P-innholdet i struvitt og Opti-P, men statistisk sikker forskjell mellom P-gjødsling og null P. Der var også statistisk sikker forskjell mellom de to periodene (første 8 uker og siste 6 uker). Data ikke vist.

For rødsvingel var forskjellen i P-innhold mellom de tre gjødslinger statistisk sikker, men forskjellen mellom de to periodene (første 8 uker og siste 6 uker) var ikke statistisk sikker. Data ikke vist.

3.4.2 Bygg

I pottene med bygg gjødslet uten P ble P-konsentrasjonen i gjennomsnitt for de fire gjentak målt til 0,64 g P/kg tørstoff ved forsøkets avslutning. I pottene gjødslet med struvitt var P-konsentrasjonen i gjennomsnitt 1,00 g P/kg tørstoff og i pottene gjødslet med Opti-P var P-innholdet 1,15 g P/kg tørstoff. Statistisk behandling av data viser at det ikke er sikker forskjell mellom P-konsentrasjonen for struvitt og Opti-P, men sikker forskjell for de to gjødslinger og nul P (Tabell 12).

Tabell 12. P-innhold (mg P /kg tørrstoff) i bygg.

P-innhold (g/kg)	Bygg			
	Gjentak	Null P	Struvitt	Opti-P
I		0.67	0.98	1.31
II		0.57	0.89	0.97
III		0.56	1.15	1.18
IV		0.76	0.97	1.14
Gns.		0.64	1.00	1.15

Behand	N	Mean	Grouping
Opti-P	4	1.15050	A
Struvitt	4	0.99725	A
Nul P	4	0.63825	B

Means that do not share a letter are significantly different.

3.4.3 P-opptak

P-opptaket i plantene ble beregnet ved å multiplisere tørrstoffavlinga med plantenes innhold av P. Bemerk at P-konsentrasjonen i bygg kun ble målt ved forsøkets avslutning.

Tabell 13. P-opptak (mg/potte) i krybkvein, raigras og rødsvingel i de første otte uker og ved forsøkets avslutning.

Etter 8 uker (29/10)			
P-optagg (mg/potte)			
	Nul P	Struvitt	Opti-P
Krybkvein	3.8	12.4	9.4
Raigrass	4.1	14.5	13.7
Rødsvingel	3.1	5.8	4.2
Ved forsøkets avslutning			
P-optagg (mg/potte)			
	Nul P	Struvitt	Opti-P
Krybkvein	4.9	17.2	12.6
Raigrass	6.0	20.6	20.6
Rødsvingel	3.7	10.6	9.1
Bygg	4.7	12.1	15.9

For å sammenligne P-opptaket i planter gjødslet med struvitt og vanlig fosforgjødsel (Opti-P) har vi beregnet struvitts P-effektivitet (i %), som forholdet mellom P-opptak i struvitt og P-opptak i Opti-P: $((\text{Struvitt} - \text{Null P}) / (\text{Opti-P} - \text{Null P})) * 100$.

Tabell 14. P-effektivitet for struvitt i forhold til Opti-P.

P-effektivitet i %	Etter 8 uker	Ved avslutning
Krypkvein	155 %	159 %
Raigrass	109 %	100 %
Rødsvingel	258 %	127 %
Bygg	-	66 %

3.5 Planteanalyser for N

3.5.1 N-konsentrasjon i raigras, krypkvein og rødsvingel

Nitrogen i form av ammonium og nitrat ble tilført i flytende form hver uke.

For krypkvein var N-konsentrasjonen signifikant høyest i potteslet med Opti-P. Det var ingen signifikant forskjell mellom struvitt og null P.

For raigras var det ikke signifikante forskjeller i N-konsentrasjonen mellom struvitt og Opti-P.

For rødsvingel var det ikke signifikante forskjeller i N-konsentrasjonen mellom hverken null P, struvitt eller Opti-P.

For bygg var det ikke signifikante forskjeller i N-indholdet mellom struvitt og Opti-P.

(data ikke vist).

4 Diskusjon/Konklusjon

4.1 Avling

For krypkvein og raigras var tilveksten i pottes gjødslet med struvitt og Opti-P stort sett lik frem til 1-3 uker før forsøket avslutning, hvor det var tendens til at tilveksten i pottes med struvitt falt. Frem til 26.nov. var der ikke signifikant forskjell på de to behandlingene, men ved siste klipping (3.desember) var der forskjell. Dette kan tyde på, at struvitt har en lett tilgjengelig og en litt tyngre tilgjengelig fraksjon.

Uansett viser resultatene, at pottes med krypkvein og raigras gjødslet med struvitt hadde samme tørrstoffproduksjon som pottes gjødslet med Opti-P de første ca. 12 uker etter såing, hvilket tyder på, at struvitten i dette forsøket hadde potensiale til rask frigjøring av P. Vanligvis oppfattes struvitt som sakteoppløselig med en langsom gjødselseffekt, men dette forsøket viser, at der også er en rask effekt.

Feltforsøk eller videre pottesforsøk, som kan underbygge disse resultatene vil være nyttige.

I pottes med rødsvingel fant vi ingen forskjell mellom behandlingene. Veksten i pottes med rødsvingel var generelt dårligere enn i pottes med krypkvein og raigras, og dermed var også fosforbehovet mindre.

Antonini et al. (2012) undersøkte gjødselseffekten av forskjellige struvitt-produkter sammenlignet med mineralisk P i pottesforsøk. For pottes med raigras fant de lik eller høyere avling i pottes med struvitt sammenlignet med mineralisk P. Plaza et al. (2007) gjorde tilsvarende pottesforsøk i raigras med struvitt og fant, at struvitt var like effektiv som mineralisk P (superfosfat) med hensyn til tørrstoffproduksjon.

Pottes med bygg som ikke fikk tilført P viste tegn på fosformangel (fiolette strå) og utviklet mindre og færre aks. Disse pottes hadde en avling ca. halvparten så stor som pottes med struvitt og Opti-P. Pottes gjødslet med Opti-P hadde signifikant, ca 15 % større tørrstoffproduksjon enn pottes gjødslet med struvitt.

4.2 P-opptak og P-effektivitet

P-opptaket ble målt i to deler av forsøksperioden – etter de første otte og etter de siste seks uker med klipping hver uke. I begge perioder hadde krypkvein gjødslet med struvitt et større P-opptak enn krypkvein gjødslet med Opti-P. Beregnet som P-effektivitet av struvitt relativt til Opti-P var krypkvein ca. 50 % mere effektiv til å ta opp fosfor i struvitt sammenlignet med fosfor i Opti-P.

For raigras var P-opptaket i struvitt og Opti-P stort sett ens, dvs. P-effektiviteten var den samme for de to gjødselsmidler.

I bygg var der et lavere P-opptak med struvitt sammenlignet med Opti-P. P-effektiviteten var ca. 34 % dårligere for bygg gjødslet med struvitt sammenlignet med bygg gjødslet med Opti-P.

I lignende pottesforsøk med bygg utført av Brod & Øgaard (2020) viste struvitt en god fosforeffekt og ga nesten like høyt fosforopptak som kontrollen med full dose mineralfosfor.

Struvitt har lav vannløselighet, så jord og planteprosesser har antagelig betydning for frigjøringen av P fra struvitt. Byggrotter har muligens en lavere evne til å løse struvitt enn grasrotter. Dessuten har bygg en raskere vekst i den vegetative perioden, dvs en kan anta at bygg trenger en større P tilførsel per tidsenhet enn gras.

Vores pottesforsøk viser også at raigras kommer i en mellomstilling mellom bygg og krypkvein, hvor krypkvein er mest effektiv og bygg minst effektiv til å opptake fosfor.

Oppløseligheten av struvitt er ifølge Degryse et al. (2017) avhengig av pH og finmalingsgraden. Struvitt er lettoppløselig i syre uanset syrestyrken, men nesten ikke oppløselig i vann. Flere studier har vist et høyt P-opptak i planter som gjødsles med struvitt i sur eller pH-nøytral jord. Antonini et al. (2012) fant i potteforsøk at P-opptaket var det samme som eller større i raigras gjødslet med struvitt enn i raigrass gjødslet med superfosfat. Andre undersøkelser (refereret i Huygens et al., 2019) indikerer, at jordens pH ikke har signifikant effekt på den dyrkningsmessige verdien av struvitt.

I dette potteforsøket var jordens pH= 5,7 dvs. en svagt sur jord, hvilket delvis kan forklare den relativt raske gjødningseffekt av struvitt.

Da oppløseligheten av struvitt også er avhengig av finmalingsgraden, kan det være, at de fine partikler løses lett og dermed giver den raske respons på vekst og P-opptak, mens de større partikler oppløses og optakes senere.

Planter påvirker også rotsonens pH-verdi ved å utskille svake organiske syrer fra røttene. Dette kan senke pH-verdien i rodsonen og dermed fremme opptaket av næringsstoffer. Talboys et al. (2016) indikerer, at utskillelsen av disse organiske syrer har en stor betydning for oppløseligheten av fosfor i struvitt, og at plantearter, som utskiller store mengder af organiske syrer i rodzonen er mer effektive til å ta opp fosfor fra struvitt. Flerårige gressarter udskiller store mengder af disse organiske syrer sammenlignet med andre afgrøder f.eks. hvete og bygg (Kuzyakov & Domanski, 2000).

Nye studier av Robles-Aguilar et al. (2020) i majs og lupin på sandjord viser, at fosfor-opptaket i struvitt fremmes ved at anvende ammonium som N-kilde fremfor nitrat. Opptak av ammonium medfører en forsuring av rodsonen, som kan fremme oppløseligheten av struvitt. De anbefaler derfor, at gjødsling med struvitt bør kombineres med ammonium som ekstra N-kilde.

4.3 Rotutvikling

Rotutvikling ble målt ved forsøkets avslutning i to gjentak med krypkvein, raigras og rødsvingel. Her ble det funnet en tendens til større rotutvikling (målt som g tørstoff/cylinder) i potter gjødslet med struvitt sammenlignet med Opti-P og null P. Disse forskjelle var dog ikke statistisk signifikante.

Felt- eller potteforsøk som ytterligere kan underbygge disse resultater vil være nyttige.

På hjemmesiden www.crystalgreen.com, henvises til forsøk fra Cornell University, hvor gjødsling med struvitt «Crystal Green» ga opp til 30 % lengre røtter og større rotbiomasse enn gjødsling med DAP (Diammonium phosphat). Det har dessverre ikke vært mulig at finne originalrapporten herfra, så vi mangler pålitelige data, der kan underbygge de tendenser vi så i potteforsøket.

Litteraturreferanse

- Antonini, S., Arias, M. A., Eichert, T. & Clemens, J. 2012: Greenhouse evaluation and environmental impact assessment of different urine-derived struvite fertilizers as phosphorus sources for plants. *Chemosphere* 89, p. 1202-1210
- Brod, E. & Øgaard, A. 2020: Fosforeffekt av organisk avfall, NIBIO BOK, vol 6, nr. 1.
- Degryse, F., Baird, R., da Silva, R.C., McLaughlin, M.J. 2017: Dissolution rate and agronomic effectiveness of struvite fertilizers – effect of soil pH, granulation and base excess. *Plant soil* 410: 139-152
- Huygens, D., Saveyn, HGM., Tonini, D., Eder, P., Delgado Sancho, L.: Technical proposal for selected new fertilising materials under the Fertilising Products Regulation (Regulation (EU) 2019/2009) – Process and quality criteria and assessment of environmental and market impacts for precipitated phosphate salts and derivatives, thermal oxidation materials and derivatives and pyrolysis and gasification materials, EUR 29841 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2019, ISBN 978-92-76-09888-1, doi:10.2760/186684, JRC117856.
- Krogstad, T. & Øgaard, A. 2012: Kalkulator for fosforindeks (P-indeks) – innføring i P-indeks og veiledning i bruk av kalkulatoren. PURA, www.pura.no
- Kuzyakov, Y. & Domanski, G. 2000: Carbon input by plants into the soil. Review. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, nr. 163: 421-431.
- Kvalbein, A. og Eldhuset, T. D. 2017: Optimal gjødsling av planter – om sammenhenger mellom næringstilgang, vekst og kvalitet. NIBIO BOK, vol. 3, nr. 7.
- Plaza, C., Sanz, R., Clemente, C., Fernandes, J.M., Gonzalez, R., Polo, A. & Colmenarejo, M.F 2007: Greenhouse evaluation of struvite and sludges from municipal wastewater treatment works as phosphorus sources for plants. *Jour. of Agri. and Food Chem.* 55, p. 8206-8212
- Rittl, T., Krogstad, T., Eikås, S., Saltnes, T., Sørensen, G., Glested, H.E. og Løes, A. 2019: Effects of struvite application on soil and plants: a short-term field study. *NORSØK REPORT*, vol. 4, nr. 10.
- Robles-Aguilar, A., Schrey, S., Postma, J., Temperton, V., & Jablonowski, N. 2020 : Phosphorus uptake from struvite is modulated by the nitrogen form applied. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, nr. 183: 80-90.
- Rubæk, G. H., Askegaard, M. & Christiansen, N. H. 2018: Gødningsværdi af fosfor i restprodukter. DCA-rapport nr. 141, Aarhus Universitet
- Talboys, P.J., Heppell, J., Roose, T., Healey, J. R., Jones, D.L. & Withers, P.J.A. 2016: Struvite – a slow release fertilizer for sustainable phosphorus management? *Plant Soil* 401, p. 109-123
- www.crystalgreen.com
- www.kongerslev-kalk.dk

Nøkkelord:	Struvitt, P-opptak, P-effektivitet, krybkvein, raigrass
Key words:	Struvite, P-uptake, P-efficiency, creeping bent, ryegrass
Andre aktuelle publikasjoner fra prosjekt:	

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

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

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

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