

Fakultet for anvendt økologi, landbruksfag og bioteknologi

Georg Fredrik Østerås

## Bacheloroppgave

# Effekt på utnyttelse av nitrogen i husdyrgjødsel i Norge ved innblanding av svovelsyre

The effect on utilization of nitrogen in livestock manure in Norway by adding sulfuric acid

Bachelor i Agronomi

2018

Samtykker til tilgjengeliggjøring i digitalt arkiv Brage

JA  NEI

# 1. Forord

Denne bacheloroppgaven markerer avslutningen av bachelorstudiet mitt ved Høgskolen i Innlandet. Et sterkt jordbruksfaglig miljø og sosialt samhold er noe av det jeg har satt mest pris på i løpet av mine tre år på Blæstad.

Et stadig økende fokus på både klimautslipp fra landbruket og bedre utnyttelse av husdyrgjødsel lå til grunn for mitt valg av tema. Det er alltid spennende å studere ny teknologi, og drøfte muligheter for om dette kan være aktuelt for jordbruket i Norge. Gjennom arbeidet med denne bacheloroppgaven har jeg tilegnet meg ny kunnskap om temaet i tillegg til praktisk utførelse av et feltforsøk.

En stor takk rettes til:

- Stein Olav Nyvoll i Norsk Landbruksrådgiving Innlandet for uvurderlig hjelp til utførelse av eget forsøk
- Mona Bakke Myrvang for god hjelp på laboratoriet i forkant av forsøket
- Thomas Cottis for god veiledning og konstruktive tilbakemeldinger i løpet av skriveprosessen
- Einar Frogner for lån av nødvendig utstyr og sponing av husdyrgjødsel

Blæstad, 30. mai 2018

---

Georg Fredrik Østerås

## 2. Sammendrag

Formålet med dette studiet var å undersøke effekten på utnyttelse av nitrogen i husdyrgjødsel i Norge ved innblanding av svovelsyre. Det ble brukt litteratur og forsøk fra Danmark, Sverige og Tyskland for å danne grunnlag for en helhetlig konklusjon med utgangspunkt i eget feltforsøk. I eget forsøk ble avlingsforskjeller mellom svovelsyretilsatt husdyrgjødsel, ubehandlet husdyrgjødsel og gylle (50 % husdyrgjødsel og 50 % vann) undersøkt. Tilsetning av svovelsyre i gjødsel gav 27 prosent større avling sammenlignet med ubehandlet gjødsel. Gyllen gav 20 prosent økt avling sammenlignet med den ubehandlede gjødsel. Utenlandske forsøk viste også en økt totalavling på mellom 12 og 20 prosent ved tilsetning av svovelsyre sammenlignet med ubehandlet gjødsel.

Ammoniakk tapet reduseres betydelig ved senkning av pH i husdyrgjødsel under pH 6,0. Utenlandske forsøk viste en reduksjon av ammoniakk tapet på mellom 50 og 79 prosent. Det var størst reduksjon i ammoniakk tap, og bedre effekt av pH-senkning ved spredning i varme og tørre værforhold.

Det finnes flere metoder for praktisk utførelse av pH-senkning. I dette studiet vurderes tilsetning av svovelsyre under opprøring av gjødsellager, samt tilsetning av svovelsyre under spredning, å være de mest aktuelle metodene for norsk landbruk. Begge disse anleggene er mobile, og ett anlegg kan betjene mange gårdsbruk.

Hovedfunnene i dette studiet er at tilsetning av svovelsyre i husdyrgjødsel gir bedre utnyttelse av nitrogenet og økte avlinger ved spredning under varme og tørre værforhold. Ammoniakk tapet blir kraftig redusert ved svovelsyretilsetning, og effekten er størst ved spredning i høy temperatur uten nedbør. Tilsetning av svovelsyre gjør at man ikke er avhengig av svært lav tørrstoffprosent eller kjølig og fuktig vær for god utnyttelse av nitrogenet i husdyrgjødsel.

### **3. Abstract**

The purpose of this study was to assess what effects adding sulfuric acid to livestock manure in Norway had on the utilization of the nitrogen. Literature and trials from Denmark, Sweden and Germany were used to form the basis for a comprehensive conclusion based on my own field trial. Differences in yield between different manure treatments was investigated in my own field trial. The different manure treatments were acidified manure, untreated manure and manure with lower dry matter content (50 % manure and 50 % water). By adding sulfuric acid to the manure, an increase in yield by 27 percent was observed compared to untreated manure. The manure with low dry matter content yielded 20 percent higher compared to untreated manure. Trials from the other countries showed an increase in yield by 12 to 20 percent by adding sulfuric acid to the manure compared to untreated manure.

The ammonia losses is significantly reduced by decreasing the slurry pH to below 6,0. A reduction of ammonia losses by 50 to 79 percent is proved in studies from Sweden, Germany and Denmark. The greatest reduction of ammonia loss is observed in warm and dry weather conditions. Similarly, the effect of lowering the pH in manure is greater when the manure is spread in dry and warm weather conditions.

It is several different methods of adding sulfuric acid to livestock manure. The study suggests that acidification of manure in storage and during application in the field is two methods applicable for Norwegian agriculture. Both systems are mobile, and one unit can serve several farms.

The main findings in this study was that by adding sulfuric acid to livestock manure, the utilization of nitrogen is better and yields are increased under warm and dry weather conditions. The loss of ammonia is significantly reduced by adding sulfuric acid to the manure, and the effect of lowering the pH is greatest when manure is spread in dry and warm weather conditions. By adding sulfuric acid to the manure, the farmers do not depend on very low dry matter content or cold and humid weather to achieve a good utilization of the nitrogen in the manure.

---

# Innhold

<b>1.</b>	<b>FORORD</b> .....	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>SAMMENDRAG</b> .....	<b>4</b>
<b>3.</b>	<b>ABSTRACT</b> .....	<b>5</b>
	<b>INNHold</b> .....	<b>6</b>
<b>4.</b>	<b>INNLEDNING</b> .....	<b>8</b>
4.1	TRADISJONELL GJØDELHÅNDBTERING I NORGE.....	9
4.2	PROBLEMSTILLING .....	12
<b>5.</b>	<b>LITTERATURSTUDIE</b> .....	<b>13</b>
5.1	GRUNNLEGGENDE TEORI OM AMMONIAKKFORDAMPING.....	13
5.2	TEORIEN BAK TILSETTING AV SVOVELSYRE I HUSDYRGJØDSEL .....	14
5.3	UTENANDSKE STUDIER.....	16
5.3.1	<i>Forsøk I</i> .....	16
5.3.2	<i>Forsøk II</i> .....	17
5.3.3	<i>Forsøk III</i> .....	19
5.4	SIKKERHET .....	21
5.4.1	<i>Betongkvalitet</i> .....	22
5.5	PRAKTISK UTFØRELSE .....	23
5.5.1	<i>Infarm-metoden</i> .....	23
5.5.2	<i>pH-senking i lagerkum</i> .....	23
5.5.3	<i>pH-senking ved spredning – SyreN-metoden</i> .....	24
5.6	LOVVERK .....	25
<b>6.</b>	<b>EGNE FORSØK</b> .....	<b>27</b>
6.1	MATERIALE OG METODE .....	27

---

6.2	RESULTAT .....	31
<b>7.</b>	<b>DISKUSJON .....</b>	<b>33</b>
7.1	FORSLAG TIL VIDERE ARBEID .....	36
<b>8.</b>	<b>KONKLUSJON .....</b>	<b>37</b>
	<b>LITTERATURLISTE .....</b>	<b>38</b>
<b>9.</b>	<b>VEDLEGG .....</b>	<b>42</b>
9.1	VEDLEGG 1 .....	43
9.2	VEDLEGG 2 .....	44

## 4. Innledning

Husdyrgjødsel er en viktig næringsressurs for norsk landbruk. Av den totale mengden gjødsel som brukes i jordbruket, er det beregnet at 28 prosent av nitrogenet og 57 prosent av fosforet kommer fra husdyrgjødsel (SSB, 2012). Bløtgjødsel fra storfe og svin inneholder vanligvis 3 til 5 kilo uorganisk nitrogen per tonn gjødsel (Morken, 2007). Av dette finnes normalt mellom 50 og 85 prosent av nitrogeninnholdet i bløtgjødsel som ammonium, det resterende er ammoniakk (Sommer, et al., 2003). I tillegg inneholder gjødsla de aller fleste plantenæringsstoffene med fosfor som den viktigste (Morken, 2007). I varmt og tørt vær med mye vind kan det potensielle tapet av ammoniakk være opp mot 99 prosent (Braschkat, Mannheim, & Marschner, 1997). Vi vet at en stor del av norsk husdyrgjødsel blir spredt når værforholdene ikke er ideelle. Det vil derfor være interessant å finne nye metoder som kan sørge for god utnyttelse av nitrogenet også ved spredning i værforhold der risikoen for ammoniakktap er høy.

Ammoniakk er en nitrogenforbindelse med flere negative miljøeffekter. I 2016 sto jordbruket for over 90 prosent av de norske utslippene av ammoniakk, med husdyrgjødsel som den viktigste utslippskilden. Ammoniakk dannes når husdyrgjødsel og annet nitrogenholdig organisk materiale brytes ned under mangel på oksygen. Antall dyr, fôrslag og ikke minst hvordan gjødselen lagres og spres avgjør hvor store utslippene blir. Ammoniakk i jorda er en kilde til utslipp av klimagassen lystgass ( $N_2O$ ), i tillegg til at utslipp av ammoniakk kan medføre forurensing i form av overgjødning i vann og vassdrag, på grunn av økt avrenning av nitrater (Miljødirektoratet, 2017). I henhold til forpliktelsene i Gøteborgprotokollen skulle de norske utslippene av ammoniakk ikke overstige 23 000 tonn i 2010. Dette nådde ikke Norge, og utslippene i 2016 var 23 prosent over forpliktelsene. Etter revidering av Gøteborgprotokollen i 2012 forpliktet Norge og de andre landene seg til prosentvis reduksjon av ammoniakktutslippet fra 2005. Norge har forpliktet seg å redusere utslippet med åtte prosent sammenlignet med 2005, som tilsvarer et utslipp på omtrent 25 000 tonn innen 2020 (Miljødirektoratet, 2017).

Senkning av pH i husdyrgjødsel har de siste årene blitt en relativt utbredt teknologi i Danmark, og omtrent 20 prosent av all flytende husdyrgjødsel i Danmark forsures med svovelsyre før spredning (Jensen, Krogh, Sørensen, & Petersen, 2018). Det er både miljømessige, økonomiske og praktiske årsaker til at pH-senkning har blitt kommersielt utbredt i det danske



---

landbruket. Et av hovedargumentene for å bruke pH-senkning i Danmark er at stripespreder kan brukes i stedet for nedfelling av husdyrgjødsel. Dette øker arbeidsbredden og effektiviteten i spredninga (Toft, u.å.). Verken Lars Nesheim, NIBIO, John Morken, NMBU og Oddbjørn Kval-Engstad har kjennskap til at det per dags dato er utført norske forsøk som undersøker effekten av svovelsyretilsetning i husdyrgjødsel (personlig kommunikasjon, 29. mai 2018).

Det overordnede formålet med pH-senkning av husdyrgjødsel er å binde nitrogenet i husdyrgjødsel som ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), noe som vil redusere gjødselens innhold av ammoniakk ( $\text{NH}_3$ ). I tillegg tilføres husdyrgjødsel svovel. Begge disse effektene øker gjødselverdien av husdyrgjødsel (Rodhe, Casimir, & Sindhøj, 2017).

Jordbruk og driftsform varierer mellom ulike land, og innad i et land. Teknologier og metoder som har vist seg å fungere i et land trenger derfor ikke å fungere like godt i et annet land (Rodhe, Casimir, & Sindhøj, 2017). Det vil derfor være viktig å informere potensielle brukere av teknologien, om forskjellige aspekter ved ulike systemer for å danne et bilde av hva som kan passe hver enkelt gårdbruker best. Dette gjelder også for pH-senkning i husdyrgjødsel. I denne oppgaven vil teorien bak pH-senkning i husdyrgjødsel bli gjennomgått, før forsøk fra Sverige, Tyskland og Danmark vil bli presentert. Dette vil danne grunnlag for drøfting og diskusjon ut i fra eget feltforsøk. I tillegg til vurdering av effekten på utnyttelse av nitrogen i husdyrgjødsel ved innblanding av svovelsyre, vil det også bli beskrevet sikkerhetstiltak og retningslinjer som er nødvendig for en sikker og korrekt bruk av pH-senkning.

## 4.1 Tradisjonell gjødelhåndtering i Norge

I store deler av landets husdyrdistrikt ligger jordene spredt. Utviklingen i husdyrholdet i Norge går mot færre og større driftsenheter. Andel leiejord og transportavstand for gjødsel øker i takt med strukturendringene. Dette begrenser også muligheten til å utnytte rasjonelt utstyr som eksempelvis slangespreder (Bergslid & Solemdal, 2014). I tillegg til maskinkostnader og tid, er også spredningstidspunkt i forhold til jordfuktighet og tyngde på utstyret viktige faktorer å ta med seg i sammenheng med transportavstand og gjødselmengde (Bergslid & Solemdal, 2014). Økt gjødselmengde som følge av strukturendringene sammen med økte transportavstander øker tidsbruken som er nødvendig for å spre gjødsel. Når tiden som brukes øker, øker også faren for spredning ved ugunstige værforhold (varmt og tørt) med stor risiko

for ammoniakk tap. Sannsynligheten for at spredning skjer på ulagelig jord, med mere jordpakking som resultat, øker også med økt tidsbruk til spredning.

I Norge er breispredning av husdyrgjødsel med tankvogn fortsatt en veldig dominerende metode, men det er økt interesse for stripespredning, nedfelling og system for slangespredning. (Nesheim, Kval-Engstad, & Vastveit, 2010). Hansen, et al. sier i sin rapport at det ikke siden år 2000 er undersøkt hvordan strukturendring og utvikling i landbruket har påvirket spredemetode av husdyrgjødsel (Hansen, Morken, Nesheim, Koesling, & Fystro, 2009). I følge Gundersen & Rognstad (2001) ble det i år 2000 brukt breispreder på 93 prosent av eng- og beitearealet, og 95 prosent av arealet med åpen åker. Det resterende ble enten gjødslet med stripespreder eller nedfeller. Det er imidlertid ifølge Nesheim et al. liten tvil om at stripespredning og nedfelling er mer vanlig nå enn i 2000 (Nesheim, Kval-Engstad, & Vastveit, 2010).

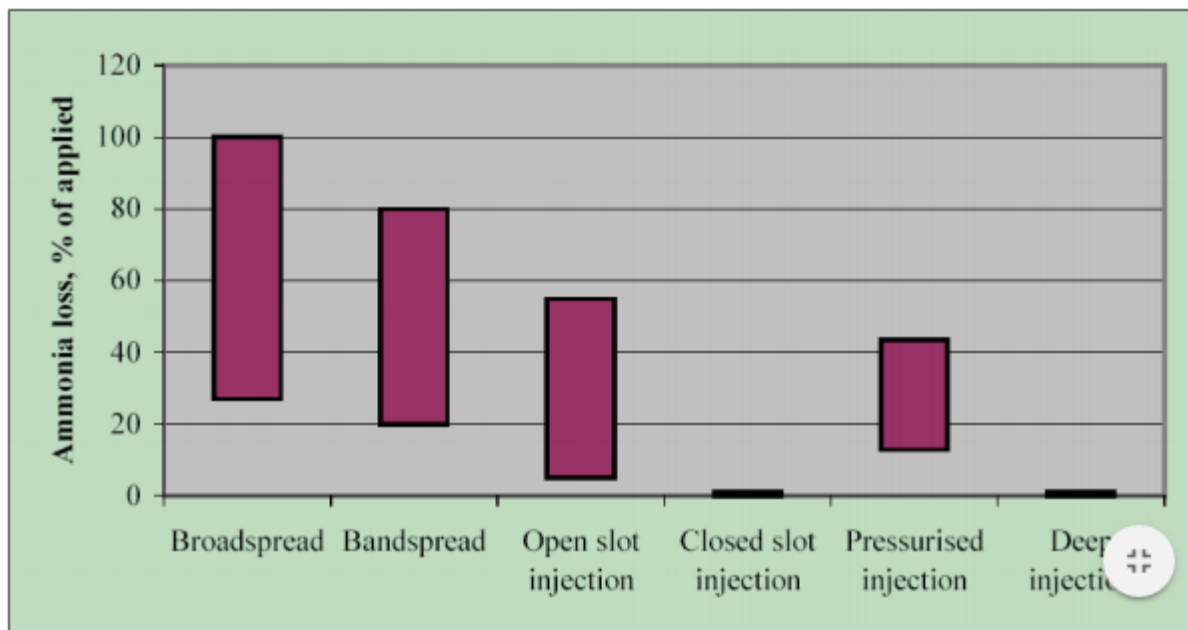
Virkningsgraden av nitrogenet i husdyrgjødsel avhenger, i tillegg til værforhold, også av gjødselas tørrstoffinnhold (Braschkat, Mannheim, & Marschner, 1997). Tilsetting av vann i gjødsla senker konsentrasjonen av ammoniakk i gjødsla, i tillegg til at gjødsla trenger raskere ned i jorda (Nesheim, Kval-Engstad, & Vastveit, 2010). Ved å tilsette vann i gjødsla i forholdet 1:1 kan ammoniakkutslippet reduseres med opptil 50 prosent (Gundersen & Rognstad, 2001). I rapporten til Øygarden, et al. (2009) regnes det en 20% høyere virkningsgrad (fra 40 til 60) ved å gå fra 8 til 4 prosent tørrstoff i gjødsla. Ulempen med tilsetting av vann er blant annet økt mengde gjødsel som skal spredes, og i mange tilfeller transporteres med tankvogn.

Den største fordelen med breispredning med tankvogn er at det er en billig og ukomplisert håndtering av gjødsla. Ulempen er at metoden har det høyeste nitrogentapet av de tradisjonelle spredningsmetodene. Dette skyldes både eksponeringen for luft og vind ved selve spredningen, men også at gjødsla blir spredt på hele overflaten, inkludert bladverk i eng (Ehrnebo, 2005). Fordampningen av ammoniakk øker i takt med større overflateareal av gjødsla. Tynn gjødsel, og spredning under kalde og fuktige værforhold er viktig for god utnyttelse av gjødsla ved bredspredning (Kval-Engstad, 2011).

Stripespredning kan medføre 10-30 prosent mindre ammoniakk tap i forhold til breispredning (Morken, 2007). En stripespreder kan monteres på vogn, eller direkte på traktoren med slangetilførsel av husdyrgjødsla. Produsenter av stripespredere anbefaler at tørrstoffinnholdet i gjødsla bør ligge på ca. 4-5 prosent for at utstyret skal fungere driftssikkert (Nesheim, Kval-

Engstad, & Vastveit, 2010). Som nevnt tidligere finnes det ikke oppdaterte tall på hvor stor del av husdyrgjødsel i Norge som blir spredt med tilførselsslanger og stripespredere, men Nesheim et al. (2010) nevner at en leverandør av stripespredere anslo at 300-400 stripespredere var i bruk i 2010. Spredning med tilførselsslanger stiller større krav til arrondering, helning og lignende forhold sammenlignet med det vognkjøring gjør (Ehrnebo, 2005).

Nedfelling av husdyrgjødsel er i liten grad utbredt som metode for spredning i Norge. Det finnes både grunne og dype nedfellere, samt et norskutviklet produkt (DGI) som injiserer gjødsel i jorda. En grunn nedfeller lager et V-formet spor som går ca. 5 cm ned i bakken. Dype nedfellere består ofte av ulike tander med nedføringsrør for gjødsel. Arbeidsdybden til disse er vanligvis 10-20 cm, og er derfor svært trekkraftkrevende, anslagsvis 12-15 hestekrefter per tinde. Dette begrenser i stor grad arbeidsbredden til slikt utstyr. DGI har et lite trekkraftbehov, da ingen deler stikker ned i jorda, gjødsel blir plassert i jorda ved hjelp av en pulserende høytrykksstråle (Morken, 2007).



*Figur 1 Ammoniaktap i prosent av tilført ammoniakk for ulike spredningsmetoder. Broadspread = breispredning, bandspread = stripespredning, Open slot injection = åpen nedfelling, closed slot injection = grunn nedfelling med etterfølgende valser, pressurised injection = DGI, deep injection = dyp nedfelling. Figur hentet fra (Morken, 2007)*

## 4.2 Problemstilling

Bakgrunnen for valg av problemstilling er at også vi i Norge må regne med strengere krav til utnyttelsen av husdyrgjødsel i tiden fremover. En ny gjødsselforskrift står på trappene, og ser man til land som Danmark har det skjedd mye de siste årene med tanke på ny teknologi og strengere krav til bruken av husdyrgjødsel. Strukturendringene i norsk landbruk fører til økt andel leiejord og økte mengder husdyrgjødsel på enkeltbruk. Det er da sjelden praktisk mulig å spre gjødsel når værforholdene er ideelle. Det vil derfor være interessant å finne nye metoder som kan sørge for god utnyttelse av nitrogenet også ved spredning i varme værforhold uten nedbør. Med bakgrunn i dette hadde jeg lyst til å studere pH-senkning i husdyrgjødsel og finne ut om den kan være interessant for norsk landbruk. Jeg har derfor kommet fram til denne problemstillingen for min bacheloroppgave:

- Effekt på utnyttelse av nitrogen i husdyrgjødsel i Norge ved innblanding av svovelsyre

---

## 5. Litteraturstudie

Med utgangspunkt i problemstillingen «*Effekt på utnyttelse av nitrogen i husdyrgjødsel i Norge ved innblanding av svovelsyre*» vil litteraturstudiet sammen med eget forsøk danne grunnlag for analyse og drøfting. Jeg har valgt å benytte meg av teori om den kjemiske sammensetningen av husdyrgjødsel, forsøksdata fra Sverige, Danmark og Tyskland i tillegg til informasjon om eksisterende systemer i Danmark. Aspekter rundt den praktiske utførelsen ved pH-senkning av husdyrgjødsel er også beskrevet.

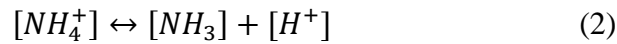
### 5.1 Grunnleggende teori om ammoniakkfordamping

Uorganisk nitrogen i husdyrgjødsel kan tapes til atmosfæren direkte ved fordamping av ammoniakk, eller indirekte som følge av omdannelse til andre nitrogengasser (Sommer S. , u.å.). Ammoniakkfordamping er en kombinasjon av en kjemisk prosess og fysisk transport som skjer fra gjødseloverflaten gjennom hele håndteringskjeden av gjødsla fra fjøs, lagring og til slutt spredning (Petersen & Sørensen, 2008; Sommer S. , u.å.). Siden uorganisk nitrogen i form av ammonium er umiddelbart plantetilgjengelig, og oftest utgjør den største andelen av total-nitrogenet i husdyrgjødsel, vil prosesser som fører til tap av ammoniumnitrogen føre til en redusert gjødselvirkning av nitrogenet i gjødsla (Petersen & Sørensen, 2008).

Normalt finnes mellom 50 og 85 prosent av nitrogeninnholdet i bløtgjødsel som ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ). Summen av ammonium og ammoniakk blir ofte beskrevet som TAN, som er en forkortelse for «Total Ammoniacal Nitrogen» (Sommer, et al., 2003)

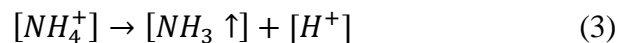
$$[TAN] = [NH_4^+] + [NH_3] \quad (1)$$

Potensiell ammoniakkfordamping fra husdyrgjødsel avhenger av innholdet av ammonium, gjødselas temperatur og pH (Sommer S. , u.å.). Ammonium og fritt ammoniakk ( $\text{NH}_3$ ) står i likevekt ved pH 9,25, se ligning 1 (Petersen & Sørensen, 2008). Husdyrgjødsel har normalt en pH-verdi mellom 7,0 og 8,0. Dette er imidlertid ikke en lav nok pH til å unngå tap av nitrogen i form av ammoniakkfordamping. Reduseres pH i husdyrgjødsel til ca. 5,5 forskyves likevekten mellom ammonium og ammoniakk nok til at tap av ammoniakk når et minimum (Petersen & Sørensen, 2008; Delin, Gustafsson, & Rodhe, 2016; Sindhøj & Rodhe, 2013).



Ammoniakk dannes ved at ammonium frigjør et proton ( $H^+$ ). På grunn av ønsket om likevekt vil fordamping av ammoniakk føre til ytterligere omdannelse av ammonium til ammoniakk. Dette fører til økt konsentrasjon av  $H^+$  i gjødsla (se ligning 2), noe som vil senke pH, og etter hvert bidra til opphøring av ammoniakkfordamping (Sommer S. , u.å.).

Hvis likevekten mellom ammonium og ammoniakk, vist i ligning 2, blir forskjøvet mot høyre på grunn av høy pH, vil ammoniakk fordampe som vist i ligning 3:



For at det skal fordampe ammoniakk, må det være en konsentrasjonsgradient mellom gjødsla og den atmosfæriske lufta. Ved spredning av husdyrgjødsel blir overflatearealet av gjødsla svært stort i forhold til i for eksempel en gjødselkjeller. Denne forskjellen i overflateareal vil resultere i at det blir en konsentrasjonsgradient mellom den spredte husdyrgjødsla og den atmosfæriske lufta. Hvor stor denne gradienten er avhenger blant annet av vind, nedbør og temperatur (Sommer, et al., 2003).

pH i gjødsla påvirker i stor grad tapet av  $NH_3$  (Sommer, et al., 2003).

$$[NH_{3(aq)}] = \frac{TAN}{1 + 10^{(0,09018 + (\frac{2729}{T} + 273)) - pH}} \quad (4)$$

Formel 4 viser at ved økende pH, vil andelen av TAN forskyves mot fritt ammoniakk

Tapet av TAN fra overflatespredt husdyrgjødsel på eng varierer fra 5 prosent til mer enn 90 prosent avhengig av arealet det spres på, egenskapene til husdyrgjødsla og vær-situasjon. Tapet av ammoniakk vil redusere plantenes utnyttelse av nitrogenet i husdyrgjødsla (Seidel, et al., 2017; Sommer, et al., 2003).

## 5.2 Teorien bak tilsetning av svovelsyre i husdyrgjødsel

Husdyrgjødsel har høy bufferkapasitet, noe som betyr at det trengs relativt store mengder av syre for å senke pH (Ndegwa, Hristov, Arogo, & Sheffield, 2008). I tillegg til ammoniakk/ammonium-buffersystemet er det i hovedsak to andre buffersystemer i husdyrgjødsel. Det ene er bikarbonat ( $HCO_3^-$ ) som ved en pH 6,3 står i likevekt med kullsyre

---

( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) som lett spaltes til vann ( $\text{H}_2\text{O}$ ) og karbondioksid ( $\text{CO}_2$ ). Fete flyktige syrer utgjør det andre store buffersystemet, og nedbryting av disse vil også forbruke  $\text{H}^+$ -ioner. Bikarbonat og nedbryting av flyktige fettsyrer fungerer altså som baser i husdyrgjødsel, og vil direkte motvirke «forsuringsgraden» av omdannelsen av ammonium til ammoniakk vist i ligning 3 (Sommer S. , u.å.; Petersen & Sørensen, 2008). Innholdet av flyktige fettsyrer og bikarbonat vil variere med ulike dyreslag, drift og behandling av husdyrgjødsel. Hvor mye svovelsyre som er nødvendig for å oppnå ønsket pH vil derfor også variere (Petersen & Sørensen, 2008). Dette vil si at frigjøringen av  $\text{H}^+$ -ioner fra dannelsen av ammoniakk, ikke vil være tilstrekkelig for å senke pH nok til å forskyve likevekten, og dermed stoppe ammoniakkefordampingen selv. Etter pH-senkningen vil den høye bufferkapasiteten til husdyrgjødsel føre til at pH vil øke noe over tid (Petersen, Andersen, & Eriksen, 2012). Den praktiske betydningen av dette vil være begrenset lagringstid etter pH-senkning, eventuelt tilsette mer syre for å opprettholde en lav nok pH (Sindhøj & Rodhe, 2013).

Svovelsyre ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) er en veldig effektiv syre for pH-senkning i husdyrgjødsel, og er i dag regnet som det beste økonomiske alternativet for pH-senkning av husdyrgjødsel (Ndegwa, Hristov, Arogo, & Sheffield, 2008; Petersen & Sørensen, 2008). Svovelsyre er relativt rimelig i innkjøp, og i artikkelen til BioCover opereres det med en pris på 2,20 danske kroner per liter (Toft, u.å.). Husdyrgjødsel behandlet med svovelsyre har vist en signifikant reduksjon av ammoniakktap både i gjødselkjellere, utvendig lager og ved spredning med slangenedlegging (Kai, Pedersen, Jensen, Hansen, & Sommer, 2008). pH-senkning av husdyrgjødsel med svovelsyre har også vist reduserte metanutslipp fra gjødsellagre (Petersen, Andersen, & Eriksen, 2012).

pH-senkningen av husdyrgjødsel påvirker kun forholdet mellom den uorganiske nitrogenfraksjonen i gjødsel. Dette betyr at pH-senkning ikke påvirker langtidseffektene av nitrogenet som er bundet i organiske forbindelser (Petersen & Sørensen, 2008). Nitrogengjødsling vil bli lettere å planlegge ved bruk av pH-senket husdyrgjødsel, da ammoniumkonsentrasjonen er mye mer konstant sammenlignet med ubehandlet gjødsel, på grunn av et lavt ammoniakktap. Dette poenget er viktig for å øke gårdbrukeres tiltro til husdyrgjødsels faktiske gjødselverdi, både uten og sammen med mineralgjødsel (Kai, Pedersen, Jensen, Hansen, & Sommer, 2008).

Hvor stor effekt man får av pH-senkning av husdyrgjødsel avhenger i stor grad av spredningsmetode og værforhold under spredning. Er det gode forhold (kaldt, lite vind og

nedbør) vil gevinsten med pH-senkning være liten. Er det derimot dårlige spredningsforhold (varmt, mye vind og tørr luft) vil utbytte av pH-senkning være mye større (Petersen & Sørensen, 2008; Delin, Gustafsson, & Rodhe, 2016). Med tanke på plantenes utviklingsstadium og faren for jordpakking vil det i mange tilfeller være gunstig å spre gjødsla i det som regnes som dårlige værforhold for spredning. En konstant vurdering av lagelighet og værforhold er derfor viktig for å utnytte husdyrgjødsla best uten å gjøre skade på jorda.

## 5.3 Utenandske studier

### 5.3.1 Forsøk I

I 2013 ble et svensk feltforsøk utført av Gustafsson, Delin, Hallin & Wiklund (2013) der avlingseffekten av pH-senkning av flytende storfegjødsla ble undersøkt. For å senke pH i gjødsla ble det brukt konsentrert svovelsyre. Forsøket ble utført i Rådde og Bjertorp, Sverige, og gjødsla ble spredt på eng. I forsøket ble avlingen fra gjødsla med og uten syretilsetning studert, i tillegg til med og uten syretilsetning sammen med nitrogengjødsla Yara Axan. I forsøket ble det brukt en gjødselspreder med slangenedfelling, der ubehandlet gjødsla ble spredt først, før svovelsyre ble blandet inn manuelt i den resterende gjødselfraksjonen. Før pH-senkning hadde storfegjødsla en gjennomsnittlig pH på 6,9. Svovelsyren ble tilsatt gradvis til en pH under 6,0 var nådd og det måtte til ca. 3 liter svovelsyre per m<sup>3</sup> husdyrgjødsla. Alle forsøksledd ble gjødslet med nødvendige mengder av svovel slik at nitrogentilførselen skulle være den avgrensende faktoren. Værsituasjonen under spredning og påfølgende dager var preget av høy temperatur, mellom 20-25 °C på det varmeste og svært lite nedbør.

Avlingen økte vesentlig ved pH-senkning av storfegjødsla. Resultatene fra forsøket er presentert i tabell 1. Ved tilsetning av svovelsyre ble det registrert en avlingsøkning på 40-50 kg TS/daa på første slått og 10-25 kg TS/daa på andre slått i forhold til ubehandlet gjødsla. Dette tilsvarer en gjennomsnittlig øking i avlingsmengden på ca. 20 prosent. Også i leddet gjødslet med forsuret storfegjødsla og Yara AXAN var avlingen høyere sammenlignet med ubehandlet + AXAN. Avlingen var i snitt av første og andre slått 10,5 prosent høyere ved tilsetning av svovelsyre i kombinasjon med mineralgjødsla.



Tabell 1 Avling i kilo tørrstoff i forsøkene på Rådde og Bjertorp. Data hentet fra (Gustafsson, Delin, Hallin, & Wiklund, 2013)

Gjødselmiddel	Rådde			Bjertorp		
	Gjødselmengde kgN/ha	TS-avling kg/ha	% økning i avling	Gjødselmengde kgN/ha	TS-avling kg/ha	% økning i avling
1. slått	Storfe gjødsel	54	1929	45	2230	
	Storfe gjødsel tilsatt syre	54	2318	45	2740	23%
	Storfe gjødsel + Axan	54 + 40	2983	45 + 40	3530	
	Storfe gjødsel tilsatt syre + Axan	54 + 40	3260	45 + 40	4270	21%
2. slått	Storfe gjødsel	50	1407	50	500	
	Storfe gjødsel tilsatt syre	50	1649	50	620	24%
	Storfe gjødsel + Axan	50 + 30	2176	45 + 30	980	
	Storfe gjødsel tilsatt syre + Axan	50 + 30	2404	45 + 30	1000	2%

### 5.3.2 Forsøk II

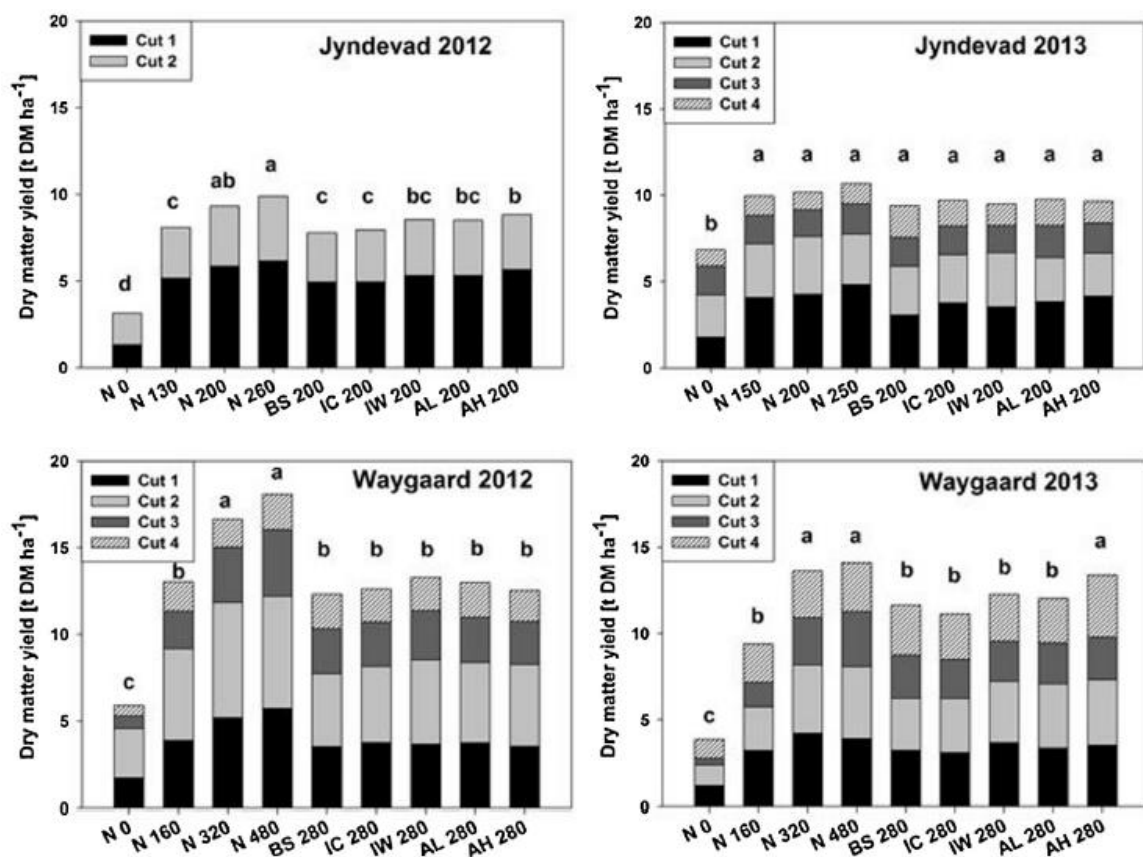
I et toårig feltforsøk (2012-2013) utført av Seidel et al. (2017) ble effekten på ammoniakktap og avling ved nedfelling av husdyrgjødsel og pH-senkning ved bruk av svovelsyre undersøkt. Forsøket ble holdt i Waygaard, nord i Tyskland, og i Jyndevad sør i Danmark og gjødsle ble spredt på eng. Det ble brukt ubehandlet storfe gjødsel spredt med stripespreder som referanseverdi i forsøket.

Det ble undersøkt ammoniakkfordingering fra nedfelling av gjødsle med skåler med 16,6 cm avstand og 33 cm avstand, samt pH-senket husdyrgjødsel til pH 6,5 og pH 6,0. For å senke pH til 6,5 måtte det 2,7 liter svovelsyre per tonn storfe gjødsel, og for å nå pH 6,0 ble det tilsatt 4,8 liter per tonn når pH var 7,2-7,4 ved start. Det ble også undersøkt om de ulike behandlingene og spredemetodene hadde effekt på avling i kilo tørrstoff. For å eliminere avlingsutslag på grunn av den tilførte svovelen i svovelsyrebehandlet husdyrgjødsel, ble feltene som ikke ble gjødslet med svovelsyrebehandlet husdyrgjødsel tilført tilsvarende mengde svovelgjødsel i mineralform. Temperaturene ved spredning var kjølige (3,3 °C - 9,4 °C) ved spredning på våren, og mellom 14,1 °C og 17,9 °C på de andre spredningene. Det er ikke oppgitt om det var nedbør ved spredning.

Gjennomsnittet av alle målingene viste at tapet av ammoniakk i forhold til referansen ble signifikant redusert med 31, 61, 42 og 79 prosent for henholdsvis nedfelling med 16,6 cm avstand, nedfelling med 33 cm avstand, svovelsyrebehandlet gjødsel med pH 6,5, og svovelsyrebehandlet gjødsel med pH 6,0.

En signifikant høyere totalavling i 2012 ble registrert i feltet gjødslet med pH-senket gjødsel på Jyndevad. Første slått på Jyndevad i 2013 var også signifikant høyere (ca. 15 prosent) for rutene gjødslet med pH-senket gjødsel (pH 6,0) sammenlignet med ubehandlet gjødsel. Det var ingen signifikant forskjell i total avling i 2013 på feltet i Jyndevad eller i 2012 på Watgaard. På Waygaard i 2013 var totalavlingen på feltet gjødslet med husdyrgjødsel med pH 6,0 signifikant høyere sammenlignet med alle andre spredemetoder.

Forsøket presenterer ikke nøyaktige avlingstall, men presenterer avlingene fra de ulike gjødsel- og spredemetodene i figur 2. Ut ifra figur 2 var den totale avlingen på Jyndevad 2012 ca. 765 kg TS/dekar for ubehandlet gjødsel og ca. 855 kg TS/dekar for syretilsatt gjødsel med pH 6,0. Dette tilsvarer en økt avling på ca. 12 prosent. På Waygaard i 2013 var den totale avlingen ca. 1120 kg TS/dekar der det var gjødslet med ubehandlet gjødsel, og ca. 1300 kg TS/dekar for pH-senket gjødsel, altså en økt avling på ca. 16 prosent i favør syretilsetting.



Figur 2 Avling i kilo tørrstoff per hektar for de ulike gjødselslagene. Forklaring av bokstaver: IC = nedfelling med skåler, 16,6 cm avstand, IW = nedfelling med skåler, 33 cm avstand, AL = pH-senket husdyrgjødsel til pH 6,5 og AH = pH-senket husdyrgjødsel til pH 6,0. Signifikante forskjeller ( $p < 0,05$ ) er indikert med forskjellige bokstaver (a, b og c). Figur hentet fra (Seidel, et al., 2017).

### 5.3.3 Forsøk III

I et svensk forsøk utført av Rodhe, Delin & Gustafsson (2015) ble det blant annet undersøkt to ulike problemstillinger:

- Hvilken effekt har pH-senkning av storfegjødsel på ammoniakktapet ved spredning på eng?
- Har spredningstidspunktet noe å si på effekten av pH-senkning?

Feltforsøket ble gjennomført utenfor Skara i Sverige. Forsøket var et randomisert blokkforsøk. Effekten av pH-senkningen på ammoniakktap ble studert ved to spredningstidspunkt, den ene på våren og den andre etter første slått. Det ble ikke utført avlingsregistrering i dette forsøket. Spredning ble utført på eng, med vogn og stripespreder. Ammoniakktapet ble målt med sensorer og metodikk utviklet ved Institutet för jordbruks- och miljöteknik i Sverige. Variasjonsanalyse for ammoniakktapet ble statistisk fremstilt i programvaren Minitab versjon 16, og forutsatt signifikansnivå var satt til  $p < 0,05$ . Det ble også undersøkt hvor stor «mineralgjødselverdi» de ulike gjødselslagene hadde. Dette vil si hvor stor mengde nitrogen fra mineralgjødsel husdyrgjødsel erstatter. Det ble brukt konsentrert svovelsyre (96 prosent) for å senke pH i gjødsel, og syra ble tilsatt rett før spredning. Temperaturene ved spredning på henholdsvis vår og sommer var  $7,7^{\circ}\text{C}$ - $9,3^{\circ}\text{C}$  og  $17,9^{\circ}\text{C}$ - $18,7^{\circ}\text{C}$ . Vindhastigheten var mellom 0,9 - 2,9 m/s. Det var ingen nedbør på spredningsdatoene.

Tabell 2 (\* = Gjødsel uten syre) Tabell viser spredningstidspunkt, gjødselmengde, pH og mengde tilsatt svovelsyre. Tabell hentet fra (Rodhe, Delin, & Gustafsson, 2015)

Led	Gødsel-slag	Spridningstidspunkt	Giva, ton/ha	Tillsats av svovelsyra		
				pH vid start av tilsats	pH, direkt etter tilsats	Tillsats syra, liter/m <sup>3</sup>
D, E	Gødsel	Vår, 23 april 2014	37*/24	7,6	5,8	1,7
H, I	Røtad gødsel	Vår, 24 april 2014	24	7,35	5,9	6,2
F, G	Gødsel	Efter første skörd, 10 juni, 2014	25	7,4	5,8	3,0
J, K	Røtad gødsel	Efter første skörd, 10 juni, 2014	25	7,9	4,9	6,0

pH-senkning av storfegjødsel minsket effektivt ammoniakktapet etter spredning. Ammoniakktapet var signifikant ( $p < 0,05$ ) lavere ved tilsetning av svovelsyre sammenlignet

med uten tilsetning. Tapet av ammoniakk ble halvert ved vårspredning, og redusert med omtrent 75 prosent ved spredning etter første slått. Resultater fra forsøket vises i tabell 3. Siden reduksjonen av ammoniakktapet var størst ved spredning etter første slått, tyder det på at pH-senkning av husdyrgjødsel har størst virkning på ammoniakktap ved høye temperaturer uten nedbør.

Tabell 3 Tabellen viser gjødseltyper, gjødselmengder og ammoniakktap angitt som kilo N/hektar og som prosent av tilført ammoniumnitrogen (NH<sub>4</sub>-N) eller tilført totalnitrogen (total-N), samt reduksjon av tapene ved pH-senkning. S = syretilsatt gjødsel. Orötad = vanlig husdyrgjødsel. Tabell hentet fra (Rodhe, Delin, & Gustafsson, 2015)

Gødsel- typ	Giva		Ammoniakemissioner				Minsk- ning med surgør- ning <sup>B</sup> , %	Mineral- gødsel- värde <sup>C</sup> , % av Tot- N
	Ton/ ha	kg NH <sub>4</sub> - N/ha	kg Tot- N/ ha	kg N/ ha	% av tillført NH <sub>4</sub> -N	% av tillført Tot-N		
<i>Vårspridning</i>								
Orötad	37	78	152	71,9	92,5 <sup>a</sup>	47,4 <sup>a</sup>		25
Orötad S	24	50	98	22,7	45,1 <sup>b</sup>	23,1 <sup>b</sup>	-51	45
Rötad	24	60	89	30,5	50,8 <sup>b</sup>	34,3 <sup>ab</sup>		62
Rötad S	24	60	89	2,1	3,5 <sup>c</sup>	2,4 <sup>c</sup>	-93	63
<i>Sommarspridning<sup>A</sup></i>								
Orötad	25	42	85	17,5	41,2	20,6		11
Orötad S	25	42	85	4,3	10,2	5,1	-75	20
Rötad	25	62	90	16,6	26,5	18,4		18
Rötad S	25	62	90	1,1	1,7	1,2	-94	51

<sup>a, b, c</sup>Medelvärden med olika bokstäver inom samma kolumn och grupp är signifikant skilda (p<0.05)

<sup>A</sup>Signifikant samspel mellan behandling och block, inga parvisa jämförelser genomförda.

<sup>B</sup>Enligt formel: 1 - (% förlust NH<sub>3</sub>-N gödsel S/% förlust NH<sub>3</sub>-N gödsel); % av tillført Tot-N.

<sup>c</sup> Delin m.fl., 2012; Jensen, 2013.

---

## 5.4 Sikkerhet

Håndtering av sterke syrer som svovelsyre innebærer risiko for etseskader på både personell og materiell. Tommelfingerregelen for blanding er SIV (syre i vann). Vann skal aldri tilsettes i syrer, men motsatt. Det er altså viktig at svovelsyra tilsettes i husdyrgjødsla etter den såkalte SIV-regelen. Svovelsyren har en høy densitet ( $1,84 \text{ g/cm}^3$ ). Tilsetning av syren bør derfor gjøres under omrøring for å hindre syren i å legge seg i bunnen av gjødsellageret. Svovelsyren vil reagere raskt med bikarbonatet i husdyrgjødsla, noe som vil danne  $\text{CO}_2$  som vil boble opp i lageret og forårsake skumdannelse. På grunn av dette er det viktig å ha nok ledig rom i gjødsellageret, slik at skummet ikke renner over kanten. Det kan anvendes skumdempende midler, men skummet vil etter hvert bli borte av seg selv (Fors, et al., 2018).

Ved håndtering av svovelsyre skal det brukes tilstrekkelig CE-godkjent verneutstyr. Av verneutstyr inngår syrefaste støvler eller sko og heldekkende syrebestandig drakt av for eksempel butylgummi eller neopren som også finnes som engangsdrakt. Syrefaste gummihansker, vernebriller og åndedrettsvern med filter P3 skal også brukes, alternativet er et heldekkende ansiktsvern med åndedrettsvern. Håndteringen av svovelsyren skal skje med aktsomhet, og man skal aldri håndtere svovelsyre over hodehøyde. Ved håndtering skal det alltid være tilgang til rikelig med rent vann som skal brukes ved eventuell eksponering på hud og gjenstander som ikke er syrebestandig. Det anbefales å ha øyeskyller i tillegg til rennende vann i beredskap (Fors, et al., 2018).

En oppsummering av viktige sikkerhetstiltak ved håndtering og bruk av svovelsyre er:

- Hold dyr og andre mennesker på avstand under håndtering av svovelsyren
- Ikke håndter svovelsyren over hodehøyde
- Ha rikelig med rent vann i umiddelbar nærhet i form av dusj og øyeskyller
- Vær oppmerksom og ha god kunnskap til hvordan svovelsyren reagerer med husdyrgjødsla (for eksempel skumdannelse)
- Hvis uhellet er ute – ha kunnskap om førstehjelp og hvor man finner førstehjelpsutstyr
- Alltid bruk nok, og godkjent verneutstyr som nevnt ovenfor
- Ulykker må rapporteres og evalueres for å minske risikoen for nye tilfeller
- Ha tilgang til nøytraliserende materiale ved eventuelt spill
- Følg sikkerhetsdatablad for svovelsyre og leverandørens anbefalinger

Det er viktig å poengtere at når svovelsyren blandes i proporsjoner av noen liter syre per kubikkmeter gjødsel og svovelsyren har reagert med husdyrgjødsel, regnes ikke blandingen som etsende (Fors, et al., 2018).

### 5.4.1 Betongkvalitet

Syre sammen med betong får naturlig nok varselklokkene til å ringe. En dansk forsøksserie mellom Landbrugets Rådgivningscenter, Staring Maskinfabrik og Aalborg Portland har undersøkt hvordan pH-senkning ved tilsetning av svovelsyre påvirker betongen. Ulik betong har ulik resistens mot syre, men det vurderes at senkning av pH til 5,5 ikke vil medføre vesentlig forringelse av holdbarheten på betongen. Tilsetningen av svovelsyre medfører en høyere sulfatkonsentrasjon i gjødsel (4000-6000 mg SO<sub>4</sub><sup>-</sup>/liter mot ca. 200 mg SO<sub>4</sub><sup>-</sup>/liter i ubehandlet gjødsel). I Danmark er det kun registrert få skader på betong som følge av sulfatpåvirkning, men risikoen for skade på grunn av det høye sulfatinholdet i svovelsyrebehandlet gjødsel vurderes til å være større enn risikoen for skade som følge av den senkede pH-verdien i gjødsel. Rapporten fra denne forsøksserien konkluderer derfor med at risikoen for skader på betong kan minimeres eller utelukkes ved valg av sementtype, v/c-forhold (forholdet mellom vann og sement) ≤ 0,45, og betongkvalitet med høy sulfatresistens (Aalborg Portland, u.å.). Tilsetning av flygeaske i betongen har en gunstig effekt mot blant annet nedbrytingsmekanismer grunnet et høyt sulfatinhold (Aalborg Portland, u.å.; Pedersen, 2016). I Norge anbefales betong med eksponeringsklasse XA3 for «meget kjemisk aggressivt miljø», mens XA4 anbefales til konstruksjoner i kontakt med husdyrgjødsel. Betong med eksponeringsklasse XA4 tilsettes minimum 4 prosent silikastøv (Fabeko, 2004). Både flygeaske og silikastøv tilhører gruppen pozzolane materialer (bindemidler i betongen), men silikastøv er den mest effektive av alle pozzolaner som er kjent i dag (Pedersen, 2016).

I følge Rune Toft, teknisk sjef i A-Consult, som er en av de største leverandørene av gjødselkummer i Norge, er deres erfaring at verken betongelementene i gjødselkummen deres eller EPDM-listene mellom elementene tar skade ved svovelsyretilsetning i gjødsel (personlig kommunikasjon, 9. april 2018).

---

## 5.5 Praktisk utførelse

Det er per i dag tre kommersielle metoder for pH-senkning av husdyrgjødsel i Danmark. I 2014 ble 18 prosent av Danmarks totale gjødselproduksjon behandlet med svovelsyre for senkning av pH (Vestergaard, 2015). Alle disse metodene er godkjent av Miljøstyrelsen i Danmark. Metodene er oppført på teknologilisten deres for gylleutbringning, og regnes da som kommersielle og godkjente metoder for spredning av husdyrgjødsel som et alternativ til nedfelling av husdyrgjødsel, med samme reduserende effekt på ammoniakktape (Miljøstyrelsen, 2018).

### 5.5.1 Infarm-metoden

Denne løsningen er integrert i gjødsellager med kanalomrøring og utvendig lagerkum i tillegg. Anleggets sentrale deler består blant annet av en syretank, der svovelsyren oppbevares og doseres ut fra. Selve syretilsettingen skjer i en prosesstank i tilknytning til kanalomrøringen og utvendig lagerkum. Syretilsettingen i prosesstanken skjer under omrøring, og kombineres med lufting av gjødsla. Gjødslas pH senkes til ca. 5,5 og syremengde avhenger av gjødslas opprinnelige pH og TS%. Etter syretilsettingen pumpes en del av gjødsla tilbake i kanalomrøringen, mens resten pumpes til utvendig lagerkum. Denne prosessen gjentas automatisk 1 til 3 ganger i døgnet. Ved å pumpe tilbake noe av den prosesserte gjødsla, senkes også pH i gjødsla som midlertidig er oppbevart i kanalomrøringen. Dette skal redusere ammoniakkfordamping også i kanalomrøringen og gjøre gjødsla mer homogen for senere behandling (Frandsen & Schelde, 2007). Produsenten mener også at ammoniakktape under lagring kan reduseres med opp mot 80 prosent (Nesheim, Kval-Engstad, & Vastveit, 2010). I følge Miljøstyrelsen i Danmark fører stripespredning av gjødsel behandlet med Infarm-metoden til 60 prosent ammoniakkreduksjon i forhold til av ubehandlet gjødsel (Miljøstyrelsen, 2018). I følge undersøkelser utført av Rodhe, Casimir & Sindhøj (2017) var dette den minst interessante metoden for landbruket i de baltiske landene, da det er vanskelig å utnytte et slikt anlegg på allerede eksisterende bygninger og lager.

### 5.5.2 pH-senking i lagerkum

Det er to kommersielle metoder for pH-senkning i lagerkum, Harsø tankforsuring og Ørum tankforsuring (Sindhøj & Rodhe, 2013). Ørum- og Harsømetoden ble oppført på

teknologilisten i 2012 (Miljøstyrelsen, 2018). Prinsippet til disse metodene er i grunnen veldig like, nemlig å senke pH i lagerkum, men har ulike patenter på utførelsen av selve forsurningsprosessene. Utstyret til Ørum består av en ordinær gjødselpropell, som er påmontert dyser foran propellen der svovelsyra kommer ut. I tillegg er det montert en pH-måler for konstant kontroll over pH-en i gjødsla. Ved pH-senkning av gjødsla pumpes svovelsyra direkte fra en spesialisert tankbil med en tilførselsslange som kobles på gjødselpropellen. På denne måten er manuell håndtering av svovelsyra fraværende (ØRUM, u.å.). Harsø bruker i motsetning til ØRUM en høytrykkspumpe med en blandedyse til omrøring av gjødsla. Svovelsyren tilsettes i blandingsdysen og ved start av pumpen vil det oppstå et vakuum i sugeslangen, og svovelsyren vil suges inn i ejektoren og blandes med gjødselstrålen. Harsø-metoden suger svovelsyren fra 1000-liters IBC-tanker, og en må manuelt flytte sugeslangen når en tank er tom. I likhet med ØRUM sin patent, er det montert en pH-måler på pumpen, for å ha konstant kontroll over pH-en i gjødsla (Harsø Maskiner, u.å.).

Det anbefales at gjødsla behandlet med Harsø-metoden spredes innen 21 dager etter selve pH-senkningen fant sted, hvis en pH 5,5 ble nådd ved pH-senkningen. Gjødsel behandlet med Ørum-metoden trenger ikke å spredes før 3 måneder etter at pH-senkning ned til pH 5,5 fant sted (Miljøstyrelsen, 2018). pH-senkning i lagerkum regnes som en svært driftssikker metode, da det er få tekniske innretninger i prosessen, og det ikke har blitt registrert driftsavbrudd med denne metoden (VERA, 2018).

Under tilsetning av svovelsyre, vil reaksjonen føre til at bikarbonatkomponenter i gjødsla blir omdannet til CO<sub>2</sub>. Dette resulterer i skumdannelse, og en fri høyde på 0,5 og 1 meter til kant på gjødselkum eller annet lager anbefales for å unngå søling (Rodhe, Casimir, & Sindhøj, 2017). Harsø-metoden reklamerer med at gjødselstrålen fra gjødselpumpen kan styres mot skumlaget, og være med på å «punktere» gjødselboblene, og dermed begrense skumdannelsen (Harsø Maskiner, u.å.; Rodhe, Casimir, & Sindhøj, 2017).

### **5.5.3 pH-senking ved spredning – SyreN-metoden**

Det er per i dag to kommersielle metoder for pH-senkning ved spredning, SyreN-metoden og Kyndesoft-metoden. Prinsippet til disse metodene er at spredning og pH-senkning skjer i samme operasjon. Jeg velger bare å beskrive SyreN-metoden i denne oppgaven, da denne er den mest utbredte og velprøvde. Systemet kan ettersmonteres på gjødselvogner med slangebom. Svovelsyren oppbevares i 1000-liters IBC-tanker foran på traktoren. For å



---

tilfredsstillende danske transportregler er tanken beskyttet av et kollisjonssikkert bur. Svovelsyren blir pumpet fra fronttanken og blir tilsatt bakerst på gjødselvogna, like før fordeleren. Her blir syre og gjødsel blandet ved turbulens i gjødselstrømmen, og ytterligere blandet i fordeleren på slangebommen (BioCover, 2012; Sindhøj & Rodhe, 2013). Det sitter en pH-måler på slangebommen, som konstant måler pH. SyreN-systemet kan selv kalkulere nødvendig mengde svovelsyre for å senke pH i gjødsla til ønsket nivå. En av fordelene med SyreN-metoden er muligheten til å tilsette blant annet jernsulfat i tillegg til svovelsyre, noe som bidrar til luktreduksjon ved spredning. En kan også vurdere værforholdene fra dag til dag, og deretter vurdere behov/utbytte av svovelsyre-tilsetning (BioCover, 2012; Rodhe, Casimir, & Sindhøj, 2017).

Siden den pH-senkede gjødsla vil ha infiltrert i jorda før bufferkapasiteten til gjødsla slår inn for fullt, er det ikke nødvendig å senke pH i gjødsla lavere enn 6,4, som har vist å redusere ammoniakktapet med 50%. Siden ønsket pH er lavere (5,5 – 6,0) for de andre forsurningsmetodene, vil dette bety at pH-senkning ved spredning krever en mindre mengde syre for et tilfredsstillende resultat (Rodhe, Casimir, & Sindhøj, 2017).

## 5.6 Lovverk

I utkast til ny gjødselvereforskrift vil tilsetning av svovelsyre i husdyrgjødsel ifølge Torhild Tveito Compaore, Mattilsynet, komme under §15 tilsetninger. Inntil ny forskrift trer i kraft mener Mattilsynet at tilsetning av svovelsyre kan brukes og markedsføres etter forskrift om handel med gjødsel og kalkingsmidler §18 punkt 2. Mattilsynet mener altså at det skal være mulig å bruke svovelsyre tilsatt husdyrgjødsel ut fra dagens regelverk (personlig kommunikasjon, 20. mars 2018).

Lovverk om lagring og håndtering av svovelsyre går under «*Forskrift om håndtering av utgangsstoffer for eksplosiver*». Forskriften skal bidra til at utgangsstoffer for eksplosiver ikke kommer på avveie eller havner i urette hender og benyttes til uønskede tilsiktede hendelser. Forskriften skal også bidra til å verne liv, helse, miljø og materielle verdier mot uhell og ulykker med utgangsstoffer for eksplosiver. Forskriften sier at stoffer som svovelsyre ikke skal gjøres tilgjengelig for eller håndteres av privatpersoner, men kun av virksomheter med et yrkesmessig behov. Virksomheten skal drive systematisk helse-, miljø- og sikkerhetsarbeid ved håndtering og lagring av stoffer som svovelsyre, som for eksempel risikoanalyser,

kunnskapskrav og sikker lagring under oppsyn. Ved transport av svovelsyre gjelder de generelle ADR-reglene for transport av farlig gods (Lovdata, 2015).

I forskrift om husdyrgjødsel §10 – krav til ulike lagertyper, står det «I anlegg for svine- og fjørfehold med bløtgjødsellager med 2.000 slaktegrisplasser eller mer, 750 avlspurker eller mer eller 40.000 plasser for fjørfe eller mer, skal det nyttes lagersystem eller teknikker<sup>1</sup> som beviselig reduserer utslipp av ammoniakk ( $\text{NH}_3$ ) med 40% eller mer sammenliknet med utendørs bløtgjødsellager uten dekke.» (Lovdata, 2008).

---

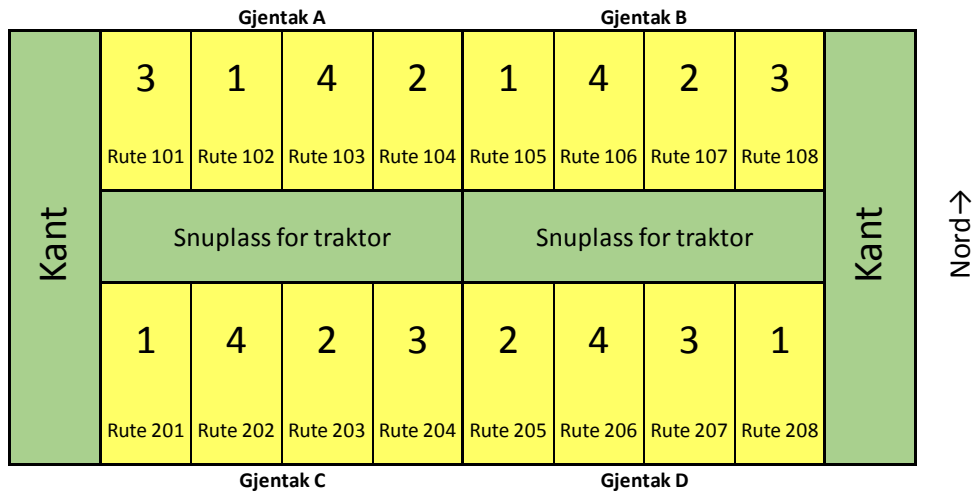
## 6. Egne forsøk

### 6.1 Materiale og metode

I dette kapitlet vil det bli forklart hvordan eget forsøk ble gjennomført, og hvilke statistiske metoder som ble brukt for å forklare resultatet. Dette forsøket fokuserte kun på avlingsmengde i kilo tørrstoff. Det plantetilgjengelige nitrogenet i husdyrgjødsel skal i teorien være den faktoren som gir forskjellige avlingsnivå på de ulike regimene. Forsøket ble godkjent av veileder og verneombud på skolen før utførelse. Det ble ikke undersøkt hvilken effekt tilsetning av svovelsyre hadde på ammoniakktapet. For registrering av dette kreves spesielle sensorer som jeg ikke lyktes i å få tak i.

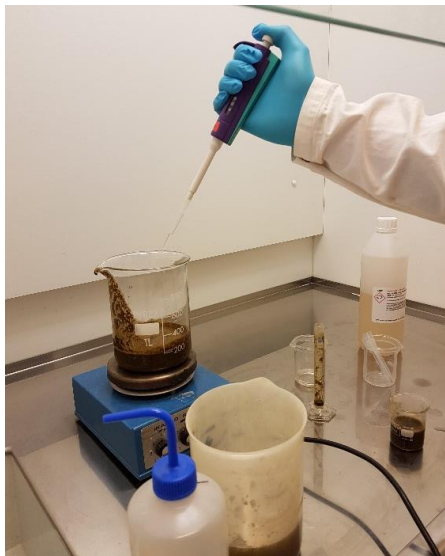
Forsøksdelen av studiet ble utført på «Hagejordet» tilhørende Blæstad, med god hjelp fra Stein Olav Nyvoll fra Norsk landbruksrådgiving Innlandet. Jordarten på «Hagejordet» er lettleire, og første engår var 2013. Målet med forsøket var å finne ut om husdyrgjødsel behandlet med svovelsyre ga større avling i forhold til ubehandlet husdyrgjødsel og gylle (50 prosent vann og 50 prosent husdyrgjødsel).

Forsøksplan ble utarbeidet av forfatteren i samarbeid med Norsk Landbruksrådgiving og veileder Thomas Cottis. Vi ble enige om å kjøre et randomisert blokkforsøk med 4 gjentak og 2 gjødslinger og slårter. Rutestørrelsen var 3 m x 7 m (21 m<sup>2</sup>). Slåmaskinen var bare 1,35 meter bred, så høsteruten ble 1,35 m x 7 m (9,45 m<sup>2</sup>). Det ble målt opp en 5 m bred snuplass for traktor og gjødselspreder midt i forsøksfeltet for å unngå unødvendig kjøring i forsøksrutene. Det ble etablert en buffersone på 10 meter rundt forsøksfeltet for å unngå mineralgjødselvirkning fra nærliggende eng. Størrelsen på hele forsøksfeltet var 19 m x 24 m (456 m<sup>2</sup>). Forsøksplan vises i figur 3.



Figur 3 Viser forsøksplan. De store tallene viser de ulike gjødslingsregimene der 1 er pH-senket gjødsel med svovelsyre, 2 er ubehandlet gjødsel, 3 er gylle og 4 er ugjødslet kontrollfelt.

I forkant av forsøket ble nødvendig syremengde beregnet på laboratoriet i Hamar ved å tilsette små mengder konsentrert svovelsyre i 200 ml husdyrgjødsel til ønsket pH (under 5,5) var oppnådd. Magnetomrøring sikret god blanding av gjødsel og syre. 800 microliter konsentrert svovelsyre var nødvendig for å senke pH fra 7,0 til 5,2. For kontroll ble det forsøket gjentatt ytterligere 2 ganger med samme mengde gjødsel og konsentrert svovelsyre. pH var lik i alle gjentakene. Omregnet vil dette si at nødvendig syremengde var 4 liter per kubikkmeter gjødsel, eller 1,2 liter svovelsyre for 300 liter, som var det jeg trengte for hver gjødsling.



Figur 4 Lab-forsøk for å finne ut nødvendig mengde svovelsyre. Foto: Georg Fredrik Østerås

---

Feltet ble gjødslet med en spesialbygd gjødselspreder som Norsk Landbruksrådgiving disponerer. I forkant av gjødslingen ble de ulike gjødselslagene blandet på 800-liters IBC-tanker. Disse tankene er godkjent for kjemikalier og sterke syrer. Det ble brukt godkjente hansker, ansiktsvern, gassmaske og lab-frakk som sikkerhetsutstyr ved tilsetning av svovelsyren. Såpevann og rennende vann var forberedt og tilgjengelig i umiddelbar nærhet under blandingen av svovelsyre og gjødsel.

Kjørehastighet ved spredning ble tilpasset en gjødselmengde på ca. 3 tonn gjødsel per dekar. Gjødselsprederen ble tømt for gjødsel før neste gjødselslag. Ved spredning av gyllen (50% gjødsel og 50% vann) ble det kjørt over to ganger med samme hastighet som ved spredning av de andre gjødselslagene for å få ut lik mengde gjødsel. Høstingen ble utført med en 135 cm bred forsøkslåsmaskin. Avlingen i hver rute ble veid med en håndholdt digital vekt og notert fortløpende. En representativ grasprøve fra hver rute ble tatt, og tørket i tørkeskap for bestemmelse av tørrstoffinnhold. Deretter ble avling i kilo tørrstoff regnet ut. En oversikt over vekter og rådata i forsøket vises i Vedlegg 1. Det ble tatt en gjødselprøve av hvert gjødselslag som ble brukt ved andre gjødsling (en for ubehandlet gjødsel, en for syretilsatt gjødsel og en for gylle). Disse prøvene ble frosset ned, og senere sendt til Eurofins AS for analyse. Analyseresultatene vises i Vedlegg 2.

Første gjødsling ble utført 23 mai 2017 i 15 °C, delvis skyet og lite vind. Planen, ønsket og det ideelle hadde vært å gjødsle langt tidligere, men praktiske årsaker gjorde at dette ble forsinket. Første høsting ble utført 26 juni 2017. Værforholdene ved høsting var overskyet og 17 °C. Andre gjødsling ble utført 27 juni 2017 i solskinn, 18 °C og lite vind. Andre og siste høsting ble utført 1 september 2017. Det var 16 °C, overskyet og høy luftfuktighet grunnet nedbør natta før.



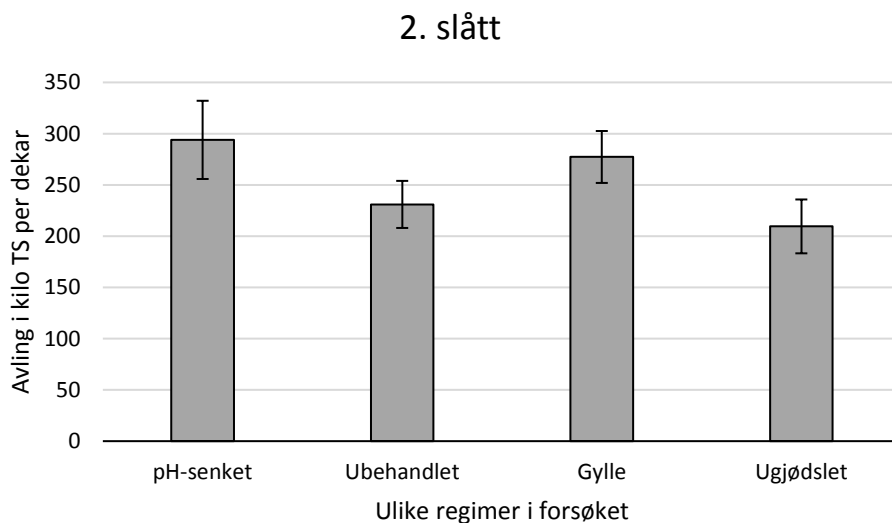
*Figur 5 Høsting av 1. slått, foto: Georg Fredrik Østerås*

Statistisk analyse av dataene fra forsøkene ble gjort i Microsoft Excel 2013. Variasjonsanalyse med en faktor og T-test for to utvalg med antatt like varianser ble brukt for å finne eventuelle forskjeller og signifikans. Forutsatt signifikansnivå ble satt til under 0,05. Resultatene fra hver høsting er presentert i grafer i tillegg til tekstforklaring. Det er beregnet standardavvik  $\pm SE$ , og resultatene er presentert med dette.

## 6.2 Resultat

Figur 6 viser en oversikt over gjennomsnittlig avling på 2. slått i kg TS per daa for rutene gjødslet med pH-senket gjødsel, ubehandlet gjødsel, gylle og ugjødslet. Ut fra figur 6 ser vi at rutene med gjennomsnittlig høyest avling var gjødslet med pH-senket gjødsel (293,92 kg TS  $\pm$ 2SE 38,15), etterfulgt av gylle (277,25 kg TS  $\pm$ 2SE 25,34), ubehandlet gjødsel (230,95 kg TS  $\pm$ 2SE 22,96) og ugjødslet (209,52 kg TS  $\pm$ 2SE 26,26). Tilsetning av svovelsyre i gjødsla gav 27 prosent større avling sammenlignet med ubehandlet gjødsel. Gyllen gav 20 prosent økt avling sammenlignet med den ubehandlede gjødsla.

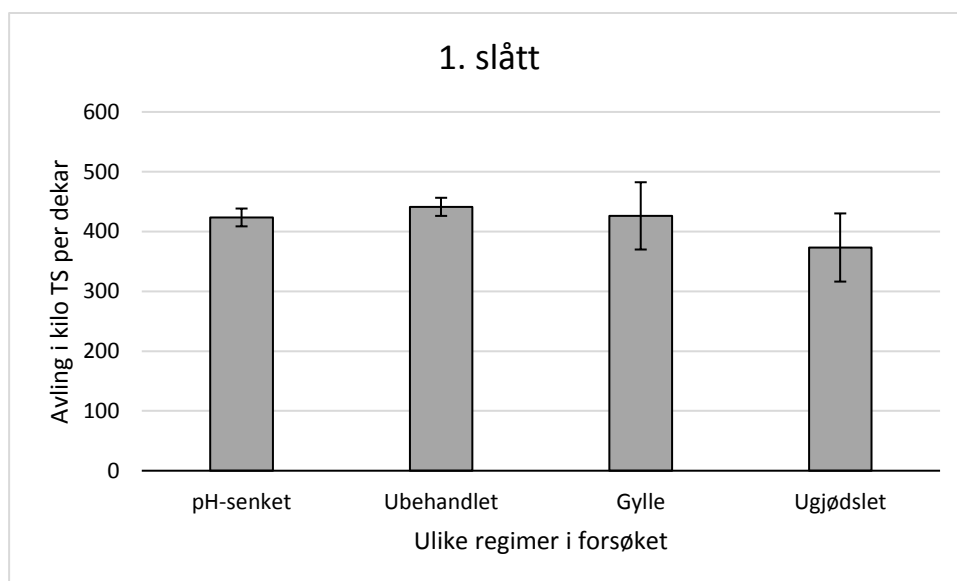
Det viste seg å være en signifikant forskjell i avling mellom feltene gjødslet med pH-senket og ubehandlet gjødsel ( $t_6 = 2,83$ ,  $p < 0,05$ ), pH-senket gjødsel og ugjødslet felt ( $t_6 = 3,80$ ,  $p < 0,05$ ), ubehandlet gjødsel og gylle ( $t_6 = 2,71$ ,  $p < 0,05$ ) og gylle og ugjødslet felt ( $t_6 = 3,98$ ,  $p < 0,05$ ). Det var ikke en signifikant forskjell mellom feltene gjødslet med pH-senket gjødsel og gylle ( $t_6 = 0,73$ ,  $p > 0,05$ ) og ubehandlet gjødsel og ugjødslet ( $t_6 = 1,33$ ,  $p > 0,05$ ).



Figur 6 Oversikt over avling i kilo tørrstoff per dekar på 2. slått for hver av de fire regimene i forsøket ( $\pm 2SE$ )

Figur 7 viser en oversikt over gjennomsnittlig avling på 1. slått i kg TS per dekar for feltene gjødslet med pH-senket gjødsel, ubehandlet gjødsel, gylle og ugjødslet. Feltet med gjennomsnittlig høyest avling var gjødslet med ubehandlet gjødsel (441,27 kg TS  $\pm$ 2SE 15,14), etterfulgt av gylle (426,19 kg TS  $\pm$ 2SE 56,24), pH-senket gjødsel (423,54 kg TS  $\pm$ 2SE 14,90) og ugjødslet (373,28 kg TS  $\pm$ 2SE 57,01).

Det var ingen signifikante forskjeller mellom pH-senket og ubehandlet ( $t_6 = 1,67$ ,  $p > 0,05$ ), pH-senket og gylle ( $t_6 = 0,09$ ,  $p > 0,05$ ), pH-senket og ugjødslet ( $t_6 = 1,71$ ,  $p > 0,05$ ). Det var heller ikke en signifikant forskjell mellom ubehandlet og gylle ( $t_6 = 0,52$ ,  $p > 0,05$ ), ubehandlet og ugjødslet ( $t_6 = 2,31$ ,  $p > 0,05$ ) eller gylle og ugjødslet ( $t_6 = 1,32$ ,  $p > 0,05$ ).



Figur 7 Oversikt over avling i kilo tørrstoff per dekar på 1 slått for hver av de fire regimene i forsøket ( $\pm 2SE$ )



---

## 7. Diskusjon

Resultatene fra andre høsting i eget forsøk viste en signifikant høyere avling på feltene gjødslet med svovelsyrebehandlet gjødsel sammenlignet med ubehandlet gjødsel. Svovelsyretilsatt gjødsel gav 27 prosent større avling enn ubehandlet gjødsel. I forsøket til Gustafsson, et al. beskrevet i kapittel 5.3 gav pH-senkning av gjødsel en vesentlig økt avling sammenlignet med ubehandlet gjødsel. I snitt ble det registrert ca. 20 prosent større avlinger der det var gjødslet med syretilsatt husdyrgjødsel. Også ved kombinasjon med mineralgjødsel ga pH-senket gjødsel i snitt 10,5 prosent høyere avling i forhold til ubehandlet gjødsel i kombinasjon med mineralgjødsel. Forsøket til Seidel et al. fikk også et signifikant positivt avlingsutslag ved pH-senkning med svovelsyre til pH 6,0 i to av fire forsøk. På de to feltene med positive avlingsutslag førte tilsetning av svovelsyre til 12-16 prosent høyere avling sammenlignet med feltet gjødslet med ubehandlet husdyrgjødsel. En mulig forklaring på at kun to av de fire forsøkene ga høyere avling kan være relativt kjølige forhold under spredning. Ved første spredning var temperaturen lav (3,3-9,4 °C) og for resten av spredningene var temperaturen mellom 14,1 og 17,9 °C. Seidel, et al. nevner ingen ting om nedbør ved spredning, så eventuell nedbør under eller etter spredning kan også ha påvirket resultatene i favør av ubehandlet gjødsel.

Min påstand er at første gjødsling i eget forsøk ble utført alt for sent i forhold til å få en reell virkning av gjødsla. Planen, ønsket og det ideelle hadde vært å gjødsla langt tidligere, men praktiske årsaker gjorde at dette ble forsinket. Graset var allerede i god vekst og ca. 15 cm høyt ved gjødsling. Dette resulterte blant annet i at noe av gjødsla ble liggende på bladverket, og dermed dårlig jordkontakt. De utenlandske studiene presentert i kapittel 5.3 viser til god virkning av svovelsyretilsetning også ved spredning på våren. På et av forsøksfeltene til Seidel, et al. var blant annet avlingen på den første slått signifikant større (ca. 15 prosent) ved bruk av pH-senket gjødsel, mens de andre høstingene ikke gav signifikante forskjeller i avling. Gustafsson, et al. hadde også tilsvarende resultater i sitt forsøk. Det ble registrert 20 prosent økt avling på den første slått ved svovelsyretilsetning. Jeg mener derfor resultatene fra de utenlandske forsøkene beviser virkningen av svovelsyretilsetning, og at resultatet fra første slått i eget forsøk kan ses bort ifra.

I eget forsøk var det ikke en signifikant forskjell mellom svovelsyrebehandlet gjødsel og gylle. Hvis man kan få den samme gjødselvirkingen ved å tilsette svovelsyre i gjødsla som å

fortynne gjødsla i forholdet 1:1 kan dette være et av hovedargumentene for å benytte pH-senkning. Ved vanntilsetning i forholdet 1:1 vil gjødselmengden dobles. Denne gjødselmengden skal både lagres, transporteres og spredes. En dobling av gjødselmengden vil derfor medføre økte kostnader i håndtering, og ikke minst øke arbeidsmengden og tidsbruken til spredning. Ved spredning med tilførselslanger vil ikke doblingen av mengden gjødsel være av like stor betydning som ved spredning med tankvogn. Det vil likevel angå majoriteten av gårdbrukere i Norge, etter som spredning med vogn fortsatt er den mest dominerende spredemetoden.

Analyser av gjødsla brukt i eget forsøk viste en pH på 3,8 etter tilsetning av svovelsyre. Det ble brukt 4 liter svovelsyre per 1000 liter gjødsel, og utgangspunktet var pH 7,2. En pH på 3,8 er unødvendig lav i forhold til teorien presentert i kapittel 5.1 om at pH ca. 5,5 er nok til at tap av ammoniakk når et minimum. Praktisk sett mener jeg den lave pH-en ikke svekker troverdigheten til resultatet. Derimot kunne en pH over 6,0 føre til at man kunne stilt spørsmålsteget bak om det var pH i gjødsla som var faktoren som førte til en avlingsøkning på 27 prosent. Mengde svovelsyre som trengs for å senke pH i husdyrgjødsel avhenger av både pH før syretilsetning, tørrstoffinnholdet og bufferkapasiteten i gjødsla. Det varierer derfor fra gjødselfraksjon til gjødselfraksjon hvor stor mengde svovelsyre som skal til for å senke pH til ønsket nivå.

Det ble ikke tilført tilsvarende mengder svovelgjødsel i rutene som ikke ble gjødslet med svovelsyretilsatt gjødsel. Dette kan ha gjort utslag på avlingsmengden, og påvirket resultatet i fordel pH-senket gjødsel. Både i forsøket til Gustafsson, et al. og Seidel, et al. ble det gjødslet med tilsvarende mengder svovelnæring som ble tilført med svovelsyretilsatt gjødsel. Også med lik svovelgjødsling ble det vesentlig økte avlinger (ca. 20 prosent) for pH-senket gjødsel. Dette styrker grunnlaget for å påstå at pH-senket husdyrgjødsel vil føre til bedre utnyttelse av nitrogenet i husdyrgjødsla.

I eget forsøk satte økonomiske ressurser begrensninger slik at ammoniakktap ved spredning ikke ble målt. Dette ble imidlertid undersøkt av to av de utenlandske forsøkene presentert i kapittel 5.3. Rodhe et al. registrerte et redusert ammoniakktap på ca. 50 og 70 prosent ved henholdsvis vår- og sommerspredning av pH-senket storfegjødsel. Seidel et al. fant en gjennomsnittlig reduksjon i ammoniakktapet på 79 prosent for gjødsla som var forsuret til en pH under 6,0. Dette stemmer godt overens med teorien i kapittel 5.1 som sier at likevekten

---

mellom ammonium og ammoniakk ved pH ca. 5,5 er forskjøvet nok til at tap av ammoniakk når et minimum.

Hvor stor effekt men får av svovelsyretilsetting i husdyrgjødsel avhenger i stor grad av spredningsmetode og værforhold under spredning. Er det gode forhold (kaldt, lite vind og nedbør) vil gevinsten med pH-senkning være liten. Er det derimot dårlige spredningsforhold (varmt, mye vind og tørr luft) vil utbytte av pH-senkning være mye større. Denne teorien presentert i kapittel 5.2 stemmer godt med resultatene fra forsøket til Gustafsson et al. Værsituasjonen under spredning og påfølgende dager var preget av høy temperatur, mellom 20-25 °C på det varmeste og svært lite nedbør. Avlingen økte som nevnt tidligere vesentlig ved pH-senkning av storfegjødsel sammenlignet med ubehandlet gjødsel. I forsøket til Rodhe et al. var det størst utslag på reduksjonen av ammoniakktap ved spredning i høy temperatur og tørr luft etter første slått. Også i eget forsøk ble den andre spredningen utført i tørt vær med høy temperatur, og som nevnt tidligere hadde pH-senket gjødsel den høyeste avlingen.

Med tanke på strukturendringene vi ser i norsk landbruk i dag øker både bruksstørrelsen og andelen leiejord. Dette resulterer i at en større mengde husdyrgjødsel skal spredes og i mange tilfeller transporteres over stadig større distanser. Tidsrommet med kaldt vær etterfulgt av regn forblir uendret, og det vil ikke da være praktisk mulig å spre all gjødsel i dette tidsrommet. Tilsetting av svovelsyre vil derfor bidra til en bedre utnyttelse av husdyrgjødsel, da det er vist i både eget og andres forsøk at svovelsyretilsetting tar bedre vare på nitrogenet i gjødsel ved spredning i varme og tørre værforhold. Resultatet ved svovelsyretilsetting vil da være at man ikke er avhengig av svært lav tørrstoffprosent eller ideelle værforhold for god utnyttelse av nitrogenet i husdyrgjødsel. Med andre ord vil man kunne oppleve en større fleksibilitet i spredningstidspunkt og økt sikkerhet om den faktiske nitrogentildelingen.

Som beskrevet finnes det i dag tre kommersielle metoder for pH-senkning av husdyrgjødsel i Danmark. Infarm-metoden kan muligens være interessant for besetningene nevnt i forskrift om husdyrgjødsel §10 for å redusere ammoniakktapet fra husdyrgjødsel under lagring. På den andre siden var Infarm-metoden ifølge Rodhe et al. den minst interessante metoden å ta i bruk i de baltiske landene. Dette begrunnes med at det er vanskelig å tilpasse og utnytte et slikt anlegg for pH-senkning i eksisterende bygninger og lager. Jeg tror denne teorien også er gjeldende i Norge. Infarm-anlegget er et stasjonert anlegg, og har kapasitet til å håndtere store mengder gjødsel. Husdyrenhetene i Danmark er også større sammenlignet med norske

besetninger. Jeg setter derfor spørsmålstegn ved om denne metoden er veldig aktuell i Norge med tanke på investeringskostnaden for en relativt liten gjødselmengde på et norsk enkeltbruk.

Harsø- og Ørum tankforsuring er mobile anlegg som kan brukes på mange gårdsbruk. Dette gjør at gårdbrukere enten kan gå sammen om investeringen, eller at entreprenører kan betjene mange kunder. Med tanke på bruksstørrelsene i Norge vil dette etter min mening være en rasjonell og rimelig metode. Med denne metoden kan man også velge å utføre pH-senkningen i forkant av spredning etter første og evt. andre slått da faren for ugunstige spredningsforhold med høy temperatur og lite nedbør er større da enn på våren. Med SyreN-metoden har man ytterligere frihet til å vurdere spredningsforholdene. Da svovelsyren tilsettes under spredning kan man vurdere fra dag til dag om det vil være hensiktsmessig å senke pH. SyreN-metoden ser jeg også på som aktuell for jordbruket i Norge, men at det fortrinnsvis utføres av entreprenører da dette krever spesialutstyrte vogner som vil være en stor investering for enkeltbruk.

## 7.1 Forslag til videre arbeid

Hovedfokuset i denne oppgaven var å undersøke effekten på utnyttelse av nitrogen i husdyrgjødsel i Norge ved innblanding av svovelsyre. Utover resultatene presentert i denne oppgaven ville det vært interessant å se på økonomien rundt pH-senkning av gjødsel. Selv om pH-senkning gir reduserte ammoniakktap og derfor bedre utnyttelse av husdyrgjødsel må det også være økonomisk forsvarlig for den enkelte jordbruker å anvende metoden. I Norge har vi ikke (enda) de strenge kravene til utnyttelse og ammoniakktap som gjør det interessant med svovelsyretilsetning i like stor grad som for eksempel i Danmark. Inntil videre blir det da økt lønnsomhet som vil være hovedargumentet for å benytte denne teknologien. Nyten av å kunne spre husdyrgjødsel under varme og tørre forhold bør altså også forsvares økonomisk.

---

## 8. Konklusjon

I denne oppgaven er det undersøkt effekten på utnyttelse av nitrogen i husdyrgjødsel i Norge ved innblanding av svovelsyre. Eget forsøk med støtte i utenlandske forsøk og litteratur gir grunnlag for følgende konklusjoner:

- Tilsetning av svovelsyre i husdyrgjødsel gir bedre utnyttelse av nitrogenet og rundt 20 prosent økt avlingspotensiale i forhold til ubehandlet husdyrgjødsel spredd i varmt vær uten nedbør.
- pH-senkning i husdyrgjødsel reduserer helt klart ammoniaktapet ved spredning. Forsøk fra Danmark, Tyskland og Sverige viser en reduksjon i tap på opp mot 79 prosent.
- En får størst effekt av pH-senkning ved spredning i varme og tørre værforhold. Tilsetning av svovelsyre gjør at man ikke er avhengig av svært lav tørrstoffprosent eller kjølig og fuktig vær for god utnyttelse av nitrogenet i husdyrgjødsel.

## Litteraturliste

- Aalborg Portland. (u.å.). *Valg af betonkvalitet til gylleanlæg til forsuret gylle*. Aalborg Portland A/S og Cementfabrikkenes tekniske Oplysningskontor.
- Bergslid, I., & Solemdal, L. (2014). *Husdyrgjødsel og lagerkapasitet*. Bioforsk.
- BioCover. (2012). *SyreN*. Vejen, Danmark: BioCover.
- Braschkat, J., Mannheim, T., & Marschner, H. (1997). *Estimation of ammonia losses after application of liquid cattle manure on grassland*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.
- Delin, S., Gustafsson, K., & Rodhe, L. (2016). *Surgörning av nötflytgödsel - effekt på ammoniak-avgången vid spridning av rötad respektive icke-rötad gödsel i vall*. JTI - Institutet för jordbruks- og miljöteknik.
- Ehrnebo, M. (2005). *Spridning av flytgödsel*. Linköping, Sverige.
- Fabeko. (2004). *Ny europeisk betongstandard*. Hentet fra Webområde for Fabeko: [https://fabeko.no/assets/Ny\\_eur\\_betongstandard-juli\\_2004.pdf](https://fabeko.no/assets/Ny_eur_betongstandard-juli_2004.pdf)
- Fors, K., Adolfsson, N., Bannbers, H., Rodhe, L., Strand, L., & Sindhøj, E. (2018). *Arbetsmiljö och säkerhet vid surgörning av flytgödsel*. Uppsala: RISE Research Institutes of Sweden.
- Frandsen, T., & Schelde, K. (2007). *Gylleforsuring Infarm A/S*. Århus: Dansk Landbrugsrådgivning .
- Gundersen, G., & Rognstad, O. (2001). *Lagring og bruk av husdyrgjødsel*. Statistisk Sentralbyrå.
- Gustafsson, K., Delin, S., Hallin, O., & Wiklund, O. (2013). *Slutrapport - Surgörning av flytgödsel och biogödsel*. Sverige: Agroväst.
- Hansen, S., Morken, J., Nesheim, L., Koesling, M., & Fystrø, G. (2009). *Reduserte nitrogenutslipp gjennom bedre spredningsrutiner for husdyrgjødsel*. Bioforsk.

- 
- Harsø Maskiner. (u.å.). *Harsø 10" Compact Pumpe*. Hentet fra Webområde for Harsø Maskiner: <http://www.harso.dk/10-.html>
- Jensen, J., Krogh, P., Sørensen, P., & Petersen, S. (2018). *Potentielle miljøeffekter ved anvendelse af forsuret gylle på landbruksjord*. Aarhus: DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi.
- Kai, P., Pedersen, P., Jensen, J., Hansen, M., & Sommer, S. (2008). A whole-farm assessment of the efficacy of slurry acidification in reducing ammonia emissions. *European Journal of Agronomy*.
- Kval-Engestad, O. (2011). *Nye spredeteknikker - bedre bruk av blaut husdyrgjødsel*. Norsk Landbruksrådgiving.
- Lovdata. (2008, Januar 1). *Forskrift om husdyrgjødsel*. Hentet fra Webområde for: Lovdata: <https://lovdata.no/dokument/LTI/forskrift/2002-02-11-337>
- Lovdata. (2015, Juni 15). *Forskrift om håndtering av utgangsstoffer for eksplosiver*. Hentet fra Webområde for Lovdata: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2015-06-02-588?q=svovelsyre>
- Miljødirektoratet. (2017, Desember 20). *Ammoniakk (NH<sub>3</sub>)*. Hentet fra miljøstatus.no - Miljøinformasjon fra offentlige myndigheter: <http://www.miljostatus.no/Tema/Luftforurensning/Sur-nedbor/Ammoniakk-NH3/>
- Miljøstyrelsen. (2018, Mars 18). *Gylleudbringning*. Hentet fra Webområde for Miljø- og Fødevareministeriet: <http://mst.dk/erhverv/landbrug/miljoeteknologi-og-bat/teknologilisten/gaa-til-teknologilisten/gylleudbringning/>
- Miljøstyrelsen. (2018, Mars 18). *Miljøstyrelsens Teknologiliste*. Hentet fra Webområde for Miljø- og Fødevareministeriet : <http://mst.dk/erhverv/landbrug/miljoeteknologi-og-bat/teknologilisten/>
- Morken, J. (2007, November 15). Spredeteknologi for bløtgjødsel. Ås, Norge.
- Ndegwa, P., Hristov, A., Arogo, J., & Sheffield, R. (2008). *A review of ammonia emission mitigation techniques for concentrated animal feeding operations*. Elsevier.

- Nesheim, L., Kval-Engstad, O., & Vastveit, K. (2010). *Husdyrgjødsel og jordarbeiding - verknad på utslepp av klimagassar*. Stjørdal: Bioforsk.
- ØRUM. (u.å.). Tank-forsuring TF12. *Brosjyre for ØRUM tankforsuring*. Danmark: ØRUM.
- Øygarden, L., Nesheim, L., Dörsch, P., Fystro, G., Hansen, S., Hauge, A., . . . Ole Kristian, S. (2009). *Klimatiltak i jordbruket - mindre lystgassutslipp gjennom mindre N-tilførsel til jordbruksareal og optimalisering av dyrkingsforhold*. Bioforsk.
- Pedersen, B. (2016). *Sementer med flygeaske og slagg: Lab- og felterfaringer*. Vegdirektoratet.
- Petersen, J., & Sørensen, P. (2008). *Gødningsvirkning af kvælstof i husdyrgødning*. Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Aarhus Universitet.
- Petersen, S., Andersen, A., & Eriksen, J. (2012). *Effects of Cattle Slurry Acidification on Ammonia and Methane Evolution during Storage*. Tjele: Aarhus Universitet.
- Rodhe, L., Casimir, J., & Sindhøj, E. (2017). *Possibilities and bottlenecks for implementing slurry acidification techniques in the Baltic Sea Region*. Uppsala: RISE (Research Institutes of Sweden).
- Rodhe, L., Delin, S., & Gustafsson, K. (2015). *Surgörning av nötflytgödsel - effekt på ammoniakavgången vid spridning av rötad respektive ickerötad gödsel i vall*. Sverige: Institutet för Jordbruks- och miljöteknik - JTI.
- Seidel, A., Pacholski, A., Nyord, T., Vestergaard, A., Pahlmann, I., Herrmann, A., & Kage, H. (2017). *Effects of acidification and injection of pasture applied cattle slurry on ammonia losses, N<sub>2</sub>O emissions and crop N uptake*. Elsevier.
- Sindhøj, E., & Rodhe, L. (2013). *Examples of Implementing Manure Processing Technology at Farm Level*. Uppsala: Swedish Institute of Agricultural and Environmental Engineering.
- Sommer, S. (u.å.). *Miljøkemien i husdyrholdet*. Hentet fra Webområde for infolink.elbo.dk: <http://infolink.elbo.dk/jord/bruger/vis.asp?which=14091>



- 
- Sommer, S., Générumont, S., Cellier, P., Hutchings, N., Olesen, J., & Morvan, T. (2003). *Processes controlling ammonia emission from livestock slurry in the field*. Elsevier.
- SSB. (2012, Desember 17). *Gjødsel: ressurs - men miljøproblem*. Hentet fra Jordbruk og miljø 2012: <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/artikler-og-publikasjoner/gjodsel-ressurs-men-miljoproblem>
- Toft, M. (u.å.). *Reduktion af lugt og forsurening af gylle under udbringning*. BioCover.
- VERA. (2018, Mars 18). *MELT indstilling om optagelse på Miljøstyrelsens Teknologiliste*. Hentet fra Webområde for VERA: [http://mst.dk/media/97877/meltindstilling\\_\\_ruminkltill\\_g1og2.pdf](http://mst.dk/media/97877/meltindstilling__ruminkltill_g1og2.pdf)
- Vestergaard, A. (2015). *Status, økonomi og overvejelse ved forsurening af gylle*. SEGES.

## **9. Vedlegg**

Vedlegg 1: Resultater fra forsøket – rådata

Vedlegg 2: Analyse av husdyrgjødsel

## 9.1 Vedlegg 1

Felt:	Forsøksfelt for ulike behandlinger av husdyrgjødsel							
Feltvert:	Hagejordet, Høgskolen i Innlandet avd Blæstad				Engår:	5. engår (anlagt i 2013)		
	1. SLÅTT				2. SLÅTT			
Rute	Vekt avling (i kg)	Våt vekt tørkeprøve (g)	Tørr vekt tørkeprøve (g)	Avling i kg TS	Vekt avling (i kg)	Våt vekt tørkeprøve (g)	Tørr vekt tørkeprøve (g)	Avling i kg TS
101	13.36	1020	270	3.54	11.7	747	170	2.66
102	14.56	812	226	4.05	11.07	744	169	2.51
103	8.58	641	210	2.81	6.78	708	177	1.70
104	14.32	1064	316	4.25	8.21	462	115	2.04
105	14.56	1073	307	4.17	11.36	536	129	2.73
106	12.42	885	272	3.82	10.54	676	130	2.03
107	14.5	746	218	4.24	8.6	480	110	1.97
108	13.68	668	222	4.55	9.36	735	207	2.64
-								
201	13.04	1036	314	3.95	11.24	687	157	2.57
202	12.3	1014	333	4.04	6.9	473	135	1.97
203	13.3	1180	351	3.96	7.56	566	171	2.28
204	15.44	1197	343	4.42	7.7	588	176	2.30
205	14.4	1131	330	4.20	7.6	593	190	2.44
206	10.72	1230	395	3.44	6.44	407	140	2.22
207	11.96	1292	389	3.60	9.8	726	213	2.88
208	12.4	1113	345	3.84	10.26	551	177	3.30

## 9.2 Vedlegg 2



Georg F. Østerås  
Attn: Georg Østerås  
Hallbakken 17  
7657 Verdal

Eurofins Agro Testing Norway AS  
Mellebakken 40  
NO-1538 Moss

jord@eurofins.no

AR-18-NF-000148-01



EUNOMO4-00012100

Analyseperiode: 21.12.2017-08.01.2018  
Referanse:

## ANALYSERAPPORT

Prøvenr.:	<b>542-2017-12210021</b>	Prøvetakingsdato:	19.12.2017		
Prøvetype:	Gjødsel	Mottaksdato:	21.12.2017		
Prøvemerkning:	Prøve 1	Rapporteringsdato:	08.01.2018		
Dyreslag:	Storfe				
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ	MU	Metode
a)* Totalt tørrstoff	5.8	g/100 g	0.1		VDLUFAMethodenbuch II, 9.1
a) Nitrogen (N)	2.03	kg/tørr	0.1		VDLUFAMethodenbuch II.3.5.2.7
a) Ammonium (NH <sub>4</sub> -N)	1.04	kg/tørr	0.01		VDLUFAMethodenbuch II.1.3.2.2
a) Totalt fosfor (P)	0.4	kg/tørr	0.01		NS EN ISO 11885
a) Kalium (K)	1.7	kg/tørr	0.01		NS EN ISO 11885
a)* Svovel (S)	2.6	kg/tørr	0.01		NS EN ISO 11885
a)* pH	3.8				Konduktometri

Prøvenr.:	<b>542-2017-12210022</b>	Prøvetakingsdato:	19.12.2017		
Prøvetype:	Gjødsel	Mottaksdato:	21.12.2017		
Prøvemerkning:	Prøve 2	Rapporteringsdato:	08.01.2018		
Dyreslag:	Storfe				
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ	MU	Metode
a)* Totalt tørrstoff	5.3	g/100 g	0.1		VDLUFAMethodenbuch II, 9.1
a) Nitrogen (N)	2.13	kg/tørr	0.1		VDLUFAMethodenbuch II.3.5.2.7
a) Ammonium (NH <sub>4</sub> -N)	1.07	kg/tørr	0.01		VDLUFAMethodenbuch II.1.3.2.2
a) Totalt fosfor (P)	0.5	kg/tørr	0.01		NS EN ISO 11885
a) Kalium (K)	1.8	kg/tørr	0.01		NS EN ISO 11885
a)* Svovel (S)	0.33	kg/tørr	0.01		NS EN ISO 11885
a)* pH	7.2				Konduktometri

Prøvenr.:	<b>542-2017-12210023</b>	Prøvetakingsdato:	19.12.2017		
Prøvetype:	Gjødsel	Mottaksdato:	21.12.2017		
Prøvemerkning:	Prøve 3	Rapporteringsdato:	08.01.2018		
Dyreslag:	Storfe				
Analyse	Resultat	Enhet	LOQ	MU	Metode
a)* Totalt tørrstoff	3.1	g/100 g	0.1		VDLUFAMethodenbuch II, 9.1
a) Nitrogen (N)	1.30	kg/tørr	0.1		VDLUFAMethodenbuch II.3.5.2.7
a) Ammonium (NH <sub>4</sub> -N)	0.660	kg/tørr	0.01		VDLUFAMethodenbuch II.1.3.2.2
a) Totalt fosfor (P)	0.3	kg/tørr	0.01		NS EN ISO 11885
a) Kalium (K)	1.1	kg/tørr	0.01		NS EN ISO 11885
a)* Svovel (S)	0.20	kg/tørr	0.01		NS EN ISO 11885
a)* pH	7.2				Konduktometri

**Teoriforklaring:**


\* Ikke omfattet av akkrediteringen LOQ: Kvantifiseringsgrense MU: Måleusikkerhet  
<: Mindre enn >: Større enn nd: Ikke påvist. Bakteriologiske resultater angitt som <1, <50 e.l. betyr ikke påvist.

Opplysninger om måleusikkerhet og konfidensintervall fås ved henvendelse til laboratoriet.  
Rapporten må ikke gjengis, unntatt i sin helhet, uten laboratoriets skriftlige godkjenning. Resultatene gjelder kun for de(n) undersøkte prøven(e).

**Utlørende laboratorium/Underleverandør:**

- a)\* Eurofins Agraranalytik Deutschland (Jena), Löbstedter Strasse 78, D-07749, JENA  
a) Eurofins Agraranalytik Deutschland (Jena), Löbstedter Strasse 78, D-07749, JENA DIN EN ISO/IEC 17025:2005 D-PL-20226-01-00,

**Moss 08.01.2018**



-----  
Maria Soledad Armero Rodriguez  
ASM/Kundeveileder

**Terminforklaring:**

\*Ikke omfattet av akkrediteringen    LOQ: Kvantifiseringsgrense    MU: Måleusikkerhet  
<: Mindre enn    >: Større enn    nd: ikke påvist    Bakteriologiske resultater angitt som <1, <50 e.i. betyr ikke påvist.

Opplysninger om måleusikkerhet og konfidansintervall fås ved henvendelse til laboratoriet.  
Rapporten må ikke gjengis, unntatt i sin helhet, uten laboratoriets skriftlige godkjenning. Resultatene gjelder kun for de(t) undersøkte prøv(e).