



**NIBIO**

NORSK INSTITUTT FOR  
BIOØKONOMI

# Strukturkalking

Effekt på aggregatstabilitet og lettløselig fosfor

NIBIO RAPPORT | VOL. 5 | NR. 52 | 2019



Anne Falk Øgaard

Divisjon for miljø og naturressurser/avdeling for jordressurser og arealbruk

## TITTEL/TITLE

Strukturkalking – Effekt på aggregatstabilitet og lettløselig fosfor

## FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

Anne Falk Øgaard

DATO/DATE:	RAPPORT NR./ REPORT NO.:	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKTNR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
01.04.2019	5/52/2019	Åpen	10122.2	19/00475
ISBN:	ISSN:	ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:	ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:	
978-82-17-02318-0	2464-1162	19	1	

## OPPDRAUGSGIVER/EMPLOYER:

Landbruksdirektoratet

## KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

Johan Kollerud

## STIKKORD/KEYWORDS:

Jordstruktur, fosfor, kalk

Soil structure, phosphorus, lime

## FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Miljø og jordbruk

Agriculture and environment

## SAMMENDRAG/SUMMARY:

Denne rapporten beskriver hva strukturkalking er, presenterer resultater fra norske feltforsøk med strukturkalking og gir en oversikt over forutsetningene for å oppnå positiv effekt av strukturkalking. I et forsøk gjennomført på bakkeplanert lattleire fant vi ikke effekt av strukturkalking på aggregatstørrelsesfordeling og aggregatstabilitet, men vi kan ikke konkludere med at strukturkalking ikke har effekt på norsk leirjord ut i fra dette ene forsøket. Effekt av kalking på konsentrasjon av lettløselig fosfor i jorda ble undersøkt i tre feltforsøk. Kalking ga enten økt konsentrasjon av lettløselig fosfor i jorda eller ingen effekt på løst fosfor. Effekten var avhengig av jordas pH før kalking. Det er behov for flere forsøk før vi vet om vi kan anbefale strukturkalking som en metode for å redusere erosjon og fosfortap på norsk leirjord.

## LAND/COUNTRY:

Norge

## GODKJENT /APPROVED



JANNES STOLTE

## PROSJEKTLIDER /PROJECT LEADER



ANNE FALK ØGAARD



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR  
BIOØKONOMI

# Forord

Denne rapporten omhandler strukturkalking med beskrivelse av hva strukturkalking er, resultater fra feltforsøk med strukturkalking og en vurdering av strukturkalking som tiltak mot jorderosjon og fosfortap under norske forhold. Rapporten er en del av prosjektet «Strukturkalking og fangvekster som tiltak mot jorderosjon og fosfortap» som er finansiert av Landbruksdirektoratet og Miljøkalk AS. Prosjektet ble gjennomført i perioden 2016-2019.

NLR Øst og Rikard Pedersen, NIBIO har bidratt med den praktiske gjennomføring av et feltforsøk i Eidsberg. Rikard Pedersen har i tillegg gjennomført analysene av jordas aggregatstabilitet. Marianne Bchmann har bidratt med innspill under prosjektgjennomføring og kvalitetsikring av rapporten.

Jordprøver fra feltforsøk på Jæren i prosjektet «Strukturkalking – mindre klimautslipp og større avling» (2014-2016), ledet av Mats Höglind, NIBIO og finansiert av Landbruksdirektoratet, ble inkludert for å studere effekten av kalkingsmidlene på fosforbinding i jorda. Mats Höglind med kolleger har bidratt med jordprøveuttak, informasjon og analyseresultater fra disse feltforsøkene.»

Ås, 01.04.19

Anne Falk Øgaard

# Innhold

1 Innledning.....	5
2 Materiale og metoder .....	6
2.1 Eidsberg .....	6
2.2 Jæren .....	8
3 Resultater .....	9
3.1 Eidsberg .....	9
3.1.1 Avling.....	9
3.1.2 pH.....	9
3.1.3 Aggregatstørrelsesfordeling.....	9
3.1.4 Aggregatstabilitet.....	10
3.1.5 Fosfortilgjengelighet .....	11
3.2 Jæren .....	12
3.2.1 Fosfortilgjengelighet .....	12
4 Vurderinger ved strukturkalking .....	15
4.1 Jordstruktur .....	15
4.2 Fosforbinding.....	16
5 Konklusjon .....	17
Referanser .....	18
Vedlegg.....	19



# 1 Innledning

Strukturkalking er et nytt tiltak for å bedre jordstruktur og minske erosjon på leirjord (Ulén & Etana 2014, Svanbäck m.fl. 2014, Blomquist m.fl. 2018). Strukturkalking er kalking med brent (CaO) eller lesket kalk (Ca(OH)<sub>2</sub>) enten alene eller i kombinasjon med kalksteinsmel (CaCO<sub>3</sub>). Lesket kalk betegnes også hydratkalk. Brent og lesket kalk skiller seg fra kalksteinsmel ved at de er reaktive og løser seg raskt opp i jorda. De fører til en rekke prosesser i jorda som kan gi en umiddelbar positiv effekt på jordas porøsitet og aggregatstabilitet. Dette er faktorer som har betydning for jordas eroderbarhet. Vanlig jordbrukskalk kan også bedre jordstrukturen, men brent og lesket kalk forventes å gi en bedre struktureffekt i leirjord enn vanlig jordbrukskalk. Vanlig jordbrukskalk gir struktureffekt ved at kalsiumjoner fra kalken binder sammen de negativt ladde leirpartiklene til større partikler (aggregater). Brent og lesket kalk gir en tilleggseffekt forårsaket av de kraftige reaksjonene som skjer i jorda etter tilførsel. De løser seg raskt opp og gir en rask og midlertidig høy pH-økning. Kalsiumkonsentrasjonen i jorda blir høy, og aluminium og silisium i jorda løses på grunn av den kraftige pH-økningen. Det skjer så reaksjoner mellom kalsium, aluminium og silisium (sementreaksjoner) (Berglund & Blomquist 2015). Sementreaksjonene bidrar til mer stabile aggregater enn ved bruk av vanlig jordbrukskalk (Keiblinger m.fl. 2016), og effekten er mer langvarig ved bruk av strukturkalk. Positiv effekt på aggregatstabilitet og jordas infiltrasjonsevne for vann kunne fortsatt måles flere ti-år etter tilførsel av brent eller lesket kalk til jord med cirka 40% leire (Berglund m.fl., 2017).

I Sverige er det gjennomført en rekke forsøk som har vist positive effekter av strukturkalking. Ulén & Etana (2014) fant 56% reduksjon i utvasking av partikkelbundet fosfor fra en jord med 59% leire. Det var også en tendens til reduksjon i tap av partikkelbundet fosfor fra en jord med 26% leire. For begge jordtypene var det en signifikant økning i jordas aggregatstabilitet etter strukturkalking. Svanbäck m.fl. (2014) fant i middel 42% reduksjon i utvasking av partikkelbundet fosfor fra en jord med 60% leire. I en studie med strukturkalking på fire felt med leirinnhold varierende fra 23 til 40%, fant Blomquist m.fl. (2018) at jordas aggregatstabilitet økte signifikant etter strukturkalking med en tilførsel som hadde CaO-verdi på 600 kg/daa. Strukturkalktilførsel med CaO-verdi på 200 kg/daa ga ikke signifikant effekt på aggregatstabilitet i dette forsøket.

Under visse forutsetninger kan strukturkalking redusere tap av løst fosfat i tillegg til å redusere erosjon. Ulén & Etana (2014) fant at strukturkalking reduserte avrenning av løst fosfat på jord med høy fosformetning og høy pH (7,1). Dette forklares med at den høye kalsiumkonsentrasjonen som strukturkalk gir i jorda, fører til kompleksbinding av fosfor i tillegg til utfelling av fosfor ved høy pH.

En mer stabil jordstruktur kan i tillegg til å redusere erosjon, gi bedre jordfysiske forhold for plantene og kan dermed også være et tiltak som kan bidra til å øke avlingen. Blomquist m.fl. (2018) fant imidlertid varierende effekt på avling.

I Sverige er strukturkalking et anbefalt tiltak for å redusere fosforavrenningen (Jordbruksverket 2019). Det gis tilskudd til tiltaket, og de har egne strukturkalkprodukter i markedet. Disse produktene inneholder en blanding av lesket kalk og kalksteinsmel, som gir et tryggere produkt å håndtere enn produkter som bare inneholder lesket eller brent kalk.

Siden effekten av strukturkalk innebærer sammenbinding av leirpartikler til stabile aggregater, har jordas leirinnhold betydning for effekten av tiltaket. Sverige har store arealer med stivere leirjord enn det vi har i Norge, slik at det ikke er sikkert at vi oppnår samme tydelige effekt her som i Sverige.

Målet med prosjektet som presenteres i denne rapporten var å undersøke effekten av strukturkalking på avling, aggregatstabilitet og fosforbinding i marin leirjord på Østlandet. I tillegg har jordprøver fra to feltforsøk på Jæren i prosjektet «Strukturkalking – mindre klimautslipp og større avling» (2014-2016) blitt inkludert med mål om å studere effekten av ulike kalkingsmidler (betongslam, brent kalk og granulert jordbrukskalk) på fosforbinding i jorda.

Prosjektet er finansiert av Landbruksdirektoratet og Miljøkalk AS.

## 2 Materiale og metoder

### 2.1 Eidsberg

Et to-årig feltforsøk ble etablert i Eidsberg i Østfold våren 2016 på bakkeplanert siltig lettleire med cirka 2,5 % organisk materiale (figur 2.1). Tre ulike typer strukturkalk ble testet og sammenlignet med kalksteinsmel og ingen kalking. Alle kalktypene var i melform og ble levert av Miljøkalk AS. Strukturkalkblandingene Agri Strukturkalk H og Agri Strukturkalk B ble blandet hos Miljøkalk AS til dette forsøket. Agri Strukturkalk H er en blanding av 50% Agri Hydratkalk og 50% Agri mel (kalksteinsmel), mens Agri Strukturkalk B er en blanding av 60% Agri grov (kalksteinsmel) og 40% Stabila B 40 NFK (brent kalk). Alle %-verdiene er vekt-% i blandingene. Se vedlegg I for analyse av de ulike kalkproduktene.

Feltet hadde følgende forsøksbehandlinger:

1. Ingen kalking
2.  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  - Agri hydratkalk (415 kg/daa)
3.  $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{CaCO}_3$ ; 50/50 – Agri Strukturkalk H (510 kg/daa)
4.  $\text{CaO}/\text{CaCO}_3$ ; 40/60 - Agri Strukturkalk B (430 kg/daa)
5.  $\text{CaCO}_3$ - Agri mel (565 kg/daa)

Hver forsøksbehandling hadde tre gjentak (tre forsøksruter) og hver forsøksrute var 24 m<sup>2</sup>.



Figur 2.1. Etablering av feltforsøk i Eidsberg.

Kalkdoseringene ga omtrent lik kalsium(Ca)-tilførsel til alle kalkingsleddene. Kalkingsverdien, beregnet som CaO, var omtrent lik for alle kalkbehandlingene bortsett fra forsøksbehandling nr. 2 som hadde litt høyere kalkingsverdi (tabell 2.1).

Tabell 2.1. CaO-verdi for tilført kalk.

Forsøksledd	CaO-verdi
1. Ingen kalking	-
2. Ca(OH) <sub>2</sub>	291
3. Ca(OH) <sub>2</sub> /CaCO <sub>3</sub> ; 50/50	284
4. CaO/CaCO <sub>3</sub> ; 40/60	283
5. CaCO <sub>3</sub>	282

Kalken ble spredd på stubben 27. april 2016. Det ble harvet med skålharv tre ganger i to retninger straks etter spredning (figur 2.2). Feltet ble senere pløyd, harvet, tilsådd med Mirakel hvete og gjødslet som resten av skiftet (49 kg/daa Yara NPK 20-4-11 ved såing og to ganger overgjødsling med 11 kg/daa Yara Opti-NS). Feltet ble tresket 14. september. I 2017 ble ettervirkning av kalkingen undersøkt. Feltet ble behandlet som resten av skiftet. Vekst var Haga havre som ble tresket 20. september. Det ble tatt ut rutevise jordprøver til kjemiske jordanalyser og måling av aggregatstabilitet før kalking våren 2016, 27. september 2016 og 10. oktober 2017. Før forsøksstart ble det i tillegg tatt ut en jordprøve fra hvert av de tre gjentakene som ble analysert for kornfordeling.



Figur 2.2. Kalkproduktene ble harvet inn rett etter spredning.

De rutevise jordprøvene ble analysert etter Eurofins' standard jordanalysepakke (pH, volumvekt, glødetap, P-AL, K-AL, Mg-AL og Na-AL) og for vannløselig fosfat (P-Vann, ekstrahert med 0,0025 M CaCl<sub>2</sub>) på jordfaglaboratoriet ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU). Denne analysen gir et mål på det lettest løselige fosforet i jorda Kornfordeling ble også analysert ved NMBU



med pipettemetoden (Elonen, 1971). Tabell 2.2 viser middelværdier for utvalgte parametre for jorda på feltet ved oppstart av feltforsøket.

**Tabell 2.2. Middelværdier for kornfordeling, moldinnhold, pH, P-AL og vannløselig fosfat (P-Vann) i jorda på forsøksfeltet ved start av forsøket. Variasjon i parentes.**

Leire	Silt %	Sand	Mold %	pH	P-AL mg/100 g	P-Vann mg/kg
22 (21-23)	67 (66-68)	12 (11-13)	2,5	6,8 (6,6-7,2)	7,5 (5,1-9,9)	0,50 (0,41-0,68)

Aggregatstørrelsesfordeling ble målt på lufttørkede jordprøver. Innveide jordprøver ble siktet i en maskinell sikt med fire såld slik at en fikk følgende fraksjoner som ble veid hver for seg: <0,6 mm, 0,6-2 mm, 2-6 mm, 6-20 mm og >20 mm.

Aggregatstabilitet ble målt på de rutevise jordprøvene for aggregatfraksjonene 0,6-2 mm og 2-6 mm. Innveid aggregatfraksjon ble lagt på en sikt (0,5 mm maskevidde) og dusjet i en regnsimulator i 3 minutter. Jord som var igjen på sikten ble samlet opp og tørket. Aggregatstabiliteten ble beregnet som prosentvis andel av innveid jord som var igjen på sikten etter dusjingen.

## 2.2 Jæren

Jordprøver fra matjordlaget (0-20 cm) ble innhentet fra to feltforsøk i prosjektet «Strukturkalking – mindre klimautslipp og større avling» to år etter tilførsel av ulike kalkingsmidler. Informasjon om gjennomføring av feltforsøkene er hentet fra Höglind (2016). Feltforsøkene ble etablert våren 2014 og var lokalisert på Særheim i Klepp kommune og på Austrått i Sandnes kommune. Jordtypen på Særheim er en humusrik siltig mellomstrand (7% mold, 6% leir, 29% silt og 65% sand), mens på Austrått er det humusrik mellomleire.

Feltforsøkene hadde følgende forsøksbehandlinger:

1. Betongslam Jæren Betong 75 % ts, 1330 kg pr daa
2. Betongslam Block Berge Bygg 50 % ts, 2000 kg pr daa
3. Granulert kalk 600 kg pr daa
4. Brent kalk 300 kg pr daa
5. Ingen kalking

Hver forsøksbehandling hadde tre gjentak (tre forsøksruter).

Etter kalking ble feltet sådd med engfrøblanding i dekkvekst av bygg. På Særheim ble det gjødslet med totalt 4 kg P/år fordelt på 3 gjødslinger (vår: 1,9 kg, etter 1. slått: 1,3 kg, etter 2. slått: 0,8 kg) med NPK 18-3-15. På Austrått ble det gjødslet med total 2,3 kg P/år fordelt på 2 gjødslinger (vår: 1,4 kg, etter 1. slått: 0,9 kg) med NPK 12-2-2.

En jordprøve per behandling ble tatt ut før kalking våren 2014 og deretter høst 2014 og vår 2015. Våren 2016 ble det tatt ut en jordprøve per forsøksrute. Alle jordprøvene ble analysert etter Eurofins' standard jordanalysepakke (pH, volumvekt, glødetap, P-AL, K-AL, Mg-AL og Na-AL). I tillegg ble de rutevise jordprøvene fra 2016 analysert for fosfor ekstrahert med 0,0025 M CaCl<sub>2</sub> (P-Vann) på jordfaglaboratoriet ved NMBU.



## 3 Resultater

### 3.1 Eidsberg

#### 3.1.1 Avling

Gjennomsnittlig avling på feltet i året kalken ble tilført (2016) var 519 kg/daa i vårhvete og i 2017 var avlingen i havre 511 kg/daa. Det var ingen sikre avlingsforskjeller mellom forsøksbehandlingene (tabell 3.1). Det var heller ingen sikre forskjeller i proteininnhold og hektoliter(HI)-vekt.

**Tabell 3.1: Avling, proteininnhold og hektoliter(HI)vekt for de ulike kalkbehandlingene i 2016 og 2017. (i.s. = ikke signifikant)**

Forsøksledd	2016 Vårhvete			2017 Havre		
	Avling kg/daa	Protein %	HI-vekt kg	Avling kg/daa	Protein %	HI-vekt kg
1. Ingen kalking	503	82	17,1	485	12,2	55
2. Ca(OH) <sub>2</sub>	567	82	16,9	540	11,7	53
3. Ca(OH) <sub>2</sub> /CaCO <sub>3</sub> ; 50/50	536	82	17,1	515	12,1	55
4. CaO/CaCO <sub>3</sub> ; 40/60	511	82	17,2	525	11,9	55
5. CaCO <sub>3</sub>	479	82	17,2	490	12,4	54
p-verdi	i.s.	i.s.	i.s.	i.s.	i.s.	i.s.

#### 3.1.2 pH

Jorda på forsøkslokaliteten hadde høyere pH enn ønsket før start av forsøket (pH 6,6-7,2, tabell 3.2) og dermed egentlig ikke kalkingsbehov. Kalkingen økte pH til 7,0 -7,5 første året i middel for de enkelte behandlingene, men for strukturkalkingsproduktene gikk pH litt ned igjen året etter (tabell 3.2).

**Tabell 3.2: Middel pH for de ulike forsøksbehandlingene før kalking om våren 2016 og etter tresking i 2016 og 2017. Variasjon i parentes.**

Forsøksledd	pH		
	Vår 2016 start	Høst 2016	Høst 2017
1. Ingen kalking	6,7 (6,7-6,8)	6,7 (6,6-6,7)	6,7 (6,6-6,7)
2. Ca(OH) <sub>2</sub>	6,9 (6,8-6,9)	7,2 (6,9-7,4)	7,1 (6,9-7,3)
3. Ca(OH) <sub>2</sub> /CaCO <sub>3</sub> ; 50/50	6,9 (6,8-7,2)	7,5 (7,3-7,6)	7,2 (7,1-7,3)
4. CaO/CaCO <sub>3</sub> ; 40/60	6,8 (6,6-6,9)	7,0 (6,7-7,2)	6,9 (6,7-7,0)
5. CaCO <sub>3</sub>	6,8 (6,7-6,9)	7,2 (7,0-7,3)	7,2 (7,0-7,3)

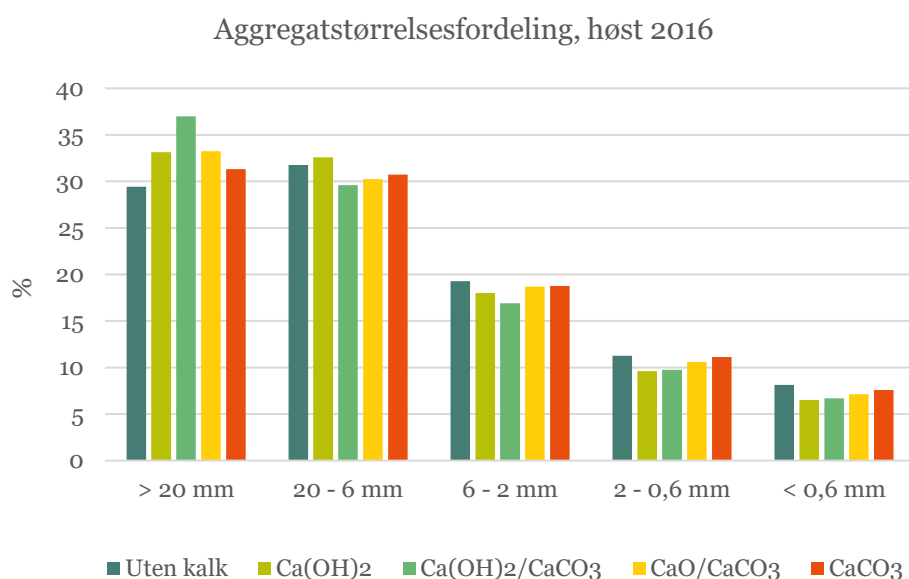
#### 3.1.3 Aggregatstørrelsesfordeling

Aggregatstørrelsesfordeling sier noe om hvordan jorda smuldrer. Mye findelt materiale eller mye grov klump er ikke gunstig. Mye finmateriale gir tilslemming av jorda ved nedbør, mens grov klump gir dårlig kontakt mellom jord og planter. Ved såing er det ønskelig at 50 % eller mer av jordaggregatene er i størrelsesfraksjonene mellom 0,6 – 6 mm. Ved uttak av jordprøver 5 dager før anlegg av feltet var jorda ikke helt smuldringstørr. Prøvene hadde mye grov klump og bare en liten andel i den ønskelige

aggregatfraksjonen 0,6 – 6 mm (tabell 3.3). Ved prøveuttak høsten 2016 var jorda smuldringstør, men likevel var det en ganske stor andel grove aggregater (figur 3.1), og bare 27 – 31 % av aggregatene var i fraksjonen 0,6 – 6 mm (tabell 3.3). Dette skyldes antagelig at jorda har et lavt innhold av organisk materiale, bare 2,5%. Det var ingen sikre forskjeller i aggregatstørrelsesfordeling mellom behandlingene.

**Tabell 3.3: Middel andel aggregater (%) i fraksjonen 0,6 – 6 mm for de ulike forsøksbehandlingene før kalking om våren 2016 og etter tresking i 2016 og 2017. Variasjon i parentes.**

Forsøksledd	Vår 2016	Høst 2016 0,6-6 mm	Høst 2017
1. Ingen kalking	7 (6-9)	31 (27-36)	20 (14-27)
2. Ca(OH) <sub>2</sub>	9 (8-9)	28 (26-29)	18 (15-19)
3. Ca(OH) <sub>2</sub> /CaCO <sub>3</sub>	11 (9-12)	27 (25-28)	16 (12-20)
4. CaO/CaCO <sub>3</sub>	9 (8-11)	29 (27-32)	18 (15-21)
5. CaCO <sub>3</sub>	9 (8-10)	30 (27-32)	19 (13-23)



**Figur 3.1: Aggregatstørrelsesfordeling for de ulike forsøksbehandlingene høsten etter kalktilførsel.**

### 3.1.4 Aggregatstabilitet

Jorda på forsøksfeltet hadde lav aggregatstabilitet. Det meste av jorda forsvant ved tre minutters dusjing under standard betingelser. Dette skyldes antagelig at arealet er bakkeplanert og at jorda derfor har lavt moldinnhold (2,5%). Aggregatstabiliteten var spesielt lav høsten 2017. Vi har ingen forklaring på hvorfor den var lavere denne høsten enn foregående høst, men det kan skyldes ulik jordtilstand, blant annet jordfuktighet, ved prøveuttak. Målingene viste ingen sikre kalkingseffekter i dette forsøket verken første eller andre høst etter kalkingen (tabell 3.4). Det er en del usikkerheter i måling av aggregatstabilitet, slik at det ikke kan legges vekt på små forskjeller i aggregatstabilitet. Vi kan ikke konkludere fra bare ett forsøk, men det er mulig at leirinnholdet i jorda på dette feltet var for lavt til å oppnå tydelig effekt på aggregatstabilitet. Jorda var en lettleire med leirinnhold på 21-23%.

Svenske forsøk har vist varierende effekt av strukturkalking på lettleire (Berglund & Blomquist 2015), mens det er større sannsynlighet for positiv effekt på jord med større leirinnhold, forutsatt riktig gjennomføring av strukturkalkingen. Ved vellykket strukturkalking bindes leirpartiklene fastere sammen ved en sementeringsprosess. Følgelig er effekten avhengig av hvor mye leire det er i jorda. En annen årsak til manglende effekt på forsøket i Eidsberg kan være at jordfuktigheten ved kalkspredningen ikke var optimal. Jorda bør være smuldringstørr, noe den ikke var i hele jordarbeidings-sjiktet. Ustabile værforhold gjorde det vanskelig å vente på optimalt tidspunkt for kalkingen. Jordtemperatur er også en faktor som påvirker effekten. Høy jordtemperatur gir bedre effekt, fordi de kjemiske reaksjonene da skjer raskere enn ved lav jordtemperatur. Tidlig høst er derfor et bedre tidspunkt for strukturkalking enn vår. Vi valgte likevel å spre kalken om våren, fordi det var usikkert om det ble tørre nok forhold etter tresking i prosjektperioden.

**Tabell 3.4: Middel aggregatstabilitet (%) for to ulike aggregatstørrelsesfraksjoner (2-6 og 0,6-2 mm) før kalking om våren 2016 og etter tresking i 2016 og 2017. (i.s. = ikke signifikant)**

Forsøksledd	Vår 2016	Høst 2016	Høst 2017	Vår 2016	Høst 2016	Høst 2017
	2-6 mm			0,6-2 mm		
1. Ingen kalking	18	23	13	20	15	9
2. Ca(OH) <sub>2</sub>	20	23	12	25	16	9
3. Ca(OH) <sub>2</sub> /CaCO <sub>3</sub> ; 50/50	23	22	12	22	13	10
4. CaO/CaCO <sub>3</sub> ; 40/60	22	23	14	26	16	12
5. CaCO <sub>3</sub>	20	20	11	28	13	8
p-verdi	i.s	i.s	i.s	i.s.	i.s	i.s

### 3.1.5 Fosfortilgjengelighet

Kalking kan også påvirke løseligheten av fosforet i jorda, og dermed risikoen for å tape løst fosfat. Fosfor i mineraljord har best løselighet ved pH rundt 6,5. Ved lavere pH bindes fosfor sterkere til jern og aluminium, mens ved høyere pH blir binding til kalsium sterkere. Før kalking av jorda på feltet i Eidsberg var pH i den øvre del av det området som regnes som optimalt med hensyn til fosfortilgjengelighet for planter (tabell 3.2). Kalking til pH nær 7 eller mer skal teoretisk gi lavere løselighet av fosforet. Resultatene viste at P-AL-verdiene gikk ned fra vår 2016 til høst 2016 for alle behandlingene unntatt for kalkbehandlingen med blanding av brent kalk (CaO) og kalksteinsmel (CaCO<sub>3</sub>) hvor P-AL-verdien gikk litt opp (tabell 3.5). P-AL-verdien gikk imidlertid ned også på forsøksrutene uten kalking, og nedgangen kan derfor ikke forklares med økt pH etter kalking. Nedgangen kan skyldes en mulig årstidsvariasjon som gir lavere P-AL rett etter vekstsesongen enn om våren før vekststart. Høsten 2017 hadde P-AL-verdiene gått litt opp igjen, unntatt for CaO/CaCO<sub>3</sub>-behandlingen som gikk ned.

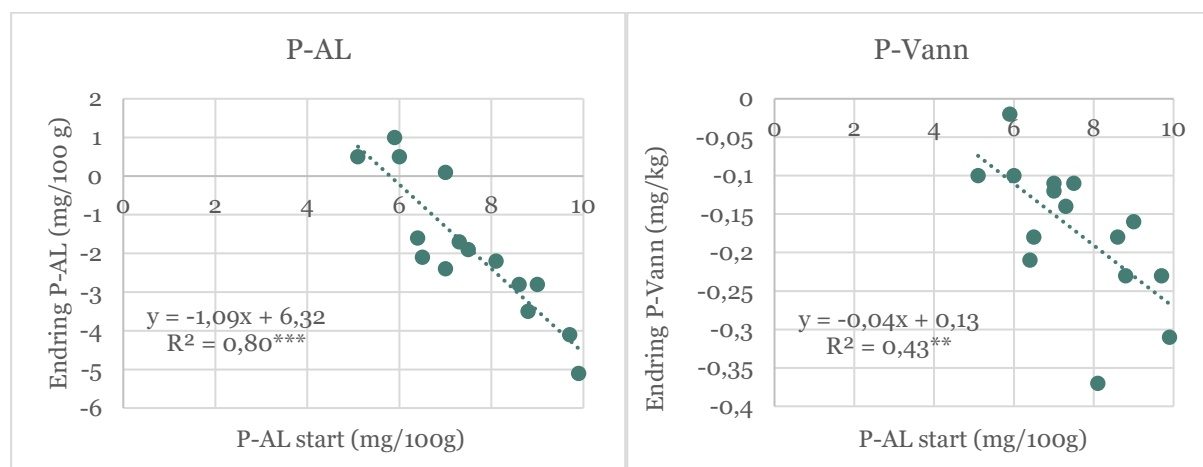
Konsentrasjonene av vannløselig fosfat var også lavere høsten 2016 enn våren 2016 for alle behandlingene, inkludert forsøksleddet uten kalking (tabell 3.5). På høsten 2017 var verdiene gått opp igjen til nivået på våren 2016, bortsett fra for CaO/CaCO<sub>3</sub>-behandlingen hvor konsentrasjonen av vannløselig fosfat var høyere enn ved de foregående prøvetakingene.

Data-analysen viste at det var P-AL-verdien på våren 2016 som hadde størst betydning for nedgangen i P-AL og vannløselig fosfat. Jo høyere P-AL-verdi våren 2016, jo større var nedgangen i P-AL og vannløselig fosfat fra våren til høsten 2016 (figur 3.2). Disse sammenhengene var statistisk signifikante. Dette kan forklares med at jo høyere P-AL-verdi, jo mer fosfor er løst bundet og kan tappes i løpet av vekstsesongen. Sannsynligvis vil verdiene øke igjen fram til våren på grunn av kjemiske likevektsprosesser, men her har vi ikke jordanalyser som kan dokumentere dette. Det var ingen sammenheng mellom endringen i pH fra våren 2016 til høsten 2017 og endringene i P-AL og

vannløselig fosfat i samme tidsrom. Det ser dermed ut til at pH i liten grad påvirket løseligheten av fosfor i denne jorda med middels til moderat høyt P-AL-nivå og god kalktilstand i utgangspunktet. Resultater fra et svensk forsøk tyder på at ved meget høy P-AL-verdi og høy pH, kan strukturkalking gi redusert konsentrasjon av løst fosfat i avrenningen (Ulén & Etana 2014). Konsentrasjonen ble signifikant redusert etter strukturkalking for jord med P-AL 14 og pH 7,1, mens denne effekten ikke ble funnet for jord med P-AL 5 og pH 6,3. Høy pH-verdi før kalking på jorda med høy P-AL-verdi, har antagelig ført til at en del av det løselige fosforet ble bundet til kalsium fra kalken og dermed førte til lavere konsentrasjon av løst fosfat i avrenningen.

**Tabell 3.5: Middelerverdier for P-AL og vannløselig fosfat (P-Vann) våren (V) 2016 før kalking og høst (H) 2016 og 2017. Variasjon ved oppstart av forsøket i parentes.**

	P-AL (mg/100 g)			P-Vann (mg/kg)		
	V 2016	H 2016	H 2017	V 2016	H 2016	H 2017
1. Ingen kalking	6,6 (5,1-7,5)	5,6	5,7	0,48 (0,41-0,60)	0,36	0,47
2. Ca(OH) <sub>2</sub>	8,0 (6,4-9,0)	5,6	6,1	0,49 (0,45-0,54)	0,31	0,56
3. Ca(OH) <sub>2</sub> /CaCO <sub>3</sub>	8,9 (8,1-9,7)	5,6	6,4	0,58 (0,47-0,68)	0,30	0,60
4. CaO/CaCO <sub>3</sub>	6,3( 5,9-7,0)	6,8	6,3	0,50 (0,39-0,59)	0,42	0,71
5. CaCO <sub>3</sub>	7,8 (6,5-9,9)	4,6	5,8	0,47 (0,41-0,59)	0,27	0,48



**Figur 3.2: Sammenheng mellom P-AL våren 2016 (start) og endring i P-AL (venstre figur) og P-Vann (høyre figur) fra våren 2016 til høsten 2016.**

## 3.2 Jæren

### 3.2.1 Fosfortilgjengelighet

På begge feltforsøkene på Jæren (Særheim og Austrått) var pH i jorda ganske lav i utgangspunktet, i middel pH 5,5 på Særheim og pH 5,7 på Austrått (tabell 3.6 og 3.7). P-AL var på middels nivå på Særheim og meget høyt nivå på Austrått. Behandlingene med brent- og granulert kalk ga den største pH-økningen i jorda (tabell 3.6 og 3.7).



Tabell 3.6: Verdier for pH og P-AL våren 2014 før kalking og etter kalking (vår 2015 og vår 2016) på Særheim. Middelverdier for P-Vann våren 2016.

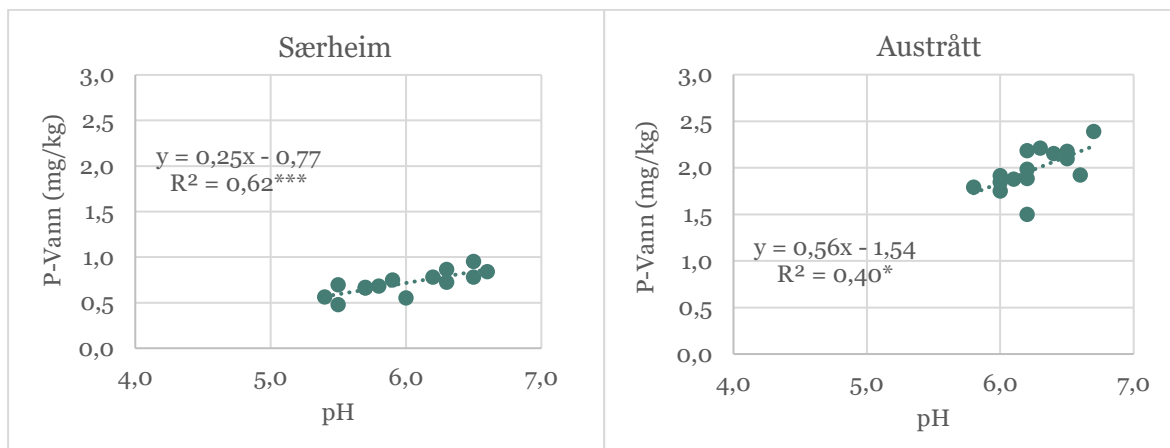
Særheim	Vår 2014		Vår 2015		Vår 2016		
	pH	P-AL mg/100g	pH	P-AL mg/100 g	pH	P-AL mg/100g	P-Vann mg/kg
Betongslam Jærbetong	5,5	6,5	5,5	6,5	5,7	6,5	0,64
Betongslam Block Berge	5,4	6,4	5,7	6,3	5,8	6,1	0,63
Granulert kalk	5,6	6,1	6,7	5,5	6,3	6,1	0,81
Brent kalk	5,4	6,9	6,8	6,4	6,5	6,0	0,84
Ingen kalk	5,6	6,2	5,3	5,9	5,5	6,5	0,64

Tabell 3.7: Verdier for pH og P-AL våren 2014 før kalking og etter kalking (vår 2015 og vår 2016) på Austrått. Middelverdier for P-Vann våren 2016.

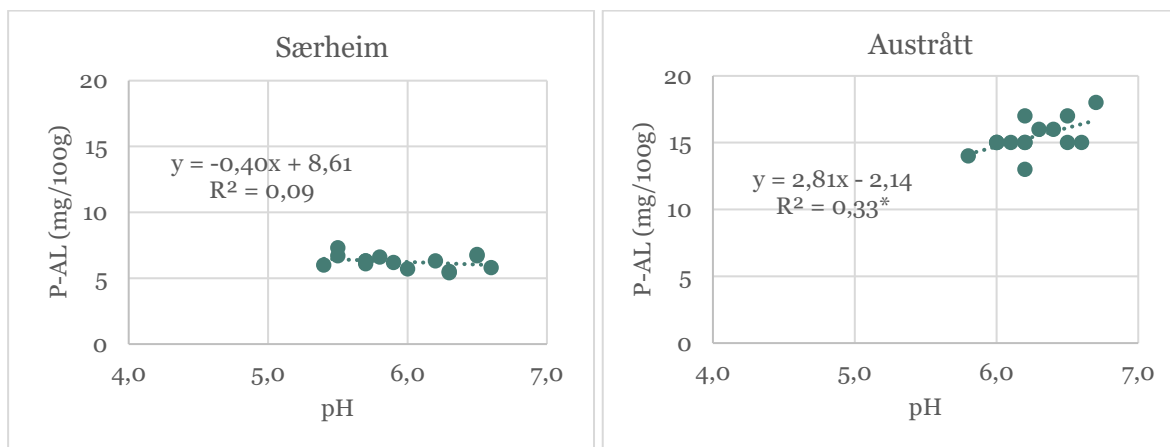
Austrått	Vår 2014		Vår 2015		Vår 2016		
	pH	P-AL mg/100g	pH	P-AL mg/100g	pH	P-AL mg/100g	P-Vann mg/kg
Betongslam Jærbetong	5,7	17	6,3	15	6,1	16	2,0
Betongslam Block Berge	5,7	19	6,7	18	6,2	15	2,0
Granulert kalk	5,7	17	6,7	17	6,4	15	1,9
Brent kalk	5,8	18	6,8	19	6,6	17	2,2
Ingen kalk	5,7	18	5,9	16	5,9	15	1,8

De rutevise jordprøvene tatt ut to år etter kalking viste en signifikant positiv sammenheng mellom pH og konsentrasjonen av vannløselig fosfor (figur 3.3). Jo høyere pH-verdi, jo høyere var konsentrasjonen av vannløselig fosfor. På Austrått var det også en signifikant positiv sammenheng mellom pH og P-AL (figur 3.4), mens på Særheim var det ingen tydelig sammenheng mellom pH og P-AL. På disse feltene var pH ved start av forsøket lavere enn det pH-området som er optimalt for fosfortilgjengeligheten. Kalking førte dermed til en økning i løselighet av fosforet.

Resultatene viser også at økningen i konsentrasjonen av lettløselig fosfor med økende pH var større på Austrått med meget høyt P-AL-nivå enn på Særheim med middels P-AL-nivå. Det kan tyde på at kalkingseffekten på lettløselig fosfor er større på jord med høye P-AL-verdier enn på jord med lavere P-AL-verdi hvor fosforet er sterkere bundet.



**Figur 3.3:** Sammenheng mellom pH og P-Vann på Særheim og Austrått to år etter kalking.



**Figur 3.4:** Sammenheng mellom pH og P-AL på Særheim og Austrått to år etter kalking.

## 4 Vurderinger ved strukturkalking

### 4.1 Jordstruktur

Strukturkalking er et tiltak for å gi en bedre og mer stabil jordstruktur på leirjord. Strukturkalking er kalking med reaktiv kalk (lesket eller brent kalk) som fører til at leirpartiklene bindes fastere sammen enn med vanlig jordbrukskalk (se forklaring i innledningskapitlet).

Det er flere faktorer som bestemmer effekten av strukturkalking. I tillegg til leirinnholdet, påvirker jordfuktighet, struktur og temperatur ved kalkingstidspunktet resultatet av strukturkalkingen.

Dessuten har kalkmengde og tilførselsmetode betydning for resultatet. Vurdering av enkeltfaktorene nedenfor er basert på Berglund & Blomquist (2015) der ikke annet er angitt.

#### 1) *Jordas leirinnhold*

Siden det er leirpartiklene som hovedsaklig er involvert i prosessene ved strukturkalking, er effekten avhengig av hvor mye leire det er i jorda. Svenske forsøk har vist effekt av strukturkalking på lettleire, men effekten var varierende ved dette leirinnholdet. Det er derfor større sjanse for å oppnå effekt av strukturkalking på mellomleire (leirinnhold (25-40%) og stiv leire (leirinnhold >40%).

#### 2) *Jordas innhold av organisk materiale*

Det organisk materialet i jorda kan redusere effekten av strukturkalking, fordi organiske forbindelser kan gi belegg på en del av leirpartiklene, og dermed redusere kontakten mellom kalken og leirpartiklene (Keiblinger m.fl., 2016). Det er derfor sannsynlig at det er jord med et lavt innhold av organisk materiale som har størst nytte av strukturkalking.

#### 3) *Jordfuktighet ved kalkspredning*

Jorda bør være smuldringstørr på kalkingstidspunktet. Hvis jorda er for fuktig, kan effekten utebli.

#### 4) *Jordtemperatur*

Ved strukturkalking er det kjemiske prosesser som gir effekten på aggregatstabilitet. Jordtemperatur er derfor også en faktor som påvirker effekten. Effekten blir bedre ved høy jordtemperatur enn ved lav temperatur. I de svenske rettledningene angis august som et gunstig tidspunkt.

#### 5) *Kalkmengde*

Nødvendig kalkmengde for å oppnå effekt er avhengig av jordas leirinnhold. Jo høyere leirinnhold, jo høyere må kalkmengden være for å oppnå effekt. Strukturkalk som brukes i praksis i Sverige er blandingsprodukter av kalksteinsmel og reaktiv kalk (vanligvis lesket kalk), med blandingsforhold på ca 15 % reaktiv kalk og 85 % kalksteinsmel (beregnet på CaO-basis). Ved bruk av blandingsprodukt anbefales tilførsel på cirka 500 kg/daa på leirjord med 20-40 % leire.

#### 6) *Tilførselsmetode*

Kalken må blandes inn i jorda kort tid etter spredning, og det må ikke komme regn på kalken før den blandes inn. Dette er viktig for at kalken skal reagere i jorda og ikke på overflaten. For best mulig effekt av strukturkalkingen må innblandingen gjøres grundig med harv. Det må harves minst to ganger i ulike retninger.

## 4.2 Fosforbinding

Jordas pH påvirker løseligheten av fosforet. I mineraljord er løseligheten best ved pH cirka 6,5. Ved lavere pH bindes fosfor sterkere til jern og aluminium, mens ved høyere pH blir binding til kalsium sterkere. Kalking kan derfor gi både økt og redusert løselighet av fosforet avhengig av jordas pH før kalking:

- pH-økning til cirka 6,5 → økt løselighet av fosfor
- pH-økning fra cirka 6,5 → redusert løselighet av fosfor

Forventet pH-effekt på løseligheten av fosfor ble bekreftet av resultatene fra kalkingsforsøkene på Jæren. Jorda hadde pH < 6 før kalking, og resultatene viste at jo høyere pH-verdi i jorda etter kalking, jo høyere var konsentrasjonen av vannløselig fosfat. Dette gjaldt både for jord med meget høy P-AL-verdi (P-AL 15-17) og middels P-AL-verdi (P-AL 6,0-6,5). Kalkingen førte til pH økning fra 5,9 opp til 6,6 på den ene lokaliteten og fra 5,5 opp til 6,5 på den andre lokaliteten. Kalkingen økte dermed jordas pH til det nivået hvor løseligheten av fosfor er høyest, og forklarer økt konsentrasjon av vannløselig fosfat. Økningen i vannløselig fosfat var størst for jorda med høy P-AL-verdi. Det kan tyde på at kalkingseffekten er påvirket av hvor sterkt fosforet er bundet i jorda. Resultatene til Ulén og Etana (2014) bekrefter også forventet effekt av kalking på fosforbinding. De fant at strukturkalking reduserte avrenning av løst fosfat på jord med høy P-AL-verdi (P-AL 14) og høy pH (pH 7,1). På jord med lav P-AL-verdi (P-AL 4-5) og pH 6,3 ble det ikke funnet tilsvarende kalkingseffekt på avrenning av løst fosfat.

Resultatene fra forsøksfeltet i Eidsberg viste imidlertid ingen sammenheng mellom endringen i pH etter kalking og endringene i vannløselig fosfat. Her var pH i overkant av optimalområdet for løselighet av fosforet før kalking (pH 6,7-6,9) og kalking økte pH opp mot 7,5. Dette skulle tilsi at løseligheten av fosfor skulle gå ned etter kalking, men kalkingen hadde likevel liten effekt på løseligheten av fosfor i dette forsøket. Dette viser at jordprosesser er komplekse, og at det derfor forekommer avvik fra forventet effekt.



## 5 Konklusjon

Det er mange faktorer det må tas hensyn til for å oppnå god effekt på aggregatstabilitet av strukturkalking. Manglende effekt på feltforsøket som er presentert i denne rapporten kan skyldes et litt ugunstig spredetidspunkt; vår med lav jordtemperatur og litt for høy jordfuktighet. Vi kan derfor ikke konkludere med at strukturkalking ikke har effekt på aggregatstabilitet i norsk leirjord ut i fra dette ene forsøket. Det er behov for flere forsøk før strukturkalking kan anbefales eller avskrives som en metode for å redusere erosjon og fosfortap.


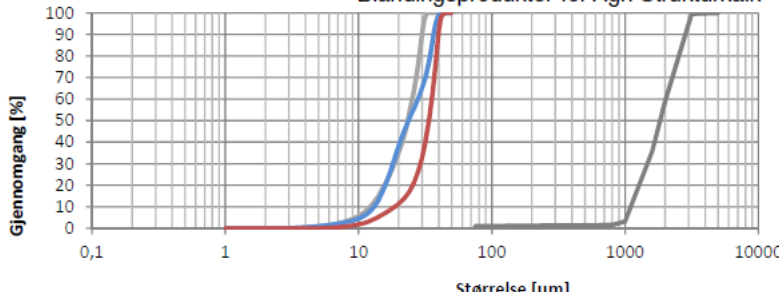
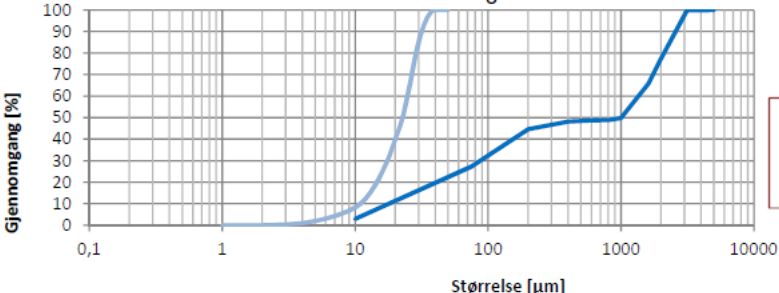
Strukturkalking (og vanlig kalking) kan også påvirke tapet av løst fosfat. Det kan gi både økt og redusert løselighet av fosforet avhengig av jordas pH før kalking.

# Referanser

- Berglund, K. & Blomquist, J. 2015. Strukturkalkning – bra för både mark och miljö. Praktiske Råd, Greppa näringen 23/2015. 4 s.
- Berglund, K., Etana, A., Simonsson, M., Blomquist, J. & Börjesson, G. 2017. Är strukturkalkning lönsam för både lantbrukaren och miljön? Studier av de långsiktiga effekterna av strukturkalkning på markstruktur och risken för fosforförluster. Slutrapport, SLF Projnr H1233136. 10 s.
- Blomquist, J., Simonsson, M., Etana, A. & Berglund, K. 2018. Structure liming enhances aggregate stability and gives varying crop responses on clayey soils. *Acta Agriculturae Scandinavica, section B – soil and plant science* 68, 311-322.
- Elonen, P. 1971. Particle-size analysis of soil. *Acta Agralia Fennica* 122, 1-122.
- Höglind, M. 2016. Strukturkalkning – mindre klimautslipp og større avling. Prosjektrapport Landbruksdirektoratet. 5 s.
- Jordbruksverket 2019. Rekommendationer för gödning och kalkning 2019. Rapport JO 18-18. 108 s.
- Keiblinger, K.M., Bauer, L.M., Deltedesco, E., Holawe, F., Unterfrauner, H., Zehetner, F. & Peticzka, R. 2016. Quicklime application instantly increases soil aggregate stability. *Int. Agrophys.* 30, 123-128.
- Svanbäck A., Ulén, B. & Etana, A. 2014. Mitigation of phosphorus leaching losses via subsurface drains from a cracking marine clay soil. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 184, 124-134.
- Ulén, B. & Etana, A. 2014. Phosphorus leaching from clay soils can be counteracted by structure liming. *Acta Agriculturae Scandinavica, section B – soil and plant science* 64, 5 425-433.

# Vedlegg

Vedlegg I. Analyserapport for kalkproduktene som ble brukt på feltforsøket i Eidsberg.

Analyserapport (AR-MKA-16-0055)								
<b>Produkt :</b>		Agri Hydratkalk VK	Oppd-001543	til NIBIO	Miljøkalk AS	 Olav Ingstadsvei 5 1309 Rud Telefon: +47 67152000		
		Agri Mel	Oppd-001544	til NIBIO				
<b>Blandingsprodukt:</b>		Agri Grov	Oppd-001547			<b>Analyserapportnr:</b> 16-0055 <b>Oppdragsgiver :</b> MKA <b>Dato :</b> 10.08.16 <b>Forfatter :</b> Kjell Kvam		
		Stabila B 40 NFK	Oppd-001548					
<b>Metode:</b>		Agri Strukturkalk H	Oppd-001545	til NIBIO				
		Agri Strukturkalk B	Oppd-001546	til NIBIO				
		Kjemi	WD-XRF intern	NV	NS EN 12945			
		Finhet	Sikting NS-EN 933-1		Microtrac intern			
		Vanninnhold	NS-EN 1097-5					
Metode	Parameter	Enhet	Agri Hydratkalk	Agri Mel	Agri Grov	Stabila B 40 NFK	Agri Strukturkalk H	Agri Strukturkalk B
Kjemi	MgO	[%]	0,47	0,24	0,22	0,63	0,31	0,43
	CaO	[%]	73,6	55,4	55,1	83,90	60,9	69,50
	SiO <sub>2</sub>	[%]	0,64	0,31	0,29	0,70	0,41	0,50
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	[%]	0,34	0,07	0,14	0,25	0,15	0,20
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	[%]	0,033	0,062	0,072	0,29	0,053	0,18
	MnO	[%]	0,001	0,004	0,004	0,009	0,003	0,007
	K <sub>2</sub> O	[%]	0,019	0,042	0,050	0,185	0,035	0,118
	Na <sub>2</sub> O	[%]	0,212	0,01	0,011	0,889	0,071	0,450
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	[%]	0,004	0,004	0,005	0,338	0,004	0,172
	TiO <sub>2</sub>	[%]	0,004	0,008	0,009	0,032	0,007	0,021
	SO <sub>3</sub>	[%]	0,036	0,019	0,020	0,950	0,024	0,485
Finhet	d10 %	[µm]	2,0	2,3	1200	6,1	1,6	600
	d50 %	[µm]	14,1	14,6	1800	83,8	12,3	1000
	d90 %	[µm]	43,5	138,5	2800	236,6	58,5	2500
Normaliserende verdi (NV)		[-]	-	55,4	-	-	-	-
Vanninnhold	Fukt	[%]	0,56	-	2,30	-	-	-
<b>Finhet</b>								
<p>Blandingsprodukter for Agri Strukturkalk</p> 								
<p>Agri Strukturkalk</p> 								
					10.08.16	Kjell Reidar Kvam		
					Dato	Godkjent		

Analyseresultatene gjelder kun denne analyserapporten og er bare gyldig ved godkjenning. Kopiering av analysen må godkjennes.

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.