







## Forord

Denne masteroppgaven ble utført ved Norges miljø og biovitenskapelige universitet i Ås og teller 30 studiepoeng.

Bruk av steinmel i landbruket er et meget spennende tema, og i tråd med dagens globale miljøsatsing. Etter hvert som verdens befolkning vokser og ressursene minker, blir det viktigere å tenke på nye og mer bærekraftige løsninger for global matproduksjon. Forskning på bruk av steinmel i landbruk er derfor ikke bare interessant, men også viktig for den fremtidige utviklingen innen jordbruket. Denne masteroppgaven tar for seg bruk av steinmel som gjødslingsmiddel, og belyser viktige faktorer og prosesser som påvirker forvitring av mineraler og frigivelse av næringsstoffer. I tillegg er det gjennomført et utvaskingsforsøk for å se på pH-effekten og næringsstoffrigivelsen fra ulike steinmeltyper tilført jord.

Jeg vil rette en stor takk til mine veiledere Michael Heim og Marina Azzaroli Bleken, som har vært til stor hjelp under hele prosessen. Retter også en takk til Avdelingsingeniør Trygve Fredriksen, overingeniør Solfrid Lohne og senioringeniør Karl Andreas Jensen for den praktiske gjennomføringen av forsøket og medfølgende laboratoriearbeid. Ønsker også å takke professor Tore Krogstad for god veiledning både under laboratoriearbeidet og ved tolking av resultater.

Til slutt vil jeg takke både familie og venner for god støtte gjennom en lang og spennende prosess. Spesielt mine foreldre og min samboer som til en hver tid har gitt meg gode råd og psykisk støtte.

Oslo, 30. Mai 2014

Cathrine Eckbo

## Sammendrag

Bruk av utvalgte steinmeltyper i jordbruk er et mulig alternativ til dyr lett-løselig kunstgjødning, spesielt i økologisk landbruk der kunstgjødning ikke er tillatt. De ulike steinmeltypene inneholder flere av de næringsstoffene som er viktig for planten, i tillegg til å avgi næringsstoffene over lang tid som kan redusere antall gjødslinger per år og hindre forurensing av vann og vassdrag fra jordbruksavrenning. Forvitringen av steinmel er avhengig av blant annet mineralsammensetting, jord-pH, kornstørrelse og biologisk aktivitet i jorda.

Formålet med dette forsøket var å se på pH-effekten og frigjøringen av ulike næringsstoffer fra fem silikatrike steinmeltyper og et karbonat i to forskjellige jordtyper. Steinmeltypene som ble brukt var larvikitt (grov og fin kornstørrelse), basalt, karbonatitt og Altagro, da disse, i forskjellig grad, er rike på viktige næringsstoffer som kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg) og fosfor (P). Agri Dol ble også testet, da dette er et vanlig kalkingsmiddel som i tillegg inneholder en del Mg. De to jordtypene var podsol og leirjord, da disse har ulike kjemiske og fysiske egenskaper i tillegg til å være vanlige jordtyper i Norge. Noen leirjordprøver ble tilsatt kaliumklorid (KCl) og noen podsolprøver ble tilsatt kaliumfosfat. Metoden som ble brukt var et utvaskingsforsøk der sylindre tilsatt like mengder jord og steinmel ble ekstrahert med kunstig regnvann (én uke) og sitronsyre (to uker). Det ble deretter målt pH i ekstraksjonsvæsken, og prøver ble sendt til ICP-analyse.

Resultatet av utvaskingsforsøket viste at pH var viktig for utvasking av flere av elementene, i tillegg til at frigjøringen av de fleste næringsstoffene var størst i podsol. Agri Dol og karbonatitt gav omtrent samme pH-økning i begge jordtypene, i tillegg til å redusere tilgjengeligheten av P i leirjord og øke tilgjengeligheten av P i podsol. Av de ulike steinmelene var det Altagro som gav mest P og K, men den størst utvasking av K kom fra KCl. Agri Dol var den behandlingen som frigjorde mest Mg og Ca, men på tross av dette økte den ikke utvasking av andre kationer som følge av ionebytting.

Med tanken på bruk av steinmel som gjødning i landbruket, er dette sannsynligvis best egnet til ekstensivt og økologisk landbruk på næringsfattig jord. For å få et klarere bilde på steinmelenes effekt på plantevekst, bør utvaskingsforsøket følges opp med langvarige vekstforsøk.

## Abstract

The use of selected rock powders in agriculture is a possible replacement for conventional soluble fertilizer, especially in organic farming where conventional fertilizers are not allowed. Rock powders contain several nutrients important for plant growth, which are released very slowly so that the number of fertilizations and runoff to near by waters might be reduced. Weathering of minerals is strongly dependent on mineral composition, soil pH, grain size and biological activity in the soil.

The purpose of this experiment was to look at the pH-effect and nutrient release from five different silicate-rich rock powders and one carbonate rock, in two different soils. The rock powders that were tested was larvikite (coarse and fine grained), basalt, carbonatite and Altagro, that all contain important nutrients like potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg) and phosphorous (P). Agri Dol, which is a common liming material that contains a lot of Mg, was also tested. The two different soils, podzol and clay soil, are common soils in Norway and were chosen because of their different physical and chemical properties. Some of the clay soil treatments were added potassium chloride (KCl) and some of the podzol treatments were added potassium phosphate (K-phosphate). The method used was a leaching trial where cylinders, added the same amount of soil and rock powder, were extracted with artificial rain (one week) and organic acid (two weeks). pH was measured in the extraction, and samples were sent for ICP-analysis.

The results of the leaching trial showed that pH was very important for leaching of several of the nutrients, and that nutrient release was greatest in podzol. Agri Dol and carbonatite gave approximately the same pH-increase in both soils, in addition to reducing P availability in clay, and increasing P availability in podzol. Of the different rock powders Altagro gave the most P and K. The greatest leaching of K came from the treatments added KCl. Agri Dol was the treatment that released the most Mg and Ca, but despite this it did not increase leaching of other cations as a result of cation exchange.

The use of rock powder in agriculture is best suited for extensive and organic farming on low-nutrient soil. To better understand rock powders effect on plant growth, this leaching trial should be followed up by long-term growth trials.

# Innholdsfortegnelse

## FORORD

## SAMMENDRAG

## ABSTRACT

<b>1. INNLEDNING.....</b>	<b>1</b>
<b>2. FORVITRING AV BERGARTER OG MINERALER.....</b>	<b>4</b>
2.1 BERGARTER .....	4
2.2 MINERALER .....	5
2.3 FORVITRING.....	8
2.3.1 Fysisk forvitring .....	8
2.3.2 Kjemisk forvitring.....	9
2.4 ULIKE JORDTYPER.....	11
2.4.1 Podsol.....	11
2.4.2 Leirjord .....	13
<b>3. ULIKE GJØDSLINGSMETODER .....</b>	<b>14</b>
3.1 KONVENSJONELT GJØDSEL .....	14
3.2 STEINMEL SOM GJØDSLINGSMIDDEL .....	15
3.2.1 Kalium .....	17
3.2.2 Fosfor .....	19
3.2.3 Magnesium og kalsium .....	21
3.2.4 Svovel.....	22
3.2.5 Mikronæringsstoffer og sporelementer .....	22
3.2.6 Faktorer som påvirker gjødslingseffekten.....	23
3.3 STEINMEL SOM PH-FORBEDRINGSMIDDEL .....	27
3.4 STEINMEL SOM JORDFORBEDRINGSMIDDEL .....	27
<b>4. MATERIALER .....</b>	<b>28</b>
4.1 VALGTE STEINMELTYPER.....	28
4.1.1 Basalt.....	28
4.1.2 Larvikitt.....	30
4.1.3 Karbonatitt og Altagro .....	31
4.1.4 Agri Dol.....	32
4.2 VALGTE JORDTYPER .....	34
<b>5. METODE .....</b>	<b>35</b>

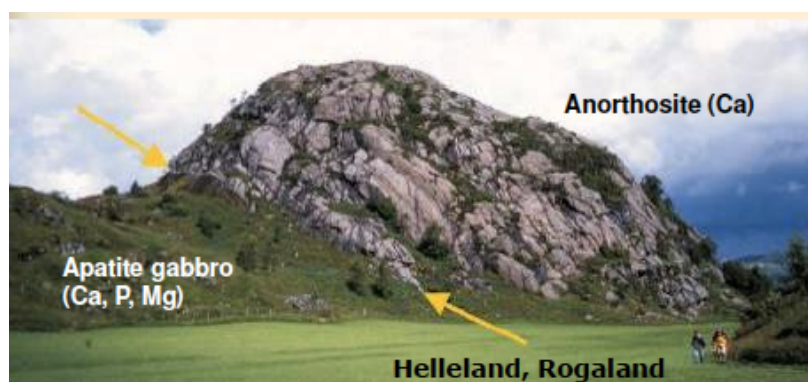
5.1 KORNFORDELING .....	35
5.2 KJEMISKE ANALYSER .....	38
5.3 PH FORSØK .....	39
5.4 UTVASKINGSFORSØK .....	39
5.5 STATISTISK ANALYSE .....	42
<b>6 RESULTATER .....</b>	<b>43</b>
6.1 STEINMEL OG JORDANALYSER .....	43
6.2 PH-FORSØK .....	48
6.2.1 Før utvasking .....	48
6.2.2 pH i ekstraksjonsvæskene .....	50
6.3 UTVASKINGSFORSØK .....	52
6.3.1 Agri Dol .....	52
6.3.2 Karbonatitt .....	52
6.3.3 Altagro .....	53
6.3.4 Larvikitt .....	53
6.3.5 Basalt .....	53
6.3.6 Kaliumklorid (KCl) .....	53
6.3.7 Kaliumfosfat (K-fosfat) .....	54
6.3.8 Frigjort mengde av næringsstoffer fra steinmel tilsatt podsol og leirjord .....	54
<b>7. DISKUSJON .....</b>	<b>59</b>
7.1 PH .....	59
7.2 UTVASKINGSFORSØKET .....	59
7.2.1 Kalsium og magnesium .....	60
7.2.2 SVOVEL .....	61
7.2.3 Kalium, natrium og barium .....	61
7.2.4 Fosfor .....	63
7.2.5 Jern, Aluminium og Silisium .....	64
7.3 FEILKILDER .....	65
<b>8. KONKLUSJON .....</b>	<b>66</b>
<b>LITTERATURLISTE .....</b>	<b>69</b>
<b>VEDLEGG 1: MINERALOVERSIKT .....</b>	<b>75</b>
<b>VEDLEGG 2: KORNSTØRRELSESFORDELING STEINMEL OG JORD (KUMULATIVT I %) .....</b>	<b>77</b>
<b>VEDLEGG 3: INNHOLD I KONSTRUERT SALT VANN .....</b>	<b>77</b>
<b>VEDLEGG 4: OVERSIKT OVER SØYLER OG EKSTRAKSJONER .....</b>	<b>78</b>
<b>VEDLEGG 5: UTVASKINGSVÆSKE I REGNVANN OG SYREEKSTRAKSJONEN .....</b>	<b>81</b>

<b>VEDLEGG 6: SIGNIFIKANTE FORSKJELLER I UTVASKET MENGDE AV DE ULIKE ELEMENTENE</b> .....	<b>85</b>
<b>VEDLEGG 7: GJENNOMSNTTLIG UTVASKET MENGDE AV CA, MG, K, P, NA, FE, S, AL OG SI I MG OG BA I <math>\mu</math>G FRA REGNVANN- OG SYREEKSTRAKSJONEN <math>\pm</math> STANDARDVVIK.....</b>	<b>92</b>
<b>VEDLEGG 8: MENGDE VASKET UT AV HVER TILSETNING .....</b>	<b>93</b>

## 1. Innledning

Etterhvert som verdens populasjon vokser og behovet for mat øker er det tydelig at etterspørselen etter viktige næringsstoffer som fosfor og kalium har hatt en eksplosiv økning. Det er få nye område som kan utnyttes til jordbruk i dag, og man er derfor avhengig av å bruke eksisterende jordbruksarealer til å dyrke mer mat på. Dette gjør at etterspørselen etter plantenæringsstoffer øker mer enn verdens befolkning (Gough & Herring 1993). For at plantene skal ha optimal vekst må jorda inneholde nok plantetilgjengelige makro- og mikronæringsstoffer, i tillegg til nok vann og oksygen. Det kan være forskjellige grunner til at jorda ikke møter disse kravene. Noen jordtyper har lite næring fordi de ligger over næringsfattige bergarter mens andre er næringsfattige grunnet klima eller menneskelig påvirkning som for eksempel langvarig dyrking (Van Straaten 2006). Konstant høsting krever konstant påfyll av næringsstoffer, og de naturlige prosessene i jorda som fører til forvitring av mineraler er ikke raske nok til å tilføre nok næring til den årlige matproduksjonen. I tropene fører det varme og fuktige klimaet over lange tidsperioder til at jordsmonnet ofte er sterkt utvasket og dermed meget næringsfattige. Lavt innhold av organisk materiale og begrenset tilførsel av næringsstoffer fører derfor til at denne jorda er veldig vanskelig å bruke til matproduksjon. Kun for å møte gjødslingskravene i Afrika må man doble verdens produksjon av lettløselig K-gjødsel, men siden prisen på denne typen gjødsel har økt mye de siste 10 årene er ikke dette et alternativ for fattige utviklingsland (Manning 2010).

Et alternativ til dyr industrigjødsel kan være knust stein, såkalt steinmel. Figur 1 er et tydelig eksempel på hvordan næringsrik berggrunn kan ha en effekt på vegetasjonen over. Den mekaniske og kjemiske forvitringen av mineralene i bergarten til venstre danner et dekke av forvittringsmateriale som tilfører plantenæring som Fosfor, magnesium og kalsium som fører til et artsrikt vegetasjonsdekke i området.



**Figur 1: Næringsrik berggrunn i Helleland, Rogaland som påvirker vegetasjonen. Apatitt-magnetitt holdig noritt til venstre og berggrunn uten apatitt og magnetitt til høyre. Foto: G. Meyer, NGU.**

Steinmel er finknust mineral- og bergartsmateriale med en kornstørrelse på mindre enn 4 mm, der nedkusingen fører til større spesifikk overflate som igjen fører til at næringsstoffene i mineralet blir mer tilgjengelig (Heim et al. 2012). Steinmel kan inneholde opp til fem av de seks makronæringsstoffene (ikke nitrogen (N)) som er helt essensielle for plantevekst, i tillegg til flere viktige mikronæringsstoffer. Tidligere forskning viser at biotittglimmerrike karbonatholdige bergarter frigir lettest plantenæringsstoffer som K, Mg og Ca med best effekt på sur næringsfattig jord (Bakken et al. 1997b; Bakken et al. 1997a; Bakken et al. 2000). I dag er det vanlig å bruke steinmel av kalkstein og dolomitt som kalkingsmiddel i jordbruket, som i tillegg til å øke pH, også tilfører Ca og Mg og reduserer skadelig Aluminium ( $Al^{3+}$ ).

I denne oppgaven er det blitt gjennomført et utvaskingsforsøk med fire forskjellige typer steinmel blandet i to ulike jordtyper. Hensikten med forsøket var å finne ut hvilke næringsstoffer som frigjøres av steinmelet, og på den måten se i hvilken grad disse næringsstoffene vil være tilgjengelig for plantene. Hovedelementene som ble analysert var plantenæringsstoffene magnesium (Mg), kalsium (Ca), kalium (K), fosfor (P), Svovel (S) og jern (Fe) i tillegg til Aluminium (Al), Natrium (Na) og silisium (Si) som alle sier noe om forvitningsgraden til de tilførte steinmelene. Det er også blitt sett på utvasket mengde barium (Ba), da dette er et grunnstoff som kan være helseskadelig for både dyr og mennesker ved biologisk tilgjengelig form, og som finnes i større mengder i flere av steinmeltypene (Llugany et al. 2000).

De fem steinmeltypene larvikitt grov, larvikitt fin, karbonatitt, Altagro og basalt ble valgt ut da tidligere undersøkelser har vist at disse forvitrer relativt raskt og løser ut en del næringsstoffer. I tillegg ble det tilsatt dolomittkalk i noen av behandlingene, som er et kalkingsmiddel som brukes i dagens landbruk. Jordtypene podsol og leirjord ble valgt da dette er to vanlige jordtyper i Norge med veldig forskjellige fysiske og kjemiske egenskaper. I tillegg til å sende jord- og



steinmelprøvene til kjemisk analyse (totalkjemi og ekstraksjonsanalyse) ble det også målt pH i alle utvaskingsprøvene for å se hvilken effekt steinmelet hadde på pH i jorda. Følgende hypoteser ble testet:

1. For å oppnå samme pH-heving trengs det mer silikatrikt steinmel enn Agri Dol.
2. I forhold til Agri Dol, som hovedsakelig vil bidra med Ca og Mg, vil utvalgte steinmeltyper bidra med flere kationer som er viktige for planten.
3. Frigjøring av kationer fra jord tilsatt utvalgte silikatrike steinmeltyper er langsommere enn fra jord tilsatt Agri Dol.
4. Rask frigjøring av Ca fra Agri Dol kan være årsaken til utvasking av andre kationer fra jord.
5. De valgte silikatene frigjør K langsommere og lengere enn lettløselig K-gjødsel.
6. Kaliumklorid (KCl) tilsatt jord fortrenger andre kationer i jorda.
7. P er mindre tilgjengelig ved tilsetning av Agri Dol enn ved tilsetning av silikater.

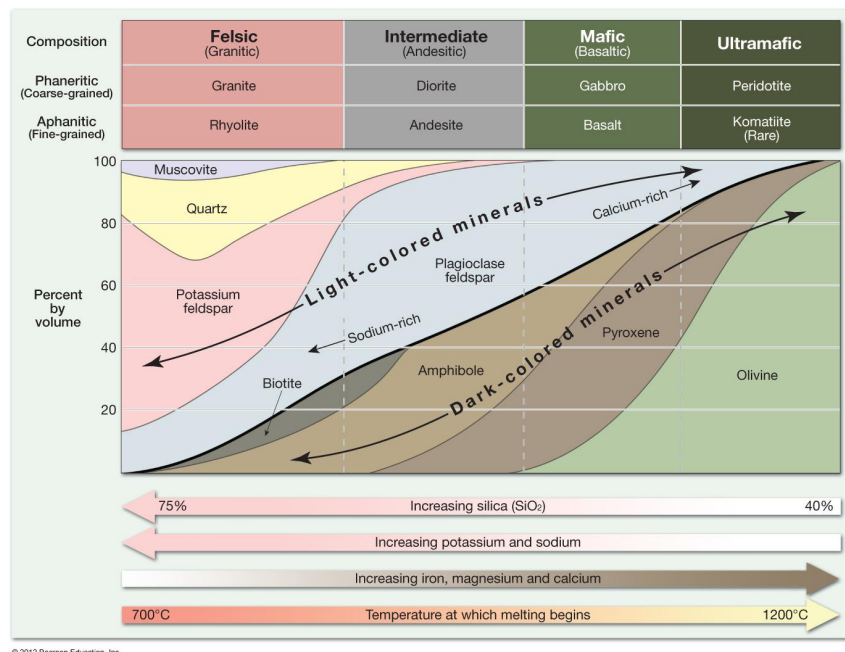
## 2. Forvitring av bergarter og mineraler

### 2.1 Bergarter

Berggrunnen er delt inn i tre hovedgrupper av bergarter basert på dannelses:

- Magmatiske
- Sedimentære
- Metamorfe

Magmatiske bergarter dannes ved størkning/krystallisering av magma enten på jordoverflaten (dagbergarter), på større dyp (dypbergarter) eller på vei opp til jordoverflaten i sprekker (gangbergarter) (Lutgens et al. 2012). Det er avkjølingshastigheten som bestemmer størrelsen på mineralkornene, der raskt krystalliserte bergarter inneholder finkornede mineraler og sent krystalliserte bergarter inneholder store mineralkorn (Harley & Gilkes 2000). Magmatiske bergarter består hovedsakelig av silikatmineraler som olivin, pyroksen, amfibol, biotitt, kvarts, feltspat og muskovitt, og deles inn i granittiske, intermediære, basaltiske og ultramafiske bergarter på bakgrunn av mineralogi (Lutgens et al. 2012). Vanlige magmatiske bergarter er granitt, dioritt, basalt og Peridotitt (Figur 2).



Figur 2: Mineralogien til vanlig magmatiske bergarter (Lutgens et al. 2012).

Sedimentære bergarter dekker  $\frac{3}{4}$  av kontinentene og dannes ved jordas overflate enten ved sedimentering og til slutt forsteining av allerede eksisterende sand-, silt- og leire partikler

(konglomerat, sandstein, leirskifer), ved kjemisk/biokjemisk utfelling i vann (kalkstein, kiselbergarter) eller ved opphoping av organisk materiale (kull) (Lutgens et al. 2012).

Metamorfe bergarter er magmatiske, sedimentære eller gamle metamorfe bergarter som har blitt omdannet til nye bergarter på grunn av endrede temperatur-, trykk- og væskeforhold (Lutgens et al. 2012; Van Straaten 2007). Selve omdanningen skjer i fast tilstand og høyere grad av metamorfose gir som regel større kornstørrelse (Lutgens et al. 2012). Vanlige metamorfe bergarter er blant annet gneis, glimmerskifer, fyllitt og marmor (figur 3).

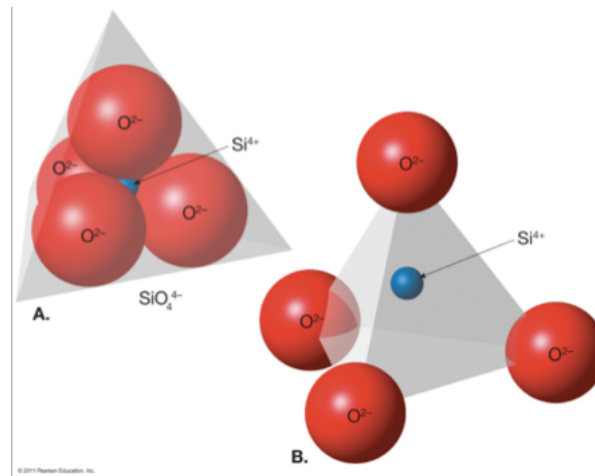
Rock Name	Texture	Grain Size	Comments	Original Parent Rock
Slate	Foliated Metamorphism Increasing	Very fine	Excellent rock cleavage, smooth dull surfaces	Shale, mudstone, or siltstone
Phyllite		Fine	Breaks along wavy surfaces, glossy sheen	Shale, mudstone, or siltstone
Schist		Medium to Coarse	Micaceous minerals dominate, scaly foliation	Shale, mudstone, or siltstone
Gneiss		Medium to Coarse	Compositional banding due to segregation of minerals	Shale, granite, or volcanic rocks
Migmatite		Medium to Coarse	Banded rock with zones of light-colored crystalline minerals	Shale, granite, or volcanic rocks
Mylonite	Weakly	Fine	When very fine-grained, resembles chert, often breaks into slabs	Any rock type
Metaconglomerate	Nonfoliated	Coarse-grained	Stretched pebbles with preferred orientation	Quartz-rich conglomerate
Marble		Medium to coarse	Interlocking calcite or dolomite grains	Limestone, dolostone
Quartzite		Medium to coarse	Fused quartz grains, massive, very hard	Quartz sandstone
Hornfels		Fine	Usually, dark massive rock with dull luster	Any rock type
Anthracite		Fine	Shiny black rock that may exhibit conchoidal fracture	Bituminous coal
Fault breccia		Medium to very coarse	Broken fragments in a haphazard arrangement	Any rock type

Figur 3: Klassifisering av vanlige metamorfe bergarter (Lutgens et al. 2012).

## 2.2 Mineraler








De forskjellige bergartene diskutert over er aggregater av ulike mineraler. Et mineral kan defineres som et naturlig forekommende, uorganisk fast stoff som har en ordnet indre struktur og en kjent kjemisk sammensetning (Lutgens et al. 2012; Van Straaten 2007). De vanligste mineralene vi har er silikater som utgjør over 90% av jordskorpen og inkluderer kvarts, feltspat (plagioklas, alkali-feltspat), ferromagnesiske mineraler (olivin, pyroksen) og glimmer (biotitt, muskovitt). Disse er bergartsdannende og er derfor den viktigste mineralgruppen (Van Straaten 2007). Hvert silikatmineral inneholder grunnstoffene Si og oksygen ( $O^{2-}$ ) bundet sammen i en pyramidelignende form kaldt et tetraeder (figur 4). Denne strukturen består av fire  $O^{2-}$ -ioner,

som er bundet til et  $\text{Si}^{4+}$ -ion med kovalente bindinger med netto ladning (figur 4). Med netto ladning -4 kan hvert  $\text{O}^{2-}$ -ion binde seg til andre positive ioner eller et Si-ion i et annet tetraeder og danne kjeder eller krystallstrukturer (Lutgens et al. 2012; Van Straaten 2007).



**Figur 4: Si-oksigen tetraeder, de de fire røde kulene representerer  $\text{O}^{2-}$ -ioner og den blå representerer et Si-ion (Lutgens et al. 2012).**

Den enkleste silikatstrukturen består av et enkelt tetraeder, der  $\text{O}^{2-}$ -ionene er svakt bundet til andre kationer som  $\text{Mg}^{2+}$  og  $\text{Fe}^{2+}$  som lett ødelegges ved forvitring (Lutgens et al. 2012; Van Straaten 2007). Olivin er et eksempel på et slikt mineral og forvitrer derfor lett. Evnen tetraederet har til å binde seg til andre tetraedre kalles polymerisering, og oppnås ved at en eller flere av oksygenatomene deles med andre tetraedre. På denne måten kan det dannes enkle kjeder, doble kjeder, lagstrukturer eller tredimensjonale nettverk (figur 5). Pyroksen er et eksempel på et mineral med en enkel kjede av silikattetraedre, mens amfibol har dobbelkjeder. Leirmineraler og glimmermineraler har en lagstruktur, og feltspat og kvarts danner et tredimensjonalt nettverk (Lutgens et al. 2012; Van Straaten 2007). Selve stabiliteten til mineralet øker med antall kovalente bindinger og kvarts er derfor det kjemisk mest resistente mineralet. Vedlegg 1 viser en oversikt over vanlige mineraler som vi kan finne i Norge.

Mineral/Formula	Cleavage	Silicate Structure	Example
Olivine (Mg, Fe) <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	None	Single tetrahedron	 Olivine
Pyroxene group (Augite) (Mg, Fe)SiO <sub>3</sub>	Two planes at right angles	Single chains	 Augite
Amphibole group (Hornblende) Ca <sub>2</sub> (Fe, Mg) <sub>5</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> (OH) <sub>2</sub>	Two planes at 60° and 120°	Double chains	 Hornblende
Micas	One plane	Sheets	 Biotite
			 Muscovite
Feldspars	Two planes at 90°	Three-dimensional networks	 Potassium feldspar
			 Quartz
Quartz SiO <sub>2</sub>	None		

Figur 5: Vanlige silikatmineraler, der kompleksiteten til silikatstrukturene øker fra topp til bunn (Lutgens et al. 2012)

Mellom lagene til leirmineraler og glimmermineraler kan det feste seg andre ioner som for eksempel  $K^+$  og ammonium ( $NH_4^+$ ). Mineralene består av en lagrekke med to tetraederlag med ett oktaederlag i midten (2:1-mineral), som består av et Al- eller Mg-ion omringet av seks oksygenatomer eller OH-grupper. Disse lagene er bundet svakt sammen og danner derfor perfekt kløv i en retning (Lutgens et al. 2012). Glimmermineralet har en negativ overflateladning, som kompenseres av positivt ladde ioner som bindes mellom lagene. De to vanligste glimmertypene er muskovitt og biotitt, der muskovitt er dioktaedrisk, som betyr at hvert  $O^{2-}$  eller OH-ion er omringet av tre toverdige kationer som for eksempel  $Mg^{2+}$  og  $Fe^{2+}$ , og biotitt er trioktaedrisk der hvert  $O^{2-}$  eller OH-ion er omringet av to treverdige kationer som for eksempel  $Al^{3+}$  (Brady & Weil 2009; Fleet et al. 2003). Forvitring av mineraler som glimmer og feltspat kan danne leirmineraler som kaolinit, smektitt, vermikulitt, kloritt og illitt. Kaolinit er en 1:1-silikatleire (består av et tetraederlag og ett oktaederlag) som har pH-avhengig overflateladning (positiv ladning ved lav pH, og negativ ladning ved høy pH), og er ikke-ekspanderende da de to lagene er bundet sammen av hydrogenbindinger (Brady & Weil 2009). Kationer og vann vil derfor heller ikke bindes mellom lagene i dette leirmineralet. Den pH-avhengige overflateladningen kommer av at  $H^+$ -ioner i jordvæsken ved lav pH binder seg til oksygenatomene på leirkantene og skaper

en positiv overflateladning. Smektit og vermikulitt er 2:1 silikatleirer, med permanent negativ overflateladning, der lagene kun er svakt bundet sammen av oksygen-til-oksygen- og oksygen-til-kation bindinger. De har derfor stor bindingskapasitet til andre kationer og vannmolekyler slik at de sveller når de blir våte og krymper når de blir tørre (Brady & Weil 2009). Den permanente negative ladningen kommer av isomorf substitusjon, som vil si at et av silikonionene ( $\text{Si}^{4+}$ ) i tetraederlaget erstattes av for eksempel et  $\text{Al}^{3+}$ -ion som fører til at den totale overflateladningen blir negativ (Brady & Weil 2009). Illitt og kloritt har også permanent negativ overflateladning, men er ikke-ekspanderende. I illitt så er  $\text{Al}^{3+}$  erstattet av  $\text{Si}^{4+}$  i tetraederlagene, og den negative ladningen som dannes tiltrekker  $\text{K}^+$ -ioner som bindes sterkt i mellom lagene i såkalte heksagonhull. Siden begge lagene tiltrekkes  $\text{K}^+$ -ionet så holdes lagenesterkt sammen og mineralet vil derfor ikke ekspandere (Brady & Weil 2009).

## 2.3 Forvitring

Forvitring er fysisk og kjemisk nedbryting av bergarter og mineraler på jordoverflaten (Lutgens et al. 2012). Disse prosessene kan forsterkes av mikrobiell aktivitet i tillegg til annen biota som planter og trær, og sammen danner de grunnlaget for dannelsen av jord.

### 2.3.1 Fysisk forvitring

Fysisk forvitring er fysisk oppsplitting av bergarter og mineraler til mindre biter ved hjelp av blant annet vann, salt og varme, uten å påvirke mineralogien eller kjemien i mineralene i noen særlig grad (Lutgens et al. 2012; Van Straaten 2007).

Den viktigste fysiske forvitringsformen i Norge er frostsprengning, der vann trekker inn i sprekker og porer i steinen og utvider seg ca. 10% ved frysing, slik at eksisterende sprekker blir utvidet og deler av steinen kan løsne. Andre typer fysisk forvitring kan være (Lutgens et al. 2012; Van Straaten 2007):

- Sterk oppvarming av bergarter slik at de ekspanderer og deretter sprekker opp i mindre biter.
- Saltmineraler i hulrom og langs kantene av mineraler som ved volumutvidelse fører til økt trykk på bergarten som igjen får den til å sprekke opp.
- Trykkavlastningssprekker der fjerning av overliggende lag ved erosjon minker bergtrykket som fører til at bergarten ekspanderer og danne sprekker.

- Rotsprenging der trerøtter som beveger seg ned i sprekker i berget for å finne vann, næring og feste vokser seg store og dermed utvider sprekkenes.

### **2.3.2 Kjemisk forvitring**

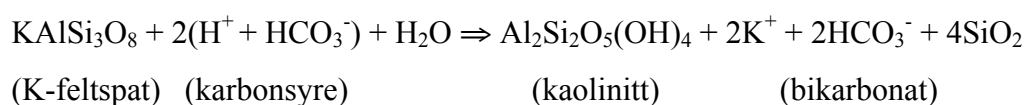
Kjemisk forvitring er en prosess som fører til oppstykkning og forandring av mineralets struktur og egenskaper (Hansen 1981). Dette resulterer i en utlekking av noen elementer i mineralet og er mest vanlig i områder med varmt og fuktig klima. Selve stabiliteten til mineralene er en funksjon av deres struktur (kjemisk bindingstype og gitter) ved siden av temperatur, trykk og væske, og det er de kjemisk mest stabile mineralene som blir igjen som rester etter lang forvitring. Kvarts er, som nevnt tidligere, et eksempel på et mineral som er veldig resistent mot kjemisk forvitring og blir ofte igjen i jorda. Forvitringen fører ofte til utlekking av alkali-elementer som Na, K, Mg og Ca som enten tas opp av planten eller avsettes i jordsmonnet, vann eller vassdrag. Fe og Al opphopes ofte i den forvitrede jorda som oksider og hydroksider (Lutgens et al. 2012; Van Straaten 2007).

Vanlige kjemiske forvittringsprosesser er oppløsning, hydrolyse, hydratisering, kompleksering, karbonatisering (se kapittel 3.3) og redoks-reaksjoner (Harley & Gilkes 2000). Oppløsning skjer når mineralet reagerer med vannmolekyler og kan enten være kongruent (oppløsning av hele det faste materialet) eller inkongruent (delvis oppløsning eller fullstendig oppløsning med direkte utfelling av noen stoffer som danner sekundære mineraler) (Harley & Gilkes 2000). Vann i form av regnvann er svakt surt (pH 5,5 eller lavere) på grunn av løst CO<sub>2</sub> og vil derfor kunne trenge inn i ionegitteret, bryte det ned og løse ut løselige elementer fra mineralene som salter og karbonater. Siden vannmolekylet er dipolart (både positivt og negativt ladd), kan det binde seg til ioner på mineralets overflate og frakte de med seg videre. Alle mineraler er i forskjellig grad løselige i vann, men jo flere sterke kovalente bindinger mineralet inneholder, jo mer resistent er det (Van Straaten 2007). Det er derfor store forskjeller i forvittringsrate mellom de ulike mineralene (tabell 1).

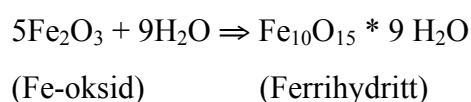
Tabell 1: Ulike forvittringsrater til noen vanlige mineraler (Heim 2006).

Mineral	Forvittringsrate (1 mm av mineralet)
Kalkspat	31 dager
Biotitt	11 000 år
Albitt (Na-feltspat)	190 000 år
Kalifeltspat	520 000 år
Muskovitt	4 000 000 år
Kvarts	34 000 000 år

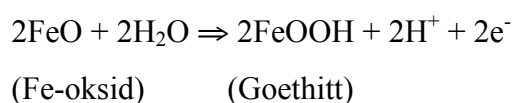
Hydrolyse er en reaksjon der vannmolekylet spaltes til  $H^+$  og  $OH^-$  ioner og reagerer med mineralet ved at  $H^+$  går inn i mineralstrukturen og bytter plass med et kation. Et eksempel på hydrolyse er nedbrytingen av K-feltspat til kaolinit:



Hydratisering skjer når vannmolekylene går inn i krystallstrukturen til mineralet. Et eksempel på dette er omdanningen av Fe-oksiden hematitt til ferrihydritt:



Redoks-reaksjoner fremmer forvitring ved at elementer i mineralet reagerer med en oksidant eller reduktant som fører til oksidering (mister et elektron) eller redusering (mottar et elektron) av elementet. Et eksempel på dette er rust som kommer av oksidering av Fe(II) til Fe(III), når den kommer i kontakt med oksygen:



Redoksreaksjoner er spesielt viktig for forvitringen av ferromagnetiske mineraler, da disse inneholder mye toverdig Fe og mangan (Mn) som lett lar seg oksidere til treverdig Fe og



treverdig og firverdig Mn (Hansen 1981; Harley & Gilkes 2000). Selve nedbrytingen skjer ved at økningen i positive ladninger utjevnes når de oksiderte ionene forlater gitteret. Dette fører til at gitteret blir ustabil og dermed forvitret lettere (Hansen 1981; Hering & Stumm 1990).

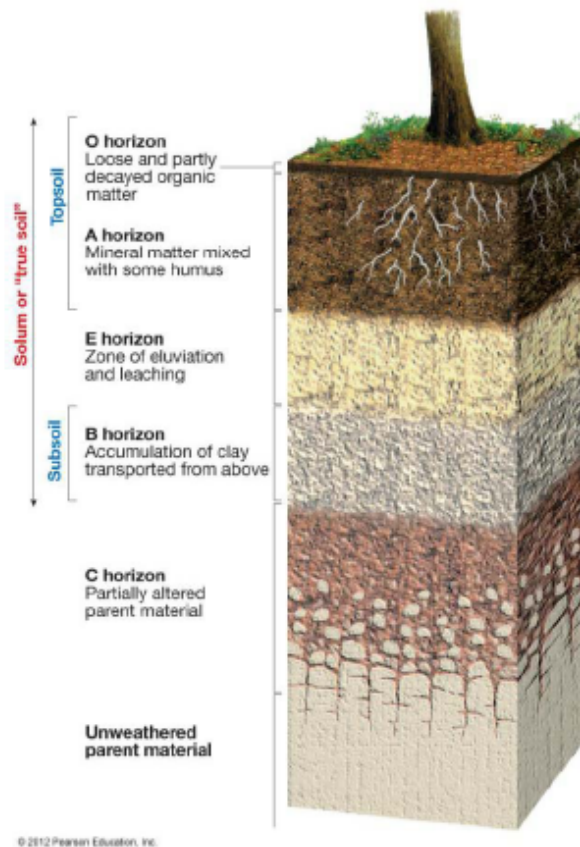
Kompleksring er når organiske syrer i jorda danner organiske komplekser eller chelater med metallionene i silikatmineralene og ødelegger bånd mellom metallene og oksygenet. Organiske syrer kan derfor løse opp mineraler også ved nøytral pH (Harley & Gilkes 2000). Chelatet som dannes er svært mobilt i jorden og transporteres derfor effektivt til planterøttene, der metallet tas opp. Det organiske chelatet forblir i løsningen og kan bindes til nye metaller. Syrenes evne til å danne komplekser med forskjellige kationer er derfor en viktig del av kationutslippet til et mineral (Barman et al. 1992).

## **2.4 Ulike jordtyper**

Jordsmonnet er det tynne laget som dannes i samspill mellom litosfæren, hydrosfæren, atmosfæren og biosfæren og er livsviktig for alt livet på landjorda. Jord består hovedsakelig av forvitret berggrunn, organisk materiale, luft og vann. Det finnes mange forskjellige typer jord i verden og det er fem hovedfaktorer som bestemmer dannelsen av en bestemt jordtype; opphavsmateriale, klima, plante- og dyreliv, topografi og tid (Brady & Weil 2009). I dette forsøket er det brukt to forskjellige jordtyper; podsol og leirjord, som begge er veldig vanlig i Norge.

### **2.4.1 Podsol**

Podsol er den vanligste jordtypen i skogområder i Norge og finnes som regel i fuktige områder med kjølig klima dominert av barskog. Opphavsmateriale er som regel grovkornet og surt, og utvasking ved syre nedover i sjiktene er den viktigste jordsmonndannende prosessen (Brady & Weil 2009). Jordprofilet, som er snittet fra jordoverflaten og ned til opphavsmaterialet, har som regel skarpe grenser mellom de ulike sjiktene som dannes grunnet forskjeller i kjemiske forhold (figur 6).



Figur 6: Forskjellige sjikt i en velutviklet jord i et fuktig klima (Lutgens et al. 2012)

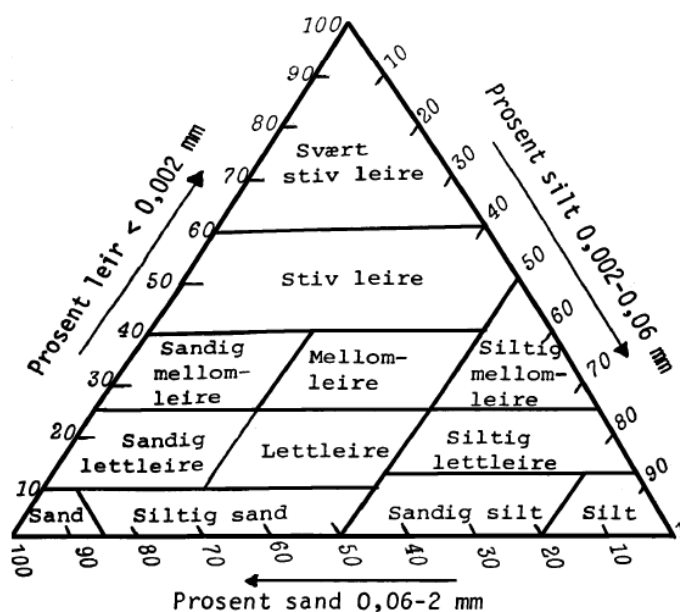
Podsoljorda består av et O-sjikt som hovedsakelig består av døde plante- og dyrerester, etterfulgt av et A-sjikt som inneholder grovkornet nedbrutt organisk materiale med noe mørkere farge blandet med mineralmateriale. Siden Podsol ofte finnes i områder med mye barskog, domineres strølaget av mose og barnåler som danner sure forhold i de øvre sjiktene. Disse organiske syrene vaskes videre nedover i jordprofilet hvor de løser ut kationer som Fe, Ca, Mg og K. Under A-sjiktet finner vi derfor E-sjiktet som er et utvaskingssjikt. Her er det kun de vanskelig forvitrede mineralene som kvarts og feltspat som blir igjen som gjør at E-sjiktet fremstår som en del lysere i fargen enn de andre sjiktene i jordprofilet. Videre ned i profilet finner vi B-sjiktet som er et utfellingssjikt. Her felles Fe- og Al-oksider (Bs) og leire (Bt) som enten er fraktet fra de øvre sjiktene eller dannet på stedet. Til slutt har vi C-sjiktet som er lite omdannet mineraljord og anses ofte som opphavsmateriale til jorda (Brady & Weil 2009). På grunn av den store mengden organisk materiale i denne jordtypen, så er pH ofte lav.

Podsol inneholder som sagt en del organisk materiale og oksider som har pH-avhengig overflateladning. Ved lav pH er overflateladningen positiv og kan derfor binde anioner som for eksempel fosfat ( $\text{PO}_4^{2-}$ ), som dermed blir lite plantetilgjengelig. Oksidene får negativ

overflateladning med økt pH, mens organisk materiale som regel har negativ overflateladning ved høy pH, eller ingen ladning ved lav pH.

## 2.4.2 Leirjord

Leirjord er jord som inneholder såpass mange leirpartikler (partikler  $< 2\mu\text{m}$ ) at det påvirker jordas fysiske og kjemiske egenskaper. Det er hovedsakelig leirens fysiske (svelling/tørking) og kjemiske egenskaper som bestemmer egenskapene til leirjorda. Siden leirpartiklene har såpass stor påvirkning på jordas egenskaper, så vil jord med leirinnhold helt ned til 10% også karakteriseres som en leirjord (sandig lettleire) (figur 7).



Figur 7: Jordartstrekant som viser fordelingen av leire, silt og sand i de ulike jordtypene (Sveistrup & Njøs 1984)

Leirjorda finnes som regel i til dels fuktige eller tørre områder som ofte domineres av gressmark eller dyrka mark. Den er godt egnet til dyrking, da den holder godt på vann i tillegg til at den er rik på mineraler. Jordprofilet pleier ikke å ha noen tydelig sjikting, men en rødlig farge på jorda som kommer av oksidert Fe, kan indikere områder som tidligere har vært vannmettet. Selv om leirjorda kan være ganske mørk i fargen, betyr ikke det at den inneholder mye organisk materiale (Brady & Weil 2009). Leirpartikler er små kolloide partikler mindre enn  $2\mu\text{m}$  med stor spesifikk overflate. Disse overflatene har enten positiv eller negativ ladning som tiltrekker vann og positive eller negative ioner. I Norge er vanligst med 2:1 leirer med permanent negativ overflateladning, som binder kationer.

Leirjorda har en tendens til å motsette seg, eller buffer, endringer i pH når det tilsettes enten syrer eller baser. Dette skyldes ionebyttekapasiteten som leirjorda har. Dersom det tilsettes syre i form av  $H^+$ -ioner, vil disse bytte plass med basekationer som  $Ca^{2+}$  og  $Mg^{2+}$  på mineraloverflatene slik at pH ikke synker selv om det tilsettes syre. Dette vil også være tilfelle ved moderat pH i jord med innhold av organisk materiale. Andre buffringmekanismer kan være hydrolyse av Al ved lav pH, der  $H^+$  angriper strukturen på leirmineralene og løser ut  $Al^{3+}$  som splitter vannmolekylene og binder seg til  $OH^-$  og dermed reduserer pH, eller utløsning av  $H^+$ -ioner fra pH-avhengige ladningsplasser på 1:1 leirer (Brady & Weil 2009).

### 3. Ulike gjødslingsmetoder

Et plantenæringsstoff er et element som har en unik rolle i plantens metabolisme og som planten må ha for å fullføre sin livssyklus. Dette elementet kan ikke erstattes og ved mangel vil planten vise tydelige mangelsymptomer. Næringsstoffene deles inn i makronæringsstoffer (S, Mg, N, Ca, K, P) og mikronæringsstoffer (jern (Fe), mangan (Mn), bor (B), sink (Zn), kobber (Cu), klor (Cl), kobolt (Co), molybden (Mo), nikkel (Ni)) og tas opp av planten hovedsakelig via røttene. For å kompensere for utvasking og opptak av næringsstoffer i tillegg til å tilpasse de naturlige prosessene i jorda, er det vanlig å tilføre næringsstoffer i form av gjødsel.

#### 3.1 Konvensjonelt gjødsel

Det finnes flere typer gjødsel på markedet i dag, men det vanligste er lettløselig kunstgjødsel som frigir plantenæringsstoffer raskt til jorda slik at plantene kan ta det opp. Før man gjødsler er det viktig å finne ut hvor mye næringsstoffer jorda allerede inneholder for å få en idé om hvor mye som må tilsettes. I tillegg må man vurdere hvor dypt planterøttene stikker (som regel brukes plogsjiktet på 20 cm) og hvor mye jord det er per dekar. Man finner ulike gjødseltyper avhengig av hva man ønsker å dyrke og det er gjødselens kjemiske egenskaper og produksjonsmetode som avgjør dens fysiske egenskaper og dermed dens effektivitet (Yara Norge A).

Fullgjødsel (NPK –gjødsel) inneholder hovedsakelig N, P og K og en kombinasjon av tall som for eksempel 18-3-15 angir prosentvis mengde av de forskjellige stoffene. En fullgjødsel vil i tillegg til dette også inneholde stoffer som Ca, Mg, S, Zn og B (Yara Norge B). N som tilsettes er ofte som nitrat ( $NO_3^-$ ) og K som KCl. Mesteparten av P er vannløselig (Yara Norge 2010). N-gjødsel brukes som regel som delgjødsel sammen med fullgjødsel eller husdyrgjødsel og finnes i ulike former tilpasset ulike behov. Alle N-gjødslingstypene er forsurende bortsett fra kalksalpeter (Yara Norge 2010).

Organisk gjødsel er en betydelig ressurs dersom det brukes riktig og det er vanlig å kombinere det med fullgjødsel eller nitrogengjødsel. Det er to typer organisk gjødsel som er vanlig å bruke i Norge, husdyrgjødsel og kloakkslam. Husdyrgjødsel er svært klorholdig og bør derfor begrenses i bruken til klorømfintlige vekster. Kloakkslam kan brukes til noen vekster, men Næringsinnholdet i slam varierer veldig, der fersk slam har større N-virkning enn lagret slam. P-innholdet i kloakkslam er som regel høyt, men siden slammet tilsettes Al- og Fe-forbindelser fra renseanleggene vil dette være lite tilgjengelig for plantene (Yara Norge 2010).

### **3.2 Steinmel som gjødslingsmiddel**

Steinmel kan brukes som et alternativ til dyrt kunstgjødsel i jordbruket. Sammenlignet med kunstgjødsel tar det mye lengere tid før plantenæringsstoffene i steinmelet blir tilgjengelig grunnet den sakte nedbrytingen, men til gjengjeld så kan steinmel ha en gjødslingseffekt som går over flere år, som kan redusere antall gjødslinger fra flere ganger per år til maks en gang i året. Den sakte forvitringen av mineralene fører også til redusert tap av næringsstoffer, da de små mengdene næringsstoffer som slippes ut hovedsakelig holder seg i toppjorda der røttene til plantene er (Coroneos et al. 1995). Vanlig lettløselig kunstgjødsel inneholder ofte store mengder av noen få makronæringsstoffer, men ikke nok av mikronæringsstoffene som også er viktig for plantene. Når man hele tiden kun erstatter makronæringsstoffene fra avlingen med denne typen gjødsel vil jordkvaliteten etter hvert bli redusert, spesielt innholdet av mikronæringsstoffer. I tillegg fører bruken av denne typen gjødsel ofte til miljømessige problemer som eutrofiering av vassdrag, utslipp av klimagasser og dårlig jordstruktur. En fordel med bruk av steinmel er at de har liten negativ påvirkning på miljøet i tillegg til at den varierte mineralogiske sammensetningen i ulike bergarter gjør at man kan tilpasse typen steinmel til ulike behov i jordbruket (Carstens 2001).

Ulempen ved bruk av steinmel er at næringskonsentrasjonen ofte er så lav at det trengs store mengder for å få god nok gjødslingseffekt, og dersom man ikke har lokale kilder vil det kunne bli dyrt å frakte steinmelet over lengre strekninger (Carstens 2001; Van Straaten 2006).

Anbefalte mengder steinmel varierer i forhold til jordtype og på spesielt næringsfattig jord må man opp i rundt 1-2 tonn/daa/år (Hansen 1981). En annen ulempe med å bruke steinmel er at de kan inneholde tungmetaller som er skadelig for plantene, og det er derfor viktig at det foreligger detaljert mineralogisk og kjemisk karakterisering av de ulike steinmeltypene hvis de skal brukes i jordbruket (Heim et al. 2012; Zapata et al. 2004).

I Skandinavia produseres det store mengder finkornet steinmateriale fra gruvedriftsindustrien, og steinmel til jordbruk kan hentes fra både dagens mineral- og natursteinproduksjon i tillegg til pukkverk og nedlagte gruver (Heim 2006). Per i dag kan ikke steinmel konkurrere mot lettløselig gjødsel i vanlig jordbruk, men for økologisk landbruk er den absolutt aktuell. Mer fokus på miljøet og økt forespørsel etter økologiske varer blant forbrukerne, har bidratt til å redusere salget av nitrogen og P i jordbruket og økt satsningen på økologisk drift. Steinmel er oppført på DEBIOs liste over tillatte gjødsel og jordforbedringsmidler i økologisk landbruk, der godkjente typer inkluderer Altagro, olivin, røynebergsand og trøndersk mineralgjødsel som har vært igjennom en grundig tungmetallanalyse (Vold 2006). Utstyret som kan fordele store mengder steinmel brukes allerede i dag til kalking. Ved økologisk drift er det vanlig at næringsinnholdet i jorda går ned grunnet høsting uten etterfylling av nok næringsstoffer. Jordprøver fra fem ulike gårder i Sør-Norge tatt med 6-12 års mellomrom, viste at innholdet av P og K i jorda avtar over tid ved økologisk drift og at selv med melkeproduksjon kan det bli behov for ekstra tilførsel av P og K (Løes & Øgaard 2001). Som et supplement til organisk gjødsel kan derfor steinmel øke fertiliteten til jorda i tillegg til å muliggjøre bruk av fattig sandjord, som per i dag ikke tas i bruk til verken matproduksjon eller dyreproduksjon, til økologisk jordbruk (Bleken et al. 2008). For at bruken av steinmel skal være økonomisk konkurransedyktig er det viktig at det finnes lokale tilbydere i tillegg til gode metoder både for prosessering (knusing og maling) og spredning.

Å blande inn finknust stein for å øke næringstilgangen i jord har vært av vitenskapelig interesse siden midten av 1800-tallet og mange forsøk har vist at utvalgte steinmeltyper har forbedret tilgangen på plantetilgjengelige næringsstoffer (Bakken et al. 1997b; Bakken et al. 1997a; Bakken et al. 2000; Bleken et al. 2008; Retvedt 1938; Solberg 1928). I løpet av de siste tiårene har det vært brukt steinmel i økologisk landbruk både i sentral Europa og Nord-Amerika (Vonfragstein et al. 1988). I tillegg har det blitt testet ulike steinmel i tropiske strøk, som har gitt gode resultater (Harley & Gilkes 2000; Leonardos et al. 1987). I Norge er steinmel fremdeles lite brukt, selv om flere års forskning har vist dokumentert effekt på plantevekst (Heim 2001). En av steinmeltypene som har vist lovende resultater er biotittkarbonatitten fra Stjernøya i Finnmark. Bakken et al. (1997a, 1997b, 2000) fant blant annet i sitt forsøk med biotittkarbonatitt fra Stjernøya, nær 60% av K fra biotitten og nefelinen i de høstede plantedelene. Karbonatitten kan derfor være et godt steinmelalternativ med en kalkvirkning på rundt 2/3 av ren kalk og en P-K-Mg gjødselverdi på 2-2,5-2,5. Ved å fjerne kalken (som kan brukes videre som kalkingsmiddel i jordbruket) kan P-K-Mg gjødselverdien økes til 3,5-4,5-4, og ved bruk av magnetseparasjon får man enten et biotittkonsentrat med 7% K og 6% Mg eller P-kalk med 3% P (Heim 2013).

Fjerning av kalken vil i tillegg til å gi et mer konsentrert gjødslingsmiddel, minimere vekten av produktet og dermed redusere transportkostnadene per P-K-Mg-gjødselenhet. P fra apatitten vil også bli mer tilgjengelig, da denne ofte bindes til Ca ved høy pH. Et mulig problem ved bruk av karbonatitt er at den lokalt inneholder opp til 1% Ba og 0,75% strontium (Sr) som er rundt 50 ganger høyere enn normal verdi. Ba erstatter K i biotitt og Sr erstatter Ca i kalsitt, og siden begge disse mineralene forvitrer lett vil både Ba og Sr kunne bli tilgjengelig for opptak av plantene (Bleken et al. 2010). Økt opptak av Ba i plantene kan føre til redusert plantevekst grunnet redusert fotosynteseaktivitet, i tillegg til at for høyt inntak av Ba hos mennesker kan være giftig og føre til ulike sykdommer (EPA 2014; Llugany et al. 2000). Doktorgradsarbeid på NMBU ser i dag nærmere på opptak av Ba i plantene. Det er per i dag ingen lovfestede grenseverdier for Ba eller Sr i norsk landbruk (Lovdata 2003).

### 3.2.1 Kalium

I Norge har det vært forsøk og studier for bruk av steinmel de siste 80 årene, og et av de mest studerte plantenæringsstoffene med tanke på bruk av steinmel, er K (Heim 2001). K tas aktivt opp av plantene som  $K^+$ -ioner og foreligger i planten som fritt  $K^+$ -ion eller bundet til utbyttbare plasser på celleveggene. Den har stor betydning for ladningsbalanse, ionestyrke og det osmotiske trykket i cellene i tillegg til å være involvert i syntese, transport av fotosynteseprodukter og produksjon av ATP som er nødvendig for energi i planten (Aasen 1997). K tilføres jorda ved forvitring av mineraler som alkalifeltspat, glimmer, nefelin og leirmineraler, og er svært mobilt i planten (Havlin et al. 2005). Det aktive opptaket av  $K^+$  fører til at plantene har et luksusopptak av K ved høy tilgang, som vil kunne påvirke plantens opptak av andre kationer som Mg og Ca. Dette kan igjen påvirke kvaliteten på avlingen, spesielt dersom den brukes som fôr til drøvtyggere. Luksusopptaket fører også, ved jevnlig høsting, til en tømming av K-lagrene som gjør at senere avlinger vil bli avhengig av K som er lagret i jorda. Mengden av den ikke-utbyttbare fraksjonen av K i jorda som da kan gjøres tilgjengelig for plantene, er avhengig av mineralogien og forvitningsfasen til jorda (Bakken et al. 1997b; Bakken et al. 1997a). Selve K-opptaket påvirkes også av andre kationer og i sur jord vil for eksempel tilstedeværelsen av  $Al^{3+}$  og  $H^+$  kunne redusere opptaket av  $K^+$ . Hele 90% av opptaket til plantene foregår via diffusjon gjennom røttene, som betyr at kun  $K^+$ -ioner som befinner seg få millimeter fra roten er tilgjengelig for planten (Havlin et al. 2005). Lett tilgjengelig K er  $K^+$ -ioner som er bundet til overflaten på partikler med negativ ladning, spesielt leirpartikler og organisk material (Løes & Øgaard 2001). Lite tilgjengelig K er blant annet  $K^+$ -ioner som er fiksert mellom lagene i leir- og

glimmermineraler. Her kan  $\text{NH}_4^+$  blokkere utslippet av  $\text{K}^+$  da denne er på lik størrelse som  $\text{K}^+$  og vil også fikseres mellom sjiktene (Havlin et al. 2005).

Allerede i 1922 foreslår Goldschmidt (Goldschmidt & Johnson 1922) å bruke forskjellige typer steinmel i dyrkningsforsøk for å se på deres betydning som K-kilde i jordbruket. Forsøkene blir senere gjennomført og rapportert av Solberg (1928) og Retvedt (1938) som de mest omfattende og langvarige dyrkningsforsøkene med steinmel gjort i Norge. Konklusjonene fra forsøkene var at K-feltspat, muskovitt og leire er dårlige kilder til K, mens biotitt er en god kilde. Steinmelet viste størst effekt på sur sand eller torvjord, og bruken av biotitt forbedret avlingen delvis på lik linje med lettløselig K-gjødsel (KCl). Siden den naturlige forvitringen av mineraler går relativt sent så slipper steinmelet ut næringsstoffene gradvis. Det er derfor observert effekter av tilført biotitt på torvjord opp til fire år etter siste påføring (Bærug 1991; Retvedt 1938; Solberg 1928). Engangsgjødsling med biotittrikt steinmel over flere år viste seg derfor være mer effektivt enn KCl i tillegg til å hindre avrenning av K til nærliggende vann og vassdrag.

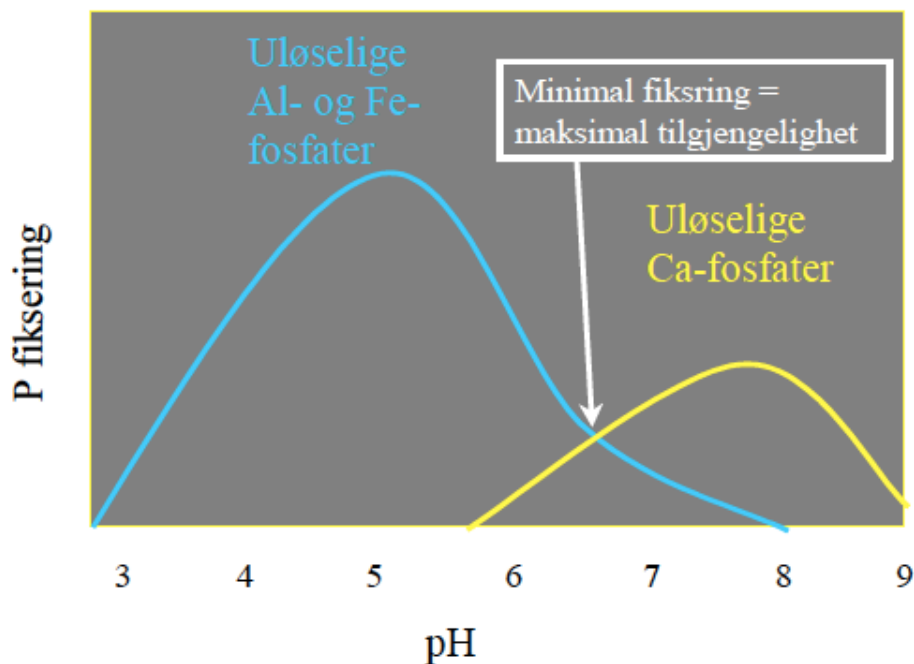
I senere tid er det gjennomført flere slike forsøk på tilgjengeligheten av K fra steinmel og mørke glimmermineraler, der biotitt og nefelin fremstår som bedre K-kilder enn muskovitt og K-feltspat (Bakken et al. 1997b; Bakken et al. 1997a; Bakken et al. 2000; Bleken et al. 2008; Håbjørg 1977; Manning 2010). Dette kan virke rart siden K-feltspat inneholder mye mer K enn for eksempel biotitt. Svaret ligger i hvordan K er bundet i mineralet. I feltspat er K bundet i den tredimensjonale gitterstrukturen og er dermed mye mindre tilgjengelig enn hos biotitt og muskovitt der K ligger mellom sjiktlagene (Hansen 1981). Grunnen til at K er mer tilgjengelig fra biotitt enn fra muskovitt er fordi K-O bindingene i muskovitt, som er et dioktaedert glimmer, er kortere og sterkere enn hos biotitt, som er et trioktaedert glimmer, som gjør at K er sterkere bundet (Hansen 1981). Glimmerinnholdet i jorda er derfor ikke et godt mål på plantetilgjengelig K.

Et annet steinmel som er blitt nøye testet og derfor også blitt DEBIO-godkjent som gjødsel i økologisk jordbruk, er Altagro som er avgang fra magnetseparasjon (tørr og uten kjemikalier) fra nefelingruvene på Stjernøya. Bakken et al. (1997a, 1997b, 2000) fant i sine forsøk med Lurgi (avgang fra nefelinsyenittgruvene på Stjernøya med lik kjemisk sammensetning som Altagro) at denne avgangen ikke gav like mye plantetilgjengelig K som karbonatitten, men i forhold til kontroller uten noen tilsetning, så økte avlingen der avgangen var tilsatt. Problemet med å bruke Altagro er, som for karbonatitten, at transportkostnadene fra Stjernøya i Finnmark blir veldig høye.

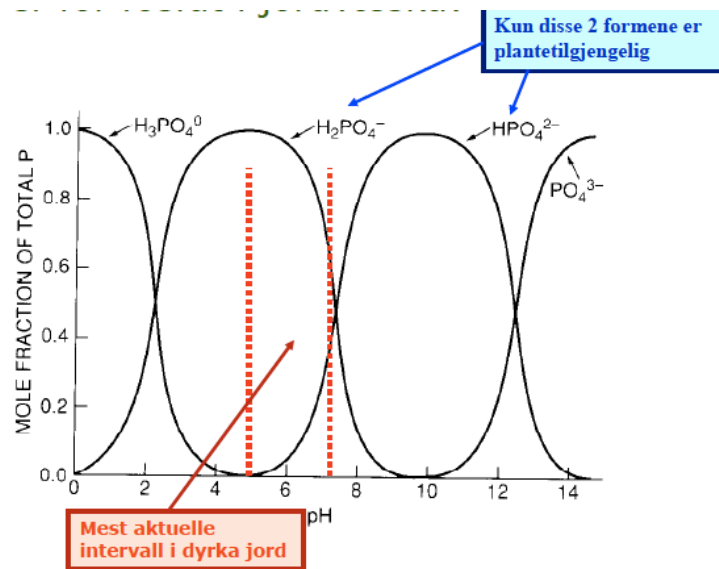


### 3.2.2 Fosfor

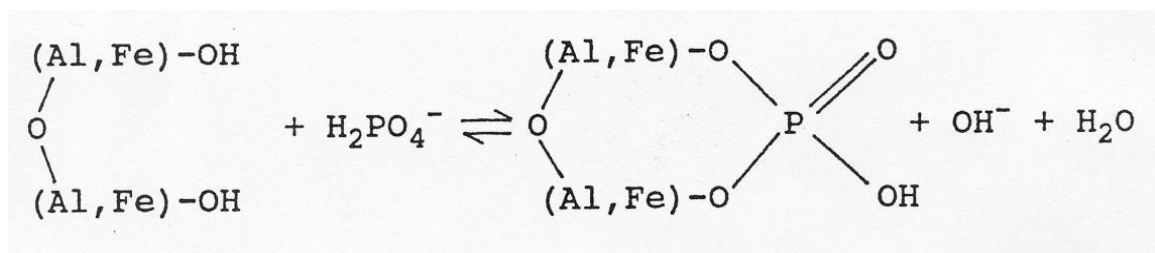
P er et makronæringsstoff som er veldig viktig for plantenes vekst, og tilføres jorda via forvitring av bergarter som inneholder fosfatholdige mineraler. Selv om det finnes store mengder fosfatrike bergarter i verden er det ikke alle som egner seg som gjødsel, da bergarten både må ha tilstrekkelig P-innhold og lite tungmetaller. P er derfor blitt en meget begrenset ressurs på verdensbasis. Den viktigste kilden til P i bergarter er apatitt som foreligger som Ca-fosfat i form av fluorapatitt ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ ), klorapatitt ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$ ) eller hydroksylapatitt ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ ) (Zapata et al. 2004). Apatitt finnes kun i lite forvitret jord og danner lett sekundære Ca-fosfater som dikalsiumfosfat ( $\text{CaHPO}_4$ ) og oktakalsiumfosfor ( $\text{Ca}_8\text{H}_2(\text{PO}_4)_6$ ) (Zapata et al. 2004). P tas opp av planten som  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  eller  $\text{HPO}_4^{2-}$  og er mest tilgjengelig ved pH mellom 5,5 – 7,5 (figur 8 og 9). Dette er fordi at ved pH lavere enn 5,5 vil P binde seg til positive overflater på Fe- og Al-oksider og kunne bli innkapslet av  $\text{Fe}^{2+/3+}$  og  $\text{Al}^{3+}$  ioner (figur 10). Dette er spesielt et problem i meget forvitret jord i tropene. Dersom pH kommer over syv vil P felles ut som Ca-fosfat (Havlin et al. 2005). P er derfor som regel mest tilgjengelig i organisk jord da denne har liten evne til å binde P grunnet negative eller nøytral overflateladning.



Figur 8: Jord-pH effekt på adsorpsjon og utfelling av P (Havlin et al. 2005)



Figur 9: Former for P i jordvæsken i forhold til pH (Havlin et al. 2005)



Figur 10: Fosfat bundet til overflaten av Fe/Al-hydroksid (Brady & Weil 2009)

Plantene tar opp P aktivt, det vil si mot en konsentrasjonsgradient. Den er en viktig del av energirike bånd som ATP og ADP og arvestoffet DNA og RNA, i tillegg til å ha en sentral funksjon i stoffskiftet. P er også bundet til lipider i celledmembranen og er derfor viktig for transport av 2-verdige ioner gjennom membranen (Aasen 1997). For at plantene skal kunne adsorbere den mengden P den trenger for å produsere gode avlinger, spesielt ved jevn høsting, må P-konsentrasjonen i jorda fornyes konstant (Zapata et al. 2004). Det er derfor vanlig å gjødsle mye med lettøselig P for å sikre nok P opptak av plantene. Problemet er at dette ofte fører til avrenning av P til nærliggende vann og vassdrag som igjen kan føre til eutrofiering. Det er derfor gjort flere forsøk på å se om direkte applikasjon av fosfatrikt steinmel i jordbruk vil kunne øke P tilgjengeligheten for planter uten å risikere avrenning. Sedimentære P-rike bergarter er kjent for å forvitte raskere enn magmatiske og er derfor en bedre kilde til P, men innholdet av kadmium (Cd) i disse bergartene er såpass høyt at de er uegnet som direkte gjødslingsmiddel (Gough & Herring 1993; Van Straaten 2006; Zapata et al. 2004).

Silva et al. (2012) fant at tilgjengeligheten til P i jorda økte med tilførsel av ulike type steinmeltyper, der de mest P-rike bergartene (ultramafiske bergart og breksje) hadde størst effekt. Bleken et al. (2008) fant i sitt vekstforsøk at tilførsel av lav dose biotittsteinmel økte mengden adsorbert P av plantene, men at opptaket sank med økt mengde tilsatt steinmel. Dette var antageligvis fordi den økte mengden steinmel førte til økt pH som dermed førte til økt fiksering av P. De fant også at kontakt med biotittsteinmel reduserte løseligheten av P i apatittsteinmel grunnet utfelling av Fe-fosfat, noe som tyder på at bruken av biotittsteinmel som gjødslingsmiddel på P-fattig jord kan være et problem.

### 3.2.3 Magnesium og kalsium

Tilført i jorda kan Ca og Mg øke pH ved at den bytter plass med H<sup>+</sup> ionene på negativt ladde overflater. Mg tilføres jorda av forvitrende mineraler som biotitt, serpentin, pyroksen, hornblende, olivin, dolomitt og sekundære leirmineraler som vermikulitt og montmorillonit. Den tas opp i ioneform som Mg<sup>2+</sup> og er veldig viktig for fotosyntesen da den er sentralatomet i klorofyllmolekylet. Den er også nødvendig i omdanning av ATP i tillegg til å stabilisere cellestrukturen i plantene (Havlin et al. 2005).

Kilder til Ca i jorda er forvitring av mineraler som Ca-feltspat, pyroksen, hornblende, Ca-fosfater og Ca-karbonater. Den tas opp som Ca<sup>2+</sup> og er viktig for stabilisering av nye cellemembraner, omdanning av karbohydrater til næringsstoffer og ionetransport (Havlin et al. 2005).

Serpentin er det mineralet som er testet mest som Mg-gjødsel med gode resultater, men er ikke et mineral som er veldig vanlig i Norge (Hansen 1981). Olivin og pyroksen er gode kilder til Mg da de forvitrer lett og har høyt Mg-innhold (Hansen 1981). I biotitt er Mg, i form av Mg<sup>2+</sup>, det mest løselige ionet i alle organiske syrer og forsøk med biotittsteinmel har vist at Mg-opptaket i plantene øker med tilførsel av steinmelet (Bleken et al. 2008).

Dolomitt og kalkspat er de beste kildene til henholdsvis Mg og Ca. Andre gode kilder til Mg er mafiske bergarter som basalt, diabas og gabbro med høyt innhold av ferromagnesiske mineraler (Harley & Gilkes 2000; Priyono & Gilkes 2004; Van Straaten 2006), og til Ca basalt, diabas og Ca-rik plagioklas-feltspat (Harley & Gilkes 2000; Van straaaten 2006). Larvikitt, som nesten bare består av feltspat har vist seg å frigjøre en del kationer i tidligere ekstraksjonsforsøk, der Ca er det plantenæringsstoffet som det frigjøres mest av (Håbjørg 1977). Larvikitten klassifiseres som en monzonittisk dypbergart, men forskjellen mellom monzonitt som inneholder både plagioklas

og kalifeltspat og larvikitt, er at larvikitten kun har en feltspat (ternær feltspat) som inneholder både Ca, Na og K. I tillegg inneholder den noe pyroksen, amfibol, biotitt, magnetitt og apatitt og stedvis noe nefelin og olivin (Larsen et al. kapittel 9: Vulkaner, forkastninger og ørkenklima – *Osloriften og nordsjøen i karbon og perm* i Ramberg et al. 2007). Den forvitrer relativt lett og det er biotitt og pyroksen som brytes ned først. Basalt er en mørk, finkornet magmatisk bergart, bestående hovedsakelig av Ca-rik plagioklas og pyroksen (Lutgens et al. 2012). Basaltiske steiner har vist seg å ha høyt kationutslipp i steinmelforsøk i tillegg til å være et godt kalkingsmiddel (Gillman 1980; Gillman et al. 2001; Håbjørg 1977; Vonfragstein et al. 1988). Roschnik et al. (1967) testet bruk av finkornet basalt i sterkt forvitret jord og så en økning i utbyttbar Mg og K i jorda i tillegg til en tydelig økning i vekst i forhold til kontrollen. Håbjørg (1977) fant i sitt ekstraksjonsforsøk at basalt var den steinmeltypen som totalt sett frigjorde mest kationer, der K ble frigjort raskest, tett oppfulgt av Ca. Den finkrystallinske strukturen til basalt gjør den lett nedbrytbar (Hansen 1981) og dermed er den et godt steinmel alternativ.

### **3.2.4 Svovel**

Hovedkilden til S i jord er organisk materiale, men noe sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) kan også komme fra S-holdige mineraler som for eksempel svovelkis. S er viktig for klorofylldannelsen i planten og for dannelsen av proteiner. S kan bindes til positive ladningsplasser på overflaten til organisk materiale og Fe/Al-oksider i jorda, men vaskes som regel lett ut da den bindes svakt ( $\text{OH}^- > \text{H}_2\text{PO}_4^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^-$ ). Adsorpsjonen av S reduseres med økt pH grunnet redusert anionbyttekapasitet, og ved pH over seks vil det ikke være noen adsorpsjon av S (Havlin et al. 2005). I et forsøk der svovelkis i forhold til tilsetning av sulfat ble testet som S-kilde i vekstforsøk hadde prøvene med sulfat størst avling første og andre år, mens tredje år hadde området med svovelkis størst avling. Det ble heller ikke registrert noen opptak av skadelige tungmetaller fra svovelkisen (Gautnebb 2006).

### **3.2.5 Mikronæringsstoffer og sporelementer**

Det finnes flere mikronæringsstoffer som er viktige for plantene, som kan tilføres jorda ved bruk av steinmel. Roschnik et al. (1967) fant blant annet at tilførsel av større mengder basaltsteinmel på næringsfattig sur jord har vist seg å øke innholdet av mikronæringsstoffer i plantene.

Zn er et viktig mikronæringsstoff for planten ved at den er en del av flere viktige enzymer i tillegg til å spille en rolle i metabolismen av blant annet proteiner (Kabata-Pendias 2010). Mangel på Zn kan føre til redusert vekst, sen modning og visne blader (Aasen 1997). Cu er også

et viktig mikronæringsstoff som er en del av flere viktige enzymer i planten og spiller en viktig rolle i blant annet fotosyntese og respirasjon (Kabata-Pendias 2010). Mangel på kobber vil kunne føre til klorose og etter hvert knekte blader (Aasen 1997). Chaudhary et al. (2011) fant gjennom sine vekstforsøk at steinmel kan være en potensiell kilde for løselig Cu dersom man tilsetter det i kombinasjon med organisk gjødsel. Silva et al. (2012) fant på den annen side liten økning i tilgjengelighet av Cu og Zn ved tilførsel av granitt i jord. Dette var antageligvis grunnet større mengder leire i jorda som bandt de positivt ladde ionene ( $\text{Cu}^{2+}$  og  $\text{Zn}^{2+}$ ) til de negative ladningsplassene. Økt pH som et resultat av steinmeltilførsel vil også øke denne retensjonen (Silva et al. 2012).

For at steinmelet skal ha en effekt i forhold til tilførsel av mikronæringsstoffer, må det inneholde tilstrekkelig mengder av mikronæringsstoffet som er plantetilgjengelig, i tillegg til at det må være mangel på det aktuelle stoffet i jorda (Hansen 1981). Med unntak av B er innholdet av mikronæringsstoffer størst i de magmatiske bergartene (Hansen 1981). For at steinmelet skal kunne brukes i landbruket kan det ikke inneholde for mye av tungmetaller eller andre giftige stoffer. Det er per i dag ikke noe krav om tungmetallanalyse for de steinmeltypene som skal brukes i økologisk jordbruk og heller ingen grenseverdier for ulike sporelementer (Nilsen 2014). For steinmeltypene brukt i denne oppgaven er det hovedsakelig høyt innhold av Ba som vil kunne ha en negativ påvirkning på jorda.

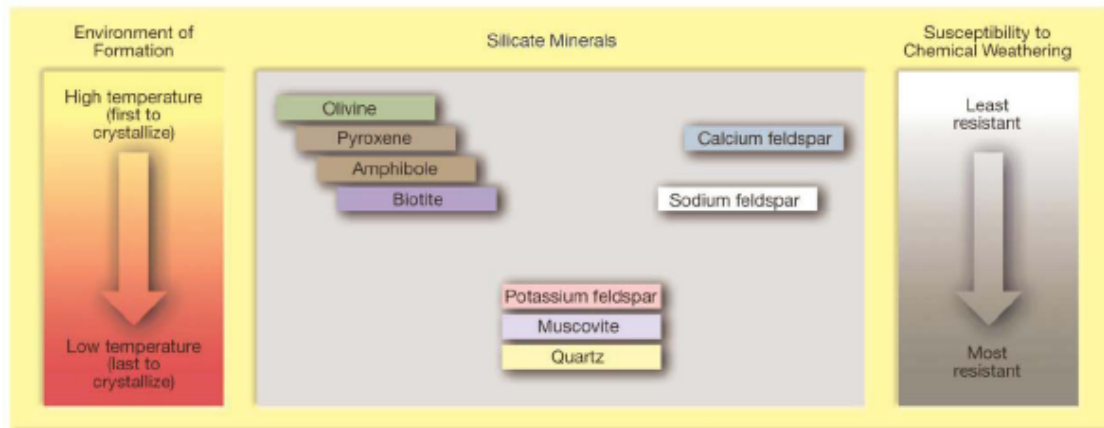
### **3.2.6 Faktorer som påvirker gjødslingseffekten**

Den kjemiske forvittringsraten til det tilførte steinmelet påvirkes av bergartsegenskaper, jord-pH, temperatur, fuktighet, biologisk aktivitet, strukturfeil på mineraloverflaten og den spesifikke overflaten til mineralene (Bakken et al. 1997a; Harley & Gilkes 2000). Steinmelet er mest effektivt i sur, utarmet jord, der plantene og mikroorganismene kan tilføre nok syre for forvitring av mineralene i tillegg til å fange opp de utløste ionene (Harley & Gilkes 2000).

#### *Mineralegenskaper*

Egenskapene og stabiliteten til mineralene er viktig for hvor lett de ulike mineralene forvittrer. Dette inkluderer både oppbygging (silikatstruktur) og dannelsesforhold. I følge *Goldich Weathering Sequence* (Goldich 1938) og Bowens reaksjonsserie så er de mest stabile silikatmineralene de som er dannet under lavere temperaturer (figur 11). De som dannes under høyt trykk og høye temperaturer, som magmatiske bergarter, vil derfor forvitre lettere på jordoverflaten for å nå en kjemisk likevekt med trykk- og temperaturforholdene her (Harley &

Gilkes 2000; Van Straaten 2006). Fordi polymeriseringen av  $\text{SiO}_4$ - tetraedrene øker med synkende krystallasjons-temperatur, forvitrer olivin som krystalliseres ved høy temperatur, fortere enn kvarts som krystalliseres ved lav temperatur (Lutgens et al. 2012)



**Figur 11: Bowens reaksjonsserie viser i hvilken sekvens mineraler krystalliseres fra magma, og ut i fra det hvilke mineraler som forvitrer lettest (Lutgens et al. 2012)**

Posisjonen til kationene i mineralgitteret er også en dominerende faktor for hvor lett tilgjengelig kationet er. Ioner som er plassert mellom sjikt er de mest løselige, som for eksempel K i glimmermineraler. Deretter kommer ioner som er bundet i korte kjeder eller som kobler flere lange kjeder sammen. De minst løselige ionene er de som er bundet i polykjeder, som for eksempel  $\text{Al}^{3+}$  i oktaederlagene til biotitt, og de som er plassert i posisjoner der ionene blir hindret av for eksempel andre ioner ( $\text{K}^+$  i feltspat) (Barman et al. 1992).

### *Jord-pH*

Det er som regel jordløsningens pH som bestemmer forvittringsraten til mineralene, og forvitringen er størst når forholdene i jorda er enten sure eller basiske (Harley & Gilkes 2000). Siden det er få meget basiske jordtyper er det derfor mest vanlig at jo lavere jord-pH, jo høyere er forvitringen, da økt mengde  $\text{H}^+$  i jordløsningen vil resultere i økt mengde hydrolyse og ionebyttereaksjoner (Hansen 1981, Harley & Gilkes 2000). Karbonatisering (kapittel 2.3) og Jordtyper som inneholder mye leire og organisk materiale (kapittel 2.4.2) vil kunne motsette seg endringer i pH ved hjelp av buffereffekten.

### *Klima*

Nedbrytingen av mineraler øker med økt temperatur og økt nedbør. Økt nedbør fører til økt hydratisering av mineralene, i tillegg til at vannet frakter bort ioner og annet løst materiale, og høye temperaturer øker hastigheten på de kjemiske reaksjonene (Harley & Gilkes 2000; Van

Straaten 2006). Tropiske områder domineres derfor ofte av meget utarmet jord som er næringsfattig grunnet langvarig utvasking av plantenæringsstoffer. Bruk av steinmel i disse områdene kan derfor være et billig alternativ for å øke fertiliteten i jorda.

### *Planter og biologisk aktivitet*

Både planter og mikroorganismer påvirker forvitringen til mineralmateriale i jorda. Når planter tar opp næringsstoffer fra jordvæsken fører dette til økt forvitring fra mineralmateriale grunnet den synkende ionekonsentrasjonen. Dette er fordi planterøttene adsorberer ioner som K og P fra området rundt roten forttere enn det jorda klarer å tilføre. Ved å redusere ionekonsentrasjonen i jordløsningen til et svært lavt nivå, dannes det derfor en diffusjonsgradient som leder flere næringsstoffer til rota og dermed øker forvitringen (Harley & Gilkes 2000; Marschner 1995). Også bruk av mykhorrisa har vist seg å øke forvitring ved at den øker volumet av jord som plantene kan utnytte og dermed også adsorpsjon av næringsstoffer (Clarkson & Hanson 1980; Paul & Clark 1989). Fjerner du planter fra et jordsystem vil derfor en del av forvitringen bli redusert.

Området rundt roten kalles rhizosfæren og skiller seg fra resten av jorda ved at den påvirkes av planterøttens aktiviteter. pH i rhizosfæren kan derfor være lavere eller høyere enn pH ellers i jorda, noe som påvirker tilgjengeligheten av næringsstoffer. Når planten tar opp kationer skiller planten ut  $H^+$  og pH i rhizosfæren reduseres. Når planten tar opp anioner skilles  $OH^-$  ut og pH stiger. Planterøttene kan også senke pH i rhizosfæren uavhengig av næringsopptak ved å skille ut organiske syrer eller roteksudater som stimulerer biologisk aktivitet eller danne komplekser med andre ioner (Havlin et al. 2005). Wang et al. (2000) gjennomførte et forsøk der de så på hvilken effekt organiske syrer har på utslipp av K fra gneis av forskjellig partikkelstørrelse, og fant at utslippet av K ble stimulert av syren i forhold til vann for alle prøvene. I forhold til partikkelstørrelse fant de at ved høyere konsentrasjoner av syre økte mengden K sluppet ut fra gneis med synkende kornstørrelse, mens ved små syrekonsentrasjoner var det ingen forskjeller mellom de ulike partikkelstørrelsene.

Mikroorganismene i jorda adsorberer også næring og vil dermed også øke forvitringen. I tillegg vil den økte konsentrasjonen av karbonsyre i jorda grunnet økt respirasjon også ha en effekt (Barker et al. 1997). Mikroorganismenes forvitring av mineraler drives ofte av dens krav til næring. Det vil si at mineralforvitring kan påvirkes av mineralets næringspotensialet, der mikroorganismer kun ødelegger fordelaktige mineraler og lar ”verdiløse” mineraler ligge igjen. Distribusjonen av mikroorganismer kan derfor være bestemt ut i fra mineralogien, og evnen en

organisme har til å utnytte mineralbundet næring (P. C. Bennett 2001). Reaksjonen mellom mikroorganismer og mineralmateriale kan deles inn i enzymatiske prosesser, der heterotrofe organismer bruker organiske komplekser som energikilde og på den måten frigjør metallionet som var bundet, og ikke enzymatiske prosesser, der mikroorganismene skiller ut organiske syrer som fremmer forvitring (Hansen 1981; Silverman & Ehrlich 1964). Selv om forvitring av bergarter er en langsom prosess kan biologisk forvitring skje kun i løpet av noen dager. Savostin (1972) observerte i sitt forsøk at 36% av K i en alkalifeltspat ble frigjort via biologisk forvitring på kun 40 dager som var hele ti ganger raskere enn kontrollen (Hansen 1981).

Ved nedbryting av organisk materiale så dannes ulike humussyrer, hovedsakelig fulvosyrer og huminsyrer som kan øke forvitringen i jorda (Hansen 1981). Fulvosyre finnes der det er liten biologisk aktivitet med godt omdannet plantemateriale. Den er vannløselig og danner ofte kompleksforbindelser med ulike metaller i jorda. Et eksempel er i podsol der fulvosyrer binder metallioner i utfellingssjiktet og frakter de videre nedover i jordprofilen (Schnitzer & Khan 1978). Huminsyrer finnes der det er lite omdannet plantematerialer som torv og brunjord og er tungt løselig i vann. Den kan danne tungtløselige forbindelser med flerverdige kationer, og lettløselige forbindelser med enverdige kationer i tillegg til å senke pH i jorda (Hansen 1981). Tan (1978) fant i sitt forsøk at humussyrene frigjorde omtrent av 25% av K som var fiksert av smektitt og illitt og at de hadde nesten like stor evne til å løse ut fiksert K som flere uorganiske syrer (Hansen 1981).

Ved tilsetning av steinmel er det blitt observert at den mikrobielle aktiviteten i jorda økte (Von Mersi et al. 1992). Å bruke steinmel i kombinasjon med organisk materiale kan derfor være effektivt i forhold til utslipp av næringsstoffer fra mineralene i steinmelet.

#### *Spesifikk overflate og strukturfeil*

Jo mer finknust materiale er jo, større spesifikk overflate, og jo større del av partikkelen eksponeres for forvitring (Harley & Gilkes 2000; Priyono & Gilkes 2004). Blum et al. (1989) sammenlignet forvitringen av basalt ved forskjellige kornstørrelser i sitronsyre, og fant at næringsstoffrigivelsen var størst ved minste kornstørrelse (Harley & Gilkes 2000). Håbjørg (1977) fant i sitt forsøk at kornstørrelsen hadde betydning for i hvilken rekkefølge kationer ble frigjort. Mengden frigjort Ca økte for alle bergartene med avtagende kornstørrelse, mens mengden frigjort K økte hovedsakelig hos de mest næringsrike bergartene, som amfibolitt og basalt. Håbjørg testet tilsammen tre forskjellige kornstørrelser (2-0,6 mm, 0,6-0,2 mm og 0,2 –

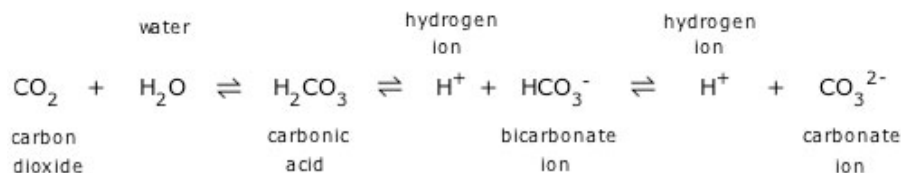


0,06 mm) og fant at forskjellen i kationutslipp mellom de to minste størrelsesfraksjonene var såpass liten at den ikke var signifikant.

Mineraler er mest mottagelig for angrep langs defekter som hull og sprekker på mineraloverflaten (Banfield & Eggleton 1990; Barman et al. 1992; Harley & Gilkes 2000) og etter hvert som nye overflater kommer til syne vil forvitringen jobbe seg innover mot kjernen av mineralet (Barman et al. 1992). Etter hvert som mineralet forvitrer, dannes det et lag med forvittringsprodukter på overflaten av mineralet som kan føre til at forvitringen går saktere (Harley & Gilkes 2000).

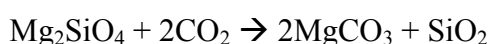
### 3.3 Steinmel som pH-forbedringsmiddel

Det brukes årlig omtrent 150 000 tonn kalkingsmiddel i norsk landbruk, blant annet for å unngå fiksering av P. Disse kalkingsmidlene inneholder karbonater som forvitrer lett i tillegg til å tilføre basekationer som Ca og Mg. Tilførsel av steinmel har vist seg å heve pH (Coroneos et al. 1995; Priyono & Gilkes 2004; Von Mersi et al. 1992) og bedre ionebyttekapasiteten til jorda (Gillman 1980). Økningen i pH er hovedsakelig grunnet opptaket av H<sup>+</sup>-ioner ved karbonatisering (figur 12) og utslipp av basekationer ved forvitring av steinmelet (Priyono & Gilkes 2004).



Figur 12: Karbonatbufferingsystem

Problemet ved tilsetning av karbonatholdig steinmel, er at det dannes CO<sub>2</sub> som er en klimagass. Det gjøres nå forskning på hvordan man kan bruke magnesiumrike silikater som olivin som CO<sub>2</sub>-fanger, ved at CO<sub>2</sub> reagerer med olivinen og danner magnesiumkarbonat (MgCO<sub>3</sub>) (NOU 2002):



### 3.4 Steinmel som jordforbedringsmiddel

Ved å tilsette steinmel i jord kan du forbedre jordas fysiske egenskaper, kation- og anionbyttekapasitet, næringsstoffretensjon og bufferkapasitet avhengig av hva slags jord det er.

Retvedt (1938) og Solberg (1928) fant begge i sine forsøk at avlingen økte med økt mengde tilsatt steinmel med samme totale næringsinnhold, noe som kan skyldes bedre fysiske forhold i jorda. I tillegg har steinmelet lignende effekt som sand og vil derfor kunne brukes i blant annet kompost som luktdemper og katalysator, da steinmelet vil kunne øke den mikrobielle aktiviteten i tillegg til å binde næringsstoffer (Heim 2006). Vanninnholdet i jorda kan økes med tilsatt steinmel da vannet bindes til overflaten på mineralene (Hansen 1981). I sandjord kan de små partiklene i leir- og siltfraksjon legge seg mellom sandkornene og dermed minske pore størrelsen som igjen kan øke vanninnholdet. Sammen med organisk materiale kan steinmelet danne aggregater i jorda som igjen bedrer vannledningsevnen. I torvjord kan steinmelet ha motsatt effekt ved at det legger seg i porene i torva og reduserer vannledningsevnen (Hansen 1981).

## 4. Materialer

I utvaskingsforsøket ble det brukt fem ulike steinmeltyper og to jordtyper.

### 4.1 Valgte steinmeltyper

Steinmeltypene og Agri Dol ble hentet fra forskjellige steder i Norge (tabell 2).

Tabell 2: Oversikt over områdene de ulike steinmelene ble hentet

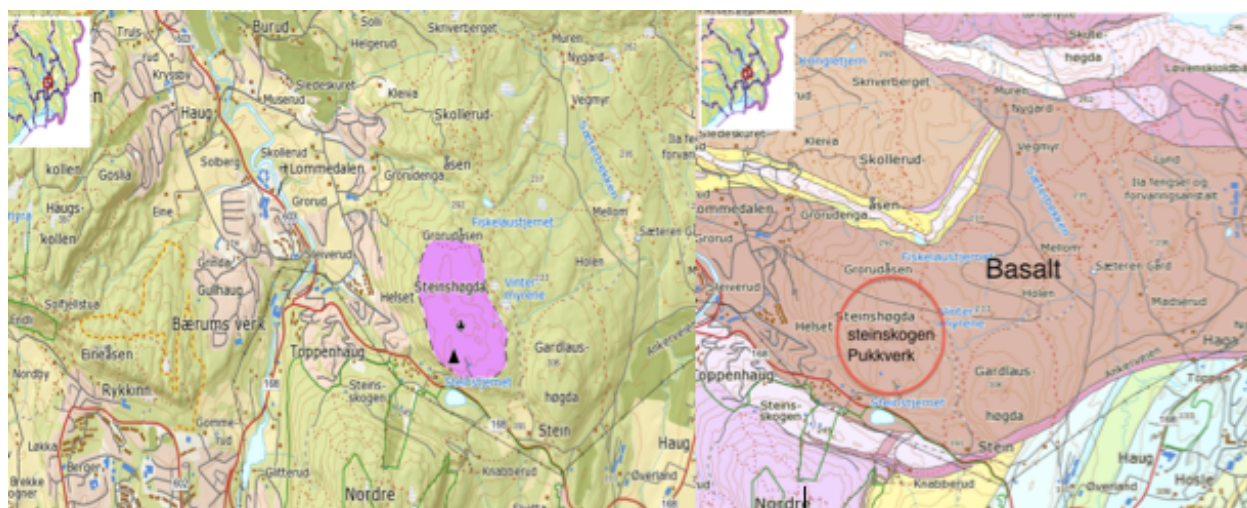
Steinmel	Lokasjon	Koordinater
Basalt	Steinskogen Pukkverk, Bærum Akershus	59°56'18"N 10°31'35"Ø
Larvikitt grov	Hedrum Pukkverk, Larvik Vestfold	59°5'56"N 10°3'19"Ø
Larvikitt fin	Rocks of Norway (Tvedalen steinindustri)	59°2'19"N 9°48'49"Ø
Altagro	Lillebukt, Stjernøya, Alta, Finnmark	70°15'44"N 22°37'11"Ø
Karbonatitt	Muotki, Stjernøya, Hasvik, Finnmark	70°15'44"N 22°37'11"Ø
Dolomitt	Ballangen, Nordland	68°23'53"N 16°49'12"Ø

#### 4.1.1 Basalt

Basalten ble hentet fra steinskogen pukkverk i Akershus fylke (figur 13) og er en kontaktmetamorf bergart som er omdannet av de store nordmarkittintrusjonene som ligger nord for. Steinskogen pukkverk ligger geologisk sett i Osloriften som ble dannet for mellom 310-240 Ma. Den geologiske utviklingen til riften som går fra sein karbon, gjennom hele perm

og inn i tidlig trias er delt opp i seks stadier. Basalten ble dannet i fase to (303-294 Ma) og kan deles inn i fire provinser; Brunlanes, Skien-Porsgrunn, Holmestrand-Jeløya og Krogsbogen-Kolsås-Nittedal, der den sistnevnte er der basalten som er brukt i denne oppgaven kommer fra. Basalten kan ha blitt dannet fra forskjellige deler av øvre del av mantelen og kan også ha fått innblandet deler av kontinentalskorpen på vei opp mot overflaten, noe som kan ha påvirket dens kjemi og mineralogi. Krogsbogen-Kolsås-Nittedal provinsen er dekket av et tykt lag med basalt (1000 m) og har en mineralogi ulik de andre basaltene i Osloriften, noe som betyr at den må komme fra en annen kilde i mantelen enn de andre basaltene (Larsen et al. kapittel 9 i Ramberg et al. 2007; Sæther 1962). Den har derfor en veldig komplisert struktur dannet av flere lavastrømmer, sedimentlag og basaltårer, og kan hovedsakelig deles inn i tre lag: pyroksen-dominert basalt med få innslag av sandstein sannsynligvis dannet fra basaltutbrudd fra en nærliggende kilde, et sedimentært lag bestående av rombeporfyr (sedimentert fra områder rundt basaltstrømmene) og basalt dannet grunnet stans i vulkansk aktivitet, og et basalt lag med tynne lag av sandstein og konglomerat dannet av ny vulkansk aktivitet. Det øverste laget består også av flere basaltårer som trenger helt ned til den underliggende rombeporfyren (Sæther 1962).

Basalten brukt i denne oppgaven ble anslått til å inneholde hovedsakelig mineralene feltspat og amfibol som inneholder en del K og Ca (Tabell 3, figur 19 og vedlegg 1).

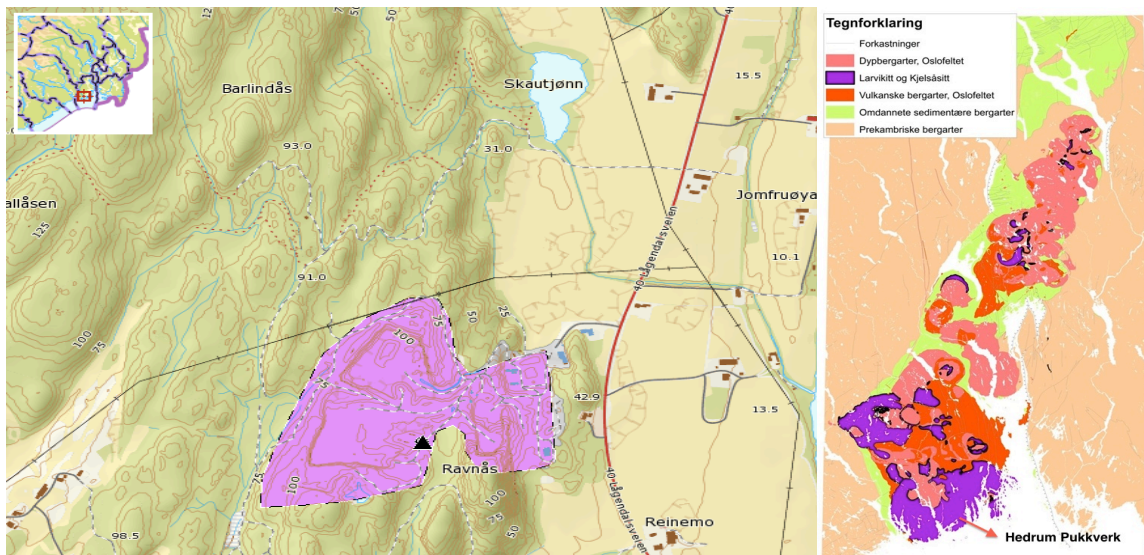


**Figur 13: Prøvetakingssted for basaltsteinmel, Steinskogen pukkverk, Bærum, Akershus (NGU). Til høyre berggrunnskart over området (NGU).**

#### 4.1.2 Larvikitt

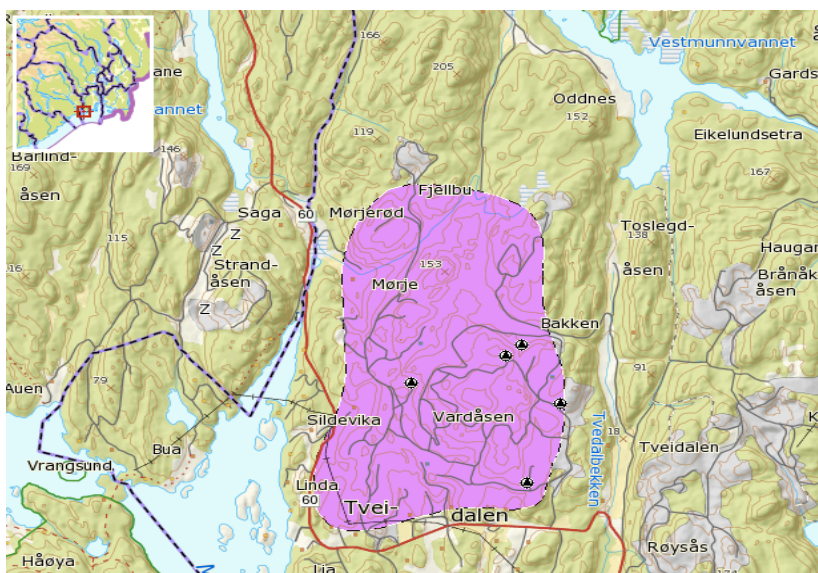
Larvikitt er en spesiell bergart fra Osloriften som finnes i Vestfold og Telemark og ble dannet på rundt 30km dyp for ca. 280 Ma. Den ble dannet sent i fase 3 i Osloriften (293-275 Ma) og var de første store dypbergartene som ble dannet (Larsen et al. 2007, kapittel 9 i Ramberg et al. 2007).

I denne oppgaven er det brukt larvikittsteinmel med to grader av maling: grovt og finmalt. Den grove fraksjonen er maskinsand (0-2 mm) fra Hedrum pukkverk i Larvik, Vestfold (figur 14). Bergarten er grovkornet og har liten variasjon i både farge, kornstørrelse og oppsprekking (NGU 1995). Den inneholder hovedsakelig ternærfeltspat, som er rik på K og Ca og pyroksen som er rik på Ca og Mg (tabell 3 og 19 og vedlegg 1).



**Figur 14: Prøvetakingssted for larvikitt grov, Hedrum pukkverk, Larvik, Vestfold (NGU). Til venstre berggrunnskart over området (NGU).**

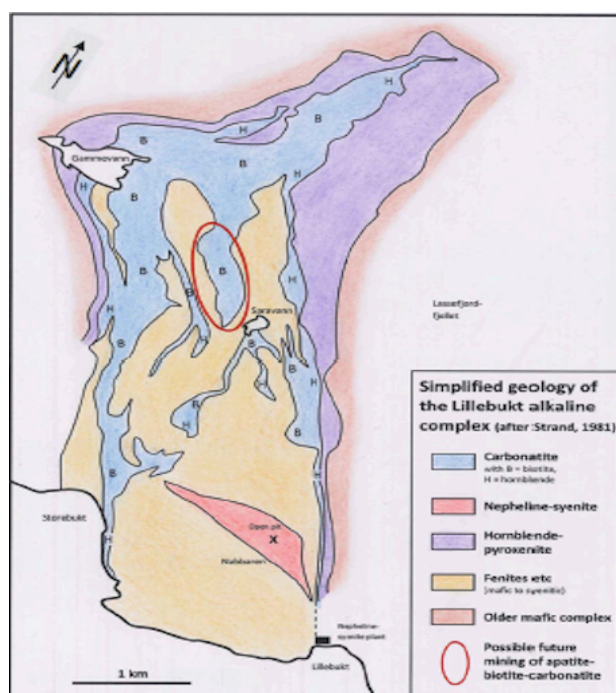
Den fine fraksjonen av larvikitt er steinmel fra larvikittbearbeidingen til Rocks of Norway. Mesteparten av larvikitten kommer fra bruddene i Tvedalen (figur 15), men de kjøper og bearbeider skrotstein fra hele larvikittområdet (Heim 2014 pers. med.).



Figur 15: Et av prøvetakingsområdene for larvikitt fin, Tvedalen steinindustri, Larvik, Vestfold (NGU)

#### 4.1.3 Karbonatitt og Altagro

Karbonatitten og Altagroen i dette forsøket er hentet fra Stjernøya i Finnmark hvor North Cape Minerals bryter nefelinsyenitt (figur 16).

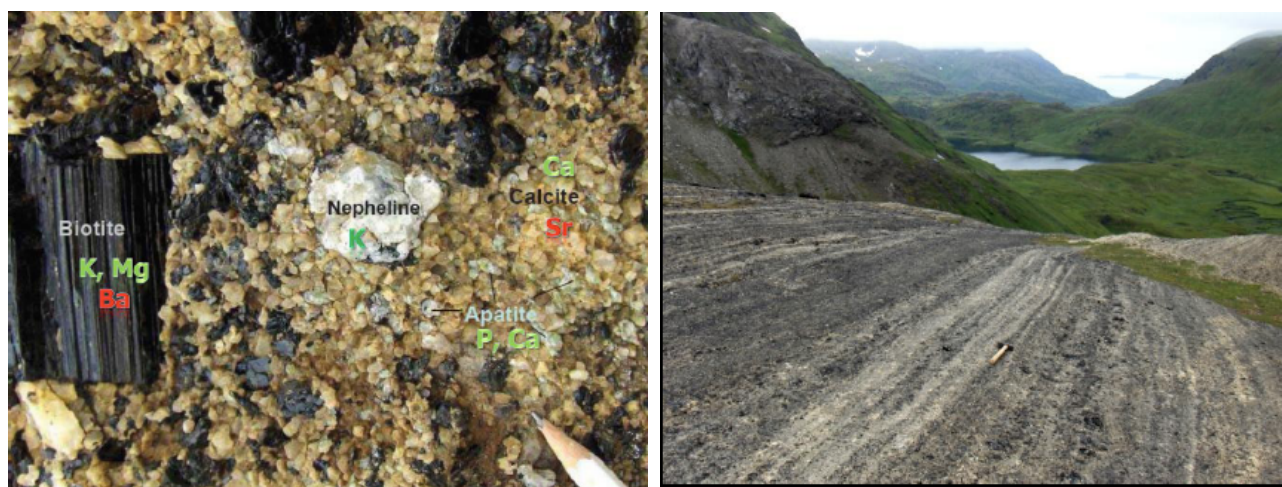


Figur 16: Berggrunnskart over prøvetakingssted for karbonatitt og Altagro, Stjernøya, Alta, Finnmark (NGU)

Stjernøya er en del av Seilandprovinsen der dypbergarter har trengt inn i en 4-5 km tykk lagrekke med omdannede sandsteiner og skifre som tilsammen utgjør Sørøya-Seilanddekket i den øvre delen av Kalak-dekkekomplekset. Radiometriske aldersbestemmelser viser at



gabbrobergartene størknet for omtrent 570-560 Ma, mens de lysere dypbergarter (deriblant karbonatitt) med høyere innhold av Na og K størknet seinere i kambrium for omkring 530-520 Ma (Nystuen 2007, kapittel 4 i Ramberg et al. 2007). Karbonatitten inneholder gjennomsnittlig rundt 25-35% biotitt (K, Mg), 5-10% apatitt (P), 40-45% kalkspat (Ca), en del nefelin (K) og noen sulfider, i tillegg til flere viktige næringsstoffer som Fe, Zn, Mn og Cu (Heim et al. 2012). Andre synlige mineraler kan være hornblende, ulike oksider og titanitt (figur 17). Karbonatitten fra Stjernøya er et godt alternativ som steinmel da både mineralogien og geokjemien i dette området er godt dokumentert av NGU (Carstens 2001).

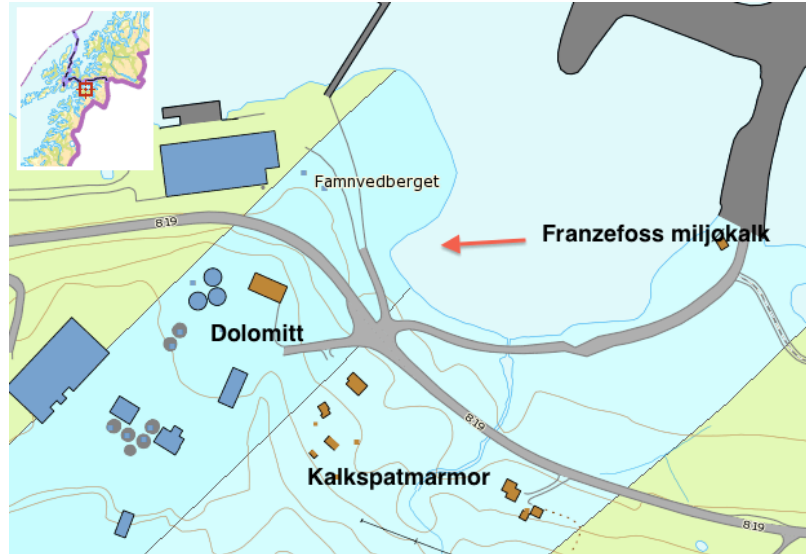


**Figur 17:** Til venstre: dominerende mineraler i karbonatitten. Til høyre: bånd av mørke (biotitt/amfibol) og lyse (kalkspat) lag som varierer i tykkelse på Stjernøya (Heim et al. 2012).

Det produseres hele 150 000 tonn Altagro per år, og per i dag dumpes dette i Altafjorden. Altagro inneholder mest amfibol, biotitt og kalifeltspat i tillegg til en del nefelin, og noe kalkspat og apatitt, og er derfor en god kilde til både Ca, Mg og K (tabell 3, figur 19 og vedlegg 1)

#### 4.1.4 Agri Dol

Agri Dol er dolomittkalk fra Franzefoss minerals i Ballangen i Nordland (figur 18). Den inneholder spesielt mye Mg, i tillegg til noe Ca (tabell 3, figur 19 og vedlegg 1), og er derfor godt egnet til å heve pH i jorda. I Troms og Norland finner man store lagpakker, 7000 m tykke, av deformert og metamorfosert kalkstein og dolomitt fra ordovicium (488-443 Ma) (Nakrem & Worsly 2007, kapittel 5 i Ramberg et al. 2007). Opprinnelsen til dolomittstein er fortsatt uklar, da ingen marine organismer produserer dolomitt, og den kjemiske utfellingen av dolomitt i havet skjer kun under spesielle forhold. Det vanlige er at dolomittstein produseres når Mg-rikt vann sirkulerer gjennom kalkstein og omdanner kalkspat til dolomitt ved at Ca-ioner byttes ut med Mg-ioner (dolomisering) (Lutgens et al. 2012).



Figur 18: Prøvetaksingssted for Agri Dol, Ballangen, Nordland (del av salangdekket) (NGU)



Figur 19: Prøve av de ulike steinmelene som ble brukt i forsøket

**Tabell 3: Mineralogien til steinmeltypene basalt, larvikitt (datablad), karbonatitt (Heim 2014. Pers. Med.), Altagro (Heim 2013), Agri Dol (Franzefoss minerals).**

	Basalt	Larvikitt	Karbonatitt	Altagro	Agri Dol
Feltspat	30	80	< 5	20	8
Dolomitt					89
Kalkspat	3		40	3	
Biotitt		1	40	29	
Amfibol	25	4		34	
Nefelin		3	< 5	13	
Magnetitt		2			
Apatitt		1	11	0,3	
Pyroksen		5			
Olivin		4			
Epidot	10				
Kloritt	10				
Kvarts	10				
Andre	12				

## 4.2 Valgte jordtyper

De to ulike jordtypene, podsol og leirjord ble hentet fra to forskjellige steder i Ås kommune (Tabell 4). Jorden ble tatt fra omtrent 20-30 cm dyp.

**Tabell 4: Prøvetakingsområder for podsol og leirjord**

Jordtype	Lokasjon	Koordinater
<b>Podsol</b>	Eldorveien, Ås, Akershus	59° 6' 62.80"N 10° 7' 63.20"Ø
<b>Leirjord</b>	Kjerringjordet, Ås, Akershus	59° 6' 56.40"N 10° 8' 14.05"Ø

For podsoljorden ble strølaget på toppen fjernet, og det ble tatt prøve fra A-sjiktet og ned til B-sjiktet (figur 19). Selv om strølaget ble fjernet så inneholdt podsoljorda mye organisk materiale. Jorda var en typisk strandnær gruntvannsavsetning, avsatt litt utenfor selve stranden, og var derfor preget av en noe grov avsetning (Sørensen 2014 pers. med.). Vanninnholdet var på rundt 28 %.



Leirjorda ble hentet fra et prøvelfelt på kjerringjordet ved Ås i Akershus, og kan karakteriseres som en mellomleire (figur 7), da den inneholdt en god del sand og silt (figur 21).

Hovedmineralene var plagioklas (39 %), kvarts (30) og K-feltspat (15 %), i tillegg til leirmineralene illitt (5 %), vermikulitt (5 %) og kloritt (4 %) (Krogstad 2014). Da illitt og kloritt er ikke-ekspanderende, og vermikulitt kun ekspanderer noe, vil ikke leirjorda kunne holde på like mye vann som en typisk ekspanderende leire (kapittel 2.2 Mineraler). Dette stemmer godt overens med målt vanninnhold på 23 % som var mindre enn i podsol.



**Figur 20:** Snitt av podsolja med tydelig sjiktdeling: mørkt A-sjikt etterfulgt av et lysere utfellingssjikt (E-sjikt), og til slutt et rødt B-sjikt som sannsynligvis inneholder en del Fe-oksider som danner den røde fargen.

## 5. Metode

I dette utvaskingsforsøket ble fem ulike steinmeltyper: basalt, karbonatitt, Altagro og larvikitt (grov og fin), i tillegg til dolomittkalk, blandet med jordtypene podsol og leirjord. En leirjordprøve ble i tillegg tilsatt KCl og tre podsolprøver ble tilsatt K-fosfat. Blandingene ble fylt i plastrør og deretter langsomt vasket ut med væske tilsvarende regnvann og deretter med sitronsyre. Væsken ble deretter samlet og analysert for utvalgte grunnstoffer i tillegg til at pH ble målt. Alle behandlingene ble gjentatt tre ganger, bortsett fra to av podsolprøvene som ble gjentatt fire ganger da disse måtte deles opp grunnet mangel på plass i første kjøring.

### 5.1 Kornfordeling

Alle steinmeltypene ble knust med kjeftknuser, med etterfølgende videre finknusing til < 2 mm i en mindre kjeftknuser før de ble tatt i bruk. Podsol og leirjord ble siktet mens jorden fortsatt var

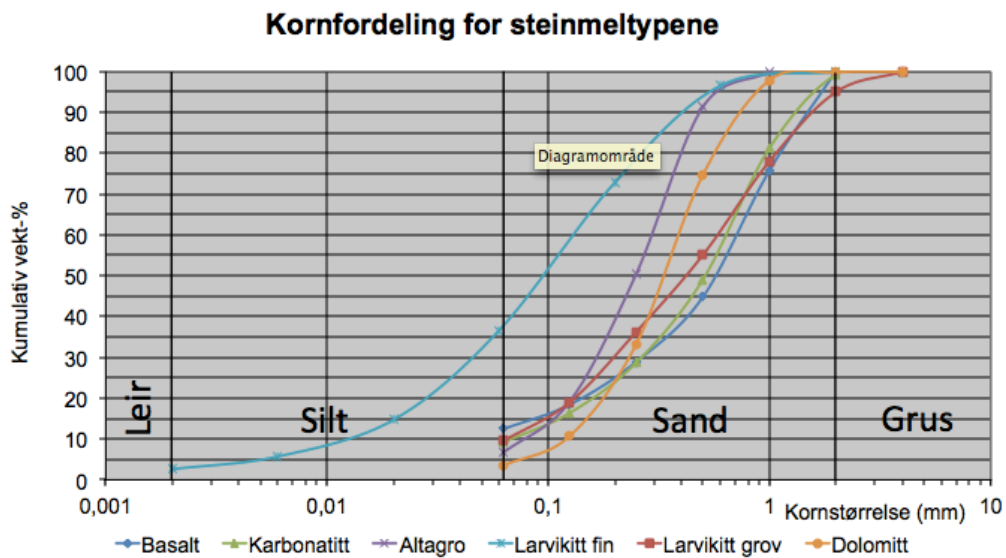
fuktig til 2 mm gjennom en sil (figur 21), blandet godt og deretter fylt i tette beholdere. Jorda ble lagret i et kjølerom i omtrent 4 måneder før den ble brukt til utvaskingsforsøket.



**Figur 21: Sikteutstyr for sikting av jord**

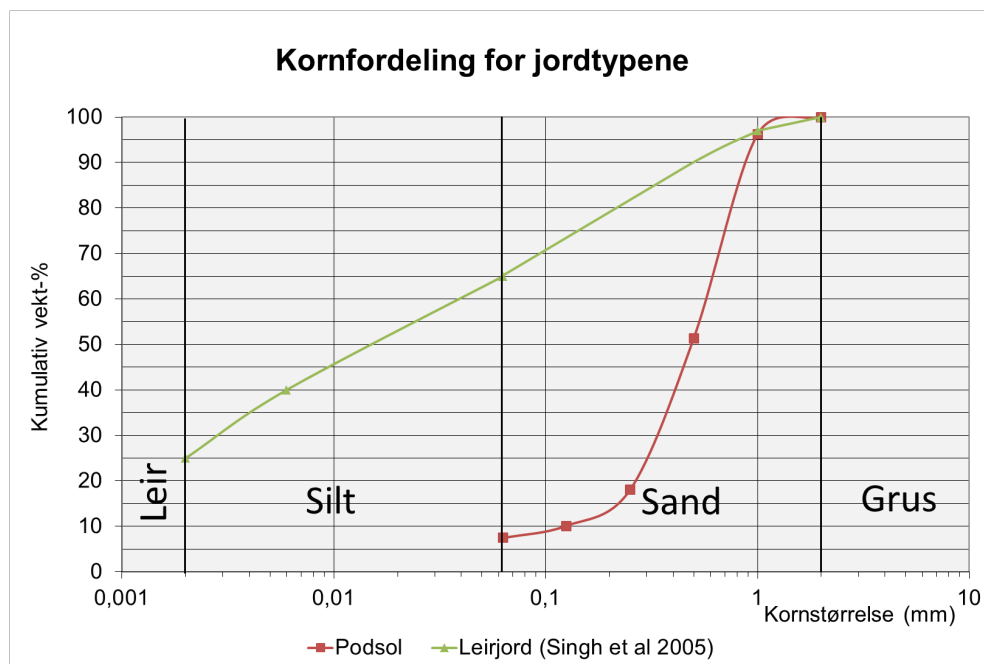
Steinmelene, bortsett fra larvikitt fin, og podsol ble tørrsiktet for å bestemme kornstørrelsesfordelingen. Det vil alltid være noe tap av finstoff ved bruk av denne metoden, spesielt for jordtypene. Kornstørrelsesfordelingen av larvikitt fin ble gitt av Rocks of Norway, antagelig analysert ved optisk Coulter metode, og kornstørrelsesfordelingen til leirjorda ble gitt av Singh et al. (2005).

Kornfordelingskurvene i figur 22 viser at med unntak av larvikitt fin, hadde alle steinmeltypene nokså lik kornstørrelsesfordeling og ligger hovedsakelig i sandfraksjonen (0.063-1 mm). Over 90% av Altagro og over 70% av larvikitt fin hadde en kornstørrelse på mindre enn 0.5 mm, mens for larvikitt grov, karbonatitt og basalt var dette tallet nærmere 50% (vedlegg 2).



**Figur 22: Kornfordelingskurve for steinmelene basalt, karbonatitt, Altagro, larvikitt grov, larvikitt fin og dolomitt (Agri Dol)**

Kornfordelingskurven for podsoljorda viser en tydelig sandig jord med over 50% i en fraksjon på under 0.5 mm (Figur 23 og vedlegg 2). Leirjorda inneholdt som sagt mest silt (0.002 – 0.063 mm) og sand med hele 90% i en fraksjon på under 0.5 mm (Figur 23 og vedlegg 2).



**Figur 23: Kornfordelingskurve for podsol og leirjord, der tallene for leirjord er tatt fra Singh et al. (2005)**

## 5.2 Kjemiske analyser

Jordprøvene ble tørket ved 40 °C over to døgn og knust i agatmorter, før de ble sammen med steinmel, sendt til analyse. Det ble foretatt XRF-analyse og ICP-MS analyse hos AcmeLabs™ i Vancouver (Canada) for å få et mål på totalinnholdet av de ulike næringsstoffene (tabell 8 og 11) i tillegg til analyse av lettløselig P, Mg, K, Ca og Na (AL-metoden), syreløselig K (HNO<sub>3</sub>-metoden) (tabell 9) hos Eurofins i Moss.

XRF er en ikke-destruktiv målemetode for å kvantifisere grunnstoffer i en prøve.

Når prøven blir bestrålt av en røntgenstråle, slipper grunnstoffene ut karakteristisk fluorescensstråling som dermed kan gi et mål på innhold av grunnstoffer i prøver (NGU 2008; Skoog et al. 2007).

AL-metoden måler mengden lettløselig næringsstoffer ved å bruke svake organiske syrer og deretter måle mengden næringsstoffer som kommer ut i ekstraktet (Løes). Ved tilsetning av syrene vil NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-ioner bytte plass med kationene på partiklene i prøvene som dermed blir frigjort i løsningen. Det tilsatte laktatet kompleksbinder Fe og Al som fører til at disse stoffene løses ut raskere. Selve ekstraksjonsløsningen har en pH på 3,75 og består av 0,1 M ammoniumlaktat og 0,4 M eddiksyre (Krogstad 1992). Metoden brukes som oftest til å måle tilgjengelig P, Mg, K og Ca, og for å kunne vurdere resultatene i forhold til mengden næringsstoffer i jorda som er tilgjengelig for plantene, brukes det ofte et klassifiseringssystem (tabell 5) (Krogstad 1992). Syreløselig K er et mål på tungtløselig K i prøven. Løst K måles i 1 M HNO<sub>3</sub> (Krogstad 1992).

**Tabell 5: Klassifiseringssystem for å vurdere resultatene av AL-ekstraksjon i jord. Verdier er gitt i mg/100g jord (Krogstad 1992)**

Klasse	1 – lite	2 – middels	3 – stort	4 – meget stort
C <sub>AL</sub>	< 50	51-100	101-200	>200
K <sub>AL</sub>	0-6	7-15	16-30	>30
Mg <sub>AL</sub>	0-2	3-5	6-9	>9
P <sub>AL</sub>	0-2	3-6	7-15	>15

ICP er en delvis ionisert gass som består av like mange negativt og positivt ladde partikler som opprettholdes av et høyfrekvent elektromagnetisk felt (Wibetoe 2009). ICP-MS er en kjemisk metode for å bestemme grunnstoffer som måler forholdet masse over ladning i et massespektrometer som benyttes for å finne og separere ionene. Argon brukes her som en

bæregass som frakter en aerosol som inneholder en prøve til en induktivt koblet plasma, der prøven fordampes og ioniseres til positivt ladde ioner. Den ioniserte gassen sendes deretter inn i massespektrometeret, der de blir separert og til slutt registrert (Skoog et al. 2007; Wibetoe 2009).

### **5.3 pH forsøk**

Det var vanskelig å velge et kriterium for å vurdere hvor mye steinmel som skulle tilsettes. Om mulig var lik pH i alle behandlingene unntatt kontroll (ren jord uten tilsetting av steinmel) ønskelig. Basalten og den fine fraksjonen av larvikitt kom ikke med på de første pH-forsøkene, da bruk av disse steinmelene ble bestemt etter de innledende pH-forsøkene var ferdig.

pH ble målt i de to jordtypene og i hver av steinmeltypene, i tillegg til en jord/steinmelblanding, der ett sett med prøver ble tilsatt 1 % steinmel og et annet sett ble tilsatt 22 % steinmel. Beholderne ble plassert i ristemaskin mellom hvert måletidspunkt, og ble stående for å sedimentere i 30 minutter før pH ble målt. For å unngå at det skulle lekke KCl fra elektroden på pH-meteret, ble pH kun målt en gang i hver prøve.

### **5.4 Utvaskingsforsøk**

For selve utvaskingsforsøket ble jord og steinmel først fylt i 35 cm lange søyler med en diameter på 2.4 cm, volum på  $90.4 \text{ cm}^3$  og tverrsnittareal på  $4.52 \text{ cm}^2$ . Like store mengder tørr jord av podsol og leirjord tilsatt ett gram steinmel eller Agri Dol ble fylt i 20 cm av søylene som skulle tilsvare plogsjiktet (tabell 6 og vedlegg 4). Med en tetthet på  $1.2 \text{ g/cm}^3$  for leirjorda og  $0.7 \text{ g/cm}^3$  for podsoljorda, vil ett gram steinmel per 100 gram jord tilsvare omtrent 2.4 tonn steinmel per dekar for leirjorda og 1.4 tonn steinmel per dekar for podsoljorda. Det ble ikke satt opp blanke prøver, grunnet plassmangel ved pumpen.

**Tabell 6: Oversikt over de ulike behandlingene i forsøket**

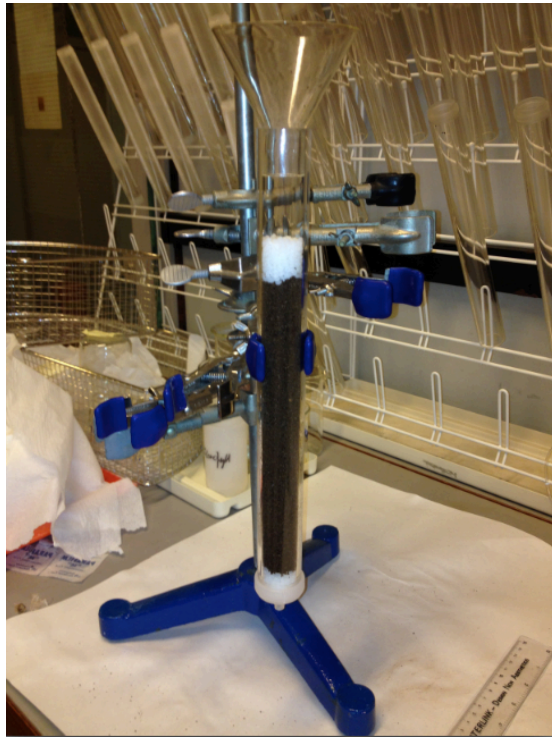
Jord (78 g)	Steinmel (1 g)
Podsøl	Ingen
Podsøl	K-fosfat
Podsøl	Dolomitt
Podsøl	Dolomitt med K-fosfat
Podsøl	Altagro
Podsøl	Karbonatitt
Podsøl	Larvikitt fin
Podsøl	Larvikitt fin med K-fosfat
Podsøl	Larvikitt grov
Podsøl	Basalt
Leirjord	Ingen
Leirjord	KCl
Leirjord	Dolomitt
Leirjord	Altagro
Leirjord	Karbonatitt
Leirjord	Larvikitt fin
Leirjord	Larvikitt grov
Leirjord	Basalt

p ble tilsatt noen av podsølprøvene da P-tilgjengeligheten ofte er dårligst i denne type jord grunnet lav pH og binding med oksider (kapittel 2.4.1). Selv om normen på gjødsling av P for bygg og hvete ligger på 1.6 – 2.1 kg P/daa (Yara Norge 2010), ble det tilsatt P i en mengde som tilsvarer 3 kg P/daa, da P-AL innholdet i jorda var såpass lavt (< 0,2 mg/100g jord).

I leirjorda ble det tilsatt K i form av K-fosfat i en av prøvene. Den anbefalte gjødslingsmengden av K til korn ligger på omtrent 8 kg K/daa og til eng mellom 5.5 – 16 kg K/daa, avhengig av forventet avling (Yara Norge 2010). Siden K-AL verdien i leirjorda var på 17.5 mg K/100g jord, som tilsvarer en korreksjon på -1 kg K/daa, ble det tilsatt K som tilsvarer en gjødslingsmengde på 10 kg K/daa (moderat gjødsling til slott eng).

Søylene ble fylt med plastkuler (en full 10ml måleskje) over og under jorda som ble pakket underveis og dekket med aluminiumsfolie for å hindre at lys skulle komme inn. Toppen av sylindrene ble dekket av parafilm med et lite hull i midten der slangen ble plassert og teipet fast. Plastflasker ble plassert under sylindrene for å ta imot avrenningen (figur 24 og 25).





**Figur 24: Oppsett på fylling av søyler, med plastkuler over og under jordsøylen.**



**Figur 25: Forsøksoppsett med søylene koblet til en pumpe som pumpet ekstraksjonsvæsken fra flaskene til venstre gjennom slangene og ned i søylen. Flaskene under søylene tok i mot utvasket væske.**

Slangene ble koblet til en peristaltpumpe som pumpet væske tilsvarende 36 mm/dag, da dette skulle simulere regn eller roteksudater. Jordprøvene ble først ekstrahert med konstruert regnvann (pH = 5.79) i en uke (totalt 252 mm), deretter med 0,01M sitronsyre (pH = 2.54) i to dager for å ”skylle ut” det resterende regnvannet i jordsøylen (totalt 72 mm), og til slutt to uker med 0,01M sitronsyre (totalt 504 mm) (vedlegg 5). Gjennomsnittstemperatur i rommet var 20 °C. Da de forskjellige slangene dessverre gav noe ulik mengde ekstraksjon, var det noen av slangene som måtte stå lengere enn andre.

For fremstillingen av regnvannet ble det tatt utgangspunkt i Låg (1969), der det var gjort analyser av nedbøren fra 12 norske meteorologiske stasjoner. Regnvannet var en typisk kystnedbør fra Lista i Vest-Agder med et forhold mellom mmol klorid og mmol sulfat lik 12.4 (vedlegg 3). Stammløsningen ble fortynnet 100 ganger med destillert vann (tabell 7).

**Tabell 7: Kjemisk innhold i 1 liter regnvannsløsning**

Grunnstoff	mmol/L løsning
Mg	0,07
K	0,022
Na	0,613
Ca	0,03
S	0,043

Prøver ble tatt etter hver ekstraksjon for pH-måling og ICP-analyse. Da det hadde samlet seg bunnfall i flaskene som sannsynligvis var jordpartikler som var blitt skylt ut med ekstraksjonen, ble analyseprøvene tatt med pipette. Det ble tatt 10 ml ut av hver prøve og tilsatt 1 ml konsentrert salpetersyre (HNO<sub>3</sub>). Prøvene ble deretter blandet godt og plassert i et varmeskap på 90°C i ca. halvannen time for å hindre at humussyrer ble felt ut. Det ble registrert noe utfelling også etter denne behandlingen.

## 5.5 Statistisk analyse

Forskjeller mellom de ulike behandlingene og de to jordtypene ble analysert ved bruk av variansanalyser i det statistiske dataprogrammet SAS. Forskjeller ble hovedsakelig kommentert når de var signifikant forskjellige på 0.05 signifikansnivå om ikke noe annet er spesifisert. Minste signifikante forskjell (LSD) setter nivået variablene må være forskjellige fra hverandre for at det kan konstateres at de er signifikant forskjellig, og er oppgitt for hvert element.



## 6 Resultater

### 6.1 Steinmel og jordanalyser

Agri Dol hadde mest total- og syreløselig Mg og Ca (tabell 8 og 9) som stemmer godt overens med mineraloversikten i tabell 3. Den hadde lavest innhold av alle de andre elementene, men hadde overraskende høyt innhold av syreløselig K (figur 26). Dette kan bety at den inneholdt noe flogipitt (Heim 2014 pers. med).

Karbonatitten hadde høyest totalinnhold av P (tabell 8), men lavest lettløselig P (tabell 9), sannsynligvis grunnet innhold av lite løselig grovkornet magmatisk apatitt. Totalinnholdet av K i karbonatitt var ikke like høyt som noen av de andre steinmeltypene, men syreløselig K var høyest av alle (figur 26). Dette var sannsynligvis fordi K i karbonatitten hovedsakelig foreligger som biotitt, der K bundet mellom sjiktene løses ut ved tilsetning av syre. Totalt- og syreløselig Ca i karbonatitten var nesten like høy som i Agri Dol, og dermed høyere enn de andre steinmeltypene (tabell 8 og 9), noe som skyldes det høye innholdet av kalkspat (tabell 3). Det samme gjaldt syreløselig Mg, som kan komme fra biotitt (tabell 3). Det store innholdet av biotitt kan også være årsaken til at karbonatitt hadde høyest totalinnhold av Fe (tabell 8), da den inneholdt mer kalkspat og mindre silikater enn de andre steinmeltypene hadde den lavt innhold av både Si, Al og Na.

Larvikitt inneholdt ikke like mye P som karbonatitt, men på tross av dette hadde larvikitt fin klart mest lettløselig P (10.6 % av total-P). Larvikitt grov hadde omtrent 4 % lettløselig P (tabell 9), noe som kan bety at de to larvikittypene hadde ulikt mineralinnhold, i tillegg til at larvikitt fin hadde mer finkornet apatitt med større spesifikk overflate. Larvikitten hadde også høyt innhold av total K, men lite syreløselig K (figur 26), som kan skyldes at K-kilden i larvikitt var feltspatsom er dårlige K-kilde, da K er bundet sterkt i gitterstrukturen (kapittel 3.2.1). Den inneholdt minst Mg og Ca av de ulike steinmeltypene (figur 8 og 9) sannsynligvis grunnet lavt innhold av mørke mineraler og kalkspat (tabell 3).

Altagro inneholdt minst P av alle steinmeltypene (tabell 8 og 9), noe som stemmer bra i forhold til mineralogien (tabell 3). Den hadde høyest totalinnhold av K, i tillegg til høyt innhold av lettløselig- og syreløselig K (figur 26), grunnet høyt innhold av både biotitt og nefelin (tabell 3). Totalinnholdet av Mg var høyt (lå på lik linje som karbonatitt og basalt), men lite av dette var lettløselig (figur 9). For Ca derimot var det motsatt, der totalinnholdet var lavt (tabell 8), men lettløselig Ca var høyt (tabell 9).

Basalten inneholdt omtrent like mye P som larvikitt (tabell 8), men hadde lavere lettløselig P (tabell 9). Dette tyder på at basalten inneholdt noe finkornet magmatisk apatitt. Den hadde lavest K-innhold av alle steinmelene, og hadde derfor også lite syreløselig K (figur 26). Både total-Ca og lettløselig-Ca var høyere enn alle de andre steinmeltypene, bortsett fra karbonatitt og Agri Dol. Den inneholdt også mye Mg (2.89%), men lite av dette var lettløselig (tabell 9). Det høye Ca- og Mg-innholdet er sannsynligvis grunnet basaltens høye amfibolinnhold.

Na-, Al- og Si-innholdet i steinmelene var relativt like med unntak av karbonatitten og Agri Dol (tabell 8). Fe-innholdet var høyest i karbonatitten og i basalten grunnet karbonatittens biotittinnhold og basaltens epidotinnhold.

Leirjorda hadde høyere innhold av både P, Fe, Ca, Al og Mg enn podsol (tabell 8). Det lettløselige P-innholdet i leirjorda var også høyere enn alle de ulike steinmeltypene (tabell 9), noe som kan skyldes at P ligger bundet til kanten på leirmineralene. K-innholdet var veldig likt i de to jordtypene, mens Si-innholdet var noe høyere i podsol. Dette er sannsynligvis grunnet det høye innholdet av sand i podsol som hovedsakelig bestod av kvarts og feltspat, og kan også forklare det høye K-innholdet i podsol, da lettløselig K var lavere i podsol enn i leirjord (figur 26). Mg- og Ca-innholdet var lavt i begge jordtypene (tabell 8 og 9).

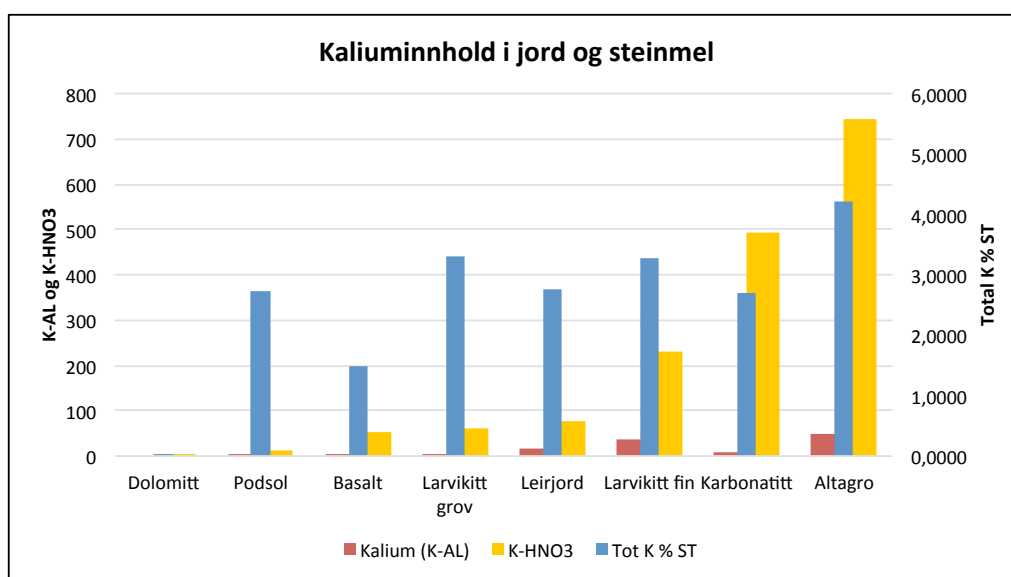
Totalt S- og Cr-innhold i de ulike jord- og steinmeltypene var så lavt at det er av liten betydning (tabell 8). Det totale innholdet av karbon (C) i steinmelet gjenspeiler karbonatinnholdet og vil derfor kunne si noe om steinmelets kalkspatinnhold. Karbonatitten inneholdt rundt 40 % kalkspat, noe som stemmer godt overens med mineralogien i tabell 3. Det samme gjaldt Altagro og basalt som inneholdt 3% kalkspat, det samme som er opplyst i tabell 3. For larvikitten ble det ikke oppgitt noe kalkspatinnhold, noe som kan stemme bra da denne lå på rundt 0.3 %. For jordtypene var C-innholdet størst for podsol da denne inneholdt mer organisk materiale enn leirjorda (tabell 8).

Tabell 1: XRF-analyse av basalt, larvikitt grov, larvikitt fin, karbonatitt, Altagro, dolomittkalk (Agri Dol), podsol og leirjord. Resultatene er gitt som oksider og rent stoff i vekt-%.

Steinmel/jord	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	Na2O	K2O	MnO	TiO2	P2O5	Cr2O3	LOI	TOT/S	TOT/C
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
<b>Basalt</b>	46,6	15,3	12,3	8,875	4,79	3,41	1,81	0,155	2,86	0,530	0,00350	3,05	<0,02	0,390
<b>Larvikitt grov</b>	57,4	18,2	5,69	3,97	1,45	6,04	4,00	0,155	1,27	0,590	< 0,001	0,390	<0,02	0,0400
<b>Larvikitt fin</b>	57,6	18,9	5,43	3,76	1,37	6,80	3,94	0,150	1,08	0,520	< 0,001	0,0500	<0,02	0,0300
<b>Karbonatitt</b>	17,9	5,9	13,0	28,3	4,45	0,833	3,27	0,210	2,27	4,53	< 0,001	17,8	0,0500	4,94
<b>Altagro</b>	46,2	18,1	9,51	6,87	3,85	5,66	5,08	0,253	2,09	0,137	0,0200	1,38	0,110	0,310
<b>Dolomitt</b>	1,25	0,185	0,147	31,9	21,2	< 0,1	0,0340	0,00300	< 0,1	0,152	< 0,001	-	<0,02	<0,02
<b>Podsol</b>	69,5	10,7	2,60	0,625	0,315	2,69	3,29	0,0500	0,410	0,0700	0,00300	9,65	0,0300	3,28
<b>Leirjord</b>	63,4	13,7	4,22	1,18	1,28	2,37	3,34	0,0750	0,750	0,290	< 0,001	9,2	0,0450	2,60
	Si	Al	Fe	Ca	Mg	Na	K	Mn	Ti	P	Cr			
<b>Basalt</b>	21,8	8,08	8,59	6,34	2,89	2,53	1,50	0,120	1,71	0,231	0,00239	-	<0,02	0,390
<b>Larvikitt grov</b>	26,8	9,62	3,98	2,84	0,871	4,48	3,32	0,120	0,758	0,258	< 0,001	-	<0,02	0,0400
<b>Larvikitt fin</b>	26,9	10,0	3,80	2,69	0,826	5,05	3,27	0,116	0,647	0,227	< 0,001	-	<0,02	0,0300
<b>Karbonatitt</b>	8,37	3,11	9,12	20,2	2,69	0,618	2,71	0,163	1,36	1,98	< 0,001	-	0,0500	4,94
<b>Altagro</b>	21,6	9,58	6,66	4,91	2,32	4,20	4,21	0,196	1,25	0,0597	0,0137	-	0,110	0,310
<b>Dolomitt</b>	0,584	0,098	0,103	22,8	12,8	< 0,1	0,0282	0,00232	< 0,1	0,0664	< 0,001	-	<0,02	<0,02
<b>Podsol</b>	32,5	5,67	1,82	0,446	0,190	2,00	2,73	0,0387	0,246	0,0300	0,00200	-	0,0300	3,28
<b>Leirjord</b>	29,6	7,26	2,95	0,843	0,769	1,76	2,77	0,0581	0,450	0,130	< 0,001	-	0,0500	2,60

**Tabell 1: Innhold av lettløselig P (P-AL), K (K-AL), Mg (Mg-AL), Ca (Ca-AL) og Na (Na-AL) og tungtløselig K (K-JNO<sub>3</sub>) i de ulike steinmeltypene, oppgitt i mg/100g og i vekt-%**

Parameter	P-AL	K-AL	Mg-AL	Ca-AL	Na-AL	K-HNO <sub>3</sub>
Enhet	mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g
Basalt	3,75	4,75	19,5	1550	5,20	54,0
Larvikitt grov	9,60	3,90	3,90	80,5	20,0	61,0
Larvikitt fin	24,0	36,0	6,70	180	140	230
Altagro	< 2	48,5	7,10	775	150	745
Karbonatitt	< 2	6,85	55,5	> 2000	8,15	495
Dolomitt	< 2	< 2	290	3100	5,00	4,90
Podsol	< 2,0	2,85	< 1,0	< 10	< 5,0	11,5
Leirjord	7,70	17,5	12,5	93,0	< 5,0	79,0
Enhet	%	%	%	%	%	%
Basalt	0,00375	0,00475	0,0195	1,55	0,00520	0,0540
Larvikitt grov	0,00960	0,00390	0,00390	0,0805	0,0200	0,0610
Larvikitt fin	0,0240	0,0360	0,00670	0,180	0,140	0,230
Altagro	< 0,002	0,0485	0,00710	0,775	0,150	0,745
Karbonatitt	< 0,002	0,00685	0,0555	> 2	0,00815	0,495
Dolomitt	< 0,002	< 0,002	0,290	3,100	0,00500	0,00490
Podsol	< 0,002	0,0029	< 0,001	< 0,001	< 0,002	0,0115
Leirjord	0,00770	0,0175	0,0125	0,0930	< 0,002	0,0790
Enhet	% av tot.	% av tot.	% av tot.	% av tot.	% av tot.	% av tot.
Basalt	1,62	0,316	0,675	24,5	0,206	3,60
Larvikitt grov	3,73	0,118	0,448	2,84	0,446	1,84
Larvikitt fin	10,6	1,10	0,811	6,70	2,77	7,04
Altagro	< 0,1	1,15	0,306	15,8	3,57	17,7
Karbonatitt	< 0,1	0,253	2,07	> 30	1,32	18,3
Dolomitt	< 0,1	< 0,1	2,27	13,62	< 0,1	17,4
Podsol	< 0,1	0,105	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,421
Leirjord	6,08	0,631	1,63	11,0	< 0,1	2,85



**Figur 1: Total K i prosent, K-AL og K-HNO<sub>3</sub> i de ulike steinmel- og jordtypene**

Ved å sammenligne analysedataene fra AL-metoden med klassifiseringssystemet til Krogstad (1992) (som egentlig er beregnet for jord), hadde karbonatitten et meget stort innhold av både Mg og Ca, middels innhold av K og lite P (tabell 10). Altagro hadde spesielt mye Ca og K i tillegg til en god del Mg, men lite P. Larvikitten inneholdt ikke veldig mye av noen av grunnstoffene, men hadde det største P-innholdet av alle steinmeltypene. Den inneholdt middels med Mg og Ca, men lite K. Basalt hadde, i likhet med karbonatitt mye Mg og Ca. Den inneholdt nest mest P av de ulike steinmeltypene, men som larvikitten hadde den lite K.

Leirjorda var veldig næringsrik da den hadde et meget stort innhold av Mg, stort innhold av P og K og et middels innhold av Ca (tabell 10). Podsoljorda var, som forventet, lite næringsrik.

**Tabell 10: Innhold av ulike næringsstoffer i steinmel og jord i forhold til klassifiseringssystemet til Krogstad 1992.**

	<b>Basalt</b>	<b>Larvikitt</b>	<b>Altagro</b>	<b>Karbonatitt</b>	<b>Podsol</b>	<b>Leirjord</b>
P-AL	<i>Middels</i>	<i>Stort</i>	<i>Lite</i>	<i>Lite</i>	<i>Lite</i>	<i>Stort</i>
K-AL	<i>Lite</i>	<i>Lite</i>	<i>Meget stort</i>	<i>Middels</i>	<i>Lite</i>	<i>Stort</i>
Mg-AL	<i>Meget stort</i>	<i>Middels</i>	<i>Stort</i>	<i>Meget stort</i>	<i>Lite</i>	<i>Meget stort</i>
Ca-AL	<i>Meget stort</i>	<i>Middels</i>	<i>Meget stort</i>	<i>Meget stort</i>	<i>Lite</i>	<i>Middels</i>

Utvalgte sporelementer som ble analysert ved bruk av ICP var Ba, Sr, Co, Mo, Cu, Cs, Pb, Zn, Ni og Cd (tabell 11). Karbonatitt inneholdt, som forventet mest Ba, Sr og Zn av de ulike steinmeltypene med henholdsvis 2535, 3743 og 101 mg/kg. Ba-innholdet var mye høyere enn gjennomsnittsverdien for norske bergarter som ligger på 600 mg/kg (tabell 10), og kommer sannsynligvis fra biotitten, da Ba erstatter K i biotitt. Det høye Zn-innholdet skyldes sannsynligvis også høyt innhold av biotitt i karbonatitten, som igjen inneholder mye sink (vedlegg 1). Det er per i dag et problem med for lave Zn-verdier i korn og planter som kan føre til redusert helsegevinst for mennesker (Bleken 2014 pers. med). Den høye Zn-verdien vil derfor ikke være negativt i forhold til bruken av karbonatitt i jordbruk. Zn-verdien var godt over gjennomsnittsverdien for norske bergarter (63 mg/kg), men holdt seg fortsatt under de gamle grenseverdiene til Debio (200 mg/kg).

Innholdet av Pb, Cs og Cd var lavt i alle steinmeltypene, og var også under gjennomsnittsverdiene for bergarter i Norge. Det samme gjaldt Mo, bortsett fra larvikitt grov (6,65 mg/kg) som lå over gjennomsnittet for norske bergarter (5 mg/kg). Ni-innholdet var størst i Altagro (22 mg/kg), og nærmet seg den gamle grenseverdien på 25 mg/kg, men fortsatt under gjennomsnittsverdien (44 mg/kg). Innholdet av Co (39 mg/kg) og Cu (32 mg/kg) var høyest i

basalt og lå over gjennomsnittsverdiene for bergarter i Norge på henholdsvis 21 mg/kg og 32 mg/kg.

Analysen av sporelementer i jordtypene viste at leirjorda som inneholdt flere ulike mineraler og mindre organisk materiale, også inneholdt mer sporstoffer enn podsoljorda. Alle sporelementene i de to jordtypene lå enten under eller innenfor de globale gjennomsnittsverdiene.

**Tabell 11: ICP-analyse av utvalgte sporelementer i steinmel og jord. Gamle grenseverdier fra Debio (Vold 2006), gjennomsnittsverdier for bergarter i Norge (Lito-prosjektet, NGU), globale gjennomsnittsverdier i podsol og leirjord (Kabata-Pendias 2010)**

Steinmel/Jord	Ba	Co	Cs	Sr	Mo	Cu	Pb	Zn	Ni	Cd
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
<b>Basalt</b>	395	39,3	2,15	837	0,350	32,1	1,35	57,5	14,9	<0.1
<b>Larvikitt grov</b>	936	8,05	1,85	779	6,65	6,50	0,900	44,5	2,45	<0.1
<b>Larvikitt fin</b>	1345	6,30	1,30	997	4,90	7,40	2,00	28,0	1,50	<0.1
<b>Karbonatitt</b>	2535	22,5	1,70	3743	0,300	4,70	1,60	101	0,900	0,167
<b>Altagro</b>	1340	18,4	0,167	1632	1,37	11,7	0,567	38,7	22,2	<0.1
<b>Podsol</b>	476	2,00	2,15	132	1,35	2,05	16,1	11,0	2,90	<0.1
<b>Leirjord</b>	609	8,55	3,35	173	1,50	11,2	18,3	62,5	24,0	0,100
<b>Grenseverdi 2006</b>						70,0	45,0	200	25,0	0,700
<b>Gj.snittsverdi bergarter</b>	602	21,1	14,1	317	5,19	31,6	20,3	62,7	43,8	
<b>Gj.snittsverdi podsol</b>	200-1500	4-65	2,5-20	20-10000	0,4-6,4	7-70	10-57	47-63	11-25	0,08-0,3
<b>Gj.snittsverdi leirjord</b>	200-1500	5-58	5-20	20-3100	0,7-7,2	7-140	10-90	35-75	23-50	0,2-0,5

## 6.2 pH-forsøk

### 6.2.1 Før utvasking

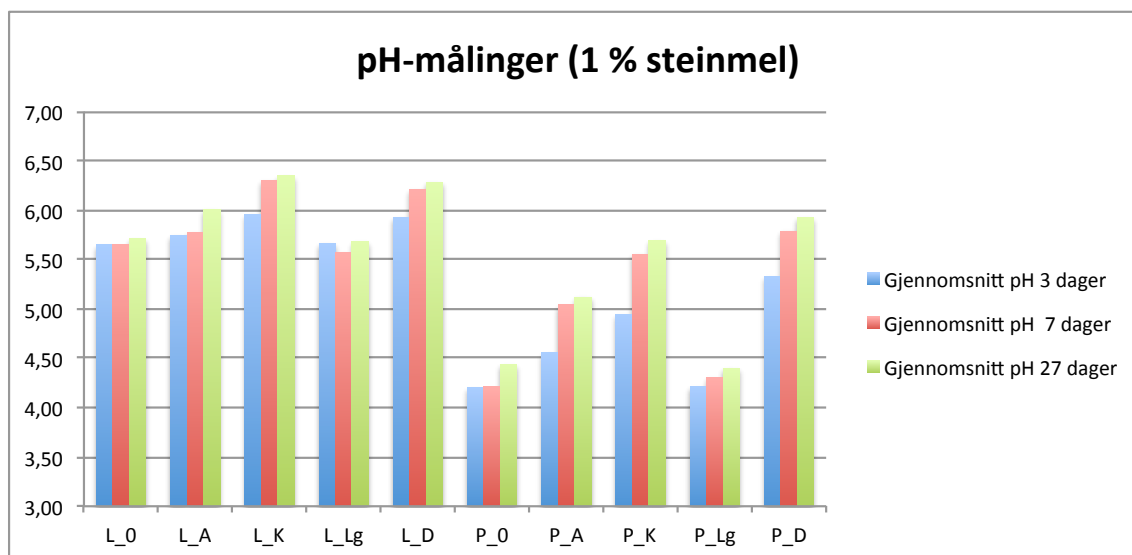
Den første målingen av pH i de ulike steinmel- og jordtypene viste at pH lå over ni for larvikitt grov og Altagro, og over åtte for karbonatitt (tabell 12). Basalt, larvikitt fin og Agri Dol kom ikke med på de første pH-målingen, men pH-måling fra Eurofins viste at alle tre også hadde pH over ni. Podsol hadde, som forventet lavest pH på rundt fire, og leirjorda lå på omtrent 5.5. pH-verdien i leirjorda er ikke uvanlig for norsk dyrket jord, men i denne typen leirjord (som ikke har blitt kalket på flere år) er den lavere enn normalt.

**Tabell 12: pH-målinger i steinmel og jord blandet med destillert vann**

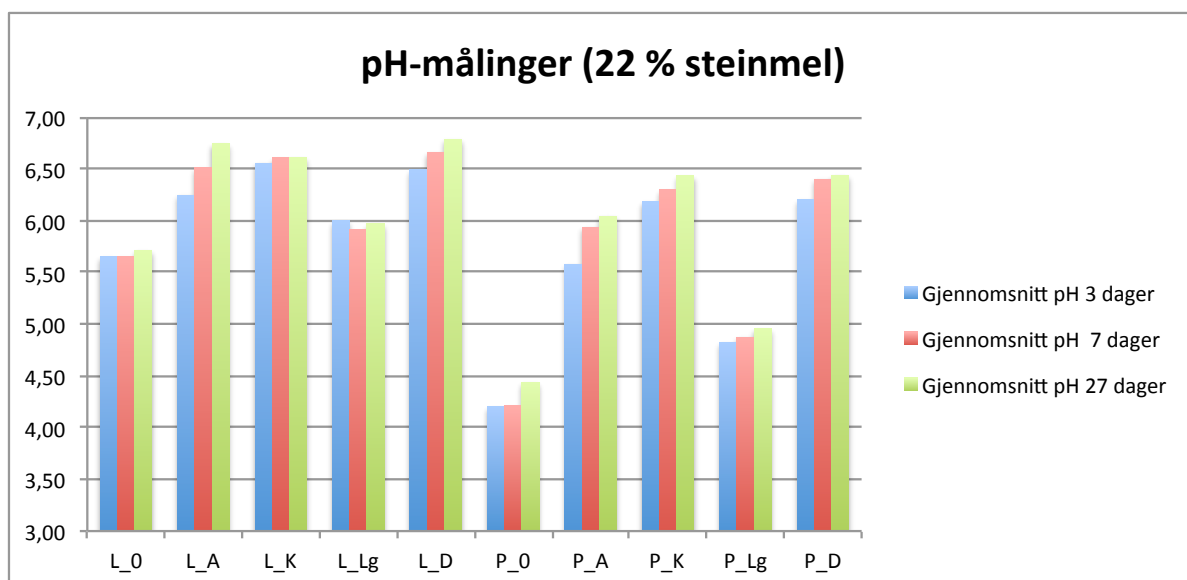
Gjennomsnittlig pH	Larvikitt	Altagro	Karbonatitt	Podsol	Leirjord
Etter 1 døgn	9,74	9,04	8,50	4,27	5,58
Etter 5 døgn	9,33	8,86	8,16	4,23	5,62

pH-målingene av jordprøvene tilsatt 1 % steinmel viste at pH økte med tid for alle steinmeltypene (figur 27). Karbonatitt hadde tilnærmet like stor økning som Agri Dol, og økningen var størst etter syv dager for begge steinmelene. Dette kan tyde på at den umiddelbare pH-økningen kommer fra de kalkholdige mineralene som forvitrer fort. Den samme trenden gjaldt også for Altagro i podsol, men ikke i leirjord da leiren sannsynligvis bufret pH-økningen. Larvikitt hadde liten pH effekt for både podsol og leirjord, sannsynligvis grunnet det lave karbonatinnholdet. Økningen i podsol var noe større enn i leirjorda for alle steinmeltypene, grunnet leirjordas buffereffekt.

For å se hvor stor pH-effekt de ulike steinmelene hadde i de to jordtypene over en kortere periode, ble mengde steinmel tilsatt økt fra 1% til 22% (figur 28). Også her økte pH jevnt over hele forsøksperioden. Sammenlignet med det første pH-forsøket hadde pH en større økning de første tre dagene, i tillegg til at det kun var en liten økning i pH resten av forsøksperioden.



**Figur 27: pH målinger etter 3, 7 og 27 dager i leirjord (L\_0) og podsol (P\_0) tilsatt 1% Altagro (A), karbonatitt (K), larvikitt (Lg), Agri Dol (D).**



**Figur 28: pH målinger etter 3, 7 og 27 dager i leirjordjord (L\_0) og podsol (P\_0) tilsatt 22% Altagro (A), karbonatitt (K), larvikitt grov (Lg), Agri Dol (D).**

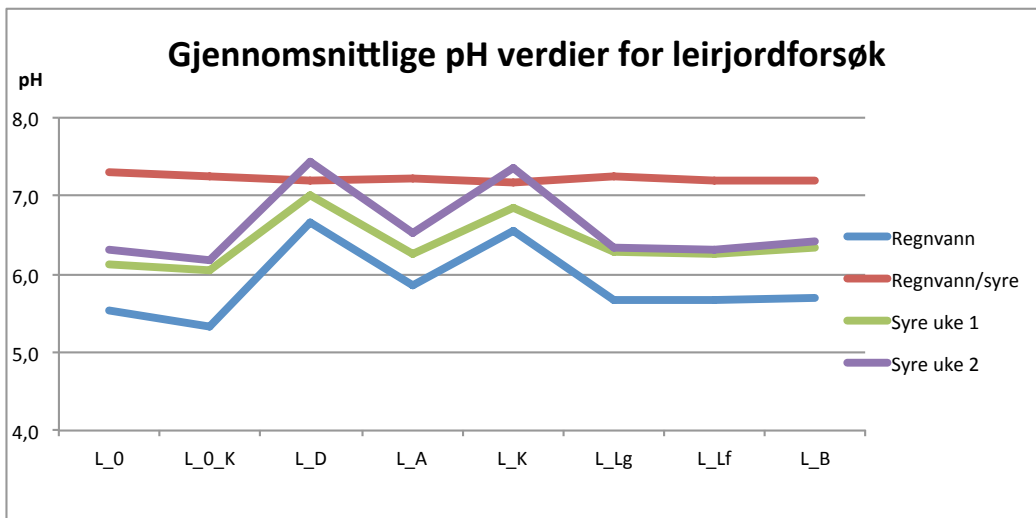
### 6.2.2 pH i ekstraksjonsvæskene

I ekstraksjonen til begge jordtypene økte pH i alle behandlingene ved tilsetning av sitronsyre, og karbonatitt og Agri Dol var de behandlingene som totalt sett økte mest (figur 29 og 30). Larvikitt grov og basalt hadde liten til ingen effekt på pH i verken podsol eller leirjord, og fulgte omtrent samme trend som kontrollen.

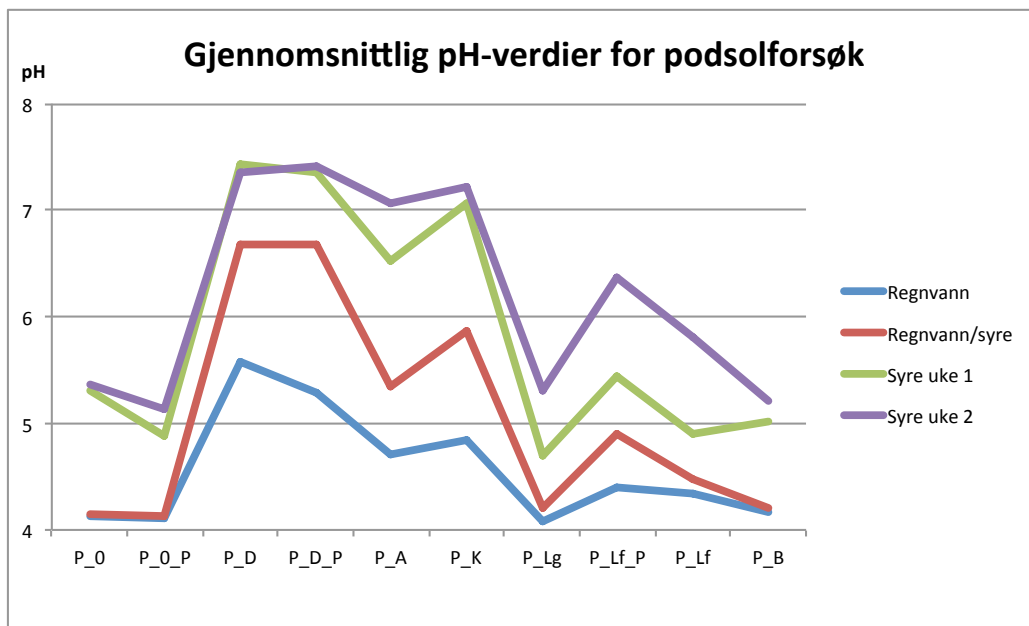
I leirjorda var det kun Agri Dol, karbonatitt og Altagro som økte pH i både regnvannekstraksjonen og syreekstraksjonen, mens KCl, larvikitt fin, larvikitt grov og basalt lå omtrent likt som kontrollen ved alle ekstraksjonene. For alle prøvene med leirjord økte pH i ekstraksjonsvæsken markant etter ekstraksjonen med regnvann/syre, i tillegg til at alle pH-verdiene lå på rundt 7,2, for deretter å synke etter en uke med syreekstraksjon. For å kontrollere at disse tallene stemte ble pH-meteret kalibrert på nytt i tillegg til at nye prøver fra ekstraksjonsvæskene ble målt ved en senere anledning. Karbonatitt og Agri Dol var de eneste behandlingene der pH var høyere etter andre uken med syreekstraksjon enn etter ekstraksjonen med regnvann/syre (figur 29).

I podsol økte pH i ekstraksjonsvæsken til alle behandlingene i forhold til kontrollen bortsett fra larvikitt grov og basalt (figur 30). Agri Dol var den podsolbehandling som økte pH mest, tett fulgt av karbonatitt og Altagro.





Figur 29: Gjennomsnittlig pH-verdier i ekstraksjonsvæsken fra leirjord (L\_0) tilsatt karbonatitt (L\_K), Agri Dol (L\_D), Altagro (L\_A), karbonatitt (L\_K), larvikitt grov (L\_Lg), larvikitt fin (L\_Lf) og basalt (L\_B), ekstrahert en uke med regnvann, to dager med regnvann/syre og to uker med syre.



Figur 30: Gjennomsnittlig pH-verdier i ekstraksjonsvæsken fra podsol (P\_0) tilsatt K-fosfat (P\_0\_P), Agri Dol (P\_D), Agri Dol med K-fosfat (P\_D\_P) Altagro (P\_A), karbonatitt (P\_K), larvikitt grov (P\_Lg), larvikitt fin (P\_Lf), larvikitt fin med K-fosfat (P\_Lf\_P) og basalt (P\_B), ekstrahert en uke med regnvann, to dager med regnvann/syre og to uker med syre.

### 6.3 Utvaskingsforsøk

I utvaskingsforsøket var det signifikant forskjell ( $P = < 0.01$ ) mellom jordtypene og de ulike behandlingene i både regnvann- og syreekstraksjonen for alle elementene bortsett fra P, Al og Fe grunnet noen høye verdier som påvirket resultatet. Når disse verdiene ble fjernet ble forskjellen signifikant ( $P = < 0.01$ ).

Utvaskingen av Ca, Mg K, P og Ba (figur 33 og 35) var høyest fra leirjorda i forhold til podsol i begge ekstraksjoner, mens Na, Al, Si og Fe (figur 34 og 35) var kun høyest fra leirjorda i syreekstraksjonen. S (figur 34) var den eneste av de analyserte elementene som var signifikant høyest i podsol i begge ekstraksjonene.

Ved gjennomgang av resultatene ses det bort i fra tilsetningene med K-fosfat i podsoljorda for alle elementene, bortsett fra P, da disse hele tiden lå parallelt med samme behandling uten tilsatt K-fosfat. Resultatene fra den statistiske analysen er vist i Vedlegg 6.

#### 6.3.1 Agri Dol

Agri Dol økte utvasket mengde Ca, Mg, S, og reduserte utvaskingen av K, Si og Ba i begge jordtypene. I tillegg reduserte den utvasket Na og Al i regnvannekstraksjonen, og økte Fe og Al i syreekstraksjonen, noe som var uventet. P-utvasking økte ved tilsetning av Agri Dol i podsol, mens den ble redusert ved tilsetning av Agri Dol i leirjord (figur 33, 34, og 35 og Vedlegg 7).

#### 6.3.2 Karbonatitt

I likhet med Agri Dol økte karbonatitt utvasket mengde Ca og S, og reduserte utvasket mengde Si. Den førte også til redusert utvasket Al og Na i regnvannekstraksjonen og økt utvasket Fe i syreekstraksjonen, slik som Agri Dol. Den hadde derimot ingen signifikant effekt på utvasket Mg, men gav mest av alle steinmeltypene i leirjord (ikke signifikant). Tilsatt i leirjord reduserte den utvasket K i regnvannekstraksjonen. I syreekstraksjonen hadde den ingen signifikant effekt på K, men den gav mest av alle steinmelene i leirjorda og nest mest, etter Altagro, i podsol (ikke signifikant). På lik linje med Agri Dol reduserte også karbonatitten utvasket P i leirjorda (ikke signifikant i syre), men den økte kun utvasket P i regnvannekstraksjonen i podsol. På tross av det høye innholdet Ba (tabell 10), reduserte den utvasket Ba i regnvannekstraksjonen. Den hadde ingen signifikant effekt på utvasket Ba i syreekstraksjonen, men gav mest av alle steinmeltypene (ikke signifikant) (figur 33, 34, og 35 og Vedlegg 7).

### **6.3.3 Altagro**

Altagro økte utvasket mengde Si og Na som kan relateres til forvitret mengde av silikater. I motsetning til både karbonatitt og Agri Dol hadde den ingen effekt på utvasket mengde Ca eller Mg i verken podsol eller leirjord, til tross for den høye pH-verdien (figur 29 og 30). Den hadde heller ingen effekt på utvasket K og P i leirjorda, men økte utvaskingen av begge elementene i podsol. Det samme gjaldt Al og Fe, men her økte den kun utvaskingen i regnvannekstraksjonen i podsol. På lik linje med karbonatitt og Agri Dol, økte den utvaskingen av S i begge jordtyper, som kan tyde på at dette er pH-relatert. Også Altagroen hadde høyt innhold av Ba, men reduserte til tross for dette utvasket mengde i podsol (figur 33, 34, og 35 og Vedlegg 7).

### **6.3.4 Larvikitt**

Larvikitt grov hadde ingen signifikant effekt på utvasking av noen av elementene. Larvikitt fin økte på lik linje med Altagro, utvasket mengde Si og Na som kan bety at det var disse to steinmelene som forvitret mest silikater. Den hadde, som Altagro og karbonatitt, også høyt innhold av Ba, men reduserte på lik linje med Altagro utvasket mengde i podsol. Larvikitt fin hadde generelt liten effekt på utvaskingen av de ulike elementene i syreekstraksjonen, men økte både utvasket mengde P, S, Al og Fe i regnvannekstraksjonen i begge jordtyper. Den hadde ingen effekt på Mg, K eller Ca (figur 33, 34, og 35 og Vedlegg 7).

### **6.3.5 Basalt**

Basalten hadde ingen effekt på verken Mg, K, S, Na, Al eller Ba i noen av jordtypene. Den hadde effekt på utvasket Ca i regnvannekstraksjonen, der den reduserte Ca i leirjorda og økte Ca i podsol. Tilsatt podsol økte basalten både Fe og P i regnvannekstraksjonen, men ikke i syreekstraksjonen. På lik linje med Agri Dol og karbonatitt reduserte den utvasket Si, men kun i leirjorda ekstrahert med syre (figur 33, 34, og 35 og Vedlegg 7).

### **6.3.6 Kaliumklorid (KCl)**

KCl økte utvasket mengde K og Ba i leirjorda. At den bidrar med mye lettløselig K var forventet, men at den økte utvasket Ba var overaskende. Den økte også utvasket mengde Ca og Mg i regnvannekstraksjonen, og Al i syreekstraksjonen. Verken utvasket mengde P, S, Na, Si eller Fe hadde noen effekt av tilsatt KCl (figur 33, 34, og 35 og Vedlegg 7).

### 6.3.7 Kaliumfosfat (K-fosfat)

I regnvannekstraksjonen gav alle behandlingene tilsatt K-fosfat mer utvasket P enn kontrollen, der larvikitt fin gav mest. I syreekstraksjonen derimot var det Agri Dol og larvikitt fin som gav signifikant mer enn kontrollen i tillegg til at det ikke var noen signifikante forskjeller mellom de ulike behandlingene (figur 31).

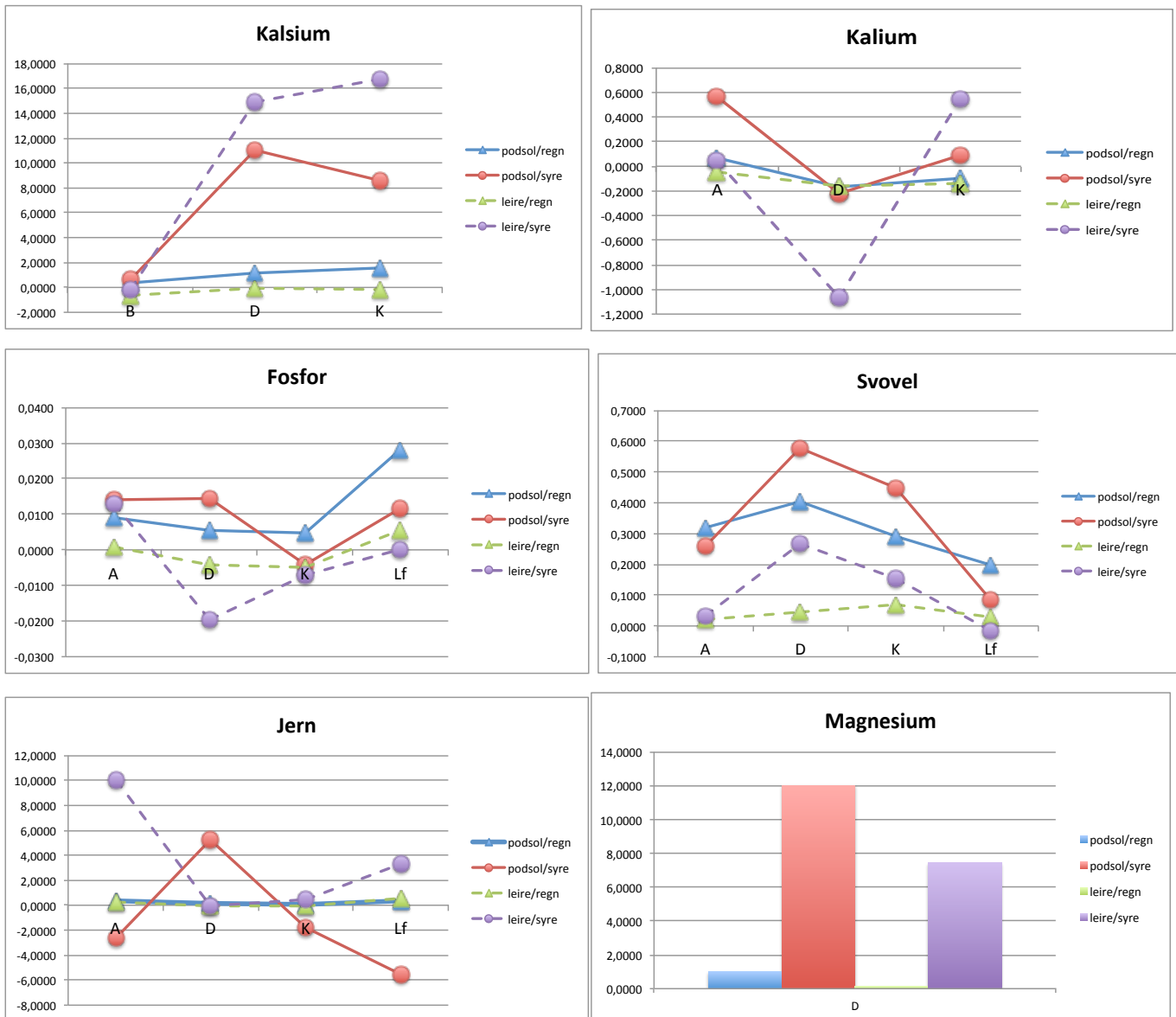
FOSFOR PODSOL/REGN				FOSFOR PODSOL/SYRE			
SIGNIFIKANSNIVÅ				SIGNIFIKANSNIVÅ			
0,05				0,05			
FEIL I FRIHETSGRADER				FEIL I FRIHETSGRADER			
8				8			
GJENNOMSNI TT LIG KVADRATFEIL				GJENNOMSNI TT LIG KVADRATFEIL			
2,16E-06				8,10E-05			
KRITISK VERDI T				KRITISK VERDI T			
2,306				2,306			
MINSTE SIGNIFIKANTE FORSKJELL (LSD)				MINSTE SIGNIFIKANTE FORSKJELL (LSD)			
0,0028				0,017			
Gruppering	Gjennomsnitt (Mg)	Gjentak	Behandling	Gruppering	Gjennomsnitt (mg)	Gjentak	Behandling
A	11,092	3	Lf_P	A	12,783	3	Lf_P
B	3,748	3	D_P	A	5,817	3	D_P
B	2,94	3	0_P	B	2,871	3	0_P
C	2,612	3	0	B	2,689	3	0

Figur 31: signifikante forskjeller mellom behandlingene tilsatt K-fosfat og kontrollen i podsol

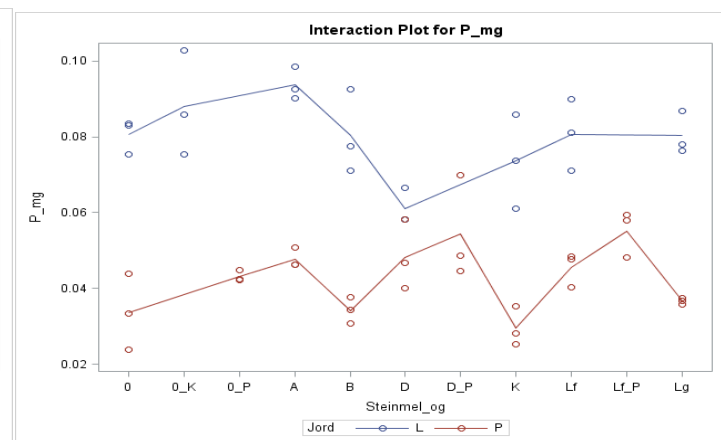
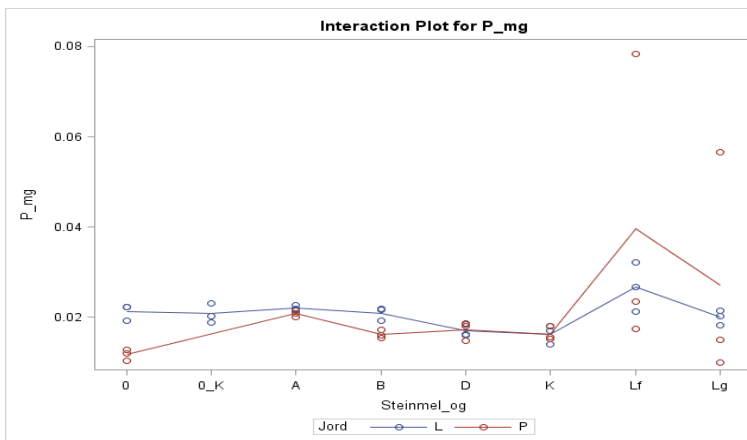
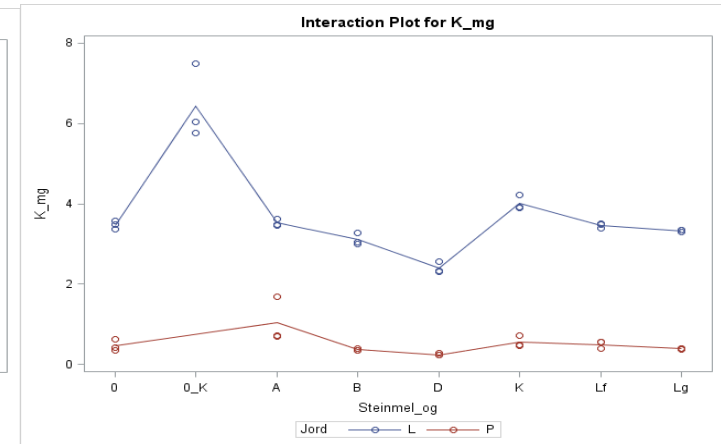
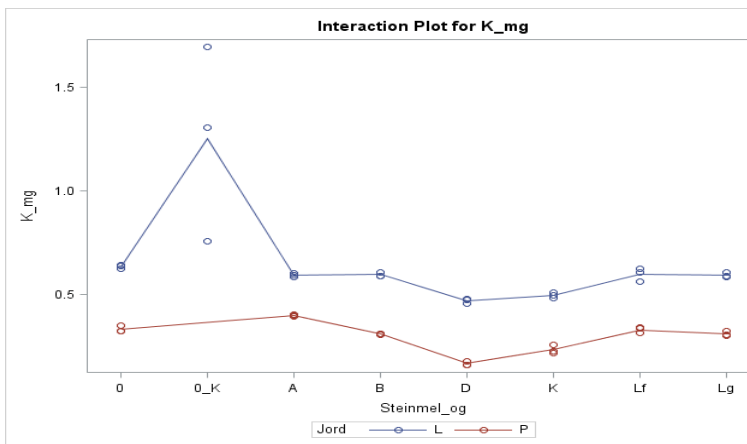
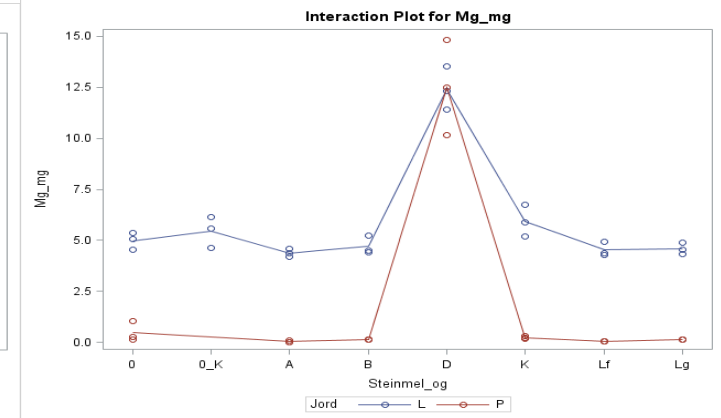
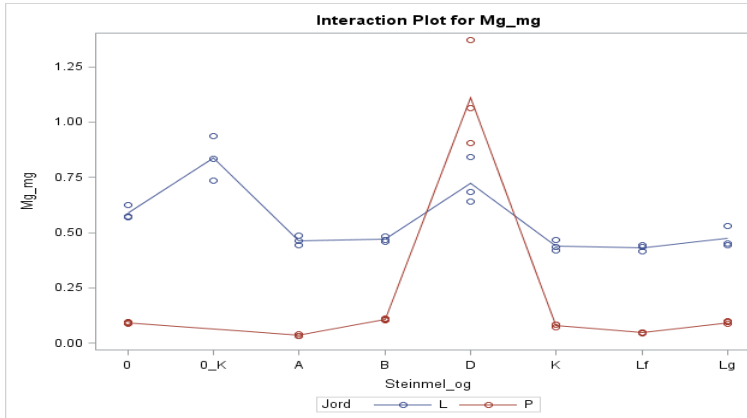
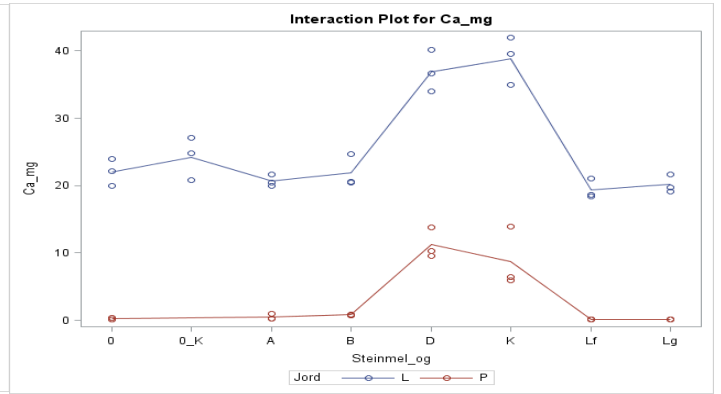
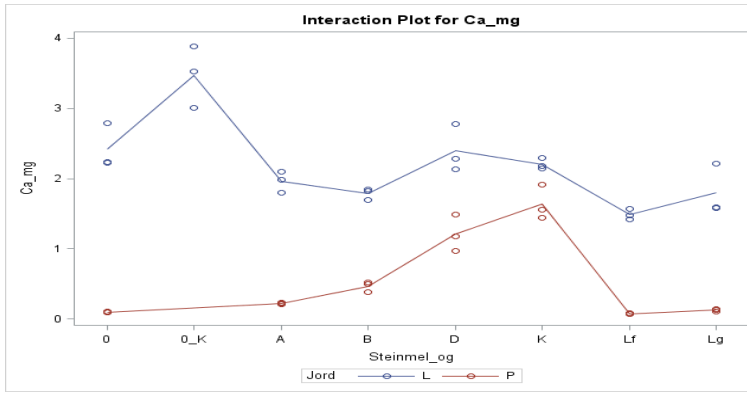
### 6.3.8 Frigjort mengde av næringsstoffer fra steinmel tilsatt podsol og leirjord

I figur 32 er det kun sett på de viktig næringsstoffene Ca, Mg, K, P, S og Fe, da det er disse næringsstoffene som er mest relevant i forhold til hva man ønsker å få tilført jorda fra steinmelene. I tillegg er det kun sett på de steinmeltypene som hadde signifikant effekt på utvasket mengde (vedlegg 6).

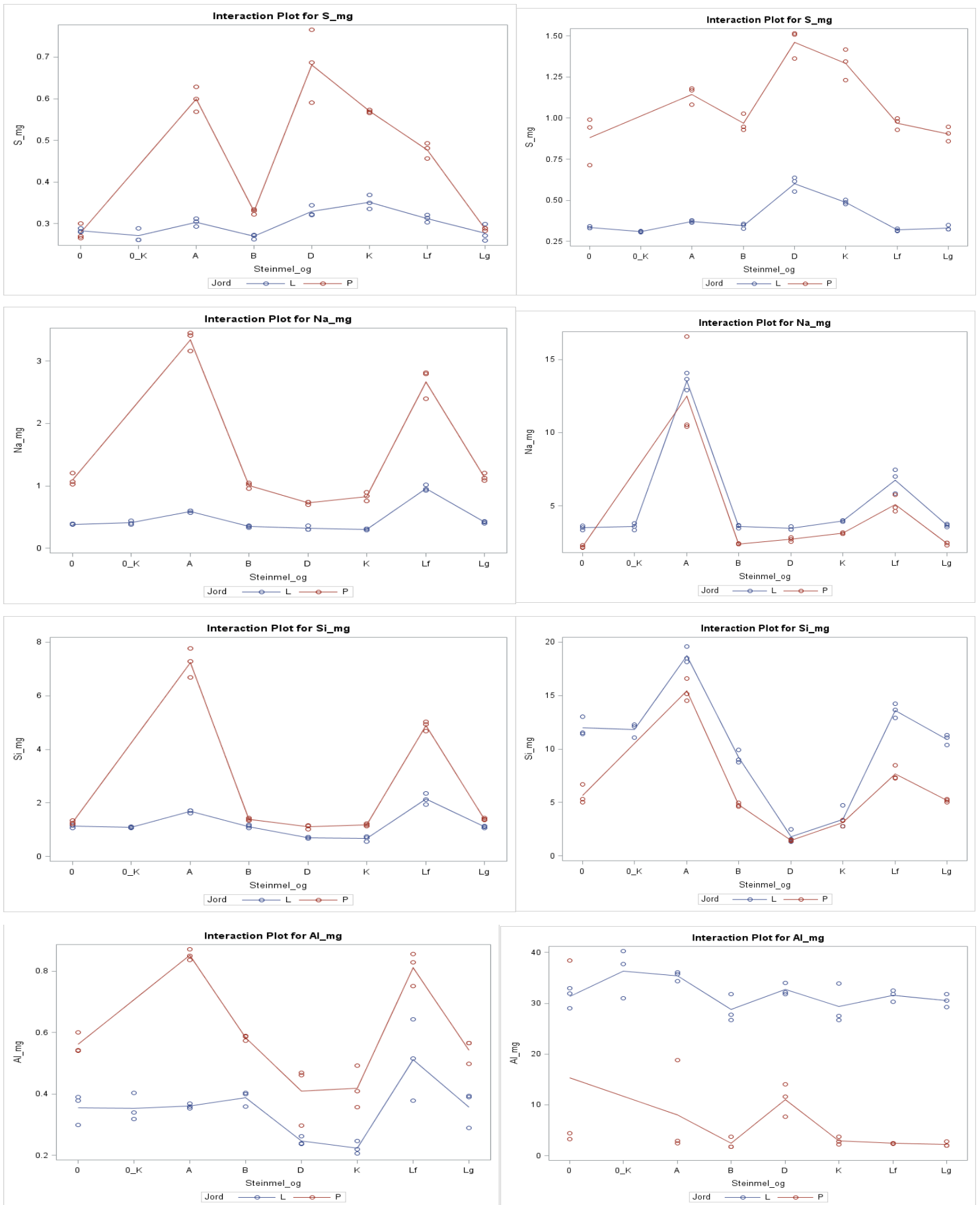
Totalt sett tilførte steinmelene mer av både Mg, S og P i podsol enn i leirjord. Det samme gjaldt for K, bortsett fra karbonatitt som vasket ut mest fra syreekstraksjonen i leirjorda. For Ca og Fe gav de aktuelle steinmelene mest i podsol i regnvannekstraksjonen, og mest i leirjord i syreekstraksjonen (figur 32 og vedlegg 7).



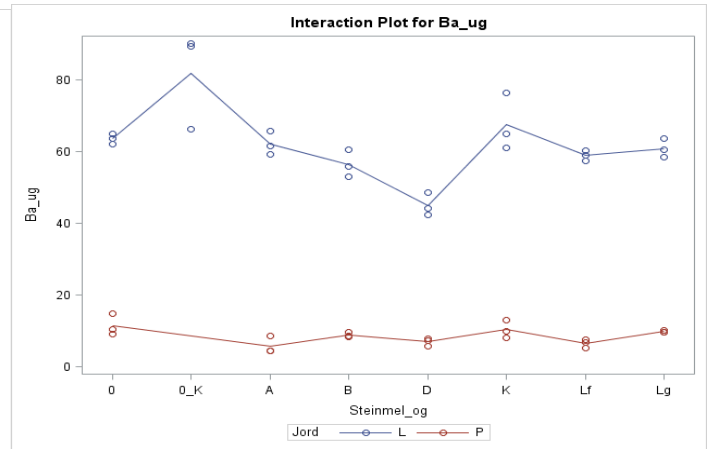
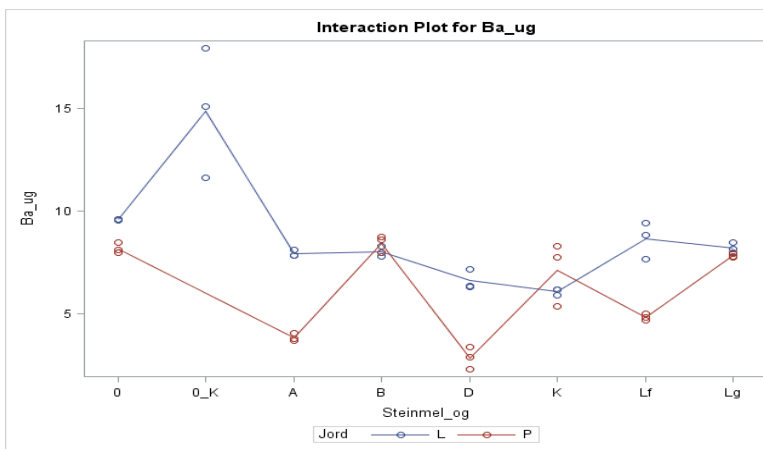
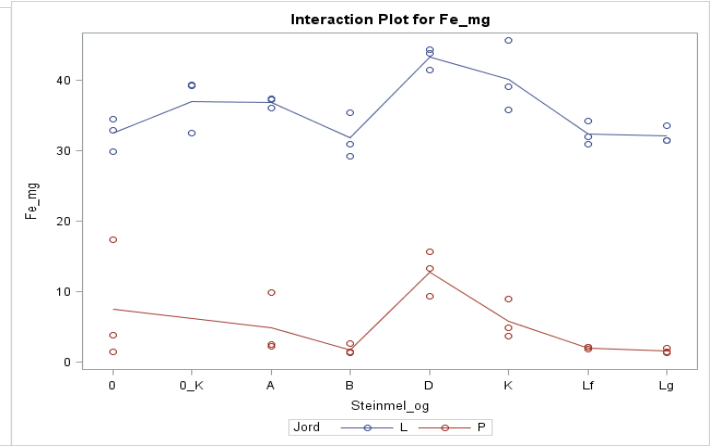
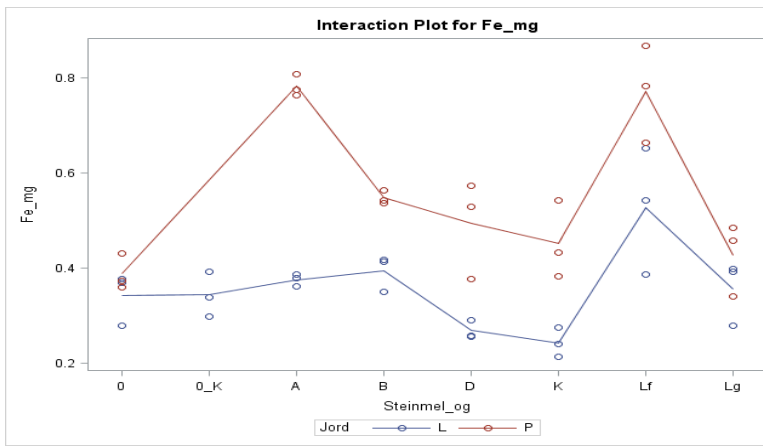
Figur 32: Effekt (positiv eller negativ) av tilsatt steinmel på utvaskingen av Ca, Mg, P, S, K og Fe fra podsol (hel linje) og leirjord (stiplet linje) i regnvann-(trekant) og syreekstraksjonen (sirkel). Behandlinger: Altagro (A), Agri Dol (D), karbonatitt (K) og larvikitt fin (Lf).



**Figur 33: Mengde (mg) utvasket Ca, Mg, K og P i regnvann (venstre) og syre (høyre) i podsol (rød) og leire (blå) alene (0) og etter tilsetning av ulike steinmel. Behandling: leire med KCl (0\_K), Altagro (A), basalt (B), Agri Dol (D), karbonatitt (K), larvikitt fin (Lf) og larvikitt grov (Lg).**



Figur 34: Mengde (mg) utvasket S, Na, Si og Al i regnvann (venstre) og syre (høyre) i podsol (rød) og leire (blå) alene (0) og etter tilsetning av ulike steinmel. Behandling: leire med KCl (0\_K), Altagro (A), basalt (B), Agri Dol (D), karbonattitt (K), larvikitt fin (Lf) og larvikitt grov (Lg).



**Figur 35: Mengde utvasket Fe (mg) og Ba ( $\mu\text{g}$ ) i regnvann (venstre) og syre (høyre) i podsol (rød) og leire (blå) alene (0) og etter tilsetning av ulike steinmel. Behandling: leire med KCl (0\_K), Altagro (A), basalt (B), Agri Dol (D), karbonatitt (K), larvikitt fin (Lf) og larvikitt grov (Lg).**



## 7. Diskusjon

Det har til tider vært vanskelig å finne gode forklaringer på de ulike resultatene, da det ikke alltid har vært mulig å si i hvilken form de ulike elementene ble vasket ut. Det er funnet lite litteratur der det er gjennomført samme type utvaskingsforsøk, slik at det har vært vanskelig å sammenlikne resultat. I kapitlene under vil pH-resultatene og utvaskingsresultatene bli diskutert hver for seg.

### 7.1 pH

Det var som forventet Agri Dol og karbonatitt som hadde størst pH-effekt i både leirjord og podsol, da disse to inneholdt mye Ca og Mg. I tillegg inneholdt de begge mye karbonat som kan buffre pH-endringene i jorda ved tilsetning av syre (kapittel 3.3.5 – *jord pH*). Altagro viste en overraskende pH-økning, som i podsol nesten var like stor som fra Agri Dol og karbonatitt, på tross av at den hadde lavere Ca-AL innhold en basalt som viste liten pH-økning.

I både podsol og leirjord økte pH i alle behandlingene, inkludert kontrollene, ved ekstraksjon med sitronsyre. Dette er også blitt observert i en tidligere studie gjort av Gerke (1992), der pH i podsol økte med økt tilsetning av sitronsyre. Sitronsyre, som nevnt tidligere, er sterkt komplekserende middel og kan ha dannet komplekser med Fe- og Al-ionene i hydroksider og dermed løst ut  $\text{OH}^-$  ioner i løsningen som øker pH.

I leirjorda stabiliserte pH-verdien seg på rundt 7.2 for alle behandlingene ved den første tilsetningen av syre, noe som kan skyldes bufferkapasiteten til leirjorda. Når det ble tilsatt syre byttet sannsynligvis  $\text{H}^+$ -ionene fra syren plass med ulike basekationer bundet på de negative ladningsplassene på leirmineralene og dermed økte pH i jordløsningen. Siden leirjorda var lik for alle behandlingene vil man kunne anta at alle behandlingene hadde samme buffringsevne. Etter hvert som det ikke var flere basekationer som kunne bytte plass med  $\text{H}^+$ -ionene, sank pH noe. I de behandlingene som inneholdt mest Ca og Mg sank ikke pH like mye.

### 7.2 Utvaskingsforsøket

Fra utvaskingsforsøket fremkom det både ventede og uventede resultater, der noe kan forklares ved hjelp av jordkjemiske prosesser og mineralforvitring, mens andre ting forblir uklart. Det er blitt lagt hovedvekt på hvor mye hver av de enkelte tilsetningene bidro med de ulike elementene i forhold til kontrollbehandlingen uten noen tilsetning, i tillegg til hvordan de to jordtypene har påvirket utvaskingen fra hvert steinmel.

De fysiske og særlig kjemiske egenskapene til de to jordtypene hadde stor påvirkning på utvasket mengde av de ulike næringsstoffene, der frigjøringen i podsol var størst for både Mg, K, P og S (figur 32). Dette stemmer bra med tidligere oppfatning om at effekten av steinmel er størst i sur næringsfattig jord. Angående Ca og Fe var bidraget fra steinmelene størst i regnvannekstraksjonen når blandet i podsol, mens i syreekstraksjonen bidro steinmelene mest når blandet i leirjord.

Kornstørrelse er antatt å være av spesielt stor betydning når det kommer til frigivelse av næringsstoffer fra steinmelene. I dette forsøket var det kun larvikitt som ble tilsatt i ulike kornstørrelser. I de fleste behandlinger var det ingen signifikante forskjeller mellom de to kornstørrelsene, men larvikitt fin vasket ut mer Na og Si i begge jordtyper og begge ekstraksjoner, noe som tyder på at larvikitt fin forvitret fortere. I tillegg så frigjorde larvikitt fin mer P, S, Al og Fe i regnvannekstraksjonen enn larvikitt grov, som kan bety at en del av de lettløselige elementene var lettere tilgjengelig. Det er vanskelig å si om disse forskjellene kun er grunnet forskjeller i kornstørrelse, eller om de er grunnet forskjeller i innhold av elementer, da de to larvikittypene har ulikt opphav.

### **7.2.1 Kalsium og magnesium**

Både Agri Dol og karbonatitt inneholdt henholdsvis kalkspat (tabell 3), og bidro derfor med Ca i begge jordtypene i begge ekstraksjoner. Agri dol inneholdt mye dolomitt som er et mineral rikt på Mg (vedlegg 1), og var derfor den eneste av behandlingene som bidro signifikant med Mg. Karbonater forvitret lett og er derfor gode kilder til både Ca og Mg. Karbonatitt inneholdt mye biotitt som inneholder mye Mg, men på tross av dette bidro den ikke signifikant med Mg i noen av jordtypene. Dette kan bety at biotitten forvitret lite i dette forsøket.

Basalt hadde, med sitt høye lettløselige Ca-innhold, kun merkbar effekt på Ca-utvaskingen i regnvannekstraksjonen, der den reduserte utvaskingen i leire og økte utvaskingen i podsol. Dette på tross av at det ble vasket ut mer Ca fra basalten i syreekstraksjonen enn i regnvannekstraksjonen (vedlegg 8). Det er uklart hvorfor basalten reduserte utvaskingen av Ca i leirjord, da den heller ikke hadde noen effekt på pH i forhold til kontrollen. Altagro, som også hadde høyt lettløselige Ca-innhold (tabell 9), hadde totalt sett liten innvirkning på Ca. Dette kan være fordi hovedkilden til Ca i Altagro var amfibol og pyroksen (tabell 3), som ikke er like lettløselig som kalkspat og dolomitt. Larvikitt har vist seg å bidra med Ca i tidligere forsøk

(Håbjørg 1977), men i dette forsøket gav den minst av nesten alle behandlingene i begge ekstraksjoner og begge jordtyper (ikke signifikant).

KCl økte utvaskingen av Ca og Mg i regnvannekstraksjonen sannsynligvis grunnet ionebytte mellom  $K^+$ -ioner fra KCl, og  $Ca^{2+}$ - og  $Mg^{2+}$ -ioner som er bundet til negative ladningsplasser på leirmineralene. Selv om disse har høyere valens enn  $K^+$  og normalt sett bindes sterkere, så bindes  $K^+$ -ionene spesifikt mellom sjiktene til leirmineralene og vil derfor favoriseres (Havlin et al. 2005).

### **7.2.2 Svovel**

Både Agri Dol, karbonatitt og Altagro økte utvasket mengde S i begge jordtypene. I podsol var dette sannsynligvis grunnet økt pH som resulterte i redusert anionbyttekapasitet grunnet færre positive ladningsplasser på overflaten til oksider og organisk materiale, som økt utvasking av S som ofte foreligger som sulfat ( $SO_4^{2-}$ ) i jorda. En annen mulig forklaring kan være at tilsetningen av  $CaCO_3$  fra kalkspat førte til dannelse av gips ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ) og Ca-sulfat ( $CaSO_4$ ) som deretter ble vasket ut (Zarga et al. 2013).

Larvikitt fin hadde lite S-innhold og liten pH-økning, men økte fortsatt utvaskingen av S i regnvannekstraksjonen i begge jordtyper. Dette kan tyde på at mesteparten av S-innholdet i larvikitt fin var lett løselig.

Dette ble vasket ut mer S fra podsol enn fra leirjord fra alle behandlingene i begge ekstraksjonene, på tross av at leirjorda inneholdt mer S (figur 34). En mulig forklaring kan være at S i leirjorda, som hovedsakelig foreligger i form av S-holdige mineraler, er lite tilgjengelig. I podsol derimot foreligger mesteparten av S som organisk materiale, og når det tilsettes sitronsyre i podsol vil den biologiske aktiviteten kunne øke og dermed også mineraliseringen av organisk S, slik at S blir mer tilgjengelig (Havlin et al. 2005)

### **7.2.3 Kalium, natrium og barium**

Av de ulike steinmelene, var det kun Altagro som signifikant økte utvaskingen av K, noe som var forventet da den hadde en del lettløselig- og syreløselig K (tabell 9). Grunnen til at den kun gav økt utvasking i podsol og ikke i leirjord, kan være fordi podsol i utgangspunktet inneholdt veldig lite lettløselig- og syreløselig K (tabell 9). Karbonatitt gav også mye K i syreekstraksjonen, men ikke signifikant mer enn kontrollen.

I de ulike steinmeltypene er det biotitt, K-feltspat og nefelin som er mulige kilder til K. Siden tidligere forskning har vist at K-feltspat forvitrer lite og er derfor en dårlig kilde til K, har det hovedsakelig vært biotitt og nefelin som har bidratt med K i dette forsøket. Ba erstatter K i både biotitt og feltspat, men ikke nefelin (Heim 2014 pers. med). Det er derfor mulig, ved å se på utvasket mengde Ba, å si hvilket av de to mineralene som har bidratt med K. Siden Altagro ikke økte utvaskingen av Ba, er det derfor grunn til å tro at mye av K fra Altagro kom fra nefelin. Altagro var også et av steinmelene som bidro med mest Na som er et av hovedkomponentene i nefelin (vedlegg 1). Larvikitt fin bidro også med mye Na, men hadde liten effekt på utvasket K. Dette kan være fordi larvikitten kun inneholdt 3 % nefelin og 1 % biotitt, mens Altagro inneholdt hele 13 % nefelin og 29 % biotitt (tabell 3). Karbonatitt gav heller ingen signifikant økning i utvasket Ba i forhold til kontrollen, men var den eneste steinmeltypen som ikke reduserte utvaskingen i leirjord ekstrahert med syre (Vedlegg 6 og 8). I tillegg inneholdt den lite nefelin, så det er derfor sannsynlig at kilden til K i karbonatitten var biotitt.

KCl økte som forventet utvasket mengde K og, mer uventet, utvasket mengde Ba i forsøket. Sistnevnte kan være fordi KCl som er lettløselig K-gjødsel, bidrar med mye frie  $K^+$ -ioner i jordløsningen som vil bytte plass med  $Ba^{2+}$  som er bundet til de negative ladningsplassene på leirmineralene.

Tidligere forskning har vist at utvasking av K kan reduseres med økt pH, noe som kan forklare hvorfor Agri Dol redusert utvasket K. Shaw og Robinson (1960) fant i sitt forsøk at utvasket K i en sandig jord uten tilsetning av kalk (pH = 4.5) var vesentlig mer (55 kg K/Ha) enn fra jord som ble tilsatt 12.5 tonn dolomittkalk/Ha (21.6 kg K/Ha). Det samme fant Nolan og Pritchett (1960) som gjorde forsøk på K-utvasking fra tre søyler med sandig jord med tre ulike pH-verdier: 4.2, 5.6 og 6.3, der utvasket mengde K var henholdsvis 16.2, 10.7 og 6.0 mg K/søyle. Det finnes flere ulike forklaringer på hvorfor dette skjer. I en sur jord vil økt pH føre til økt antall negative ladningsplasser og dermed også øke adsorpsjonen av  $K^+$  (Munson 1985). I tillegg øker sannsynligheten for at  $K^+$  kan konkurrere om ladningsplassene når de okkuperes av  $Ca^{2+}$  og ikke  $Al^{3+}$ , som ofte er tilfelle i sur jord (Munson 1985). Det har også blitt foreslått at grunnen til den reduserte K-utvaskingen kan være grunnet tilstedeværelsen av  $H_3O^+$  ved lav pH, som erstatter  $K^+$  i kantsonene på glimmermineraler og dermed øker utvaskingen. Ved høyere pH vil  $K^+$ -ionene bli favorisert til disse bindingsplassene (Munson 1985). Selv om karbonatitt og Altagro også førte til økt pH i podsol, så inneholdt disse såpass mye lettløselig og syreløselig K at de kan ha motvirket effekten av økt pH på K-utvasking. Karbonatitten gav derfor redusert utvasking av K i

regnvannekstraksjonen (signifikant i podsol, ikke signifikant i leirjord) da regnvannet løste ut Ca fra kalkspat som økte pH, men ikke K.

Agri Dol reduserte også utvasket mengde Ba i begge jordtyper og begge ekstraksjoner. Dette kan være fordi Agri Dol førte til økt utvasket mengde S, som resulterte i at Ba ble felt ut som Ba-sulfat ( $BaSO_4$ ) (Krogstad pers. med). Dette stemmer også bra med at podsol, som var den jordtypen som vasket ut mest S (figur 32), også var den som vasket ut minst Ba (vedlegg 8). Karbonatitt, som også gav mye S, førte også til redusert utvasket Ba i regnvannekstraksjonen, men ikke i syre da biotitt som inneholdt Ba forvitret noe ved tilsetning av syre. Altagro og larvikitt fin reduserte også utvasket Ba i podsol, som stemmer bra i forhold til at begge gav mye S.

#### **7.2.4 Fosfor**

Steinmelene bidro generelt med lite P i ekstraksjonsløsningene, og det var larvikitt fin og Altagro som bidro mest. Larvikitt fin hadde mye lettløselig P og var derfor forventet å bidra med en del P. Hvorfor den hadde så mye lettløselig P på tross av lavt apatittinnhold er usikkert, og kan skyldes ytre påvirkning som for eksempel kontaminering av knusingsutstyr, men dette er ikke bekreftet av leverandøren. Altagro hadde lite lettløselig P, men økte pH i begge jordtypene, som kan ha ført til økt utvasking.

Mengden tilgjengelig P i jord var sterkt avhengig av pH. I leirjorda hadde både Agri Dol og karbonatitt en negativ effekt på utvasking av P, sannsynligvis grunnet høy pH og høyt innhold av Ca som bindes til P og felles ut som Ca-fosfat. Karbonatitten inneholdt også mye jern (fra biotitt) som kan ha ført til at P ble felt ut som Fe-fosfat, som noe som er i samsvar med forsøket til Bleken et al. (2008), der biotittsteinmel reduserte løseligheten av P i apatittsteinmel. Ved utfelling blir P mindre tilgjengelig og kan, avhengig av fysisk størrelse, enten ha blitt vasket ut sammen med ekstraksjonsvæsken eller blitt holdt igjen i jorda (Krogstad pers. med). I podsol derimot økte tilsetning av Agri Dol mengden utvasket P. Dette er sannsynligvis fordi tilsetning av Agri Dol økte pH, slik at P som var bundet til positive overflater på Fe- og Al-oksider ble gjort mer tilgjengelig (Gerke 1992). Grunnen til at utvasking av P i podsol ikke ble redusert ved tilsetning av syre, på tross av at pH økte til over 7, kan være fordi Ca-innholdet i podsol var såpass lavt at tilført mengde Ca heller ble bundet til de negative ladningsplassene på oksider og organisk materiale.

Uavhengig av jordas bidrag, ble det vasket ut mer P fra steinmelene tilsatt podsol enn fra steinmelene tilsatt leirjord. Dette kan også skyldes pH-endringene i de to jordtypene, da økt pH i leirjorda øker mengden bundet P, mens økt pH i podsol reduserer mengden bundet P. I tillegg vil tilstedeværelsen av organisk materiale i podsol kunne økte P-tilgjengeligheten på flere måter:

- 1) Ved dannelsen av organiske fosfat-komplekser som er lettløselige.
- 2) Dannelse av komplekser mellom organiske syrer og Al og Fe som hindrer at disse binder P.
- 3) Tildekking av Al/Fe-oksider av humus som hindrer binding av P.
- 4) Økt tilførsel av organisk P som kan mineraliseres til uorganisk P.

Tilsetning av sitronsyre kan ha ført til økt mikrobiologisk aktivitet, og dermed også økt nedbryting og mineralisering av organisk P, i tillegg til å danne komplekser med Al og Fe (Geelhoed et al. 1998; Gerke 1992; Havlin et al. 2005; Hoberg et al. 2005). Sitronsyre kan også oppta plassene til P på de positive ladningsplassene på oksider og dermed gjøre P mer tilgjengelig (Gerke 1992).

### **7.2.5 Jern, Aluminium og Silisium**

Larvikitt fin og Altagro var de steinmeltypene som gav mest Si av i begge jordtypene som betyr at det var disse to som hadde størst silikatforvitring. Larvikitt fin hadde den minste kornstørrelsen (figur 22) og dermed størst spesifikk overflate, mens Altagro i tillegg til å ha liten kornstørrelse, også inneholdt mest silikater (tabell 3). Larvikitt grov inneholdt også mye silikater (tabell 3), men hadde grovere kornstørrelse (figur 22) og dermed mindre spesifikk/reaktiv overflate. Siden verken basalt eller larvikitt grov bidro med Si, kan dette tyde på at det fra disse steinmelene forvitret lite silikater, noe som stemmer bra med det statistiske resultatet. Agri Dol og karbonatitt inneholdt mest karbonater, som ikke inneholder noe Si, og gav derfor også minst Si av alle behandlingene. I tillegg reduserte de utvaskingen av Si i begge jordtyper, som kan være grunnet økning i pH som reduserer silikatforvitring.

I forhold til Al og Fe var det ikke lett å se noe mønster, da det var store variasjoner i dataene til flere av behandlingene. Utvaskingen av Al ble redusert ved tilsetning av Agri Dol og karbonatitt i regnvannekstraksjonen, mens i syreekstraksjonen økte Agri Dol utvaskingen i podsol.

Reduksjonen kan komme av at løseligheten til både Al og Fe ofte reduseres med økt pH, da Al felles ut som Al-hydroksid ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) ved pH over 5.5 (Havlin et al. 2005). Utvaskingen av Fe i både podsol og leirjord økte i syreekstraksjonen ved tilsetning av Agri Dol og karbonatitt, noe

som var uventet. Karbonatitt inneholdt mye Fe som sannsynligvis kommer fra biotitten som kan forklare den økte utvaskingen, men Agri Dol inneholdt lite Fe (tabell 8). Prøvene ble, som nevnt i metoden, tatt med pipette fra oppsamlingsflaskene da det var kommet en del bunnfall i flaskene. På tross av dette er det fortsatt mulig at noe suspendert materiale kan ha kommet med i analyseprøvene. En mulig forklaring på økningen av Fe og Al kan derfor være at små partikler av Fe og Al har blitt vasket ut som  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  og  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , slik at den høye utvaskede mengden ikke nødvendigvis reflekterer mengden løst Al og Fe. En annen mulig forklaring kan være at det ble dannet lettløselige komplekser mellom citrat og Fe og Al ved tilsetning av sitronsyre, som ble vasket ut. Gerke (1992) fant i sitt forsøk med ulike mengder sitronsyre i ulike jordtyper, at sitronsyre økte Al- og Fe-løselighet i jord da sitronsyren danner komplekser med Fe og Al som igjen fører til høyere konsentrasjon av Al og Fe i jordløsningen. I podsol vil i tillegg sitronsyren kunne frigjøre Al og Fe bundet til humus. Den kompleksende evnen til sitronsyren er spesielt stor i pH-området 7-8 (Stumm & Morgan 1996), som stemmer godt med pH-resultatet til både karbonatitt og Agri Dol i begge jordtyper. Også Leirjord med KCl økte utvasket Al i syreekstraksjonen, noe som kan være fordi  $\text{K}^+$ -ionene byttet plass med  $\text{Al}^{3+}$ -ionene på de negative ladningsplassene på leirmineralene.

Larvikitt fin og Altagro økte utvaskingen av både Al og Fe i regnvannekstraksjonen, men ikke i syreekstraksjonen. Disse to steinmelene inneholdt mye Al i tillegg til at de forvitret en del silikater. Hvorfor de ikke økte utvasket mengde i syreekstraksjonen kan være grunnet økt pH (begge lå over  $\text{pH} = 5.5$ ), noe som også stemmer bra med at Altagro kun økte utvasket Al i podsol og ikke i leirjord, da pH ved regnvannekstraksjonen i leire var 5.9 (figur 30), mens den i podsol kun var 4.7 (figur 31).

Utvasking av både Al og Fe var størst i syreekstraksjonen sannsynligvis grunnet kompleksering med sitronsyre (vedlegg 8).

### 7.3 Feilkilder

Det er viktig å huske at i de gjennomførte forsøkene er det flere faktorer som kan ha spilt inn på resultatet. Væsken kan ha rent langs veggen av søylen og gjennom større porer, eller dannet spesielle strømningsmønstre i jorda, slik at ikke hele jorda ble påvirket av ekstraksjonsvæskene. Væsken kan også ha blitt kontaminert av søylen. Siden det ikke ble gjennomført noen forsøk med blanke prøver, blir det også vanskelig å si om noe skyldtes kontaminering fra utstyr eller ikke. Da det i tillegg ble vasket ut en del partikler fra jordsøylene som dannet bunnfall i flaskene, er det mulig at noen av disse partiklene kom med i analysen og dermed gav et feil inntrykk av

hvor mye av hvert element som var løselig. Det er også mulig at stoff som ble løst i ekstraksjonsvæsken dannet bunnfall etter tilsetning av konserveringssyre i prøveglassene, og ble dermed ikke tatt med i analysen.

## 8. Konklusjon

Konklusjonen til de ulike hypotesene ble som følger:

*For å oppnå samme pH-heving trengs det mer silikatrikt steinmel enn Agri Dol.*

Både Agri Dol og karbonatitt gav, i begge jordtypene, den største pH-økningen, og det var ingen signifikant forskjell mellom disse to steinmeltypene. Altagro gav også merkbar økning i pH, som i podsol omtrent var på høyde med karbonatitt og Agri Dol. Bortsett fra karbonatitt og til en viss grad Altagro, vil det derfor måtte tilføres mer av de ulike silikatrike steinmeltypene for å oppnå samme pH-heving.

*I forhold til Agri Dol, som hovedsakelig vil bidra med Ca og Mg, vil utvalgte steinmeltyper bidra med flere kationer som er viktige for planten.*

Agri Dol bidro, som forventet, med både Ca og Mg til planten. I tillegg til dette førte den til mer utvasket Fe i syreekstraksjonen. Det var ingen av de silikatrike steinmeltypene som bidro med alle de målte kationene i løpet av forsøksperioden, og Altagro var den eneste av behandlingene som signifikant økte utvaskingen av K. De silikatrike steinmelene bidro derfor med andre kationer som er viktige for planten, men ikke flere enn Agri Dol. Dette kan være grunnet den korte varigheten til forsøket, som resulterte i at svært lite av de ulike steinmelene forvitret.

*Frigjøring av kationer fra jord tilsatt utvalgte silikatrike steinmeltyper er langsommere enn fra jord tilsatt Agri Dol.*

Da det kun var Mg, Ca og Fe som ble tilført av både Agri Dol og de silikatrike steinmelene, er det kun disse tre som kan sammenlignes. Frigjøringen av Fe og Mg var langsommere fra alle de ulike steinmelene enn fra Agri Dol. For Ca derimot gav Agri Dol mest i podsol og karbonatitt mest i leirjord (vedlegg 8). Frigjøringen av Mg og Fe var derfor langsommere fra de silikatrike steinmeltypene enn fra Agri Dol, mens frigjøringen av Ca var omtrent likt fra Agri Dol og karbonatitt.

*Rask frigjøring av Ca fra Agri Dol kan være årsaken til utvasking av andre kationer fra jord.*



Den raske frigjøringen av Ca fra Agri Dol førte til utvasking av Fe, men kun grunnet økt pH. Ionebytte mellom raskt frigjorte  $\text{Ca}^{2+}$ -ioner og andre kationer var derfor ikke en medvirkende årsak til utvasking av kationer som tidligere antatt av blant annet Hansen (1981). Agri Dol førte til redusert utvasking av K, noe som var uventet.

#### *De valgte silikatene frigjør K langsommere og lengere enn lettløselig K-gjødsel*

KCl tilsatt i leirjord vasket ut klart mest K i forhold til de andre steinmeltypene. Av steinmeltypene var det kun Altagro som bidro med K, hovedsakelig i podsol, men i leirjorda gav både karbonatitt og Altagro en del K i syreekstraksjonen (ikke signifikant mer enn kontrollen). Ekstraksjonen med regnvann løste over dobbelt så mye K fra KCl som fra de andre steinmeltypene (vedlegg 8), som kan tyde på at KCl løste ut mye K med en gang, mens Altagro og karbonatitt løste ut K mer gradvis ved tilsetning av syre. Over tid vil derfor de gjenværende K-reservene i jord tilsatt KCl kunne være lavere enn jord tilsatt Altagro eller karbonatitt.

#### *KCl tilsatt jord fortrenger andre kationer i jorda.*

KCl i leirjorda økte utvaskingen av både Mg, Ca, Ba og Al i forsøket, sannsynligvis grunnet ionebytte.

#### *P er mindre tilgjengelig ved tilsetning av Agri Dol enn ved tilsetning av silikater.*

I leirjorda ble P mindre tilgjengelig ved tilsetning av Agri Dol og karbonatitt, da økt tilførsel av Ca kan ha ført til utfelling av Ca-fosfat. I podsol derimot økte tilsetningen av Agri Dol tilgjengeligheten av P, da den økte pH-verdien førte til redusert binding av P til oksider. Endringer i pH viste seg derfor å være avgjørende for mengden utvasket P i de ulike jordtypene, og Altagro og larvikitt fin var de av silikatene som gav mest P. Tilsetning av K-fosfat i podsol hadde liten effekt på tilgjengelig P, og var ikke signifikant forskjellig fra tilsvarende behandling uten tilsatt K-fosfat. Av de ulike behandlingene med tilsatt K-fosfat, var det larvikitt fin som økte utvaskingen mest.

#### *Andre observasjoner*

Ingen av steinmeltypene økte utvaskingen av Ba i forhold til kontrollen i løpet av forsøksperioden, men karbonatitt var den steinmeltypen som løste ut mest Ba.

Frigjøringen av flesteparten av de ulike næringsstoffene fra steinmelene var størst i podsol, som kan bety at effekten av steinmel er størst i sur næringsfattig jord (figur 32).

Resultatet fra utvaskingsforsøkene har ikke gitt noen fullstendig svar på hvor mye av hvert næringsstoff de ulike steinmeltypene kan bidra med, da en del av resultatene var både uventet og, i noen tilfeller, motsigende og derfor vanskelig å forklare. Tidligere forskning har vist at steinmel som Altagro og karbonatitt har hatt positiv effekt på plantevekst, men for en bedre forståelse i forhold til dette forsøket bør mer langvarige utvaskingsforsøk, kombineres med vekstforsøk. Selv om det er vanskelig, ut i fra disse resultatene, å si om steinmelene har hatt en positiv effekt på plantenæring eller ikke, har det bidratt til en bedre forståelse av prosessene forbundet med steinmel i jord. Det er i dag ønskelig å finne raske analyser for å forutsi om en steinmeltype kan virke som gjødsel eller ikke (Bleken 2014 pers. med), og resultatene fra dette forsøket viser at veien dit fortsatt er lang.

## Litteraturliste

- Bakken, A., Gautneb, H. & Myhr, K. (1997b). The potential of crushed rocks and mine tailings as slow-releasing K fertilizers assessed by intensive cropping with Italian ryegrass in different soil types. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 47 (1): 41-48.
- Bakken, A. K., Gautneb, H. & Myhr, K. (1997a). Plant available potassium in rocks and mine tailings with biotite, nepheline and K - feldspar as K - bearing minerals. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science*, 47 (3): 129-134.
- Bakken, A. K., Gautneb, H., Sveistrup, T. & Myhr, K. (2000). Crushed rocks and mine tailings applied as K fertilizers on grassland. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 56 (1): 53-57.
- Banfield, J. F. & Eggleton, R. A. (1990). Analytical transmission electron-microscope studies of plagioclase, muscovite and K-feldspar weathering. *Clays and Clay Minerals*, 38 (1): 77-89.
- Barker, W. W., Welch, S. A. & Banfield, J. F. (1997). Biogeochemical weathering of silicate minerals. I: Banfield, J. F. & Nealon, K. H. (red.) *Reviews in Mineralogy*, b. 35 *Geomicrobiology: Interactions between Microbes and Minerals*, s. 391-428.
- Barman, A. K., Varadachari, C. & Ghosh, K. (1992). Weathering of silicate minerals by organic acids. I. Nature of cation solubilisation. *Geoderma, Nederland*, 53 (1-2): 45-63.
- Bleken, M. A., Heim, M., Krogstad, T. & Speetjens, K. (2008). *Use of a mixture of biotite- and apatite-rich rock powder in a soil with inherent low soil fertility*. 16th IFOAM Organic World Congress, Modena, Italy.
- Bleken, M. A., Heim, M., Hillersøy, M. H., Gjengedal, E. L. & Gautneb, H. (2010). *The agrogeological potential of the Stjernøy apatite-biotite-carbonatite (Finnmark, NO) as slow-release rock fertilizer - possibilities and challenges*. 29th Nordic Geological Meeting, Oslo, Norway.
- Blum, W., Herbinger, B., Mentler, A., F., O., Pollack, M., E., U. & Wenzel, W. (1989). The use of rock powders in agriculture. I. Chemical and mineralogical composition and suitability of rockpowders for fertilization. *Z Pflanzenernaehr Bodenk*, 152: 421-425.
- Brady, N. C. & Weil, R. R. (2009). *Elements of the nature and properties of soils*. 3 utg. New Jersey: Prentice Hall. 624 s.
- Bærug, R. (1991). Rock powder as a source of nutrients to different crops, The effect of potassium in rock powder. *Norsk Landbruksforskning* (5): 175-181.
- Carstens, H. (2001). Norsk steinmel isteden for kunstgjødsel. *Geo* (September).
- Chaudhary, M., Singh, B. R., Krogstad, T. & Heim, M. (2011). Release of Copper, Zinc, and Manganese from Rock Powder with Organic Materials Applied to Soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42 (21): 2682-2697.

- Clarkson, D. & Hanson, J. (1980). The mineral nutrition of higher plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 31: 239-298.
- Coroneos, C., Hinsinger, P. & Gilkes, R. J. (1995). Granite powder as a source of potassium for plants: a glasshouse bioassay comparing two pasture species. *Fertilizer research*, 45 (2): 143-152.
- EPA. (2014). *Basic information about Barium in drinking water*. Tilgjengelig fra: <http://water.epa.gov/drink/contaminants/basicinformation/barium.cfm> (lest 21.05.2014).
- Fleet, E., Deer, W. A., Howie, R. A. & Zussman, J. (2003). *Rock-forming Minerals*: Geological Society.
- Gautnebb, H. (2006). *Steinmel som K-kilde - samarbeid mellom NGU og planteforsk 1990-1998*. Seminar om bruk av steinmel i landbruk, UMB, Ås.
- Geelhoed, J. S., Hiemstra, T. & Van Riemsdijk, W. H. (1998). Competitive interaction between phosphate and citrate on goethite. *Environmental Science & Technology*, 32 (14): 2119-2123.
- Gerke, J. (1992). Phosphate, aluminium and iron in the soil solution of 3 different soils in relation to varying concentrations of citric-acid. *Zeitschrift Fur Pflanzenernahrung Und Bodenkunde*, 155 (4): 339-343.
- Gillman, G. P. (1980). The effect of crushed basalt scoria on the cation-exchange properties of a highly weathered soil. *Soil Science Society of America Journal*, 44 (3): 465-468.
- Gillman, G. P., Burkett, D. C. & Coventry, R. J. (2001). A laboratory study of application of basalt dust to highly weathered soils: effect on soil cation chemistry. *Australian Journal of Soil Research*, 39 (4): 799-811.
- Goldich, S. S. (1938). A Study in Rock Weathering. *Journal of Geology*, 46: 17-58.
- Goldschmidt, V. M. & Johnson, E. (1922). Glimmermineralenes betydning som kalikilde for plantene. *Norges Geologiske Undersøkelse*, 108: 89.
- Gough, L. P. & Herring, J. R. (1993). Geologic research in support of sustainable agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 46 (1-4): 55-68.
- Hansen, S. (1981). *Steinmel i landbruket*. Ås: Norges Landbrukshøyskole, Institutt for jordkultur. 116 s.
- Harley, A. D. & Gilkes, R. J. (2000). Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: a geochemical overview. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 56 (1): 11-36.
- Havlin, J., Tisdale, S. L., Beaton, J. D. & Nelson, W. L. (2005). *Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management*: Pearson Prentice Hall.
- Heim, M. (2001). Norsk steinmel til (øko-)landbruk: historikk, status quo, utfordringer og muligheter. *Nordisk Mineralsymposium - Verdiskapning fra mineral til ferdig produkt*.

- Heim, M. (2006). *steinmel til landbruk. hva vet vi (ikke)? Hvilke bergarter til hva?* Seminar om bruk av steinmel i landbruk, UMB, Ås.
- Heim, M., Hillersøy, M. H., Bleken, M. A., Gautneb, H. & Gjengedal, E. L. (2012). Apatite–Biotite–Carbonatite (Stjernøy, N-Norway): Potential and Obstacles Regarding a Multinutrient Rock-Fertilizer. 327-334.
- Heim, M. (2013). *Steinmel fra Stjernøya - reelle muligheter?* Møte med Sibelco Nordic, UMB, Ås.
- Hering, J. G. & Stumm, W. (1990). Oxidative and reductive dissolution of minerals. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 23 (1): 427-465.
- Hoberg, E., Marschner, P. & Lieberei, R. (2005). Organic acid exudation and pH changes by *Gordonia* sp. and *Pseudomonas fluorescens* grown with P adsorbed to goethite. *Microbiological Research*, 160 (2): 177-187.
- Håbjørg, A. (1977). Landskapspleie og steinfylling - fysiske og kjemiske egenskaper hos nyknust materiale av 9 ulike bergarter. *For forskning og forsøk i landbruket*, 28: 17-42.
- Kabata-Pendias, A. (2010). *Trace Elements in Soils and Plants, Third Edition*: Taylor & Francis.
- Krogstad, T. (1992). *Metoder for jordanalyser*. Ås: Norges landbrukshøgskole, Institutt for jordfag. 32 bl. diagr. s.
- Krogstad, T. (2014). (*E-post 26.mars 2014*). Adressat: Eckbo, C.
- Leonardos, O. H., Fyfe, W. S. & Kronberg, B. I. (1987). The use of ground rocks in laterite systems - an improvement to the use of conventional soluble fertilizers. *Chemical Geology*, 60 (1-4): 361-370.
- Llugany, M., Poschenrieder, C. & Barceló, J. (2000). Assessment of Barium Toxicity in Bush Beans. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 39 (4): 440-444.
- Lovdata. (2003). *Forskrift om gjødselvarer mv. av organisk opphav*. I: Landbruks- og matdepartementet, K.-o. m., Helse- og omsorgsdepartementet (red.). NOR. Tilgjengelig fra: <http://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2003-07-04-951> (lest 21.05.2014).
- Lutgens, F. K., Tarbuck, E. J. & Tasa, D. (2012). *Essentials of Geology [With Access Code]*: Prentice Hall PTR.
- Løes, A.-K. *Kjemiske analyser*. <http://www.agropub.no>: Nettside for økologisk landbruk. Tilgjengelig fra: <http://www.agropub.no/id/8185.0> (lest 22.05.2014).
- Løes, A.-K. & Øgaard, A. F. (2001). P og K i jord - Hva skjer ved økologisk drift? *Fagbladet Økologisk Landbruk* (3).
- Låg, J. (1969). Noen generelle jordbunnkjemiske problemer i relasjon til nedbørens kjemiske sammensetning. *Medlemsblad for Den Norske Veterinærforening*, 3: 117-124.
- Manning, D. A. C. (2010). Mineral sources of potassium for plant nutrition. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30 (2): 281-294.

- Marschner, H. (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants*, b. 2nd edition: Academic Press.
- Munson, R. D. (1985). *Potassium in Agriculture: Proceedings*: ASA/CSSA/SSSA.
- NGU. (1995). *Pukkforekomst 709. 511 Hedrum pukkverk*. Pukkdatabasen: NGU. Tilgjengelig fra: [http://aps.ngu.no/pls/oradb/grus\\_GP\\_Del\\_fakta.fkom\\_besk?p\\_objid=97882](http://aps.ngu.no/pls/oradb/grus_GP_Del_fakta.fkom_besk?p_objid=97882) (lest 20.03.2014).
- NGU. (2008). *XRF-analyser*. <http://www.ngu.no>: NGU-LAB. Tilgjengelig fra: [http://www.ngu.no/upload/V%C3%A5re\\_tjenester/NGU\\_LAB\\_XRF\\_anal.pdf](http://www.ngu.no/upload/V%C3%A5re_tjenester/NGU_LAB_XRF_anal.pdf) (lest 22.05.2014).
- Nilsen, L. (2014). (*E-post 18. mars*) Adressat: Eckbo, Cathrine.
- Nolan, C. W. & Pritchett, W. C. (1960). Certain factors affecting the leaching of potassium from sandy soils. *Proceedings. Soil and Crop Science Society of Florida*, 20: 139-145.
- NOU. (2002). *Gassteknologi, miljø og verdiskaping - industriell anvendelse av CO2*: Olje- og energidepartementet. Tilgjengelig fra: <http://www.regjeringen.no/nb/dep/oed/dok/NOU-er/2002/NOU-2002-7/8/3/3.html?id=367225> (lest 28.05.2014).
- P. C. Bennett, J. R. R. W. J. C. F. K. H. (2001). Silicates, Silicate Weathering, and Microbial Ecology. *Geomicrobiology Journal*, 18 (1): 3-19.
- Paul, E. A. & Clark, F. (1989). *Soil Microbiology and Biochemistry*. San Diego, Calif: Academic Press.
- Priyono, J. & Gilkes, R. J. (2004). Dissolution of milled-silicate rock fertilisers in the soil. *Australian Journal of Soil Research*, 42 (4): 441-448.
- Ramberg, I. B., Bryhni, I. & Nøttvedt, A. (2007). *Landet blir til: Norges geologi*: Norsk geologisk forening.
- Retvedt, K. (1938). Kalivirkning av glimmer, feltspatt og leir. *Meldinger fra Norges Landbrukshøiskole*, 18: 127-182.
- Roschnik, R., Grant, P. & Nduku, W. (1967). the effect of incorporating crushed basalt rock into an infertile acid sand. *Rhod. Zamb. Mal. J. Agric. Res*, 5: 133-138.
- Savostin, P. (1972). Microbial transformation of silicates. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 132 (1): 37-45.
- Schnitzer, M. & Khan, S. U. (1978). *Soil Organic Matter*. Amsterdam: Elsevier Science. 319 s.
- Shaw, W. M. & Robinson, B. (1960). reaction efficiency of liming material as indicated by lysimeter leachate composition. *Soil Science*, 89 (4): 209-218.
- Silva, D. R. G., Marchi, G., Spehar, C. R., Guilherme, L. R. G., Rein, T. A., Soares, D. A. & Ávila, F. W. (2012). Characterization and nutrient release from silicate rocks and influence on chemical changes in soil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36: 951-962.

- Silverman, M. & Ehrlich, H. (1964). Microbial formation and degradation of minerals. I: Umbreit, W. (red.) b. 6 *Advances in applied microbiology*, s. 153-206. New York and London: Academic Press.
- Singh, B. R., Krogstad, T., Shivay, Y. S., Shivakumar, B. G. & Bakkegard, M. (2005). Phosphorus Fractionation and Sorption in P-enriched Soils of Norway. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 73 (2-3): 245-256.
- Skoog, D. A., Holler, F. J. & Crouch, S. R. (2007). *Principles of Instrumental Analysis*: Thomson Brooks/Cole.
- Solberg, P. (1928). Forsøk med glimmer, feltspat og leir som kaliholdig jordforbedringsmiddel. *Meldinger fra Norges Landbrukshøiskole*, 8: 419-482.
- Stumm, W. & Morgan, J. J. (1996). *Aquatic chemistry: chemical equilibria and rates in natural waters*: Wiley.
- Sveistrup, T. E. & Njøs, A. (1984). Kornstørrelsesgrupper i mineraljord - Revidert forslag til klassifisering. *Jord og Myr*, 8: 8-15.
- Sæther, E. (1962). *The Igneous Rock Complex of the Oslo Region: General investigation of the igneous rocks in the area north of Oslo*, b. 18: Universitetsforlaget.
- Tan, K. H. (1978). Effects of humic and fulvic acids on release of fixed potassium. *Geoderma*, 21 (1): 67-74.
- Van Straaten, P. (2006). Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 78: 731-747.
- Van Straaten, P. (2007). *Agrogeology: The Use of Rocks for Crops*. Enviroquest Ltd., 352 River Road, Cambridge, Ontario N3C 2B7 Canada: Enviroquest Limited & Peter van Straaten.
- Vold, O. (2006). *Steinmel i landbruk: Kvalitetskrav og godkjenningsordninger*. Seminar om bruk av steinmel i landbruk, UMB, Ås: Debio.
- Von Mersi, W., Kuhnert-Finkernagel, R. & Schinner, F. (1992). The influence of rock powders on microbial activity of three forest soils. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 155 (1): 29-33.
- Vonfragstein, P., Pertl, W. & Vogtmann, H. (1988). ARTIFICIAL WEATHERING OF SILICATE ROCK POWDERS. *Zeitschrift Fur Pflanzenernahrung Und Bodenkunde*, 151 (2): 141-146.
- Wang, J. G., Zhang, F. S., Zhang, X. L. & Cao, Y. P. (2000). Release of potassium from K-bearing minerals: Effect of plant roots under P deficiency. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 56 (1): 45-52.
- Wibetoe, G. (2009). *ICP*. Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra: <http://snl.no/ICP> (lest 22.05.2014).
- Yara Norge. (2010). *Gjødselhåndbok*: Yara International ASA.

- Yara Norge. (A). *Mineralgjødslas fysiske egenskaper*: Yara International ASA. Tilgjengelig fra: <http://www.yara.no/gjodsel/lagring-handtering/lagring-av-gjodsel/default.aspx> (lest 21.01.2014).
- Yara Norge. (B). *YaraMila Fullgjødse*®: Yara International ASA. Tilgjengelig fra: <http://www.yara.no/gjodsel/sortiment/yaramila/default.aspx> (lest 21.01.2014).
- Zapata, F., Roy, R. N., Food, Land, A. O. o. t. U. N., Division, W. D. & Agency, I. A. E. (2004). *Use of phosphate rocks for sustainable agriculture*: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Zarga, Y., Ben Boubaker, H., Ghaffour, N. & Elfil, H. (2013). Study of calcium carbonate and sulfate co-precipitation. *Chemical Engineering Science*, 96 (0): 33-41.
- Aasen, I. (1997). *Mangelsjukdomar og andre ernæringsforstyrningar hos lulturplanter*, b. 2.utg: Landbruksforlaget. 95 s.



## Vedlegg 1: Mineraloversikt

Klasse	Gruppe	Mineral	Kjemi
<b>SILIKATER</b>	Kvarts	Grov-krySTALLinsk	SiO <sub>2</sub> (Spor av metaller gir farge)
		Fin-krySTALLinsk	
	Feltspat	Alkali-feltspat	(K,Na) AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
		Plagioklas	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> - CaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub>
	Nefelin		(Na, K)AlSiO <sub>4</sub>
	Glimmer	(Lys glimmer)	KAl <sub>2</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>
		(Mørk glimmer)	K(Mg,Fe) <sub>3</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>
	Kloritt		Mg, Fe, OH, Al-silikat
	Talk		Mg, OH- silikat
	Serpentin		Mg, OH- silikat
	Pyroksen	Augitt	Ca, Mg, Fe-silikat
	Amfibol	Hornblende	Ca, Mg, Fe, Na, OH, Al -silikat
		Aktonolitt	Ca, Mg, Fe, OH, Al -silikat
	Beryll		Be, Al -silikat
	Turmalin		Komplekst B - silikat
	Epidot		Ca, Fe, Al -silikat
	Olivin		(Mg, Fe) <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>
	Granat	Grossular Andraditt	Ca, Fe, Al -silikat
		Pyrop Almandin	Mg, Fe, Al - silikat
	Kyanitt		Al <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub>

Klasse	Gruppe	Mineral	Kjemi
KARBONATER	Kalkspat		CaCO <sub>3</sub>
	Dolomitt		CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
	Magnesitt		MgCO <sub>3</sub>
SULF- FOSF- ATER	Apatitt		Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (F, Cl, OH)
SULF- ATER	Gips (ANHYDRITT)		CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O
HALOGENI- DER	Flusspat		CaF <sub>2</sub>
	Steinsalt (halitt)		NaCl
OKSIDER	Magnetitt		Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
	Hematitt	Jernglans	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
		Rødglans	
SULFIDER	Svovelkis		FeS <sub>2</sub>
	Kobberkis		CuFeS <sub>2</sub>
	Magnetkis		FeS <sub>2</sub>
	Blyglans		PbS
	Sinkblende		ZnS
	Molybdenglans		MoS <sub>2</sub>
ELEMENTER	Grafitt		C

## Vedlegg 2: Kornstørrelsesfordeling steinmel og jord (kumulativt i %)

Kornstørrelse (mm)	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063	
Basalt		100,00	75,76	44,77	28,90	18,39	12,46	
Larvikitt grov	100	94,97	78,01	55,05	36,21	18,98	9,58	
Karbonatitt	100	99,20	81,24	49,04	28,68	16,36	9,20	
Altagro	100	99,99	99,80	91,31	50,46	19,16	6,71	
Titania		100,00	99,90	93,27	50,42	14,76	4,64	
Podsol		100,00	96,19	51,38	18,01	10,09	7,43	
Leirjord		100,00	97,56	78,61	65,75	52,23	46,52	
Larvikitt fin		2	0,6	0,2	0,06	0,02	0,006	0,002
		100	96,5	72,8	36,6	14,7	5,7	2,6

## Vedlegg 3: Innhold i konstruert saltvann

MgCl•6H<sub>2</sub>O: 1,4045 g → Mg: 170 mg/L

K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>: 0,1842 g → K: 85 mg/L

NaCl: 3,6755 g → Na: 1410 mg/L

CaSO<sub>4</sub>: 0,5895 g → Ca: 120 mg/L

S: 138 mg/L

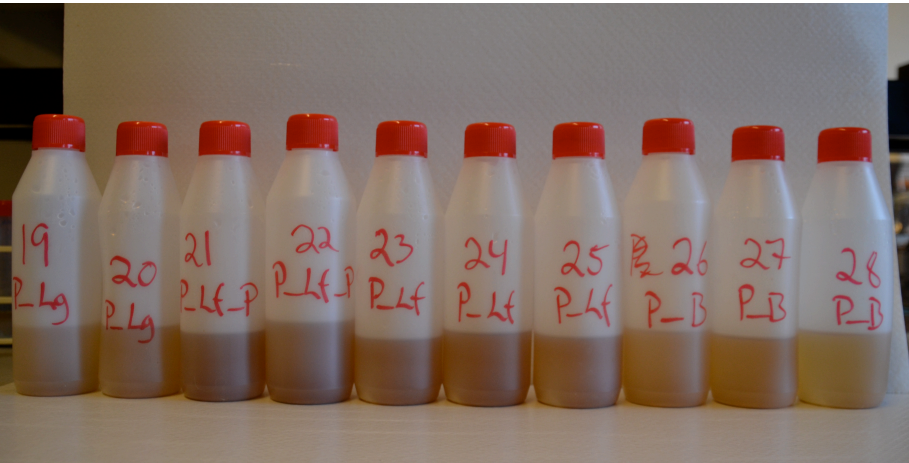
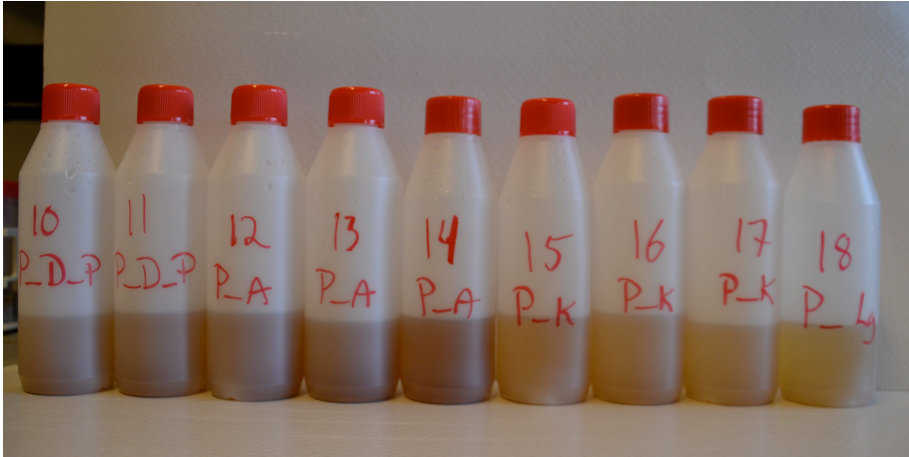
## Vedlegg 4: Oversikt over søyler og ekstraksjoner

Løpetall	jord	Steinmel	Fosfor	Kalium	Gjentak	Kode jordsøyle	Ekstrasjonsmiddel	Løpetall	jord	Steinmel	Fosfor	Kalium	Gjentak	Kode jordsøyle	Ekstrasjonsmiddel
1	Podsol	Ingen	0	0	1	P_0	"regnvann"	57	Podsol	Ingen	0	0	1	P_0	Org. syre
2	Podsol	Ingen	0	0	2	P_0	"regnvann"	58	Podsol	Ingen	0	0	2	P_0	Org. syre
3	Podsol	Ingen	0	0	3	P_0	"regnvann"	59	Podsol	Ingen	0	0	3	P_0	Org. syre
4	Podsol	ingen	1	0	1	P_0_P	"regnvann"	60	Podsol	ingen	1	0	1	P_0_P	Org. syre
5	Podsol	ingen	1	0	2	P_0_P	"regnvann"	61	Podsol	ingen	1	0	2	P_0_P	Org. syre
6	Podsol	ingen	1	0	3	P_0_P	"regnvann"	62	Podsol	ingen	1	0	3	P_0_P	Org. syre
7	Podsol	Dolomitt	0	0	1	P_D	"regnvann"	63	Podsol	Dolomitt	0	0	1	P_D	Org. syre
8	Podsol	Dolomitt	0	0	2	P_D	"regnvann"	64	Podsol	Dolomitt	0	0	2	P_D	Org. syre
9	Podsol	Dolomitt	0	0	3	P_D	"regnvann"	65	Podsol	Dolomitt	0	0	3	P_D	Org. syre
10	Podsol	Dolomitt	1	0	1	P_D_P	"regnvann"	66	Podsol	Dolomitt	1	0	1	P_D_P	Org. syre
11	Podsol	Dolomitt	1	0	2	P_D_P	"regnvann"	67	Podsol	Dolomitt	1	0	2	P_D_P	Org. syre
12	Podsol	Altagro	0	0	1	P_A	"regnvann"	68	Podsol	Altagro	0	0	1	P_A	Org. syre
13	Podsol	Altagro	0	0	2	P_A	"regnvann"	69	Podsol	Altagro	0	0	2	P_A	Org. syre
14	Podsol	Altagro	0	0	3	P_A	"regnvann"	70	Podsol	Altagro	0	0	3	P_A	Org. syre
15	Podsol	Karbonatitt	0	0	1	P_K	"regnvann"	71	Podsol	Karbonatitt	0	0	1	P_K	Org. syre
16	Podsol	Karbonatitt	0	0	2	P_K	"regnvann"	72	Podsol	Karbonatitt	0	0	2	P_K	Org. syre
17	Podsol	Karbonatitt	0	0	3	P_K	"regnvann"	73	Podsol	Karbonatitt	0	0	3	P_K	Org. syre
18	Podsol	Larvikitt grov	0	0	1	P_Lg	"regnvann"	74	Podsol	Larvikitt grov	0	0	1	P_Lg	Org. syre
19	Podsol	Larvikitt grov	0	0	2	P_Lg	"regnvann"	75	Podsol	Larvikitt grov	0	0	2	P_Lg	Org. syre
20	Podsol	Larvikitt grov	0	0	3	P_Lg	"regnvann"	76	Podsol	Larvikitt grov	0	0	3	P_Lg	Org. syre
21	Podsol	Larvikitt fin	1	0	1	P_Lf_P	"regnvann"	77	Podsol	Larvikitt fin	1	0	1	P_Lf_P	Org. syre
22	Podsol	Larvikitt fin	1	0	2	P_Lf_P	"regnvann"	78	Podsol	Larvikitt fin	1	0	2	P_Lf_P	Org. syre
23	Podsol	Larvikitt fin	0	0	1	P_Lf	"regnvann"	79	Podsol	Larvikitt fin	0	0	1	P_Lf	Org. syre
24	Podsol	Larvikitt fin	0	0	2	P_Lf	"regnvann"	80	Podsol	Larvikitt fin	0	0	2	P_Lf	Org. syre
25	Podsol	Larvikitt fin	0	0	3	P_Lf	"regnvann"	81	Podsol	Larvikitt fin	0	0	3	P_Lf	Org. syre
26	Podsol	Basalt	0	0	1	P_B	"regnvann"	82	Podsol	Basalt	0	0	1	P_B	Org. syre
27	Podsol	Basalt	0	0	2	P_B	"regnvann"	83	Podsol	Basalt	0	0	2	P_B	Org. syre
28	Podsol	Basalt	0	0	3	P_B	"regnvann"	84	Podsol	Basalt	0	0	3	P_B	Org. syre

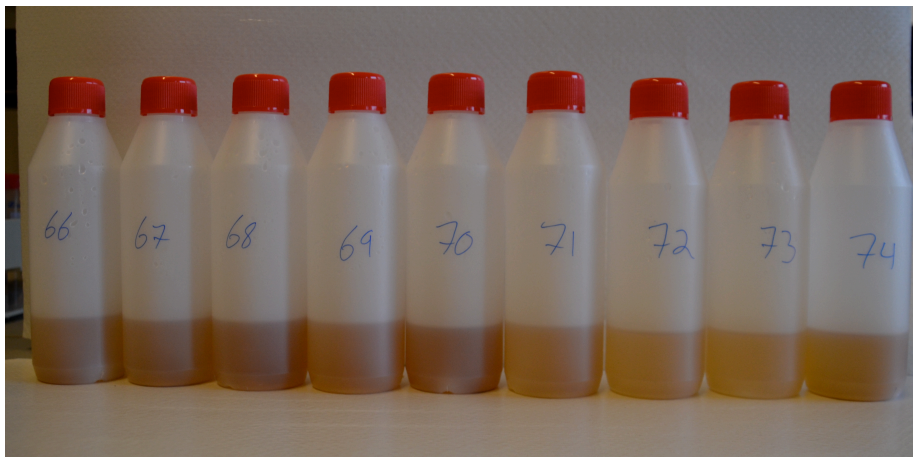
Løpetall	jord	Steinmel	Fosfor	Kalium	Gjentak	Kode jordsøyle	Ekstrasjonsmidell	Løpetall	jord	Steinmel	Fosfor	Kalium	Gjentak	Kode jordsøyle	Ekstrasjonsmidell
85	Podsol	Ingen	0	0	1	P_0	Org. syre	113	Leire	Ingen	0	0	1	L_0	"regnvann"
86	Podsol	Ingen	0	0	2	P_0	Org. syre	114	Leire	Ingen	0	0	2	L_0	"regnvann"
87	Podsol	Ingen	0	0	3	P_0	Org. syre	115	Leire	Ingen	0	0	3	L_0	"regnvann"
88	Podsol	ingen	1	0	1	P_0_P	Org. syre	116	Leire	ingen	0	1	1	L_0_K	"regnvann"
89	Podsol	ingen	1	0	2	P_0_P	Org. syre	117	Leire	ingen	0	1	2	L_0_K	"regnvann"
90	Podsol	ingen	1	0	3	P_0_P	Org. syre	118	Leire	ingen	0	1	3	L_0_K	"regnvann"
91	Podsol	Dolomitt	0	0	1	P_D	Org. syre	119	Leire	Dolomitt	0	0	1	L_D	"regnvann"
92	Podsol	Dolomitt	0	0	2	P_D	Org. syre	120	Leire	Dolomitt	0	0	2	L_D	"regnvann"
93	Podsol	Dolomitt	0	0	3	P_D	Org. syre	121	Leire	Dolomitt	0	0	3	L_D	"regnvann"
94	Podsol	Dolomitt	1	0	1	P_D_P	Org. syre	122	Leire	Altagro	0	0	1	L_A	"regnvann"
95	Podsol	Dolomitt	1	0	2	P_D_P	Org. syre	123	Leire	Altagro	0	0	2	L_A	"regnvann"
96	Podsol	Altagro	0	0	1	P_A	Org. syre	124	Leire	Altagro	0	0	3	L_A	"regnvann"
97	Podsol	Altagro	0	0	2	P_A	Org. syre	125	Leire	Karbonatitt	0	0	1	L_K	"regnvann"
98	Podsol	Altagro	0	0	3	P_A	Org. syre	126	Leire	Karbonatitt	0	0	2	L_K	"regnvann"
99	Podsol	Karbonatitt	0	0	1	P_K	Org. syre	127	Leire	Karbonatitt	0	0	3	L_K	"regnvann"
100	Podsol	Karbonatitt	0	0	2	P_K	Org. syre	128	Leire	Larvikitt grov	0	0	1	L_Lg	"regnvann"
101	Podsol	Karbonatitt	0	0	3	P_K	Org. syre	129	Leire	Larvikitt grov	0	0	2	L_Lg	"regnvann"
102	Podsol	Larvikitt grov	0	0	1	P_Lg	Org. syre	130	Leire	Larvikitt grov	0	0	3	L_Lg	"regnvann"
103	Podsol	Larvikitt grov	0	0	2	P_Lg	Org. syre	131	Leire	Larvikitt fin	0	0	1	L_Lf	"regnvann"
104	Podsol	Larvikitt grov	0	0	3	P_Lg	Org. syre	132	Leire	Larvikitt fin	0	0	2	L_Lf	"regnvann"
105	Podsol	Larvikitt fin	1	0	1	P_Lf_P	Org. syre	133	Leire	Larvikitt fin	0	0	3	L_Lf	"regnvann"
106	Podsol	Larvikitt fin	1	0	2	P_Lf_P	Org. syre	134	Leire	Basalt	0	0	1	L_B	"regnvann"
107	Podsol	Larvikitt fin	0	0	1	P_Lf	Org. syre	135	Leire	Basalt	0	0	2	L_B	"regnvann"
108	Podsol	Larvikitt fin	0	0	2	P_Lf	Org. syre	136	Leire	Basalt	0	0	3	L_B	"regnvann"
109	Podsol	Larvikitt fin	0	0	3	P_Lf	Org. syre	137	Podsol	Dolomitt	1	0	3	P_D_P	"regnvann"
110	Podsol	Basalt	0	0	1	P_B	Org. syre	138	Podsol	Dolomitt	1	0	4	P_D_P	"regnvann"
111	Podsol	Basalt	0	0	2	P_B	Org. syre	139	Podsol	Larvikitt fin	1	0	3	P_Lf_P	"regnvann"
112	Podsol	Basalt	0	0	3	P_B	Org. syre	140	Podsol	Larvikitt fin	1	0	4	P_Lf_P	"regnvann"

Løpetall	jord	Steinmel	Fosfor	Kalium	Gjentak	Kode jordsøyle	Ekstrasjonsmidell	Løpetall	jord	Steinmel	Fosfor	Kalium	Gjentak	Kode jordsøyle	Ekstrasjonsmidell
169	Leire	Ingen	0	0	1	L_0	Org. syre	197	Leire	Ingen	0	0	1	L_0	Org. syre
170	Leire	Ingen	0	0	2	L_0	Org. syre	198	Leire	Ingen	0	0	2	L_0	Org. syre
171	Leire	Ingen	0	0	3	L_0	Org. syre	199	Leire	Ingen	0	0	3	L_0	Org. syre
172	Leire	ingen	0	1	1	L_0_K	Org. syre	200	Leire	ingen	0	1	1	L_0_K	Org. syre
173	Leire	ingen	0	1	2	L_0_K	Org. syre	201	Leire	ingen	0	1	2	L_0_K	Org. syre
174	Leire	ingen	0	1	3	L_0_K	Org. syre	202	Leire	ingen	0	1	3	L_0_K	Org. syre
175	Leire	Dolomitt	0	0	1	L_D	Org. syre	203	Leire	Dolomitt	0	0	1	L_D	Org. syre
176	Leire	Dolomitt	0	0	2	L_D	Org. syre	204	Leire	Dolomitt	0	0	2	L_D	Org. syre
177	Leire	Dolomitt	0	0	3	L_D	Org. syre	205	Leire	Dolomitt	0	0	3	L_D	Org. syre
178	Leire	Altagro	0	0	1	L_A	Org. syre	206	Leire	Altagro	0	0	1	L_A	Org. syre
179	Leire	Altagro	0	0	2	L_A	Org. syre	207	Leire	Altagro	0	0	2	L_A	Org. syre
180	Leire	Altagro	0	0	3	L_A	Org. syre	208	Leire	Altagro	0	0	3	L_A	Org. syre
181	Leire	Karbonatitt	0	0	1	L_K	Org. syre	209	Leire	Karbonatitt	0	0	1	L_K	Org. syre
182	Leire	Karbonatitt	0	0	2	L_K	Org. syre	210	Leire	Karbonatitt	0	0	2	L_K	Org. syre
183	Leire	Karbonatitt	0	0	3	L_K	Org. syre	211	Leire	Karbonatitt	0	0	3	L_K	Org. syre
184	Leire	Larvikitt grov	0	0	1	L_Lg	Org. syre	212	Leire	Larvikitt grov	0	0	1	L_Lg	Org. syre
185	Leire	Larvikitt grov	0	0	2	L_Lg	Org. syre	213	Leire	Larvikitt grov	0	0	2	L_Lg	Org. syre
186	Leire	Larvikitt grov	0	0	3	L_Lg	Org. syre	214	Leire	Larvikitt grov	0	0	3	L_Lg	Org. syre
187	Leire	Larvikitt fin	0	0	1	L_Lf	Org. syre	215	Leire	Larvikitt fin	0	0	1	L_Lf	Org. syre
188	Leire	Larvikitt fin	0	0	2	L_Lf	Org. syre	216	Leire	Larvikitt fin	0	0	2	L_Lf	Org. syre
189	Leire	Larvikitt fin	0	0	3	L_Lf	Org. syre	217	Leire	Larvikitt fin	0	0	3	L_Lf	Org. syre
190	Leire	Basalt	0	0	1	L_B	Org. syre	218	Leire	Basalt	0	0	1	L_B	Org. syre
191	Leire	Basalt	0	0	2	L_B	Org. syre	219	Leire	Basalt	0	0	2	L_B	Org. syre
192	Leire	Basalt	0	0	3	L_B	Org. syre	220	Leire	Basalt	0	0	3	L_B	Org. syre
193	Podsol	Dolomitt	1	0	3	P_D_P	Org. syre	221	Podsol	Dolomitt	1	0	3	P_D_P	Org. syre
194	Podsol	Dolomitt	1	0	4	P_D_P	Org. syre	222	Podsol	Dolomitt	1	0	4	P_D_P	Org. syre
195	Podsol	Larvikitt fin	1	0	3	P_Lf_P	Org. syre	223	Podsol	Larvikitt fin	1	0	3	P_Lf_P	Org. syre
196	Podsol	Larvikitt fin	1	0	4	P_Lf_P	Org. syre	224	Podsol	Larvikitt fin	1	0	4	P_Lf_P	Org. syre

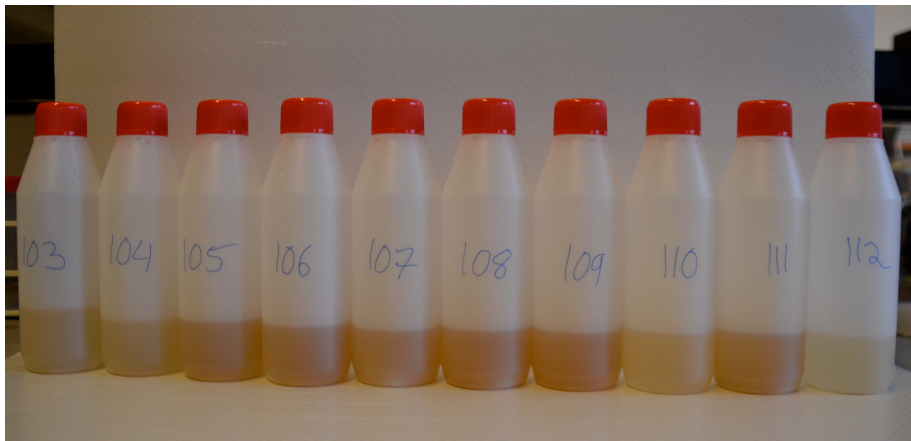
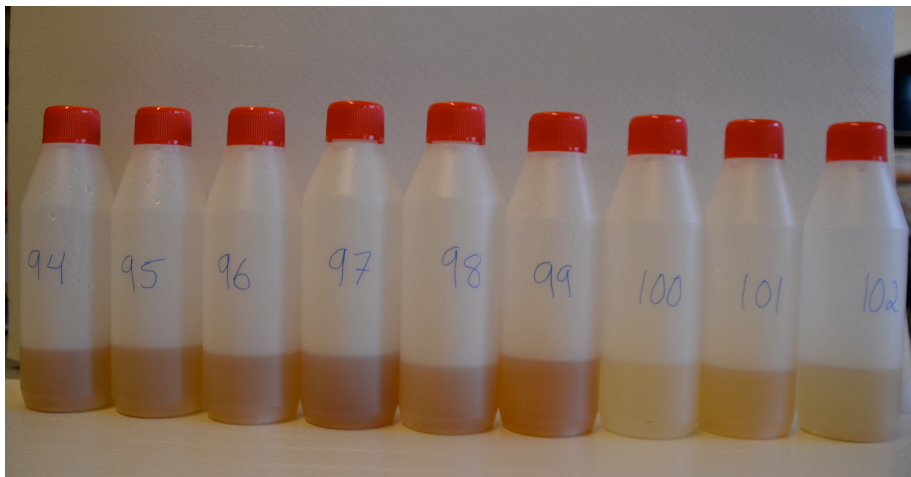
**Vedlegg 5: Utvaskingsvæske i regnvann og syreekstraksjonen**

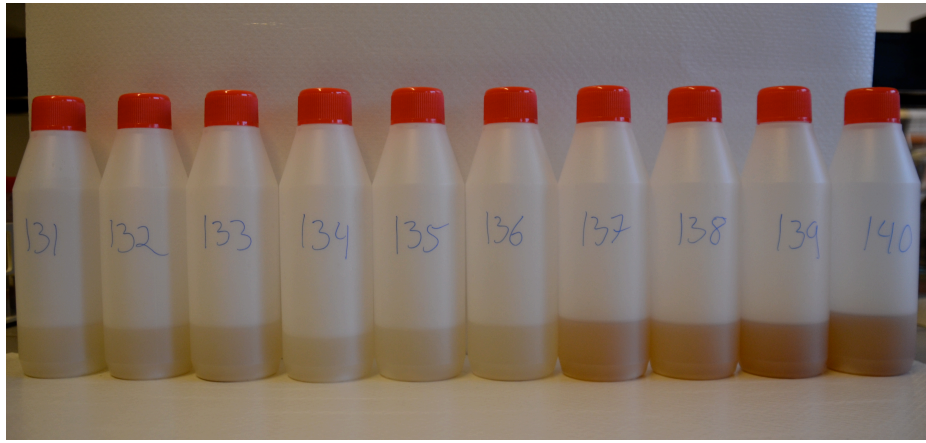












## Vedlegg 6: Signifikante forskjeller i utvasket mengde av de ulike elementene

KALSIUM			
LEIRJORD/REGNVANN			
SIGNIFIKANSNIVÅ	0,05		
FEIL I FRIHETSGRADER	16		
GJENNOMSNIITTLIG KVADRATFEIL	0,07391		
KRITISK VERDI T	2,11991		
MINSTE SIGNIFIKANTE FORSKJELL (LSD)	0,4706		
Gruppering	Gjennomsnitt (mg)	Gjentak	Behandling
A	3,4723	3	0_K
B	2,4171	3	0
B	2,3984	3	D
C	2,2077	3	K
C	1,9599	3	A
C	1,7943	3	Lg
C	1,7839	3	B
D	1,4857	3	Lf

KALSIUM			
PODSOL/REGNVANN			
SIGNIFIKANSNIVÅ	0,05		
FEIL I FRIHETSGRADER	20		
GJENNOMSNIITTLIG KVADRATFEIL	0,014052		
KRITISK VERDI T	2,08596		
MINSTE SIGNIFIKANTE FORSKJELL (LSD)	0,2019		
Gruppering	Gjennomsnitt (mg)	Gjentak	Behandling
A	1,63604	3	K
B	1,21128	3	D
C	0,46556	3	B
D	0,2239	3	A
D	0,12744	3	Lg
D	0,09955	3	0
D	0,07389	3	Lf

KALSIUM			
LEIRJORD/SYRE			
SIGNIFIKANSNIVÅ	0,05		
FEIL I FRIHETSGRADER	16		
GJENNOMSNIITTLIG KVADRATFEIL	5,85		
KRITISK VERDI T	2,12		
MINSTE SIGNIFIKANTE FORSKJELL (LSD)	4,19		
Gruppering	Gjennomsnitt (mg)	Gjentak	Behandling
A	38,819	3	K
A	36,949	3	D
B	24,231	3	0_K
C	22,05	3	0
C	21,911	3	B
C	20,719	3	A
C	20,153	3	Lg
C	19,354	3	Lf

KALSIUM			
PODSOL/SYRE			
SIGNIFIKANSNIVÅ	0,05		
FEIL I FRIHETSGRADER	14		
GJENNOMSNIITTLIG KVADRATFEIL	3,66		
KRITISK VERDI T	2,14		
MINSTE SIGNIFIKANTE FORSKJELL (LSD)	3,35		
Gruppering	Gjennomsnitt (mg)	Gjentak	Behandling
A	11,237	3	D
A	8,776	3	K
B	0,825	3	B
B	0,491	3	A
B	0,227	3	0
B	0,181	3	Lg
B	0,108	3	Lf

MAGNESIUM			
LEIRJORD/REGNVANN			
SIGNIFIKANSNIVÅ	0,05		
FEIL I FRIHETSGRADER	16		
GJENNOMSNIITTLIG KVADRATFEIL	0,003253		
KRITISK VERDI T	2,11991		
MINSTE SIGNIFIKANTE FORSKJELL (LSD)	0,0987		
Gruppering	Gjennomsnitt (mg)	Gjentak	Behandling
A	0,8365	3	0_K
B	0,72272	3	D
C	0,58991	3	0
D	0,4747	3	Lg
D	0,46907	3	B
D	0,46465	3	A
D	0,44067	3	K
D	0,43043	3	Lf

MAGNESIUM			
PODSOL/REGNVANN			
SIGNIFIKANSNIVÅ	0,05		
FEIL I FRIHETSGRADER	20		
GJENNOMSNIITTLIG KVADRATFEIL	0,0058		
KRITISK VERDI T	2,086		
MINSTE SIGNIFIKANTE FORSKJELL (LSD)	0,13		
Gruppering	Gjennomsnitt (mg)	Gjentak	Behandling
A	1,11167	3	D
B	0,10674	3	B
B	0,09312	3	Lg
B	0,09193	3	0
B	0,07908	3	K
B	0,04728	3	Lf
B	0,03552	3	A

MAGNESIUM LEIRJORD/SYRE			
SIGNIFIKANSNIVÅ			0,05
FEIL I FRIHETSGRADER			16
GJENNOMSNI TT LIG KVADRATFEIL			0,36
KRITISK VERDI T			2,12
MINSTE SIGNIFIKANTE FORSKJELL (LSD)			1,04
Gruppering	Gjennomsnitt (mg)	Gjentak	Behandling
A	12,4143	3	D
B	5,9441	3	K
C	5,4667	3	0_K
C	4,9869	3	0
C	4,7098	3	B
C	4,5903	3	Lg
C	4,5256	3	Lf
C	4,3854	3	A

MAGNESIUM PODSOL/SYRE			
SIGNIFIKANSNIVÅ			0,05
FEIL I FRIHETSGRADER			14
GJENNOMSNI TT LIG KVADRATFEIL			0,81
KRITISK VERDI T			2,14
MINSTE SIGNIFIKANTE FORSKJELL (LSD)			1,58
Gruppering	Gjennomsnitt (mg)	Gjentak	Behandling
A	12,5012	3	D
B	0,4792	3	0
B	0,2337	3	K
B	0,1357	3	B
B	0,1314	3	Lg
B	0,053	3	A
B	0,0528	3	Lf

KALIUM LEIRJORD/REGNVANN			
SIGNIFIKANSNIVÅ			0,05
FEIL I FRIHETSGRADER			16
GJENNOMSNI TT LIG KVADRATFEIL			0,028054
KRITISK VERDI T			2,11991
MINSTE SIGNIFIKANTE FORSKJELL (LSD)			0,2899
Gruppering	Gjennomsnitt (mg)	Gjentak	Behandling
A	1,2532	3	0_K
B	0,6352	3	0
B	0,5978	3	Lf
B	0,5963	3	B
B	0,5942	3	A
B	0,5935	3	Lg
B	0,4958	3	K
B	0,4702	3	D

KALIUM PODSOL/REGNVANN			
SIGNIFIKANSNIVÅ			0,05
FEIL I FRIHETSGRADER			20
GJENNOMSNI TT LIG KVADRATFEIL			0,002658
KRITISK VERDI T			2,08596
MINSTE SIGNIFIKANTE FORSKJELL (LSD)			0,0878
Gruppering	Gjennomsnitt (mg)	Gjentak	Behandling
A	0,39942	3	A
C	0,33472	3	0
C	0,33043	3	Lf
C	0,31025	3	Lg
C	0,30936	3	B
E	0,2347	3	K
E	0,1676	3	D

KALIUM LEIRJORD/SYRE			
SIGNIFIKANSNIVÅ			0,05
FEIL I FRIHETSGRADER			16
GJENNOMSNI TT LIG KVADRATFEIL			0,12
KRITISK VERDI T			2,12
MINSTE SIGNIFIKANTE FORSKJELL (LSD)			0,6
Gruppering	Gjennomsnitt (mg)	Gjentak	Behandling
A	6,4249	3	0_K
B	4,0125	3	K
C	3,5219	3	A
C	3,4696	3	0
C	3,4613	3	Lf
C	3,3293	3	Lg
C	3,1059	3	B
C	2,4019	3	D

KALIUM PODSOL/SYRE			
SIGNIFIKANSNIVÅ			0,05
FEIL I FRIHETSGRADER			14
GJENNOMSNI TT LIG KVADRATFEIL			0,05
KRITISK VERDI T			2,14
MINSTE SIGNIFIKANTE FORSKJELL (LSD)			0,4
Gruppering	Gjennomsnitt (mg)	Gjentak	Behandling
A	1,0295	3	A
B	0,5553	3	K
B	0,4978	3	Lf
B	0,4632	3	0
B	0,3924	3	Lg
B	0,3654	3	B
B	0,2418	3	D

FOSFOR LEIRJORD/REGNVANN			
SIGNIFIKANSNIVÅ			0,05
FEIL I FRIHETSGRADER			16
GJENNOMSNI TT LIG KVADRATFEIL			6,03E-06
KRITISK VERDI T			2,12
MINSTE SIGNIFIKANTE FORSKJELL (LSD)			0,0043
Gruppering	Gjennomsnitt (mg)	Gjentak	Behandling
A	0,02667	3	Lf
B	0,022123	3	A
B	0,021283	3	0
C	0,020913	3	B
C	0,020817	3	0_K
C	0,020073	3	Lg
C	0,016963	3	D
C	0,016323	3	K

FOSFOR PODSOL/REGNVANN			
SIGNIFIKANSNIVÅ			0,05
FEIL I FRIHETSGRADER			20
GJENNOMSNI TT LIG KVADRATFEIL			0,00018
KRITISK VERDI T			2,086
MINSTE SIGNIFIKANTE FORSKJELL (LSD)			0,023
Gruppering	Gjennomsnitt (mg)	Gjentak	Behandling
A	0,03973	3	Lf
B	0,02717	3	Lg
B	0,02286	3	Lf_P
B	0,0208	3	A
B	0,01804	3	D_P
B	0,01721	3	D
B	0,01635	3	K
B	0,01627	3	B
B	0,01572	3	0_P
B	0,01178	3	0

FOSFOR			
LEIRJORD/SYRE			
SIGNIFIKANSNIVÅ			0,05
FEIL I FRIHETSGRADER			16
GJENNOMSNTLIG KVADRATFEIL			0,000081
KRITISK VERDI T			2,12
MINSTE SIGNIFIKANTE FORSKJELL (LSD)			0,015
Gruppering	Gjennomsnitt (mg)	Gjentak	Behandling
	A	3	A
B	A	3	O_K
B	A	3	Lf
B	A	3	O
B	A	3	Lg
B	A	3	B
B	C	3	K
B	C	3	D

FOSFOR			
PODSOL/SYRE			
SIGNIFIKANSNIVÅ			0,05
FEIL I FRIHETSGRADER			20
GJENNOMSNTLIG KVADRATFEIL			0,000047
KRITISK VERDI T			2,086
MINSTE SIGNIFIKANTE FORSKJELL (LSD)			0,012
Gruppering	Gjennomsnitt (mg)	Gjentak	Behandling
	A	3	Lf_P
B	A	3	D_P
B	A	3	D
B	A	3	A
B	D	3	Lf
B	D	3	O_P
	D	3	Lg
	D	3	B
	D	3	O
	E	3	K

FOSFOR (UTEN HØYE VERDIER)			
PODSOL/REGNVANN			
SIGNIFIKANSNIVÅ			0,05
FEIL I FRIHETSGRADER			20
GJENNOMSNTLIG KVADRATFEIL			3,34E-06
KRITISK VERDI T			2,086
MINSTE SIGNIFIKANTE FORSKJELL (LSD)			0,0031
Gruppering	Gjennomsnitt (mg)	Gjentak	Behandling
	A	3	Lf_P
B	A	3	A
B	A	3	Lf
B	D	3	D_P
	D	3	D
	D	3	K
	D	3	B
E	D	3	O_P
E	F	3	Lg
	F	3	O

SVOVEL			
LEIRJORD/REGNVANN			
SIGNIFIKANSNIVÅ			0,05
FEIL I FRIHETSGRADER			16
GJENNOMSNTLIG KVADRATFEIL			0,00017
KRITISK VERDI T			2,12
MINSTE SIGNIFIKANTE FORSKJELL (LSD)			0,022
Gruppering	Gjennomsnitt (mg)	Gjentak	Behandling
	A	3	K
B	A	3	D
B	C	3	Lf
D	C	3	A
D	E	3	O
	E	3	Lg
	E	3	O_K
	E	3	B

SVOVEL			
PODSOL/REGNVANN			
SIGNIFIKANSNIVÅ			0,05
FEIL I FRIHETSGRADER			20
GJENNOMSNTLIG KVADRATFEIL			0,0015
KRITISK VERDI T			2,086
MINSTE SIGNIFIKANTE FORSKJELL (LSD)			0,065
Gruppering	Gjennomsnitt (mg)	Gjentak	Behandling
A	0,68065	3	D
B	0,59882	3	A
B	0,56947	3	K
C	0,47671	3	Lf
D	0,32934	3	B
D	0,28682	3	Lg
D	0,27847	3	O

SVOVEL			
LEIRJORD/SYRE			
SIGNIFIKANSNIVÅ			0,05
FEIL I FRIHETSGRADER			16
GJENNOMSNTLIG KVADRATFEIL			0,00033
KRITISK VERDI T			2,12
MINSTE SIGNIFIKANTE FORSKJELL (LSD)			0,031
Gruppering	Gjennomsnitt (mg)	Gjentak	Behandling
	A	3	D
	B	3	K
	C	3	A
D	C	3	B
D	E	3	O
D	E	3	Lg
D	E	3	Lf
	E	3	O_K

SVOVEL			
PODSOL			
SIGNIFIKANSNIVÅ			0,05
FEIL I FRIHETSGRADER			14
GJENNOMSNTLIG KVADRATFEIL			0,0067
KRITISK VERDI T			2,12
MINSTE SIGNIFIKANTE FORSKJELL (LSD)			0,14
Gruppering	Gjennomsnitt (mg)	Gjentak	Behandling
A	1,46173	3	D
A	1,33173	3	K
B	1,14393	3	A
C	0,96823	3	Lf
C	0,96813	3	B
C	0,9046	3	Lg
C	0,8831	3	O



NATRIUM			
LEIRJORD/REGNVANN			
SIGNIFIKANSNIVÅ			0,05
FEIL I FRIHETSGRADER			20
GJENNOMSNIITTLIG KVADRATFEIL			0,00063
KRITISK VERDI T			2,12
MINSTE SIGNIFIKANTE FORSKJELL (LSD)			0,043
Gruppering	Gjennomsnitt (mg)	Gjentak	Behandling
A	0,95976	3	Lf
B	0,58788	3	A
C	0,41771	3	Lg
C	0,40648	3	0_K
D	0,38365	3	0
D	0,34478	3	B
E	0,31986	3	D
E	0,30378	3	K

NATRIUM			
PODSOL/REGNVANN			
SIGNIFIKANSNIVÅ			0,05
FEIL I FRIHETSGRADER			20
GJENNOMSNIITTLIG KVADRATFEIL			0,019
KRITISK VERDI T			2,085
MINSTE SIGNIFIKANTE FORSKJELL (LSD)			0,23
Gruppering	Gjennomsnitt (mg)	Gjentak	Behandling
A	3,3392	3	A
B	2,6685	3	Lf
C	1,1367	3	Lg
C	1,0981	3	0
D	1,0045	3	B
D	0,8307	3	K
F	0,7226	3	D

NATRIUM			
LEIRJORD/SYRE			
SIGNIFIKANSNIVÅ			0,05
FEIL I FRIHETSGRADER			16
GJENNOMSNIITTLIG KVADRATFEIL			0,14
KRITISK VERDI T			2,12
MINSTE SIGNIFIKANTE FORSKJELL (LSD)			0,66
Gruppering	Gjennomsnitt (mg)	Gjentak	Behandling
A	13,5464	3	A
B	6,7738	3	Lf
C	3,9483	3	K
C	3,6674	3	Lg
C	3,5952	3	B
C	3,5824	3	0_K
C	3,5054	3	0
C	3,4593	3	D

NATRIUM			
PODSOL/SYRE			
SIGNIFIKANSNIVÅ			0,05
FEIL I FRIHETSGRADER			14
GJENNOMSNIITTLIG KVADRATFEIL			1,83
KRITISK VERDI T			2,14
MINSTE SIGNIFIKANTE FORSKJELL (LSD)			2,37
Gruppering	Gjennomsnitt (mg)	Gjentak	Behandling
A	12,5	3	A
B	5,087	3	Lf
C	3,124	3	K
C	2,708	3	D
C	2,412	3	Lg
C	2,399	3	B
C	2,208	3	0

SILISIUM			
LEIRJORD/REGNVANN			
SIGNIFIKANSNIVÅ			0,05
FEIL I FRIHETSGRADER			16
GJENNOMSNIITTLIG KVADRATFEIL			0,0084
KRITISK VERDI T			2,12
MINSTE SIGNIFIKANTE FORSKJELL (LSD)			0,16
Gruppering	Gjennomsnitt (mg)	Gjentak	Behandling
A	2,13826	3	Lf
B	1,67515	3	A
C	1,12861	3	0
C	1,12072	3	B
C	1,09839	3	Lg
C	1,09014	3	0_K
D	0,70073	3	D
D	0,66358	3	K

SILISIUM			
PODSOL/REGNVANN			
SIGNIFIKANSNIVÅ			0,05
FEIL I FRIHETSGRADER			20
GJENNOMSNIITTLIG KVADRATFEIL			0,064
KRITISK VERDI T			2,086
MINSTE SIGNIFIKANTE FORSKJELL (LSD)			0,43
Gruppering	Gjennomsnitt (mg)	Gjentak	Behandling
A	7,2491	3	A
B	4,8797	3	Lf
C	1,396	3	Lg
C	1,3881	3	B
C	1,2652	3	0
C	1,1769	3	K
C	1,1025	3	D

SILISIUM			
LEIRJORD/SYRE			
SIGNIFIKANSNIVÅ			0,05
FEIL I FRIHETSGRADER			16
GJENNOMSNIITTLIG KVADRATFEIL			0,56
KRITISK VERDI T			2,12
MINSTE SIGNIFIKANTE FORSKJELL (LSD)			1,29
Gruppering	Gjennomsnitt (mg)	Gjentak	Behandling
A	18,7448	3	A
B	13,6023	3	Lf
C	11,9886	3	0
C	11,823	3	0_K
C	10,9104	3	Lg
D	9,2215	3	B
E	3,421	3	K
F	1,7865	3	D

SILISIUM			
PODSOL/SYRE			
SIGNIFIKANSNIVÅ			0,05
FEIL I FRIHETSGRADER			14
GJENNOMSNIITTLIG KVADRATFEIL			0,35
KRITISK VERDI T			2,14
MINSTE SIGNIFIKANTE FORSKJELL (LSD)			1,03
Gruppering	Gjennomsnitt (mg)	Gjentak	Behandling
A	15,4222	3	A
B	7,6905	3	Lf
C	5,6756	3	0
C	5,1672	3	Lg
C	4,772	3	B
D	3,1294	3	K
E	1,4477	3	D

ALUMINIUM			
LEIRJORD/REGNVANN			
SIGNIFIKANSNIVÅ			0,05
FEIL I FRIHETSGRADER			16
GJENNOMSNIITTLIG KVADRATFEIL			0,0033
KRITISK VERDI T			2,12
MINSTE SIGNIFIKANTE FORSKJELL (LSD)			0,1
Gruppering	Gjennomsnitt (mg)	Gjentak	Behandling
A	0,51193	3	Lf
B	0,38791	3	B
B	0,36026	3	A
B	0,35713	3	Lg
B	0,3548	3	0
B	0,35366	3	0_K
C	0,24642	3	D
C	0,2238	3	K

ALUMINIUM			
PODSOL/REGNVANN			
SIGNIFIKANSNIVÅ			0,05
FEIL I FRIHETSGRADER			20
GJENNOMSNIITTLIG KVADRATFEIL			0,0022
KRITISK VERDI T			2,086
MINSTE SIGNIFIKANTE FORSKJELL (LSD)			0,08
Gruppering	Gjennomsnitt (mg)	Gjentak	Behandling
A	0,85218	3	A
A	0,81162	3	Lf
B	0,58311	3	B
B	0,56097	3	0
B	0,54313	3	Lg
C	0,41924	3	K
C	0,40948	3	D

ALUMINIUM			
LEIRJORD/SYRE			
SIGNIFIKANSNIVÅ			0,05
FEIL I FRIHETSGRADER			16
GJENNOMSNIITTLIG KVADRATFEIL			6,89
KRITISK VERDI T			2,12
MINSTE SIGNIFIKANTE FORSKJELL (LSD)			4,54
Gruppering	Gjennomsnitt (mg)	Gjentak	Behandling
A	36,349	3	0_K
B	35,364	3	A
B	32,679	3	D
B	31,52	3	Lf
B	31,294	3	0
	30,559	3	Lg
	29,357	3	K
	28,742	3	B

ALUMINIUM			
PODSOL/SYRE			
SIGNIFIKANSNIVÅ			0,05
FEIL I FRIHETSGRADER			14
GJENNOMSNIITTLIG KVADRATFEIL			71,35
KRITISK VERDI T			2,14
MINSTE SIGNIFIKANTE FORSKJELL (LSD)			14,79
Gruppering	Gjennomsnitt (mg)	Gjentak	Behandling
A	15,382	3	0
A	11,092	3	D
A	8,017	3	A
A	2,94	3	K
A	2,43	3	B
A	2,417	3	Lf
A	2,275	3	Lg

ALUMINIUM (UTEN HØYE VERDIER)			
PODSOL/SYRE			
SIGNIFIKANSNIVÅ			0,05
FEIL I FRIHETSGRADER			14
GJENNOMSNTTLIG KVADRATFEIL			1,85
KRITISK VERDI T			2,14
MINSTE SIGNIFIKANTE FORSKJELL (LSD)			2,38
Gruppering	Gjennomsnitt (Mg)	Gjentak	Behandling
A	11,092	3	D
B	3,748	3	0
B	2,94	3	K
B	2,612	3	A
B	2,43	3	B
B	2,417	3	Lf
B	2,275	3	Lg

JERN			
LEIRJORD/REGNVANN			
SIGNIFIKANSNIVÅ			0,05
FEIL I FRIHETSGRADER			16
GJENNOMSNTTLIG KVADRATFEIL			0,0038
KRITISK VERDI T			2,12
MINSTE SIGNIFIKANTE FORSKJELL (LSD)			0,11
Gruppering	Gjennomsnitt (mg)	Gjentak	Behandling
A	0,52737	3	Lf
B	0,39418	3	B
B	0,37605	3	A
C	0,357	3	Lg
C	0,34366	3	0_K
C	0,34191	3	0
C	0,26885	3	D
	0,24304	3	K

JERN			
PODSOL/REGNVANN			
SIGNIFIKANSNIVÅ			0,05
FEIL I FRIHETSGRADER			20
GJENNOMSNTTLIG KVADRATFEIL			0,0039
KRITISK VERDI T			2,086
MINSTE SIGNIFIKANTE FORSKJELL (LSD)			0,1
Gruppering	Gjennomsnitt (mg)	Gjentak	Behandling
A	0,78296	3	A
A	0,77159	3	Lf
B	0,54763	3	B
C	0,49365	3	D
C	0,45301	3	K
C	0,42725	3	Lg
	0,38814	3	0

JERN			
LEIRJORD/SYRE			
SIGNIFIKANSNIVÅ			0,05
FEIL I FRIHETSGRADER			16
GJENNOMSNTTLIG KVADRATFEIL			7,86
KRITISK VERDI T			2,12
MINSTE SIGNIFIKANTE FORSKJELL (LSD)			4,85
Gruppering	Gjennomsnitt (mg)	Gjentak	Behandling
A	43,257	3	D
B	40,192	3	K
B	37,021	3	0_K
B	36,902	3	A
E	32,479	3	0
E	32,38	3	Lf
E	32,136	3	Lg
E	31,876	3	B

JERN			
PODSOL/SYRE			
SIGNIFIKANSNIVÅ			0,05
FEIL I FRIHETSGRADER			14
GJENNOMSNTTLIG KVADRATFEIL			15,93
KRITISK VERDI T			2,14
MINSTE SIGNIFIKANTE FORSKJELL (LSD)			6,99
Gruppering	Gjennomsnitt (mg)	Gjentak	Behandling
A	12,783	3	D
B	7,571	3	0
B	5,817	3	K
B	4,929	3	A
B	2,04	3	Lf
B	1,788	3	B
B	1,644	3	Lg

JERN (UTEN HØYE VERDIER)			
PODSOL/SYRE			
SIGNIFIKANSNIVÅ			0,05
FEIL I FRIHETSGRADER			16
GJENNOMSNTTLIG KVADRATFEIL			2,95
KRITISK VERDI T			2,14
MINSTE SIGNIFIKANTE FORSKJELL (LSD)			3,0061
Gruppering	Gjennomsnitt (mg)	Gjentak	Behandling
A	12,783	3	D
B	5,817	3	K
C	2,871	3	A
C	2,689	3	0
C	2,04	3	Lf
C	1,788	3	B
C	1,644	3	Lg



BARIUM			
LEIRE/REGNVANN			
SIGNIFIKANSNIVÅ			0,05
FEIL I FRIHETSGRADER			16
GJENNOMSNTLIG KVADRATFEIL			1,4
KRITISK VERDI T			2,12
MINSTE SIGNIFIKANTE FORSKJELL (LSD)			2,052
Gruppering	Gjennomsnitt (mg)	Gjentak	Behandling
A	14,8931	3	0_K
B	9,6077	3	0
C	8,6452	3	Lf
C	8,1975	3	Lg
C	8,0184	3	B
C	7,9331	3	A
C	6,6212	3	D
	6,0705	3	K

BARIUM			
PODSOL/REGNVANN			
SIGNIFIKANSNIVÅ			0,05
FEIL I FRIHETSGRADER			20
GJENNOMSNTLIG KVADRATFEIL			0,32
KRITISK VERDI T			2,086
MINSTE SIGNIFIKANTE FORSKJELL (LSD)			0,97
Gruppering	Gjennomsnitt (mg)	Gjentak	Behandling
A	8,4412	3	B
A	8,1803	3	0
B	7,8297	3	Lg
B	7,1405	3	K
	4,8358	3	Lf
	3,8336	3	A
E	2,8423	3	D

BARIUM			
LEIRJORD/SYRE			
SIGNIFIKANSNIVÅ			0,05
FEIL I FRIHETSGRADER			16
GJENNOMSNTLIG KVADRATFEIL			36,62
KRITISK VERDI T			21,12
MINSTE SIGNIFIKANTE FORSKJELL (LSD)			10,47
Gruppering	Gjennomsnitt (mg)	Gjentak	Behandling
A	82,022	3	0_K
B	67,601	3	K
C	63,62	3	0
C	62,23	3	A
C	60,973	3	Lg
C	59,005	3	Lf
C	56,551	3	B
	45,102	3	D

BARIUM			
PODSOL/SYRE			
SIGNIFIKANSNIVÅ			0,05
FEIL I FRIHETSGRADER			14
GJENNOMSNTLIG KVADRATFEIL			3,45
KRITISK VERDI T			2,14
MINSTE SIGNIFIKANTE FORSKJELL (LSD)			3,25
Gruppering	Gjennomsnitt (mg)	Gjentak	Behandling
A	11,512	3	0
A	10,383	3	K
B	9,825	3	Lg
B	8,864	3	B
B	6,954	3	D
	6,519	3	Lf
	5,833	3	A

## Vedlegg 7: Gjennomsnittlig utvasket mengde av Ca, Mg, K, P, Na, Fe, S, Al og Si i mg og Ba i µg fra regnvann- og syreekstraksjonen ± standardavvik.

	Ca (mg)				Mg (mg)				K (mg)				P (mg)				Na (mg)			
	regn		syre		regn		syre		regn		syre		regn		syre		regn		syre	
P_O	0,0996 ±	0,00452	0,227 ±	0,144	0,0919 ±	0,00397	0,479 ±	0,505	0,335 ±	0,0151	0,463 ±	0,140	0,0118 ±	0,00130	0,0338 ±	0,0100	1,10 ±	0,0907	2,21 ±	0,0878
P_O_P	0,124 ±	0,0626	0,123 ±	0,0382	0,0896 ±	0,00581	0,149 ±	0,106	0,840 ±	0,111	0,992 ±	0,0784	0,0157 ±	0,00167	0,0432 ±	0,00146	1,18 ±	0,0315	2,28 ±	0,0484
P_D	1,21 ±	0,257	11,2 ±	2,27	1,11 ±	0,238	12,501 ±	2,33	0,168 ±	0,0113	0,242 ±	0,0239	0,0172 ±	0,00207	0,0483 ±	0,00914	0,723 ±	0,0222	2,71 ±	0,142
P_D_P	1,09 ±	0,107	9,79 ±	0,842	0,980 ±	0,0773	11,333 ±	0,982	0,397 ±	0,0999	0,751 ±	0,318	0,0177 ±	0,00132	0,0544 ±	0,0135	0,554 ±	0,0909	2,90 ±	0,228
P_A	0,224 ±	0,0105	0,491 ±	0,378	0,0355 ±	0,00436	0,053 ±	0,0441	0,399 ±	0,00491	1,03 ±	0,563	0,0208 ±	0,000741	0,0478 ±	0,00258	3,34 ±	0,160	12,5 ±	3,53
P_K	1,64 ±	0,244	8,78 ±	4,50	0,0791 ±	0,00784	0,234 ±	0,0696	0,235 ±	0,0217	0,555 ±	0,134	0,0164 ±	0,00154	0,0296 ±	0,00520	0,831 ±	0,0676	3,12 ±	0,0445
P_Lg	0,127 ±	0,0167	0,181 ±	0,00101	0,0931 ±	0,00574	0,131 ±	0,0102	0,310 ±	0,0130	0,392 ±	0,00935	0,0272 ±	0,0256	0,0367 ±	0,000925	1,14 ±	0,0598	2,41 ±	0,109
P_Lf_P	0,0704 ±	0,00907	0,0961 ±	0,00229	0,0438 ±	0,00373	0,053 ±	0,00821	0,626 ±	0,0906	0,936 ±	0,180	0,0224 ±	0,00144	0,0552 ±	0,00617	2,69 ±	0,350	5,07 ±	0,113
P_Lf	0,0739 ±	0,00385	0,108 ±	0,0226	0,0473 ±	0,00180	0,053 ±	0,0139	0,330 ±	0,0131	0,498 ±	0,0939	0,0397 ±	0,0336	0,0455 ±	0,00457	2,67 ±	0,238	5,09 ±	0,605
P_B	0,466 ±	0,0741	0,825 ±	0,0354	0,107 ±	0,00302	0,136 ±	0,00966	0,309 ±	0,00240	0,365 ±	0,0273	0,0163 ±	0,000839	0,0342 ±	0,00346	1,00 ±	0,0438	2,40 ±	0,0286
L_O	2,42 ±	0,323	22,0 ±	2,02	0,590 ±	0,0307	4,987 ±	0,433	0,635 ±	0,00861	3,47 ±	0,0972	0,0213 ±	0,00177	0,0806 ±	0,00454	0,384 ±	0,00411	3,51 ±	0,134
L_O_K	3,47 ±	0,444	24,2 ±	3,17	0,837 ±	0,100	5,467 ±	0,764	1,25 ±	0,472	6,42 ±	0,927	0,0208 ±	0,00213	0,0880 ±	0,0139	0,407 ±	0,0305	3,58 ±	0,227
L_D	2,40 ±	0,337	36,9 ±	3,04	0,723 ±	0,107	12,414 ±	1,05	0,470 ±	0,0121	2,40 ±	0,146	0,0170 ±	0,00129	0,0610 ±	0,00476	0,320 ±	0,0301	3,46 ±	0,113
L_A	1,96 ±	0,153	20,7 ±	0,855	0,465 ±	0,0212	4,385 ±	0,208	0,594 ±	0,00774	3,52 ±	0,0941	0,0221 ±	0,000518	0,0937 ±	0,00431	0,588 ±	0,0184	13,5 ±	0,586
L_K	2,21 ±	0,0795	38,8 ±	3,58	0,441 ±	0,0240	5,944 ±	0,760	0,496 ±	0,0133	4,01 ±	0,181	0,0163 ±	0,00208	0,0736 ±	0,0123	0,304 ±	0,00885	3,95 ±	0,0429
L_Lg	1,79 ±	0,366	20,2 ±	1,34	0,475 ±	0,0480	4,590 ±	0,275	0,594 ±	0,0122	3,33 ±	0,0304	0,0201 ±	0,00163	0,0804 ±	0,00553	0,418 ±	0,0157	3,67 ±	0,103
L_Lf	1,49 ±	0,0761	19,4 ±	1,52	0,430 ±	0,0141	4,526 ±	0,372	0,598 ±	0,0317	3,46 ±	0,0615	0,0267 ±	0,00545	0,0806 ±	0,00939	0,960 ±	0,0483	6,77 ±	0,844
L_B	1,78 ±	0,0814	21,9 ±	2,42	0,469 ±	0,0115	4,710 ±	0,455	0,596 ±	0,0115	3,11 ±	0,141	0,0209 ±	0,00140	0,0804 ±	0,0109	0,345 ±	0,0140	3,60 ±	0,0938

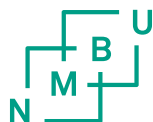
	Fe (mg)				S (mg)				Al (mg)				Si (mg)				Ba (ug)			
	regn		syre		regn		syre		regn		syre		regn		syre		regn		syre	
P_O	0,388 ±	0,0372	7,57 ±	8,60	0,279 ±	0,0187	0,883 ±	0,147	0,561 ±	0,0337	15,4 ±	20,0	1,27 ±	0,0752	5,68 ±	0,881	8,18 ±	0,265	11,5 ±	3,08
P_O_P	0,517 ±	0,0126	4,01 ±	4,30	0,351 ±	0,0174	0,845 ±	0,102	0,670 ±	0,00967	4,40 ±	4,14	1,32 ±	0,0531	5,03 ±	0,295	8,39 ±	0,195	9,50 ±	0,847
P_D	0,494 ±	0,103	12,8 ±	3,19	0,681 ±	0,0879	1,46 ±	0,0868	0,410 ±	0,0974	11,1 ±	3,23	1,10 ±	0,0662	1,45 ±	0,0723	2,84 ±	0,544	6,95 ±	1,01
P_D_P	0,511 ±	0,0476	10,8 ±	4,29	0,765 ±	0,0513	1,44 ±	0,0239	0,412 ±	0,0365	10,1 ±	3,10	0,998 ±	0,131	1,19 ±	0,0782	2,96 ±	0,443	7,71 ±	2,57
P_A	0,783 ±	0,0224	4,93 ±	4,34	0,599 ±	0,0301	1,14 ±	0,0533	0,852 ±	0,0180	8,02 ±	9,33	7,25 ±	0,537	15,4 ±	1,04	3,83 ±	0,182	5,83 ±	2,41
P_K	0,453 ±	0,0824	5,82 ±	2,79	0,570 ±	0,00355	1,33 ±	0,0952	0,419 ±	0,0680	2,94 ±	0,804	1,18 ±	0,0484	3,13 ±	0,328	7,14 ±	1,58	10,4 ±	2,47
P_Lg	0,427 ±	0,0770	1,64 ±	0,355	0,287 ±	0,00318	0,905 ±	0,0434	0,543 ±	0,0388	2,27 ±	0,495	1,40 ±	0,0434	5,17 ±	0,125	7,83 ±	0,105	9,82 ±	0,217
P_Lf_P	0,825 ±	0,0620	2,01 ±	0,236	0,558 ±	0,0492	0,894 ±	0,0306	0,878 ±	0,0735	2,55 ±	0,506	5,15 ±	0,556	7,65 ±	1,20	4,96 ±	0,394	6,38 ±	0,250
P_Lf	0,772 ±	0,103	2,04 ±	0,163	0,477 ±	0,0181	0,968 ±	0,0367	0,812 ±	0,0546	2,42 ±	0,0779	4,88 ±	0,183	7,69 ±	0,657	4,84 ±	0,158	6,52 ±	1,09
P_B	0,548 ±	0,0146	1,79 ±	0,718	0,329 ±	0,00590	0,968 ±	0,0530	0,583 ±	0,00900	2,43 ±	1,08	1,39 ±	0,0415	4,77 ±	0,150	8,44 ±	0,414	8,86 ±	0,720
L_O	0,342 ±	0,0546	32,5 ±	2,34	0,284 ±	0,00431	0,336 ±	0,00620	0,355 ±	0,0493	31,3 ±	2,02	1,13 ±	0,0609	12,0 ±	0,880	9,61 ±	0,0246	63,6 ±	1,47
L_O_K	0,344 ±	0,0467	37,0 ±	3,87	0,271 ±	0,0159	0,309 ±	0,00536	0,354 ±	0,0434	36,3 ±	4,80	1,09 ±	0,0209	11,8 ±	0,658	14,9 ±	3,16	82,0 ±	13,5
L_D	0,269 ±	0,0195	43,3 ±	1,53	0,330 ±	0,0135	0,602 ±	0,0431	0,246 ±	0,0137	32,7 ±	1,20	0,701 ±	0,0233	1,79 ±	0,610	6,62 ±	0,491	45,1 ±	3,28
L_A	0,376 ±	0,0126	36,9 ±	0,708	0,303 ±	0,00983	0,370 ±	0,00749	0,360 ±	0,00780	35,4 ±	0,917	1,68 ±	0,0604	18,7 ±	0,738	7,93 ±	0,150	62,2 ±	3,18
L_K	0,243 ±	0,0301	40,2 ±	5,03	0,352 ±	0,0167	0,489 ±	0,0126	0,224 ±	0,0207	29,4 ±	3,93	0,664 ±	0,0928	3,42 ±	1,16	6,07 ±	0,153	67,6 ±	7,99
L_Lg	0,357 ±	0,0672	32,1 ±	1,22	0,277 ±	0,0201	0,332 ±	0,0145	0,357 ±	0,0589	30,6 ±	1,29	1,10 ±	0,0335	10,9 ±	0,454	8,20 ±	0,260	61,0 ±	2,58
L_Lf	0,527 ±	0,133	32,4 ±	1,69	0,313 ±	0,00852	0,319 ±	0,00866	0,512 ±	0,132	31,5 ±	1,13	2,14 ±	0,213	13,6 ±	0,662	8,65 ±	0,911	59,0 ±	1,36
L_B	0,394 ±	0,0376	31,9 ±	3,16	0,269 ±	0,00542	0,345 ±	0,0149	0,388 ±	0,0246	28,7 ±	2,72	1,12 ±	0,0652	9,22 ±	0,591	8,02 ±	0,242	56,6 ±	3,88

## Vedlegg 8: Mengde vasket ut av hver tilsetning

mg vasket ut av hver tilsetning (utvasket minus kontrollen)										
	Kalsium		Kalium		Magnesium		Fosfor		Svovel	
	Regnvann	Syre	Regnvann	Syre	Regnvann	Syre	Regnvann	Syre	Regnvann	Syre
L_O_K	1,0552	2,1815	0,6181	2,9554	0,2466	0,4798	-0,0005	0,0073	-0,0128	-0,0270
L_A	-0,4572	-1,3307	-0,0410	0,0523	-0,1253	-0,6014	0,0008	0,0131	0,0197	0,0346
L_B	-0,6331	-0,1389	-0,0389	-0,3636	-0,1208	-0,2771	-0,0004	-0,0002	-0,0144	0,0096
L_D	-0,0186	14,8988	-0,1650	-1,0676	0,1328	7,4274	-0,0043	-0,0197	0,0458	0,2662
L_K	-0,2094	16,7687	-0,1394	0,5429	-0,1492	0,9572	-0,0050	-0,0070	0,0680	0,1531
L_Lf	-0,9313	-2,6961	-0,0374	-0,0082	-0,1595	-0,4613	0,0054	0,0000085	0,0291	-0,0171
L_Lg	-0,6227	-1,8973	-0,0416	-0,1403	-0,1152	-0,3966	-0,0012	-0,0002	-0,0072	-0,0036
P_O_P	0,0249	-0,1048	0,5051	0,5291	-0,0023	-0,3302	0,0039	0,0094	0,0729	-0,0377
P_A	0,1243	0,2641	0,0647	0,5663	-0,0564	-0,4262	0,0090	0,0141	0,3203	0,2608
P_B	0,3660	0,5975	-0,0254	-0,0977	0,0148	-0,3435	0,0045	0,0005	0,0509	0,0850
P_D	1,1117	11,0095	-0,1671	-0,2214	1,0197	12,0220	0,0054	0,0146	0,4022	0,5787
P_D_P	0,9903	9,5600	0,0622	0,2875	0,8879	10,8539	0,0060	0,0206	0,4860	0,5579
P_K	1,5365	8,5489	-0,1000	0,0921	-0,0129	-0,2455	0,0046	-0,0042	0,2910	0,4487
P_Lf	-0,0257	-0,1189	-0,0043	0,0347	-0,0447	-0,4264	0,0280	0,0117	0,1982	0,0851
P_Lf_P	-0,0291	-0,1313	0,2909	0,4727	-0,0482	-0,4267	0,0107	0,0214	0,2798	0,0106
P_Lg	0,0279	-0,0459	-0,0245	-0,0708	0,0012	-0,3478	0,0154	0,0029	0,0084	0,0215

mg vasket ut av hver tilsetning (utvasket minus kontrollen)										
	Jern		Natrium		Aluminium		Silisium		Barium (ug)	
	Regnvann	Syre	Regnvann	Syre	Regnvann	Syre	Regnvann	Syre	Regnvann	Syre
L_O_K	0,0017	4,5416	0,0228	0,0771	-0,0011	5,0554	-0,0385	-0,1656	0,0053	0,0184
L_A	0,0341	4,4223	0,2042	10,0411	0,0055	4,0698	0,5465	6,7562	-0,0017	-0,0014
L_B	0,0523	-0,6029	-0,0389	0,0899	0,0331	-2,5520	-0,0079	-2,7670	-0,0016	-0,0071
L_D	-0,0731	10,7781	-0,0638	-0,0460	-0,1084	1,3848	-0,4279	-10,2020	-0,0030	-0,0185
L_K	-0,0989	7,7128	-0,0799	0,4430	-0,1310	-1,9368	-0,4650	-8,5676	-0,0035	0,0040
L_Lf	0,1855	-0,0989	0,5761	3,2685	0,1571	0,2259	1,0097	1,6137	-0,0010	-0,0046
L_Lg	0,0151	-0,3428	0,0341	0,1621	0,0023	-0,7354	-0,0302	-1,0782	-0,0014	-0,0026
P_O_P	0,1285	-3,5656	0,0797	0,0717	0,1085	-10,9791	0,0566	-0,6483	0,0002	-0,0020
P_A	0,3948	-2,6420	2,2412	10,2917	0,2912	-7,3648	5,9839	9,7467	-0,0043	-0,0057
P_B	0,1595	-5,7835	-0,0936	0,1911	0,0221	-12,9516	0,1229	-0,9036	0,0003	-0,0026
P_D	0,1055	5,2115	-0,3755	0,4998	-0,1515	-4,2899	-0,1627	-4,2278	-0,0053	-0,0046
P_D_P	0,1228	3,2253	-0,5444	0,6877	-0,1490	-5,2321	-0,2670	-4,4816	-0,0052	-0,0038
P_K	0,0649	-1,7546	-0,2674	0,9155	-0,1417	-12,4418	-0,0883	-2,5462	-0,0010	-0,0011
P_Lf	0,3834	-5,5315	1,5705	2,8791	0,2507	-12,9645	3,6145	2,0149	-0,0033	-0,0050
P_Lf_P	0,4364	-5,5601	1,5928	2,8652	0,3173	-12,8338	3,8889	1,9754	-0,0032	-0,0051
P_Lg	0,0391	-5,9269	0,0386	0,2038	-0,0178	-13,1067	0,1308	-0,5084	-0,0004	-0,0017





Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
67 23 00 00  
[www.nmbu.no](http://www.nmbu.no)