



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2023 30 stp.

Fakultet for biovitenskap

Proteininnhold i grovfôr som en funksjon av tilført nitrogen og svovel

Protein content in roughage as a function of supplied nitrogen and sulphur

Marit Isabel Løvlie Arnstad

Plantevitenskap

Forord

Denne gradsoppgaven markerer avslutningen på min to-årige master i Plantevitenskap ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU). Studiet har gitt meg et dypdykk i jord og plantedyrking, og gitt mye kunnskap som jeg ser frem til å få tatt i bruk. Min hovedinteresse er grovfôrdyrking og jeg ønsket derfor å finne et forsøksprosjekt på dette. Jeg kom i kontakt med Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) som hadde et pågående forsøk med nitrogen (N)- og svovel (S)-gjødsling i eng, som ble utført av Norsk Landbruksrådgivning (NLR). Dette var jeg så heldig å få være med på, og skrive min masteroppgave knyttet til dette.

Selv om oppgaven er skrevet i tilknytning til prosjektet «N-stige i praktisk opplegg med husdyrgjødsel med mer eller mindre svovel», som er finansiert av Yara Norge, er det viktig å presisere at oppgaven er skrevet uten interessekonflikter, og at jeg ikke har mottatt økonomisk støtte fra noen selskaper.

En stor takk rettes til:

- Hovedveileder for oppgaven Trine Sogn, professor ved fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning, for god oppfølging gjennom arbeidet med oppgaven, korrekturlesing og faglig veiledning.
- Tilleggsveileder Tore Krogstad, professor ved fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning, for hjelp til analyser av jordprøver på laboratoriet, korrekturlesing og faglig veiledning.
- Tilleggsveileder Marit Jørgensen, forsker ved NIBIO, divisjon for matproduksjon og samfunn – fôr og husdyr, for at jeg fikk være med på prosjektet, deling av datamateriell, korrekturlesing og faglig veiledning.
- Martin Eriksen, rådgiver plantekultur ved NLR Trøndelag SA, for at jeg fikk være med på forsøket og ettersending av forsøksdata
- Kjæreste og medstudent Tomas Kjøsnes, masterstudent ved NMBU – Husdyrvitenskap, for støtte, korrekturlesing og faglig veiledning

Institutt for plantevitenskap, NMBU

Ås, 15. mai 2023

Marit Isabel Løvlie Arnstad

Sammendrag

Økt fokus på selvforsyning med norskbasert fôr til melkekyr førte til denne studien om S-tildeling til timoteibasert eng. For å sikre et grovfôr med nok proteiner og høy energiverdi til melkekyr er det viktig med riktig gjødsling. Oppgaven er knyttet opp mot et prosjekt til Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) som utføres i samarbeid med Norsk Landbruksrådgivning (NLR). I prosjektet blir det testet hvordan ulike nitrogen (N)- og svovel (S)-mengder kombinert med husdyrgjødsel (HG) påvirker avling og kvalitet i timoteibasert eng i tre regioner i Norge. Denne oppgaven bygger på data fra hovedsakelig forsøksfeltet i Levanger (Trøndelag), men og noe fra Leknes (Nordland). Forsøket varte fra 2020 til 2022 og er et blokkforsøk med ni behandlingsledd hvor ulike kombinasjoner av N-mengder (11-, 17- og 23 kg/daa) og S-tilførsel fra Yaras gjødseltyper Sulfan og Opti-NS ble testet. Alle ledd fikk også HG (3 tonn vår og 2 tonn etter førsteslått). Prøver av jord, husdyrgjødsel og gras er analysert. Problemstillingen for oppgaven er om det er mulig å øke proteininnholdet i grovfôr, hovedsakelig bestående av timotei, med økt gjødsling med nitrogen og svovel.

Resultatene viser at økt S-tilførsel gir noe økning i plantetilgjengelig S (S-AL) og utbyttbar S (Sulfat-S) i jorda. Svoveltilførsel har ingen påvirkning på jordas innhold av plantetilgjengelig P, K, Mg, Na og Ca, pH eller organisk materiale. Økt S-tilførsel gir økt S-innhold i graset og økningen er godt korrelert med økt innhold av råprotein Analysetall fra Levanger og Leknes viser sammenlagt økt innhold av råprotein ved økt N-tilførsel. Råproteinet ble ikke signifikant høyere ved økt S-tilførsel, men det var en tydelig positiv trend. Med hensyn på N/S-forholdet var det ingen behandling som gav et forhold større enn 15, men behandlingsledd uten S-tilførsel og høyeste N-mengde hadde signifikant høyere N/S-forhold enn de andre. Yaras Sulfangjødsel gav noe lavere N/S-forhold enn Opti-NS-gjødsel. Svoveltilførsel gav noe meravling i Leknes, men ikke i Levanger. Bidraget av S fra HG varierer mellom år og prøve bør tas. Husdyrgjødsel hadde lavt C/S-forhold som indikerer stor mineralisering, men ved høye N-mengder (23kg/daa) burde ekstra S tilføres for å dekke behovet til avling og proteinsyntese.

Abstract

Increased focus on self-sufficiency with Norwegian feedstuff for dairy cows led to this study on S supply to timothy dominated meadow. In order to ensure roughage with enough crude protein and a high energy value for dairy cows, it is important with correct fertilization. The assignment is linked to a project from The Norwegian Institute of Bioeconomy Research (NIBIO) which is carried out in collaboration with Norsk Landbruksrådgivning (NLR). In the project, it is tested how different amounts of nitrogen (N) and sulphur (S), combined with animal manure (HG), affect yield and quality in timothy dominated meadows in three regions in Norway. This thesis is based on data mainly from the experiment in Levanger (Trøndelag), but also some from Leknes (Nordland). The trial lasted from 2020 to 2022 and is a block trial with nine treatment stages where different combinations of N amounts (11, 17 and 23 kg/daa) and S supply from Yara's Sulfan and Opti-NS fertilizers were tested. All sections also received HG (3 tonnes in the spring and 2 tonnes after the first mowing). Samples of the soil, manure and grass have been analysed. The issue for this thesis is whether it is possible to increase the crude protein content of forage, mainly consisting of timothy, with increased fertilization with nitrogen and sulphur.

The results show that increased S supply gives some increase in plant-available S (S-AL) and exchangeable S (Sulphate-S) in the soil. Sulphur application has no effect on the soil's content of plant-available P, K, Mg, Na, Ca, pH or organic matter. Increased S supply gives an increased S content in the grass and the increase is well correlated with an increased content of crude protein. Analysis from Levanger and Leknes together show an overall increased content of crude protein with increased N supply. The crude protein did not become significantly higher with increased S supply, but there was a clear positive trend. With regard to the N/S ratio, there was no treatment that gave a ratio greater than 15, but treatment sections without S supply and the highest N amount, had significantly higher N/S ratios than the others. Yara's Sulfan fertilizer gave a slightly lower N/S ratio than Yara's Opti-NS fertiliser. Additional S gave some extra yield in Leknes, but not in Levanger. The contribution of S from HG varies between years and a sample should be taken. The manure had a low C/S ratio, which indicates a lot of mineralization, but with high N amounts (23kg/daa) extra S should be added to cover the needs for yield and protein synthesis.

Innholdsliste

Forord	I
Sammendrag	II
Abstract	III
Innholdsliste	IV
1. Innledning.....	1
2. Litteraturgjennomgang	3
2.1 Nitrogen og Svovel i jord	3
2.2 Nitrogen og Svovel i planter.....	5
2.3 Drøvtyggernes krav til N og S.....	7
2.4 Gjødsling og høstetidspunkt for protein i grovfôr	8
3. Material og metode.....	11
3.1 Forsøksoppsett og sted.....	11
3.2 Været i forsøksperioden.....	12
3.3 Jordanalyser	13
3.4 Gjødsling	14
3.5 Høsting og analyser av graset.....	15
3.6 Statistiske analyser av data	16
4. Resultater.....	17
4.1 Nitrogen- og svovelregnskap.....	17
4.2 Effekt av gjødsling på S-innhold i jord	19
4.4 Effekt av S-tilførsel på S-innhold i graset	20
4.5. Effekt av gjødsling på N/S-forhold i graset.....	22
4.6 Effekt av N- og S-tilførsel på protein i graset	23
4.7 Effekt av N- og S-tilførsel på avling og fôr kvalitet.....	24
5. Diskusjon.....	30

5.1 Nitrogen- og Svovelregnskapet	30
5.2 S-innhold i jorda	32
5.3 S-innhold i planta.....	33
5.4 N/S-forholdet	33
5.5 Proteininnhold	34
5.6 Avling og kvalitet på graset.....	35
5.7 Feilkilder og videre forskning	36
6. Konklusjon	37
Referanseliste	38
Vedlegg	43
Vedlegg 1. Feltkart	43
Vedlegg 2. Innholdet i mineralgjødsestypene brukt i forsøket	43
Vedlegg 3. Innhold i husdyrgjødsel fra Levanger	44
Vedlegg 4. Gjødsemengder til hvert ledd.....	44
Vedlegg 5. Tilførte næringsstoffer med mineralgjødsel i kg/daa	45

1. Innledning

Grovfôr utgjør hovedandelen av fôrrasjonen til drøvtyggere, mens kraftfôr brukes som et supplement. Kvaliteten på den totale fôrrasjonen er blitt stadig viktigere i takt med ei mer høytstående melkeku som stiller høyere krav til energi- og proteininnholdet i fôrrasjonen (Geno, u.å.; Landbruksdirektoratet, 2021). For å sikre nok protein til melkeku blir det i dag importert bl.a. soya, mais, åkerbønner og raps (Kjos et al., 2020; *Kraftfôrstatistikk*, u.å.). Utviklingen fra 2005 til 2020 viser at importen av disse råvarene øker. Selv om melkekyr har rundt 87% norske råvarer i fôrrasjonen sin, (Landbruksdirektoratet, 2021), så står de likevel for rundt 53% av det totale kraftfôrforbruket sett i forhold til dyreslag i Norge (Kjos et al., 2020). I den siste tiden (2021-23) har det vært økonomisk lønnsomt å spare på det proteinrike kraftfôret som har økt voldsomt i pris pga. høye råvarepriser på verdensmarkedet. Det til tross for nulltoll på råvarene inn til Norge. Høy etterspørsel og høye kostnader på innsatsfaktorer er hovedårsakene til den kraftige økningen (Leksen, 2023; Moksnes, 2021; *Soybeans Front Month Futures price information - FT.com*, u.å.). Fokus på bærekraft og selvforsyning er også økende (Landbruks- og matdepartementet, 2022).

Et mulig tiltak for å redusere behovet og forbruket av proteinrikt kraftfôr er å øke proteininnholdet i grovfôret, slik at det kan brukes mer norskbaserte kraftfôrtyper. For at gras skal syntetisere protein trengs det nok tilgjengelige næringsstoffer i jorda. Det viktigste næringsstoffet for proteindannelse i plantene er nitrogen (N) siden det er byggesteinen i plantenes aminosyrer, og det finnes også i nukleinsyrer, hormoner og i klorofyll. I tillegg trengs næringsstoffet svovel (S), som også inngår i proteiner, vitaminer og hormoner (Hopkins, 1995). Begge disse næringsstoffene trenger også husdyra for å syntetisere mikrobeprotein i vomma (Hvelplund & Nørgaard, 2003). Så, hvordan sikrer vi at grovfôret til husdyra inneholder nok N og S?

Nitrogengjødsling for økt grasavling har lenge vært kjent, men S-gjødsling fikk også økt fokus fra 1980-tallet da man oppdaget stadig større mangel, hovedsakelig pga. mindre nedfall fra industri og mindre S-mengder i gjødsla (Bakken et al., 2007; Ryant & Skládanka, 2009). I likhet med N inngår ikke S i standard jordanalysepakke siden tilgjengeligheten varierer så mye gjennom sesongen og fra år til år (Eurofins Agro, 2022). Riktig gjødselplanlegging er viktig, og hvilke gjødselmengder som er optimalt er det forsket en del på.

Bélanger og Ziadi (2008) fant i et forsøk i Canada at timoteieng eldre enn 4 år krevde mer N enn yngre eng, og at ved en N-gjødsling på 12 kg/daa gitt som vårgjødsling gav den høyeste tørrstoff (TS)-avlingen på førsteslått (Bélanger & Ziadi, 2008). To forsøk i Norge viste at økt N-gjødsling gav økt råproteininnhold (g/kg TS), men at den økte N-mengden bare gav økt TS-avling opp til et visst punkt (Lunnan, 2021; Lunnan & Nesheim, 2002). Et forsøk i Finland viste også at økt N-tilførsel gav økt råproteininnhold på andreslått, men at andelen renprotein av råproteinet gikk ned med økt N-gjødsling (Syrjälä-Qvist et al., 1984). Det er også kjent at andelen råproteiner i graset avtar med vekststadium. Det kan derfor være et dilemma knyttet til hva som er riktig høstetidspunkt siden man ønsker høyest mulig avling, men samtidig et høyt proteininnhold (Hay & Porter, 2006).

Når det gjelder svovel er det funnet at S-gjødsling gav økt avling og mindre nitratavrenning på sandholdig jord. De fant også at S i husdyrgjødsel ikke var tilstrekkelig for å gi enda nok S ved vårspredning av 2,2 tonn/daa (Aspel et al., 2022). Gierus et al. (2005) konkluderte i sitt forsøk med at man burde tilføre 2,5 kg S/daa der man tilførte 30 kg eller mer N til enda. I det samme forsøket oppdaget de et høyere innhold av renprotein med gjødsling av S (Gierus et al., 2005). Andre forsøk har også funnet økt S-innhold i graset og økte avlinger med varierende mengder S (Murphy & Boggan, 1988; Ryant & Skládanka, 2009).

Med bakgrunn i dette ønsket jeg å finne mer ut av hvordan S-tilførsel fra både mineralgjødsel og husdyrgjødsel påvirker fôrkvaliteten og forholdene i jorda på timoteibasert eng i Norge. Min studie har følgende problemstilling og forsøksspørsmål:

Er det mulig å øke råproteininnholdet i grovfôr, hovedsakelig bestående av timotei, med økt gjødsling med nitrogen og svovel?

Forsøksspørsmål:

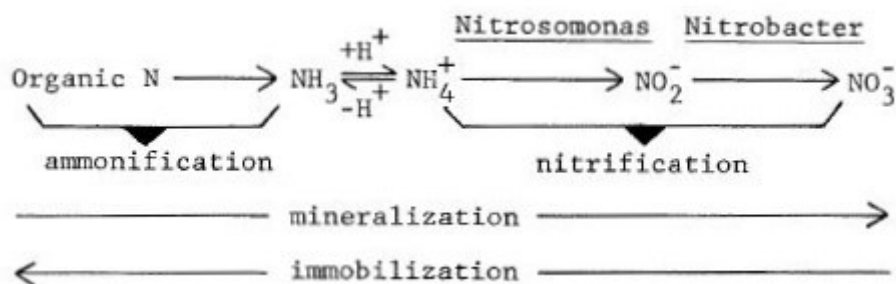
1. Viser analyser av plantetilgjengelig svovel og utbyttbar svovel-sulfat i jorda endringer avhengig av svoveltilførsel?
2. Gir gjødslingen endringer i jordas innhold av plantenæringsstoffer, pH, og organisk materiale?
3. Er det en sammenheng mellom mengden S i jorda og graset etter økt S-tilførsel?
4. Hvordan påvirker gjødselmengden av N og S avling og næringsverdi i graset, og hvordan blir N/S-forholdet?
5. Gir husdyrgjødsel nok plantetilgjengelig S til en høy avling av timoteibasert eng?

2. Litteraturgjennomgang

2.1 Nitrogen og Svovel i jord

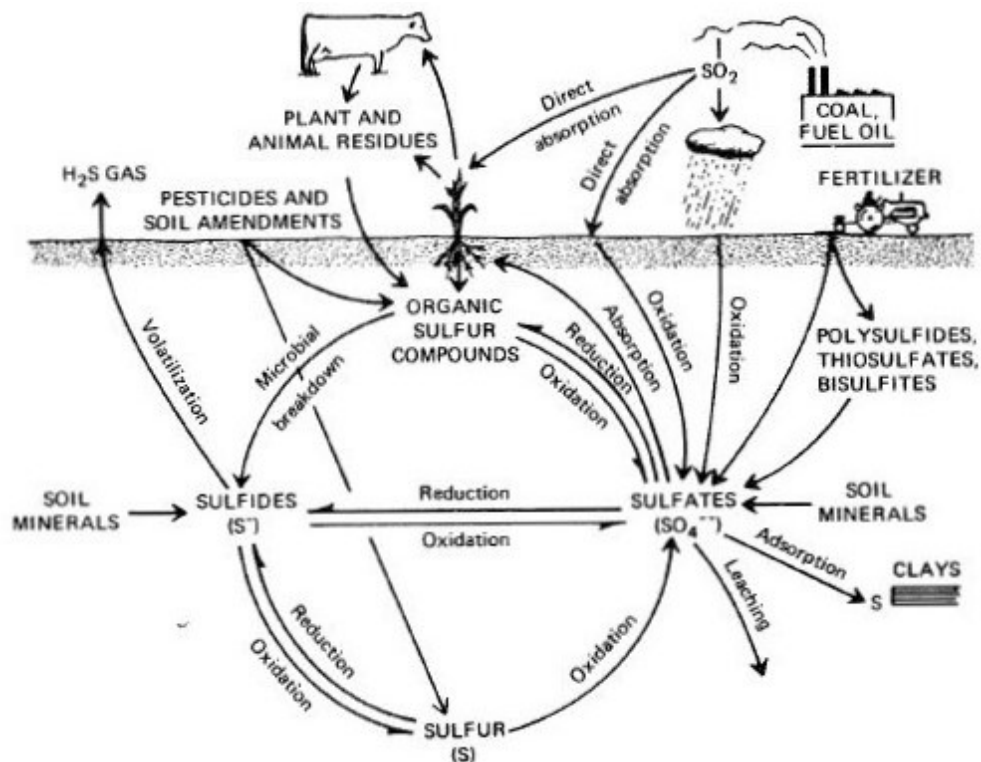
Den naturlige hovedkilden for både N og S i jord er det organiske materialet (OM), og mangel forekommer derfor oftest på lette jordarter, som sand, med lite OM. I jord foreligger N og S også hovedsakelig i organisk form (95 - 99 %), og bare en liten andel er uorganisk. De organiske formene må mineraliseres, dvs. omdannet til mineralformene ammonium (NH_4^+), nitrat (NO_3^-) og sulfat (SO_4^{2-}), for å bli plantetilgjengelige. Nitrat og SO_4^{2-} vaskes lett ut siden de er anioner (negativt ladde ioner) som ikke adsorberes til de negativt ladde kolloidoverflatene som vanligvis dominerer i jord, knyttet til leirmineraler, oksider og organisk materiale. Nitrat og SO_4^{2-} i jord er også lett tilgjengelig for planterøtter. Ammonium, som er et kation (positivt ladd ion), bindes til de negativt ladde kolloidoverflatene, men kan ved kationbytte lett bli plantetilgjengelig, men er mindre utsatt for utvasking. Ammonium kan også fikseres i leirpartikler, dvs. legger seg imellom sjiktpakker i noen leirmineraler, og blir dermed tungt tilgjengelig for planter (Weil & Brady, 2017; Whitehead, 1995).

For at N skal mineraliseres fra det organiske materialet må mikroorganismer først bryte ned N-forbindelsene til enkle aminosyrer eller aminogrupeer. Disse blir så videre hydrolysert til bl.a. NH_4^+ , som igjen kan oksideres (nitrifikasjon) til nitritt (NO_2^-) og videre til NO_3^- (Figur 1). Denne prosessen skjer med enzymer fra hovedsakelig mikroorganismer, men også fra røtter eller større organismer i jorda. Mineralisering kan forsinkes ved immobilisering. Immobilisering skjer fordi mikroorganismene trenger minst 1g N for hvert 24g C som finnes i det organiske materialet de bryter ned. Derfor vil immobilisering vanligvis foregå når C/N-forholdet i nedbrytningsproduktet er et sted over 20 - 25. Hvis C/N-forholdet er over dette vil mikroorganismene selv bruke N for å dekke deres behovet i metabolismen, og hindrer da videre mineralisering (Weil & Brady, 2017).



Figur 1: Forenklet illustrasjon av mineralisering og immobilisering av N i jord (Stevenson, 1986, s. 156).

I et agronomisk planteproduksjonssystem har S og N ganske like kretsløp i det at begge kan komme inn i systemet via nedbør (fra bl.a. industri og biltrafikk), som mineralgjødsel eller naturlig fra OM i jorda. Svovelets kretsløp er vist i figur 2. I det organiske materiale i jorda foreligge S enten som: I. bundet direkte til C, eller II. når S ikke er direkte bundet til C, men har O og N imellom. Karbonbundet S kan være f.eks. svovelholdige aminosyrer og disulfider, mens den andre gruppen består av mye sulfatestere som lettere lar seg mineralisere (Weil & Brady, 2017). Forsøk har imidlertid vist at disse esterene likevel kan være noe beskyttet fra mineralisering da leirmineraler generelt har en beskyttende virkning mot mikrobiell nedbrytning, og at denne beskyttelsen ser ut til å være større for S enn for C og N. Inkuberingsforsøk viste at organisk S lå beskyttet og fysisk utilgjengelig for mikroorganismene inne i jordaggregater, og mineralisering skjer da svært sakte (Jez, 2008).



Figur 2: Illustrasjon av Svovel-kretsløpet. (Brady, 1974).

For at det skal skje en mineralisering av både organisk N og -S må forholdene ligge til rette for mikrobiell aktivitet. Dvs. mikroorganismene må trives, og det gjør de ved passe fuktighet, lufttilgang, temperatur og pH opp mot 7. Mineraliseringen øker vanligvis når temperaturen stiger fra 10 til 35°C, og synker deretter ved høyere temperaturer (Stevenson, 1986; Weil & Brady, 2017). Som for N har forholdet mellom C og S i det organiske materialet betydning for om det skjer en netto mineralisering eller immobilisering. Grenseverdien for C/S mellom mineralisering og immobilisering varierer i litteraturen. I følge Weil og Brady (2017) må C/S-

forholdet være et sted under 300-400 for at det skal skje en mineralisering, mens Eriksen (Eriksen, 2008) mener forholdet må være under 200. Hvis man også trekker inn N, har forsøk vist at det gjennomsnittlige forholdet mellom C, N og S i jord er rundt 85/7/1, men at forholdet vil variere etter jordart (Weil & Brady, 2017).

Mineraliseringen skjer biologisk ved hjelp av mikroorganismene, men mer spesifikt, også biokjemisk vha. enzymer. Karbonbundet S i jorda mineraliseres mikrobielt, mens den andre organiske S-formen, f.eks. sulfat-estere, kan mineraliseres mer biokjemisk vha. enzymet Sulfatase som hydrolyserer sulfat-estere. Sulfatase-enzymet aktiveres også dersom det er mangel på uorganisk S til mikroorganismene ved nedbrytning av OM (Schoenau & Malhi, 2008).

Uorganisk S i jorda kan forekomme med oksidasjonsnummer fra -2 (sulfid), i redusert form, og helt til +6 (sulfat), oksidert. I landbruksjord forekommer uorganisk S mest som SO_4^{2-} . I likhet med NO_3^- er nivåene av SO_4^{2-} i jorda funnet å være lave gjennom vinteren og på våren pga. avrenning og for lave temperaturer til ny mineralisering (Eriksen, 2008). Jordanalyser av S-innhold i jorda varierer mye, og det er også store forskjeller mellom regioner. Stevenson (1986) mener at totalt S-innhold i landbruksjord i plogsjiktet kan være alt fra 0,112 – 22 kg/daa i fuktig og delvis fuktige klima, og at det i hovedsak foreligger i organiske former (Stevenson, 1986).

I et forsøk vest i USA fant de at totalinnholdet av S varierte med grad av jordbearbeiding. I uforstyrret jord fant de et totalinnhold av S i de øverste 15 cm på 244 og 246 mg/kg jord. I jord som var kontinuerlig jordbearbeidet var innholdet 168 mg/kg jord. Siden mye S foreligger i det organiske materialet og pløying deler opp OM, noe som kan gi større nedbrytning og mineralisering, vil pløying kunne gi mer SO_4^{2-} som tas opp av plantene eller vaskes ut av jorda (Solomon et al., 2011).

2.2 Nitrogen og Svovel i planter

Nitrogen tas opp i planter hovedsakelig som NO_3^- , men også som NH_4^+ . Nitrogen virker i mange prosesser i planta, og friskt bladmateriale inneholder generelt ca. 2 - 4 % N, hovedsakelig som proteiner hvor enzymet rubisko dominerer (Hopkins, 1995). I gras har man funnet at proteinene består av ca. 16 % N. For å finne andelen råproteiner, som innbefatter både renprotein og andre nitrogenholdige komponenter, kan man derfor multiplisere andelen N i planta med 6,25. I gras og kløvereng kan 70 – 90 % av totalt N-innhold i avlingen være som renprotein, mens resterende 10 – 30% kan være aminosyrer, peptider og amider

(Whitehead, 1995). Aminosyrene inneholder mye N og er viktige byggesteiner i proteiner, og i enzymer som inngår i en rekke biologiske prosesser i planta, slik som rubisko. Nitrogen inngår også i klorofyll samt i nukleinsyrer som er viktige for å danne DNA og RNA. Nitrogen stimulerer generelt vekst og utvikling av røtter, og er også nødvendig for å kunne bruke karbohydrater innad i planten (Weil & Brady, 2017).

Etter at planterøttene har tatt opp uorganisk N og S må de assimileres, altså omdannes til organiske forbindelser. Assimilering av N og S er blant de mest energikrevende reaksjonene i levende organismer (Taiz & Zeiger, 2010). Absorbent NO_3^- i rota kan assimileres på stedet eller translokteres til bladene. Først blir NO_3^- redusert til NO_2^- i cytosol så til NH_4^+ og amin (NH_2) i kloroplaster eller rotplastider. Hvis reduksjonen stopper opp kan det bli akkumulering av giftig NO_2^- . Molybden (Mo) er en viktig katalysator i NO_3^- reduksjonen, og Mo-mangel kan derfor gi en slik opphopning av NO_2^- . Pga. flere reduksjonstrinn vil opptak av NO_3^- koste planta mer energi enn opptak av NH_4^+ . En akkumulering av NH_4^+ kan også være giftig og forstyrre ATP-produksjonen. Dette er vanligvis ikke et problem fordi NH_4^+ går videre inn i en syntese av glutamin og glutamat som kan bygges inn i ulike amider og aminosyrer, som igjen kan gå inn i ulike molekyler som proteiner, nukleinsyrer, hormoner og klorofyll (Hopkins, 1995; Taiz & Zeiger, 2010; Whitehead, 1995).

Dersom opptaket av N er større enn behovet i planta, så kan overskuddsnitrogen akkumuleres som nitrat og amider (Whitehead, 1995). Nitrogen er svært bevegelig i planta og kan bli brukt flere ganger på ulike steder og omdannes til ulike former. Nitrogen kan f.eks. transporteres fra døende blader til nye skudd, dvs. det stedet i planta som har høyest behov for N (Hay & Porter, 2006; Whitehead, 1995). Innholdet og fordelingen av N i planta endrer seg med vekststadium. Skudd og blader som kan drive fotosyntese blir prioritert. I bladplatene er det ofte dobbelt så mye N som i bladstilk og internodier. Senere i vekststadiet vil planta reprodusere seg og da blir N fra bladene forflyttet til frøet. Totalinnholdet av N i planta i forhold til biomasse vil også synke utover i vekststadiet fordi innholdet av cellevegger i stengel øker, mens andelen bladmasse blir mindre i forhold til total biomasse (Whitehead, 1995).

Svovel tas i hovedsak opp av planta som SO_4^{2-} fra jord gjennom røttene, men gjennom spalteåpningene i bladene kan de også ta opp små mengder svoveldioksid (SO_2) fra lufta. Ved høye konsentrasjoner ($> 0,3$ ppm.) av SO_2 blir cellene skadet pga. dannelse av svovelsyre (H_2SO_4) (Weil & Brady, 2017). Hvis tiosulfat ($\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$) er tilgjengelig i jorda kan også denne formen tas opp av planta (Eriksen, 2008). Man finner S i aminosyrene Cystin, Cystein og

Metionin. Svovel er viktig for elektrontransporten i fotosyntesen, nitrogenfiksering, og det inngår i flere vitaminer som Tiamin, Biotin og Pantotensyre (B1). Svovel er også viktig for den sekundære proteinstrukturen som gjør proteiner stabile. Måten det skjer er at S danner disulfidbånd mellom to aminosyrer av cystein slik at peptidkjedene bindes sammen og danner sekundærstruktur i proteinet. En slik disulfidbinding kan skje ved oksidering av to sulfhydrylgrupper (-SH), som man finner i f.eks. proteinet ferredoksin som er svært viktig i fotosyntesen. Det er ofte i -SH-gruppene de katalytiske reaksjonene i enzymer skjer. I motsetning til N er ikke S mobilt i planta (Hopkins, 1995).

Når SO_4^{2-} er tatt opp av planterota er det svært stabilt og må aktiveres før det skjer noen reaksjoner. Sulfat går gjennom en rekke reduserende reaksjoner, først til sulfitt (SO_3^{2-}), så sulfid (S^{2-}) og til slutt aminosyren cystein og acetat. Sulfat kan assimileres i rota, men blir som regel sendt til bladene. Dette er nok fordi det her finnes redusert ferredoksin fra fotosyntesen, og serin som stimulerer til O-acetylserin som trengs i reduksjonsprosessen. Cystein blir videre satt sammen med aminosyrene glycin og glutamat til redusert glutation som kan sendes rundt i planta til proteinsyntese i rot- eller skuddvekstpunkt. Glutation fungerer også som et signal til sulfatabsorpsjon i rota. Den andre viktige S-holdige aminosyren er Metionin som syntetiseres av cystein i plastider (Taiz & Zeiger, 2010).

2.3 Drøvtyggenes krav til N og S

I motsetning til en-magede dyr, som trenger en god aminosyresammensetning i fôrrasjonen, er drøvtyggere i stand til å syntetisere flere av aminosyrene selv. Dette skyldes drøvtyggenes vomfunksjon hvor mikrober syntetiseres i vom og fermenterer fôret. En andel av disse mikrobene vil forlate vomma sammen med fôret for å bli brutt ned og absorbert i tarm. Disse mikrobene inngår i betegnelsen aminosyrer absorbert i tarm (AAT) og er en viktig proteinkilde. For å kunne syntetisere mikrobielt protein er det viktig med nok N. I tillegg er S-tilførsel viktig for å danne aminosyrene Metionin og Cystein (Gjefsen, 2020; Søgaard et al., 2003). På samme måte som mikroorganismene i jorda trenger et balansert forhold, vil også mikrobene i vomma trenge en viss mengde S i forhold til N for å skaffe seg nok energi. Martinussen et al. (2018) sier N/S-forholdet i drøvtyggerfôret er optimalt på 13, mens Hvelplund & Nørgaard (2003) sier det burde være 15.

Drøvtyggere kan ta opp både organisk og uorganisk N og S, og begge stoffene kan gjenbrukes i vomma gjennom resirkulering i spyttet. Ikke alt av S tilført i fôret vil bli tatt opp i vomma, og forsøk har vist at andelen som går rett igjennom dyret øker med 5% hvis molybden ble

tilsatt fôret (Underwood & Suttle, 1999). En av de viktige aminosyrene er metionin. Det kan komme direkte fra fôret eller syntetiseres i vomma. Metionin er en essensiell aminosyre med -SH-gruppe som kan overføres direkte til andre forbindelser eller lett oksideres til sulfat. Proteiner med mange SH-grupper har også en beskyttende funksjon mot tungmetaller i dyret siden de virker som selen-transportører (Hvelplund & Nørgaard, 2003).

Svovel har også andre viktige funksjoner i dyret da det inngår i vitaminene Tiamin og Biotin, og som bestanddel av strukturelle vev som muskler, bindevev, brusk og knokler. Det inngår også i stoffet heparin som har en antikoagulerende effekt i blod og vev. Det er også viktig for strukturen til alle enzymer som nevnt tidligere, og S har en funksjon i reguleringen av væskebalansen i dyret. Det går også med noe S til melkesyntesen. Kumelk inneholder ca. 0,3 g S pr. liter hvor S opptrer i aminosyrene metionin og cystein, samt litt som taurin og sulfat. Underskudd kan derfor føre til mindre protein i melka. Ved overskudd av N eller S vil dette skilles ut i urinen som hhv. urea eller sulfat (Hvelplund & Nørgaard, 2003).

Hva som er optimalt proteininnhold i fôret vil variere med bl.a. rase, alder, melkeytelse og hvor i laktasjonen de er. I følge Satter & Roffler (1975) trenger lakterende kyr 16 – 17 % råprotein per TS-enhet i første tredjedelen av laktasjonen, og i resterende del av laktasjonen går behovet ned. Leonardi et al. (2003) testet forskjellen mellom to fôrrasjoner på 16 og 18 % råprotein og fant at utskillelsen av urea ble stor ved 18 % råprotein, og konkluderte derfor med at 16 % råprotein av TS var mest optimalt. Hvis det blir for mye protein i forhold til lettfordøyelig energi vil overkuddet gå tapt. Dette kan være belastende for kua og ulønsom bruk av proteinet. Forhøyede nivåer av urea i melken kan være en indikasjon på uutnyttet N (Hvelplund et al., 2003).

2.4 Gjødsling og høstetidspunkt for protein i grovfôr

Faktorer som påvirker mengde avling og proteininnhold i fôret er mange, og en av dem er valg av grasart. I Norge har timotei lenge vært den foretrukne grasarten, sammen med engsvingel og gjerne kløver. Dette fordi de har god vinterherdighet, gir høy avling og har god smakelighet for dyra. Timotei etablerer seg raskt om våren, men siden den samler opplagsnæring i de nederste nodiene (corner), vil den bruke lang tid på gjenvekst. Dette gjør den uegnet til et intensivt høsteregime (Bjørnå, 2015d; Grønnerød, 1992). Engsvingel etablerer seg saktere og har litt dårligere smakelighet og vinterherdighet enn timotei. Engsvingel er et bladgras og vokser derimot raskt etter slått og tåler intensiv drift bedre. Disse to artene komplimenterer derfor hverandre godt (Bjørnå, 2015a; Grønnerød, 1992).

Nitrogenfikserende kløver har høyere krav til jordforhold og kan utgå ved sein slått, men arten er rik på proteiner og mineraler (Bjørnå, 2015c; Grønnerød, 1992). Flere engfrøblandinger inneholder også flerårig raigras. Arten tåler intensiv drift og har en god fôrverdi, men den tåler ikke vårfrost og har mindre vinterherdighet enn timotei (Bjørnå, 2015b).

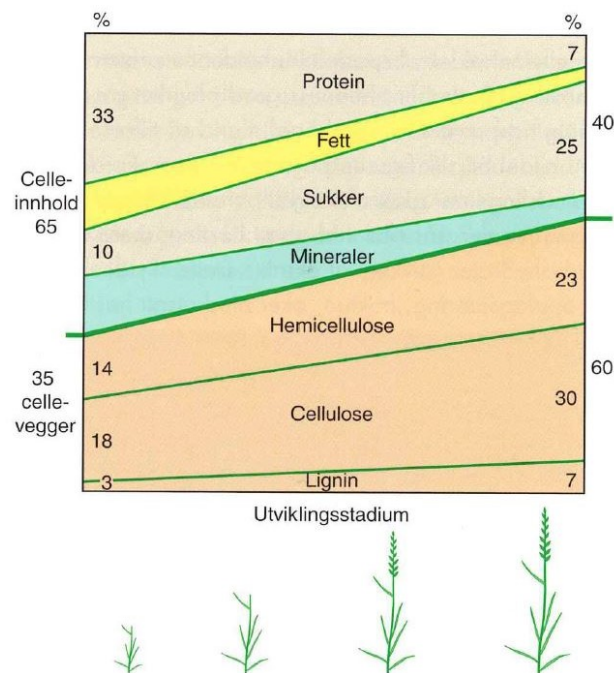
Gjødselstrategi har mye å si for mengde avling og proteininnhold. Mye av jordas NO_3^- og SO_4^{2-} kan være vasket ut pga. mye nedbør om høsten og snøsmelting om våren, eller lite frost om vinteren. Om våren er det lave temperaturer som begrenser den biologiske mineraliseringen. Nitrogen er ofte den begrensende faktoren for vekst blant næringsstoffene. Nok N på våren er svært viktig for rotutvikling og for at graset kommer raskt i gang med veksten. Mange har også HG på lager de må få tømt på våren. Fordelen med å spre denne på våren er at organisk N og S får tid til å bli mineralisert og plantetilgjengelig gjennom vekstsesongen. Hvor tidlig HG kan spres blir begrenset av fysiske forhold for å minske kjøreskader på skiftet, og lover for å minske avrenning (Forskrift om husdyrgjødsel, 2002, §7; Weil & Brady, 2017).

Flere forsøk har vist at økt N-tilførsel gir økt proteininnhold i graset (Lunnan & Nesheim, 2002; Sheaffer et al., 1998; Syrjälä-Qvist et al., 1984). I et to-slåttsystem på eng med dominerende timotei i Norge fant Lunnan og Nesheim (2002) ut at det var en positiv sammenheng med økt N-tilførsel og økt råproteininnhold. Syrjälä-Qvist et al. (1984) fant også at økende N-tilførsel gav økende råproteininnhold på andreslått av timotei i Finland. De tilførte 4-, 8- og 12 kg N/daa og fikk et råproteininnhold på hhv. 14,8-, 18,4- og 22,1 % av TS ved høsting rundt skyting (Syrjälä-Qvist et al., 1984).

I tillegg til optimal gjødsling er også slåttetidspunkt viktig for å oppnå et høyt proteininnhold i graset. Det totale proteininnholdet i graset vil synke i forhold til total biomasse gjennom utviklingsstadiene. Forholdet mellom blad/stengel i grasplanta vil endre seg med vekststadium. Innholdet i blader, celleinnholdet, er i hovedsak proteiner, mineraler, litt lipider og sukker (Figur 3). Stengel og bladslire i planta består mest av cellevegger, som vil si cellulose, hemicellulose og litt lignin. I et forsøk i Minnesota i 1997 fant de at råproteininnholdet i timotei var 130 g per kg TS i bladene, mens stengel og bladslire inneholdt 70 g råprotein per kg TS (Hopkins, 1995; Sheaffer et al., 1998).

Komponentene i cellevegger er nødvendige for å stive av planta slik at den kan holde seg oppreist. Jo lengre planta blir, jo mer avstivning trenger den. Celleinnhold er lett fordøyelig, og cellulose og hemicellulose er strukturelle karbohydrater som kan fordøyes, men i mindre

grad enn celleinnholdet. Lignin er lite nedbrytbart. Graden av fordøyelighet på de strukturelle karbohydratene i fôret vil avhenge av i hvilken grad de er lignifisert. Det vil si hvor mye av cellulosen og hemicellulosen som er innkapslet av lignin og dermed beskyttet mot mikrobiell nedbrytning. Disse celleveggskomponentene betegnes som nøytralt løselig fiber (NDF). Andelen av fôret som er fordøyelig henger derfor sammen med innhold og sammensetning av NDF. Fordøyeligheten av fôret er viktig for å vite hvor mye energi og næringsstoffer dyret faktisk får utnyttet. Dette kan måles ved fordøyelighetsforsøk eller på laboratoriet, og oppgis gjerne i % av TS eller organisk stoff (Hopkins, 1995; McDonald et al., 2022).



Figur 3: Illustrasjon på fordeling og innhold i planteceller hos en grasplante i utvikling (Mo, 2005, S. 99).

Forsøk av Sheaffer et al., (1998) viste at drøvtyggerne fordøyde 685 g/kg TS av bladene, og 618 g/kg TS av stenglene (målt in vitro). Fôr med mye blader vil derfor være mer fordøyelig enn et fôr med mye stengler og cellevegger. Siden blad/stengel-forholdet øker med økende utviklingsstadium vil også fordøyelighet henge sammen med utviklingsstadium. Fordøyeligheten i gras kan være 85 % i unge blader på våren og helt nede i 45 % på vinteren (McDonald et al., 2022). I følge Hey & Porter oppnår man høyest mulig fordøyelig TS-avling rundt skyting (Hay & Porter, 2006). McDonald et al. (1991) mener at fordøyeligheten ikke er helt lineær med utviklingsstadium, men at forringelsen av fordøyelighet faller jevnt til rundt skyting, og at den plutselig blir mye dårligere etter skyting hos de fleste arter (McDonald et al., 1991). En måte å sikre både høyt proteininnhold og god fordøyelighet på er derfor å høste graset på riktig og forholdsvis tidlig utviklingsstadium før skyting, men vær og klima vil også påvirke.

3. Material og metode

3.1 Forsøksoppsett og sted

Feltforsøket inngår i prosjektet «N-stige i praktisk opplegg med husdyrgjødsel med mer eller mindre svovel» finansiert av Yara Norge og styrt av Norsk Institutt for bioøkonomi (NIBIO), og utført i samarbeid Norsk Landbruksrådgivning (NLR). Formålet med forsøket er først og fremst å teste gjødseleffekt på avling og næringsverdi i timoteibasert eng tilført ulike mengder N og S, kombinert med husdyrgjødsel. Forsøket startet i 2020 og ble avsluttet i 2022. For å undersøke om effektene varierer avhengig av klimaforhold og jordart, ble forsøksfelt anlagt i tre ulike regioner i Norge, nærmere bestemt Leknes i Lofoten, Nordland, (NLR Nord-Norge), Levanger i Trøndelag (NLR Trøndelag) og Fjaler i Vestland (NLR Vest). I 2021 ble det også etablert et felt i Etne, i Vestland (NLR Rogaland).

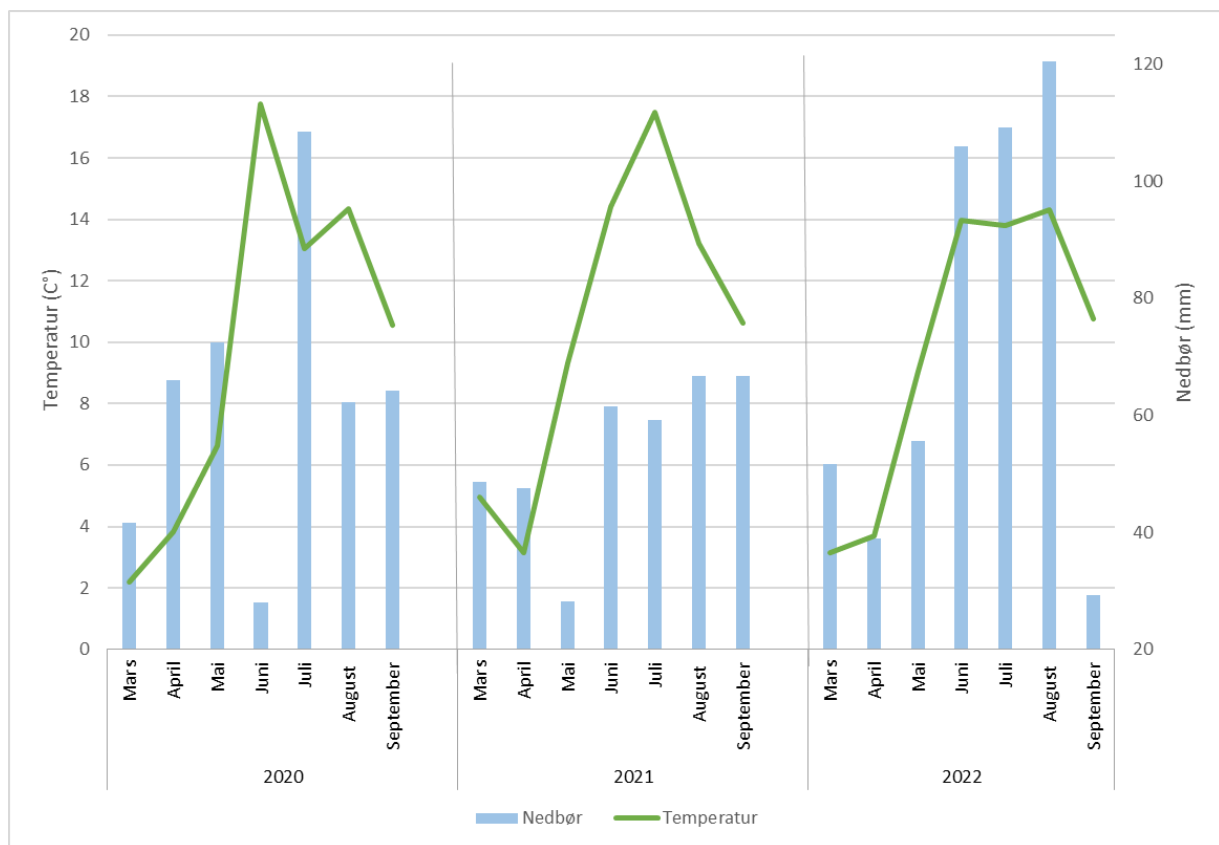
Alle forsøksfeltene ble anlagt i 1.- års eng hvor timotei og engsvingel skulle være dominerende og med en kløverandel på under 10%, men frøblanding varierte mellom feltene. Grasavlingen skulle høstes til produksjon av surfôr hvor det etterstrebtes å oppnå en energikonsentrasjon over 0,85 Fem/kg TS i alle slåtter. Nordland har to slåtter, Trøndelag har to og tre slåtter, mens Vestland har tre slåtter. I denne masteroppgaven er det fokusert på forsøksfeltet i Levanger, Trøndelag, men det er også tatt med noe data fra feltet i Leknes, Nordland, for sammenligning.

Feltet i Levanger ble målt opp av NLR Trøndelag og anlagt i ei 1. års eng med engblanding FK spire surfôr pluss 10 (65% timotei, 15% engsvingel, 10% flerårig raigras og 10% rødkløver). Feltet ble lagt hos en bonde som hadde utstyr for stripespredning av HG, som var en forutsetning for å anlegge forsøket. Forsøksfeltet ble anlagt som et blokkforsøk med 9 behandlingsledd som fikk ulik gjødselbehandling (Tabell 3). Leddene var randomisert med 3 gjentak, og forsøksrutene målte 7 m i lengde og 3 m i bredde med en høsterute på 5,6 m x 1,4 m. Feltet lå i svakt hellende terreng og jordarten på skiftet ble i 2021 vurdert som siltig mellomsand, men basert på kornfordelingsanalyser jeg utførte i 2022 er det en siltig lettleire (Tabell 2).

I denne oppgaven er det også vist noe data fra feltet i Nordland. Jordarten i dette feltet er siltig finsand, og jordanalyseresultater fra Eurofins er vist i tabell 2. Feltet var etablert med FK Spire Surfôr Vintersterk (80% timotei og 20% engsvingel), og med bygg som dekkvekst i 2019. Gjødselbehandlingen er lik den i Trøndelag, men med gjødselmengder tilpasset et toslåttsystem (Tabell 3).

3.2 Været i forsøksperioden

Vekststart i det enkelte år ble beregnet til etter 15. mars for å sikre nok sollys for god vekst. I beregningen var det også satt krav om at bakken var snø- og telefri, og at det hadde vært en periode på minimum tre dager sammenhengende med døgngjennomsnittstemperatur på over 4/5°C, som er minimumstemperatur for vekst hos gras (McDonald et al., 2022). Det er hovedsakelig brukt temperatur- og nedbørsmålinger fra Mære Klimastasjon (23,3 km unna forsøksfeltet), men der data fra Mære manglet er data hentet fra Kvithamar. Temperaturen er målt i 2 m høyde. Vekstavslutning er satt til den 20. september. Klimadata er hentet fra Landbruksmeteorologisk tjeneste fra NIBIO (*Nedlasting av værdata - LandbruksMeteorologisk Tjeneste (LMT)*, u.å.; *VIPS - Varmesum og nedbør*, u.å.).



Figur 4: Gjennomsnittlig temp. (°C) og mengde nedbør (mm) gjennom vekstsesongen hvert år på forsøksfeltet i Levanger med vekststart 18. april 2020, 22. mars 2021 og 17. mars 2022.

For beregning av optimalt slåttetidspunkt ble det brukt varmesum i tillegg til vekststadium. Med varmesum menes summen av døgngjennomsnittstemperatur over 0°C (*VIPS - Varmesum og nedbør*, u.å.). Varmesum til hver slått (Tabell 1) ble beregnet basert på «Varsling Innen Plante Skadegjørere» (*VIPS*) med en basistemperatur på 0°C og Mære som målestasjon. Varmesum er beregnet fra vekststart, som forklart i forrige avsnitt, til 1. slått og videre

mellom hver slått. Til førsteslått ble det målt fenologisk utviklingstrinn ved «mean stage by count» (MSC).

Tabell 1: Oversikt over varmesum (basetemp. 0°C) til hver slått på forsøksfeltet i Levanger.

	2020	2021	2022
1. slått	19 juni: 580	8 juni: 567	9 juni: 557
2. slått	13 aug.: 854	26 juli: 754	22 juli: 624
3. slått	-	20 sept.: 735	9 sept.: 688

3.3 Jordanalyser

I 2021 tok feltverten ut jordprøve fra skiftet i Levanger. I Leknes ble det tatt ut jordprøve i 2020. Begge disse prøvene ble sendt til Eurofins for analyse. 24. september 2022 tok jeg ut jordprøver fra ledd 1, 4, 7 og 9, i tre gjentak på feltet i Levanger. Jordprøvene av de øverste 20 cm ble tatt ut med 9 stikk fordelt over hele ruta. Prøvene ble tørket i åpne esker ved romtemperatur. Prøvene analyserte jeg så på jordkjemilaboratoriet ved MINA, NMBU.

Tabell 2: Jordanalyser fra forsøksfeltene hvor prøven i 2022 viser gjennomsnittlige verdier fra egne jordprøver fra fire ledd. pH (H₂O). «Laktatløselig» P, K, Mg, S, samt sulfat S, alle i mg/100g jord.

Sted	År	pH	Glødetap % TS	Leirinnhold (%)	P- AL	K- AL	Mg- AL	S- AL	Sulfat- S
Levanger	2021	6,6	7,1	5 - 10	10	14			
	2022	6	9,6	18 - 21	9,2	19,5	11,7	7,5	4,6
Leknes	2020	5,7	15,3	5 - 10	14	23	38		

Jordprøvene fra Levanger ble siktet med bruk av en maskevidde på 2 mm (9 mesh). Det ble målt tørrstoff (TS) ved å tørke 5 g jord i tørkeskap på 105°C (± 5°C) i ett døgn. Disse prøvene ble videre brukt til å finne glødetap. De tørkede prøvene ble satt inn i kald ovn, varmet/glødet til 550°C. Etter å ha glødet i noen timer ble prøvene veid. Vekttapet, korrigert for leirinnhold (-2), er OM i prøvene. pH ble målt med elektrode i en suspensjon av 10 g jord og 25 ml deionisert vann som ble ristet og målt dagen etter. For å bestemme jordart ble det tatt to prøver til kornfordelingsanalyse på rute 201 og 304 (Vedlegg 1) hvor hydrometometermetoden ble brukt. Volumvekt på prøvene ble beregnet med tre gjentak av 10 ml jord. For å finne volumvekt ved naturlig lagring av siltjord ble vekten målt på lab (V_{lab}) brukt i følgende formel:

$$Vol_{silt} = 1,230 \times V_{lab} - 0,004$$

Innholdet av «plantetilgjengelig» fosfor (P), kalium (K), magnesium (Mg) og svovel (S) ble målt ved at jord ble ekstrahert med ammoniumlaktatløsning (AL) (2 g jord og 40 ml 0,1M NH₄-laktat + 0,4M eddiksyre ved pH 3,75), og konsentrasjonen i ekstraktet ble målt med Inductively Coupled Plasma (ICP) etter filtrering (Krogstad, 2009). I tillegg ble Sulfat-S-konsentrasjon målt ved at jord ble ekstrahert med kaliumdihydrogenfosfat (5 g jord og 25 ml 0,016M KH₂PO₄) ristet i 1 time. Filtrert og analysert med ICP på bølgelengde 180,73 nm (Zhao & McGrath, 1994).

Jordprøver for bestemmelse av nitrat og ammonium ble tatt som en samleprøve fra alle 3 gjentakene på ledd 1, 4, 7 og 9. Prøvene ble frosset ned umiddelbart etter prøveuttak og analysene ble utført på frosne prøver uten sikting. Jorda ble ekstrahert med kaliumklorid (5 g jord og 25 ml 2M KCl) og analysert med Flow Injection Analysis (FIA) på bølgelengder 540 nm og 640 nm. for hhv nitrat og ammonium (Krogstad, 2009).

3.4 Gjødsling

Husdyrgjødsel ble kjørt ut med stripelegger, og mineralgjødsla ble veid opp (Vedlegg 5) og spredt for hånd, så jevnt som mulig, over hele anleggstrasa (21 m²) på hvert ledd med gjentak (Tabell 3). I Levanger ble det gjødslet til to slåtter i 2020 og tre slåtter i 2021 og 2022, mens det i Lofoten var et to-slåttsystem alle årene. På alle forsøksstedene ble det tilført 3 tonn/daa husdyrgjødsel på våren og 2 tonn/daa etter første slått til alle forsøksleddene med gjentak. Husdyrgjødsel tilført feltet i Levanger hadde innblanding av biorest i 2020, 2021 og i gjødslingen etter førsteslått i 2022. Vårgjødslingen i 2022 ble gjort med husdyrgjødsel uten innblanding av biorest.

Tabell 3 Oversikt over gjødseltype og total mengde gjødsel til forsøksleddene for begge slåttestrategiene.

Ledd	To-slåttsystem	Tre-slåttsystem	Gjødseltype
1	Kun Husdyrgjødsel (HG)	Kun HG	HG (m/uten biorest)
2	HG + 9 kg N + 2S	HG + 11 kg N + 2S	HG + Sulfan
3	HG + 13 kg N + 2S	HG + 17 kg N + 2S	HG + Sulfan
4	HG + 17 kg N + 2S	HG + 23 kg N + 2S	HG + Sulfan
5	HG + 9 kg N + S	HG + 11 kg N + S	HG + Opti NS
6	HG + 13 kg N + S	HG + 17 kg N + S	HG + Opti NS
7	HG + 17 kg N + S	HG + 23 kg N + S	HG + Opti NS
8	HG + 17 kg N + K + S	HG + 23 kg N + K + S	HG + Opti NK
9	HG + 17 kg N	HG + 23 kg N	HG + CAN27-0-0

For å få kjennskap til total mengde tilførte næringsstoffer ble det tatt ut prøver av husdyrgjødsel i Levanger. Det ble tatt ut totalt tre prøver (Vedlegg 3). Først av blandingen med husdyrgjødsel og biorest brukt våren 2020, så av det som ble kjørt ut etter førsteslått i 2020. I 2021 er det antatt at gjødsel har relativt samme innhold som året før. Siste HG-prøve var fra det som ble kjørt ut våren 2022, uten innblanding av biorest. Husdyrgjødsel etter førsteslått i 2022 var med biorest og antatt å være tilsvarende blandingen som ble kjørt ut våren 2020. Prøvene ble sendt inn til Eurofins for analyse av TS%, totalt N-innhold med Kjeldahl-metoden, ammonium-N, og P, K og S med standard metode (SFS-EN 13650:2002). pH ble også målt.

3.5 Høsting og analyser av graset

Ved høsting ble høsterutene (5,6 m x 1,4 m) slått med tohjulstraktor, og avlingen veid ved hjelp av nett og håndholdt vekt. Det ble tatt ut grasprøver på rundt 700 – 1000 g av hvert ledd som så ble veid og tørket i tørkeskap på 60°C i minimum 2 dager. TS % ble målt, og de tørkede prøvene ble sendt videre til analyse med Nær-Infrarød spektroskopi (NIRS) hos NIBIO Særheim, og til kjemiske analyse av mineralinnhold hos Yaras laboratorium i Hannighof, Tyskland. I 2020 ble det sendt inn grasprøver av alle behandlingsleddene med to gjentak, mens i 2021 og 22 ble gjentakene slått sammen slik at det ble én representativ prøve fra hvert behandlingsledd.

NIRS gir et mål på bl.a. PBV og AAT i g/kg TS, samt råprotein, fordøyelighet, NDF, aske, vannløselig karbohydrat, P, Mg, kalsium (Ca) og S i % av TS. Tørkede grasprøver blir hakket og malt opp før de plasseres i NIR-apparatet som sender ut bølgelengder mellom 780 til 2500 nm og måler refleksjonen av lys som ikke blir absorbert av bindingene mellom hydrogen (H), C, O, N og S, som foreligger i det organiske materialet (Blanco & Villarroya, 2002). NIRS krever god kalibrering for å gi nøyaktige og sanne resultater. I dag gir NIRS best prediksjon på protein og NDF i graset, men den er også god på ufordøyelig NDF (iNDF). Bestemmelsene av fordøyelighet og mineralinnhold er derimot mindre sikre. Innholdet av mineraler er vist å ha størst målefeil (Fystro & Lunnan, 2006). Derfor, og også for å få et større spekter av mineraler, ble det i tillegg sendt prøver for kjemiske analyser til Yara i Hanninghof. Der ble Kjeldahl N og TS% målt. Fosfor, K, Mg, S, Ca, Bor (B), Kopper (Cu), Mangan (Mn), Molybden (Mo) og Sink (Zn) ble ekstrahert med salpetersyre (HNO₃) og hydrogenperoksid (H₂O₂) varmet i mikrobølgeovn, så analysert med ICP-OES.

3.6 Statistiske analyser av data

Til håndtering og analyse av data ble det brukt Microsoft Excel versjon 2303 og RStudio 2022.07.1+554 versjon 4.2.3. De statistiske analysene er utført for å finne signifikante forskjeller med 95 % konfidensintervall ($P < 0,05$). Dataene analysert statistisk var uavhengige og er sjekket for normalfordeling.

I Excel er variansanalyse (ANOVA) med en-faktor (behandlingsledd) utført på S-innhold i jord, både for S-AL og Sulfat-S (Figur 5). En-faktormodellen er også utført på innhold av S i graset etter mengde S-tilførsel (Figur 7) og etter behandlingsledd (Figur 8). For å se eventuelle forskjeller på N/S-forholdet mellom ledd (Figur 9) er det også brukt en-faktor ANOVA.

ANOVA to-faktor (behandlingsledd og slåttenummer/år) uten tilbakelegging (uten gjentak) er utført i Excel for å finne forskjell på S-innholdet i graset etter slåttenummer og år (Figur 8). Det er brukt uten tilbakelegging fordi det er ulikt antall gjentak i fôranalysene (NIRS og kjemisk), og Excel krever et balansert datasett for å kjøre ANOVA. Derfor er det brukt gjennomsnittsverdier for hver ledd i analysen.

I Excel er ANOVA to-faktor (behandlingsledd og ulike næringsstoffer) med tilbakelegging (flere gjentak) brukt for å finne forskjell mellom næringsstoffer i jord etter behandlingsledd (Figur 6). Samme metode er brukt for å finne forskjell mellom N- og S-tilførsel på N/S-forholdet i gras (Figur 9), om N- og S-tilførsel hadde effekt på proteininnholdet i gras (Figur 10), og til slutt om det var forskjeller i råproteininnhold etter N- og S-mengde når data fra Levanger og Leknes var slått sammen (Figur 11).

Analyser av avling og N/S-forhold er utført i RStudio. For å finne signifikante forskjeller på avling, TS% og N/S-forhold etter behandlingsledd er det utført en ANOVA en-faktor med funksjonen «aov» for avling, TS % og N/S-forhold. Ved signifikant forskjell ($P < 0,05$) i analysen ble det utført en Post Hoc test med funksjonen «TukeyHSD» for å finne hvilke behandlingsledd som skilte seg fra hverandre.

For å finne sammenhengen mellom S-innhold og råproteininnholdet i graset ble det brukt lineær regresjonsanalyse i Excel (Figur 13). Statistiske analyser på avling i Nordland er utført av Marit Jørgensen i SAS, Proc Glimmix, hvor det også er utført ANOVA.

4. Resultater

4.1 Nitrogen- og svovelregnskap

I tabell 4 er det vist en oversikt over S-strømmen i forsøket gjennom en sesong på de fire leddene det ble tatt egne jordprøver fra i 2022. Alle verdier i tabellen er omregnet til kg/daa. For å se differansen mellom alt av S inn mot alt av S ført bort med graset (kjemiske analyser) er det satt opp totale mengder S inn fra HG-analyser og tilført mineralgjødsel (Vedlegg 5). Denne differansen er også satt opp for 2021, 2022 og 2. slått i 2022 (Tabell 4). Tallene for hele 2022 må man være litt obs på da det ble gjort en feilgjødsling etter andreslått (kap. 5.7), og derfor er det en egen kolonne med data fra kun andreslått. Det er tydelig at det blir ført bort mer S med graset på de to leddene som fikk tilført S (ledd 4 og 7) i forhold til de to leddene som ikke fikk S (1 og 9). Differansen derimot viser at det er et større sprik på hva som ble tilført i forhold til hva som ble ført bort med graset. Denne trenden kan også ses på differansen i de andre årene. Ved å kun se på 2. slått blir verdiene negative på ledd 1 og 9, som kan tyde på for lite tilgang på S i forhold til hva graset tok ut i målingen.

Tabell 4: Svovelregnskap (alt i kg/daa), for de fire leddene det er jordprøver fra, med alt av total-S inn og kjemisk målt S ut med graset på feltet i Levanger for alle tre forsøksår.

Behandlings ledd	2020					2021	2022	2. slått 2022
	S fra HG	S fra mineralgj.	Tot. S inn	S ut med graset	Differanse S inn/ut	Differanse S inn/ut	Differanse S inn/ut	Differanse S inn/ut
9. 23N	1,42	0,00	1,42	0,92	0,50	0,57	1,41	-0,72
1. Kun HG	1,42	0,00	1,42	0,91	0,51	0,64	1,41	-0,78
7. 23N +1 S	1,42	2,45	3,87	1,25	2,62	3,71	4,28	0,39
4. 23N + 2S	1,42	4,47	5,89	1,40	4,49	6,27	5,22	1,27

I tabell 5 ser man et likedann regnskap som for S i tabell 4 hvor HG-analyse av total-N er beregnet mot Kjeldahl-N målt i graset. På «N ut med graset» er det tydelig at leddet med kun HG (ledd 1) har fått tilført minst N. Man kan også se at leddet med mest S (ledd 4) har høyest N i graset i 2020. Andreslått i 2022 viser også negative verdier slik som for S.

Tabell 5: Nitrogenregnskap (alt i kg/daa), for de fire leddene det er jordprøver fra, med alt av total-N inn og kjeldahl-N målt i graset på feltet i Levanger for alle tre forsøksår.

Behandlings ledd	2020					2021	2022	2. slått 2022
	N fra HG	N fra mineralgj.	Tot. N inn	N ut med graset	Differanse inn/ut	Differanse inn/ut	Differanse inn/ut	Differanse inn/ut
1. Kun HG	14,25	0,00	14,25	9,71	4,54	3,42	10,20	-10,62
9. 23N	14,25	23,00	37,25	13,01	24,24	23,34	9,69	-3,25
7. 23N +1 S	14,25	23,00	37,25	12,85	24,40	24,88	12,60	-1,93
4. 23N + 2S	14,25	23,00	37,25	15,13	22,12	24,06	11,94	-2,27

I tabell 6 er utnyttelsesgrad av S, beregnet fra «S ut med graset» i forhold til «Tot. S inn» vist i tabell 4. Ut fra tabellen ser man at utnyttelsesgraden går ned med økende mengde S-tilførsel for alle år. Kolonnen som viser utnyttelsesgraden på 2. slått i 2022 har 220 % virkning, noe som kan ses tilbake i tabell 4 hvor det ble tilført mindre S i gjødslingen etter førsteslått enn det graset førte bort i avlingen. Jordanalysene fra høsten 2022 er også vist for å sammenligne utnyttelsesgrad mot hva som ble målt i jorda på høsten. I jorda er S-AL-fraksjonen større på de to leddene som har fått tilført S med mineralgjødsla. På Sulfat-S ser man ingen klare sammenhenger.

Tabell 6: Utnyttelsesgrad (%) av S for hver sesong, og innhold av S (kg/daa) i jorda på høsten 2022 på feltet i Levanger. «2 slåtter 2022» inkluderer gjødsel fra vår- og etter 1. slått med NIR-målinger av graset på 2. slått..

Behandlings ledd	Utnyttelsesgrad av S (%)				Jordprøver 2022 (kg/daa)		
	2020	2021	2. slått 2022	Hele 2022	S-AL	Sulfat-S	Differanse S og Sulfat
9. 23N	64,9	62,0	220,0	51,0	13,3	8,0	5,2
1. Kun HG	64,3	57,1	229,4	51,1	12,4	6,5	5,9
7. 23N +1 S	32,2	20,1	76,6	26,5	14,6	9,4	5,2
4. 23N + 2S	23,8	13,5	49,8	22,1	14,0	8,9	5,2

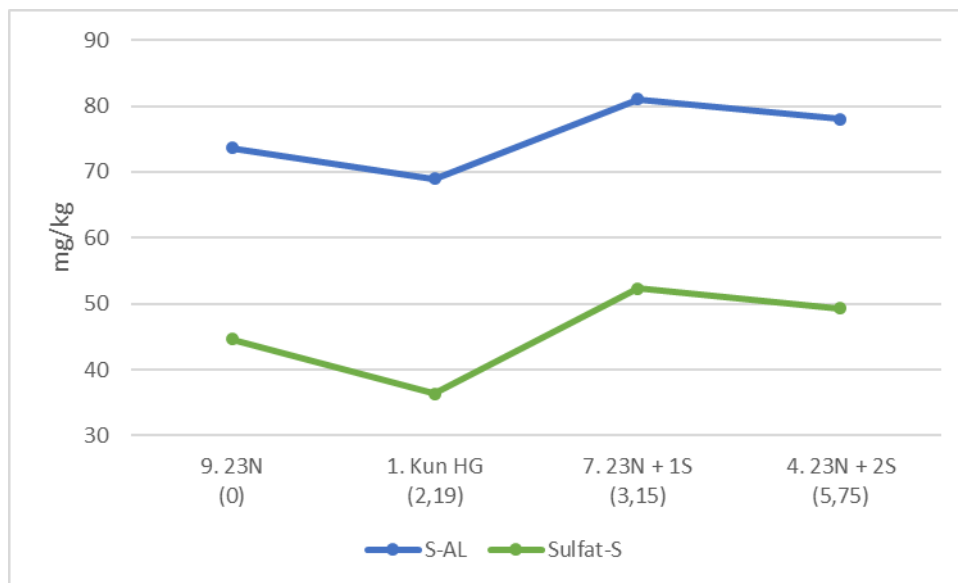
I tabell 7 er utnyttelsesgraden til N beregnet på samme måte som for S i tabell 6. Utnyttelsen av N er høyest på ledd 1, med kun HG for alle år. Jordprøvene av NO₃⁻-N og NH₄⁺-N fra høsten 2022 ser ikke ut til å ha noen sammenheng med behandlingsledd, men nivåene av N i jorda varierer mer enn nivåene av S i jorda (Tabell 6).

Tabell 7: Utnyttelsesgrad (%) av N for hver sesong, og innholdet av N (kg/daa) i jorda på høsten 2022 på feltet i Levanger.

Behandlings ledd	Utnyttelsesgrad av N (%)				Jordprøver 2022 (kg/daa)	
	2020	2021	2. slått 2022	Hele 2022	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺
1. Kun HG	68,2	73,2	308,2	63,1	0,29	0,60
9. 23N	34,9	34,7	125,4	64,2	0,76	0,47
7. 23N +1 S	34,5	30,4	115,1	57,3	0,28	0,54
4. 23N + 2S	40,6	32,7	117,8	59,5	0,41	0,50

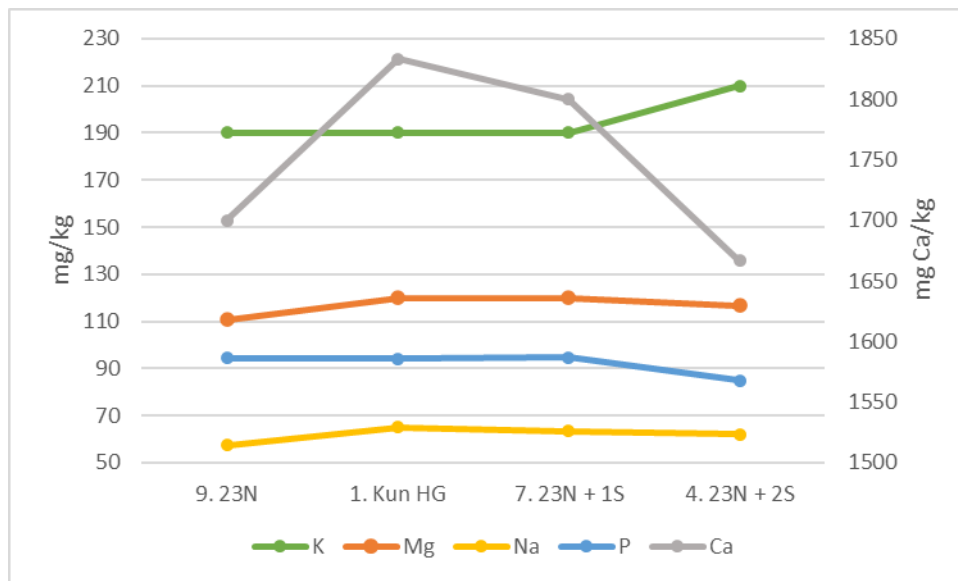
4.2 Effekt av gjødsling på S-innhold i jord

I figur 5 vises det at det er høyest S-innhold (mg/kg) i jorda der det er gjødslet med 3,15 kg S/daa (23N + 1S), og at mengde S i jorda er noe høyere på ledd tilført S. Det er likevel ikke en sammenheng mellom S i jorda og mengde S tilført. Relativt sett for behandlingsledd, er sulfat-S og S-AL like, da sulfat-S inngår i S-AL-fraksjonen som er målt. Det var ingen signifikant effekt av mengde S-tilførsel på S-AL-innhold i jorda ($F_{3,8} = 0,5$, $P = 0,69$), og heller ingen signifikant effekt av S-tilførsel på sulfat-S-innhold i jorda ($F_{3,8} = 1,4$, $P = 0,3$; Figur 5).



Figur 5: Gjennomsnittlig svovelinnhold (mg/kg) i jorda etter mengde S-tilførsel (kg/daa) på feltet i Levanger i 2022.

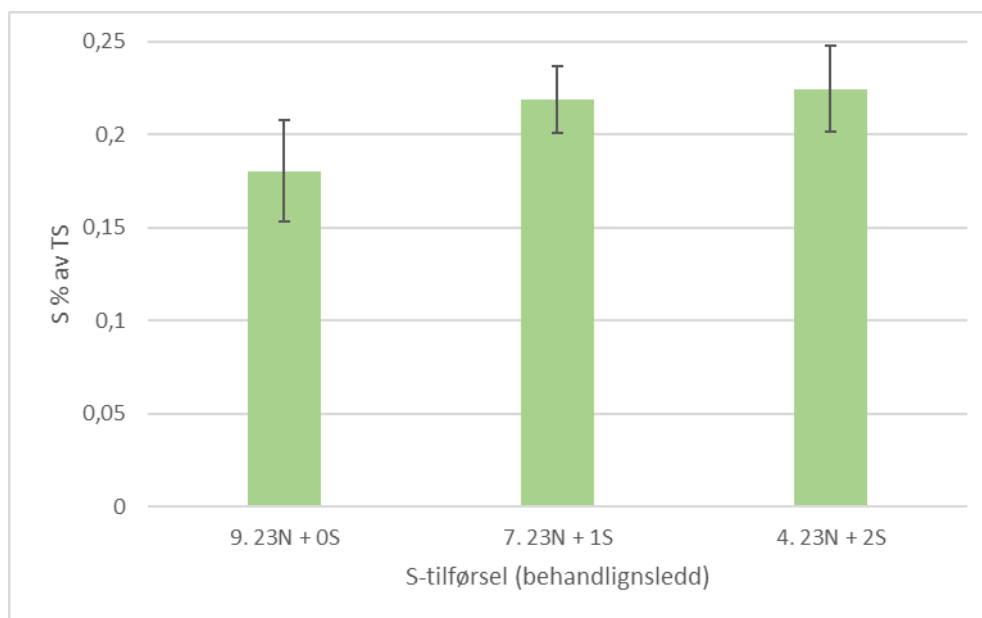
I figur 6 ser man at innholdet av laktatløselig K, Mg, Na og P (mg/kg) i jorda er ganske lik for alle behandlingsledd, men K har litt høyere verdi på behandlingsleddet som fikk 23 kg N + 2S (ledd 4) enn de andre leddene. Innholdet av Ca-AL varierer mer mellom behandlingsledd, men det ser ikke ut til å ha en trend som påvirkes av gjødseltilførsel. Det var ingen signifikant forskjell på innhold av næringsstoffene K, Mg, Na, P og Ca i jorda avhengig av mengde S-tilførsel ($F_{3,40} = 0,25$, $P = 0,86$; Figur 6). Svoveltilførsel hadde heller ingen signifikant effekt på pH ($F_{3,8} = 0,58$, $P = 0,64$) eller glødetap ($F_{3,8} = 0,1$, $P = 0,96$; Tabell 2).



Figur 6: Gjennomsnittlig innhold i jorda av laktatløselig (AL) K, Mg, Na og P på venstre akse og Ca på høyre akse etter mengde S-tilførsel på feltet i Levanger i 2022.

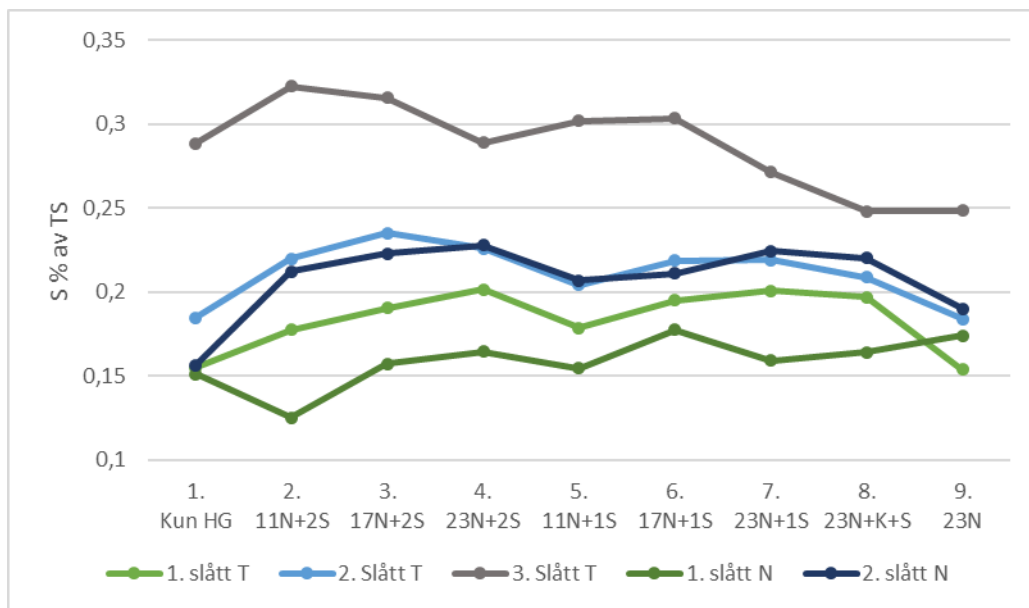
4.3 Effekt av S-tilførsel på S-innhold i graset

I figur 7 kommer det frem at økt S-tilførsel også gir økt S-innhold (% av TS målt kjemisk) i graset i 2020 og 2021 i Levanger ($F_{2,18} = 3,65$, $P = 0,047$; Figur 7).



Figur 7: Gjennomsnittlig ($\pm 2SE$) S i gras (% av TS) målt kjemisk fra sesongen 2020 & 2021 på feltet i Levanger etter mengde S-tilførsel, hvor mengde N-tilførsel var lik.

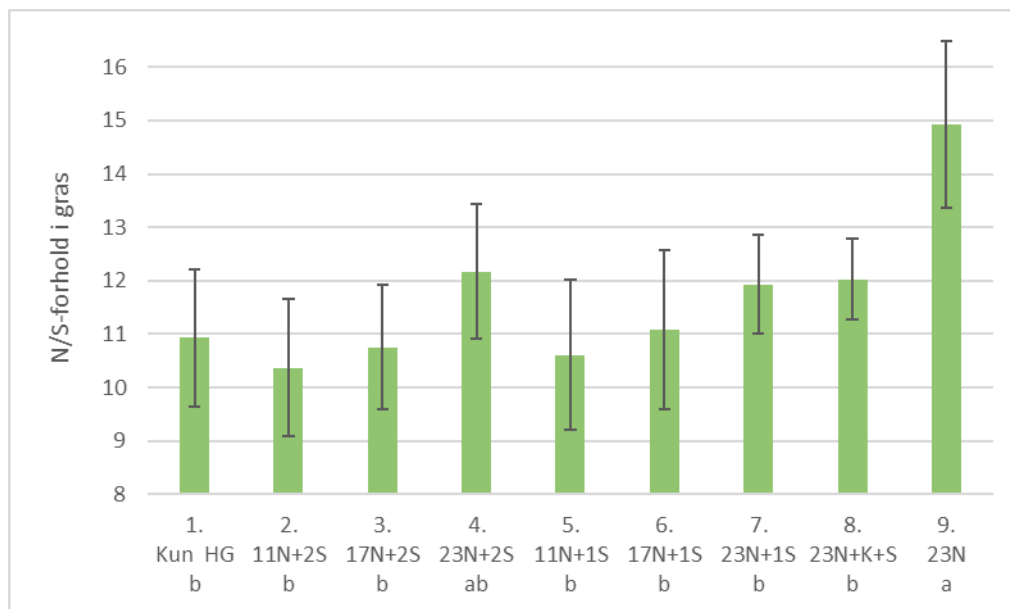
Ut fra figur 8 kan man se at S-innholdet i graset (% av TS) øker med økende slåttenummer både i Levanger og Leknes. Forskjellen er signifikant både i Levanger ($F_{2,16} = 98,4$, $P < 0,001$) og i Leknes ($F_{1,36} = 58$, $P < 0,001$; Figur 8). Innholdet av S i graset økte for hvert år og det er en signifikant forskjell på gjennomsnittlig S-innhold i graset mellom sesongene 2020 og 2021 i Levanger ($F_{1,8} = 59$, $P < 0,001$) og Leknes ($F_{1,8} = 13,9$, $P = 0,006$). Første og andreslått viser en trend på økt S-innhold med økt N-tilførsel. Tredjeslått har motsatt respons på N-tilførsel, og det var ingen signifikant forskjell på S-innhold avhengig av gjødselbehandling hverken i Levanger ($F_{8,54} = 1,15$, $P = 0,35$) eller i Leknes ($F_{8,45} = 0,86$, $P = 0,55$).



Figur 8: Gjennomsnittlig S i gras etter slåttenummer i Levanger (T) og Leknes (N) for de ulike leddene i 2020 og 2021.

4.4 Effekt av gjødsling på N/S-forhold i graset

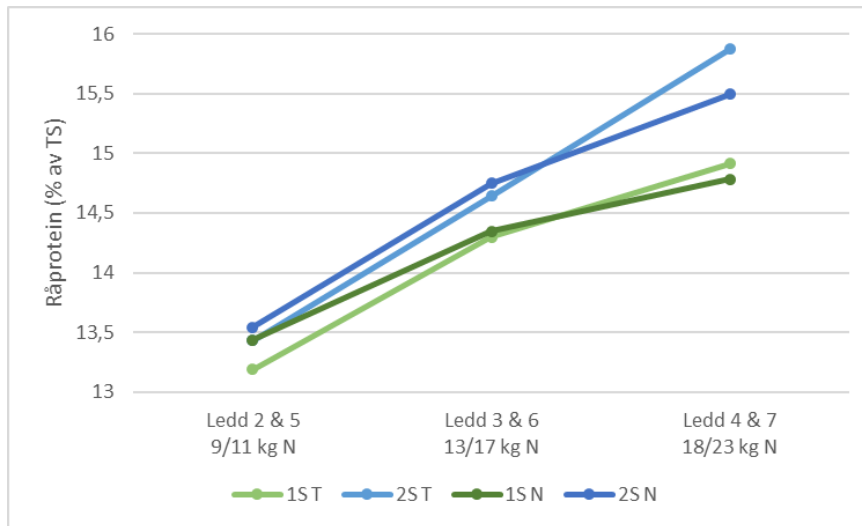
I figur 9 vises det at N/S-forholdet i graset er høyest på leddet som ikke fikk noe S-tilførsel (ledd 9). Det er også en trend i retning av økt N/S-forhold ved økt N-tilførsel. Variansen (2SE) var imidlertid stor for alle ledd. Det var en signifikant forskjell mellom gjødselbehandlingene på N/S-forholdet i graset, basert på tallene for kjemisk analyse av Kjeldahl-N og S % av TS for 2020 og 2021 ($F_{8,54} = 4,9$, $P < 0,001$; Figur 10), men det var ingen signifikant forskjell på N/S-forholdet mellom 1S (Opti-NS-gjødsel) eller 2S (Sulfan-gjødsel) ($F_{1,36} = 0,04$, $P = 0,83$). Trenden for virkning av N-tilførsel var heller ikke signifikant ($F_{1,36} = 3,24$, $P = 0,05$) og samspillseffekten mellom mengde S- og N-gjødsel var heller ikke signifikant ($F_{2,36} = 0,12$, $P = 0,89$).



Figur 9: Gjennomsnittlig ($\pm 2SE$) N/S-forhold i gras etter ulike gjødselbehandling på feltet i Levanger. Ulike bokstaver viser signifikant ulikhet etter Tukey test.

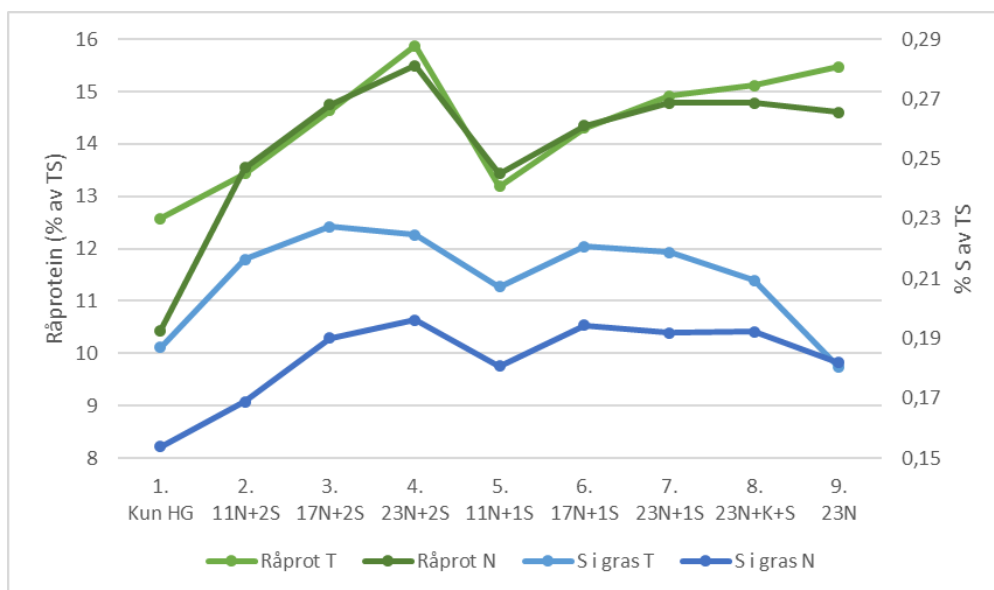
4.5 Effekt av N- og S-tilførsel på protein i graset

I figur 10 framkommer det en tydelig trend i økt råproteininnhold i graset (% av TS) ved økt S-tilførsel, på begge forsøksstedene. Forskjellen i råproteininnhold var størst ved de høye N-mengdene, men det var ingen signifikant effekt av S-tilførsel på råproteininnholdet i graset verken i Levanger ($F_{1,36} = 0,1$, $P = 0,48$) eller i Leknes ($F_{1,42} = 0,27$, $P = 0,6$; Figur 10).



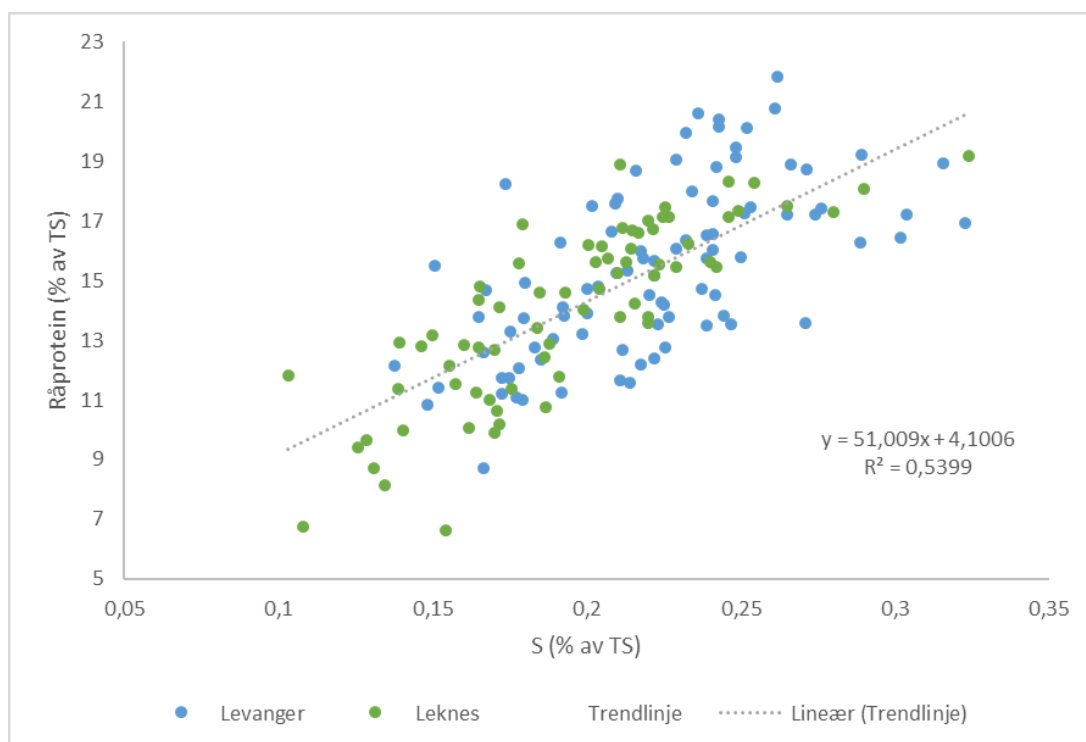
Figur 10: Gjennomsnittlig råprotein i graset etter mengde N- og S-tilførsel i Levanger (T) og Leknes (N) i 2020 og 2021.

Fra figur 11 ser man at både råprotein og S-innholdet i graset øker med økende N-tilførsel i 2020 og 2021, og har agert likt på behandlingsledd, men virkningen er ikke signifikant verken i Levanger ($F_{2,36} = 2,81$, $P = 0,07$) eller i Leknes ($F_{2,42} = 1,52$, $P = 0,23$). Ved å slå sammen dataene for Levanger og Leknes ble imidlertid effekten av økt N-tilførsel på råproteininnhold signifikant ($F_{2,84} = 4,33$, $P = 0,02$; Figur 11).



Figur 11: Gjennomsnittlig innhold av råprotein og S i graset i Levanger (T) og Leknes (N) for hvert ledd i 2020 og 2021.

I figur 12 vises en tydelig sammenheng mellom økt S-innhold i graset og økt råproteininnhold. Ved å se på dataene fra Levanger og Leknes sammen, for alle tre årene, ble det en signifikant sammenheng mellom S-innhold i graset og innholdet av råprotein i graset ($F_{1,160} = 188$, $P < 0,001$; Figur 12). Selv om det er en lav P-verdi viser R^2 -verdien på 0,539 at det er noe spredning i datasettet. Økningen i S-innhold forklarer 54% av variasjonen i grasetts innhold av råprotein.



Figur 12: Sammenhengen mellom innholdet av svovel (% av TS) og råprotein (% av TS) i graset fra Levanger og Leknes i 2020, 2021 & 2022.

4.6 Effekt av N- og S-tilførsel på avling og fôrkvalitet

I tabell 8 til 10 er det vist en oversikt over avlingsmengde (kg TS/daa) og TS % på feltet i Levanger. Avlingsmengden og TS % i 2022 er generelt lavere enn i 2020 og 2021, mens totalavling og TS % for 2020 og 2021 var ganske lik. Gjødning hadde ingen signifikant effekt på avlingen (kg TS/daa) på feltet i Levanger, med unntak av tredjeslått i 2021. Gjødning gav signifikant utslag i tredjeslått 2021 på avling ($F_{8,18} = 3,28$, $P = 0,017$), og på TS% ($F_{8,18} = 3,14$, $P = 0,021$; Tabell 9).

Tabell 8: Gjennomsnittlig TS-avling (kg/daa) og TS % for hvert ledd og slått (H1 = 1. slått osv.) på feltet i Levanger i 2020. Signifikans P viser P-verdi (med unik bokstav i aktuell gruppe) eller ns (ingen signifikans).

Levanger 2020					
Gjødselbehandling (Ledd)	Kg TS/daa			TS %	
	H1	H2	Totalt	H1	H2
1. Kun husdyrgjødsel	661	478	1138	19,8	17,0
2. HG + 9 kg N +2S	676	586	1262	20,5	17,7
3. HG + 13 kg N +2S	612	526	1138	20,1	17,2
4. HG + 18 kg N +2S	650	677	1356	21,2	16,8
5. HG + 9 kg N + S	628	510	1137	19,8	16,5
6. HG + 13 kg N + S	614	619	1234	19,7	16,9
7. HG + 18 kg N + S	658	544	1202	20,5	17,6
8. HG + 18 kg N + K + S	635	600	1234	19,4	15,7
9. HG + 18 kg N	627	558	1185	19,4	16,1
Signifikans P	ns	ns	ns	ns	ns

Tabell 9: Gjennomsnittlig TS-avling (kg/daa) og TS % for hvert ledd og slått (H1 = 1. slått osv.) på feltet i Levanger i 2021. Signifikans P viser P-verdi (med unik bokstav i aktuell gruppe) eller ns (ingen signifikans).

Levanger 2021							
Gjødselbehandling (Ledd)	Kg TS/daa				TS %		
	H1	H2	H3	Totalt	H1	H2	H3
1. Kun husdyrgjødsel	494	467	250 b	1184	18,0 ab	16,9	18,7 ab
2. HG + 11 kg N +2S	527	429	295 ab	1247	18,4 ab	18,4	17,6 ab
3. HG + 17 kg N +2S	513	427	314 ab	1264	18,6 ab	18,6	17,2 ab
4. HG + 23 kg N +2S	488	426	306 ab	1220	18,4 ab	17,7	17,1 ab
5. HG + 11 kg N + S	535	455	327 ab	1317	17,3 b	17,7	19,6 a
6. HG + 17 kg N + S	539	454	337 a	1359	18,6 ab	19,3	18,2 ab
7. HG + 23 kg N + S	475	416	315 ab	1200	19,1 a	18,1	16,4 b
8. HG + 23 kg N + K + S	513	474	333 a	1298	18,0 ab	18,4	16,9 ab
9. HG + 23 kg N	479	498	351 a	1347	17,9 ab	18,5	16,8 ab
Signifikans P	ns	ns	0,017	ns	ns	ns	0,021

Tabell 10: Gjennomsnittlig TS-avling (kg/daa) og TS % for hvert ledd og slått (H1 = 1. slått osv.) på feltet i Levanger i 2022. Signifikans P viser P-verdi (med unik bokstav i aktuell gruppe) eller ns (ingen signifikans).

Levanger 2022							
Gjødselbehandling (Ledd)	Kg TS/daa				TS %		
	H1	H2	H3	Totalt	H1	H2	H3
1. Kun husdyrgjødsel	430	671	795	1011	16,2	14,2	19,5
2. HG + 11 kg N +2S	421	541	777	944	15,2	15,1	17,6
3. HG + 17 kg N +2S	447	608	746	872	15,1	15,6	17,7
4. HG + 23 kg N +2S	380	619	833	993	15,4	15,9	17,7
5. HG + 11 kg N + S	421	676	920	1006	15,4	15,1	17,5
6. HG + 17 kg N + S	383	655	830	968	14,9	13,3	17,0
7. HG + 23 kg N + S	263	736	851	888	14,7	14,6	16,7
8. HG + 23 kg N + K + S	307	805	894	902	15,6	15,1	17,7
9. HG + 23 kg N	375	729	746	964	15,4	14,3	17,2
Signifikans P	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

I tabell 11 til 13 er avlingsmengde (kg TS/daa) og TS % på feltet i Leknes, Nordland, vist. Forsøksfeltet i Leknes hadde generelt høyere TS % enn feltet i Levanger, men avlingsmengde var totalt sett ganske lik mellom forsøksstedene. Det var signifikante forskjeller på avlingsmengde (kg TS/daa) og TS % for alle år etter gjødselbehandling. På totalavling i 2020 var det kun HG (ledd 1) som skilte seg signifikant fra de andre leddene. En trend kan ses mellom økt totalavling med økt S-tilførsel hvert år.

Tabell 11: Gjennomsnittlig TS-avling (kg/daa) og TS % for hvert ledd og slått (H1 = 1. slått osv.) i Leknes, 2020. Signifikans P viser P-verdi (med unik bokstav i aktuell gruppe) eller ns (ingen signifikans).

Leknes 2020					
Gjødselbehandling (Ledd)	Kg TS/daa			TS %	
	H1	H2	Totalt	H1	H2
1. Kun husdyrgjødsel	641	292 b	933 b	36,1 a	20,1
2. HG + 9 kg N +2S	699	622 a	1321 a	31,9 b	20,2
3. HG + 13 kg N +2S	696	655 a	1351 a	31,4 b	20,7
4. HG + 18 kg N +2S	727	698 a	1425 a	30,6 b	21,2
5. HG + 9 kg N + S	705	531 ab	1236 a	29,6 b	20,9
6. HG + 13 kg N + S	627	679 a	1306 a	30,6 b	21,4
7. HG + 18 kg N + S	744	661 a	1405 a	29,9 b	18,6
8. HG + 18 kg N + K + S	797	553 ab	1349 a	29,3 b	20,1
9. HG + 18 kg N	735	665 a	1400 a	31,4 b	21,7
Signifikans P	ns	0,006	< 0,001	0,001	ns

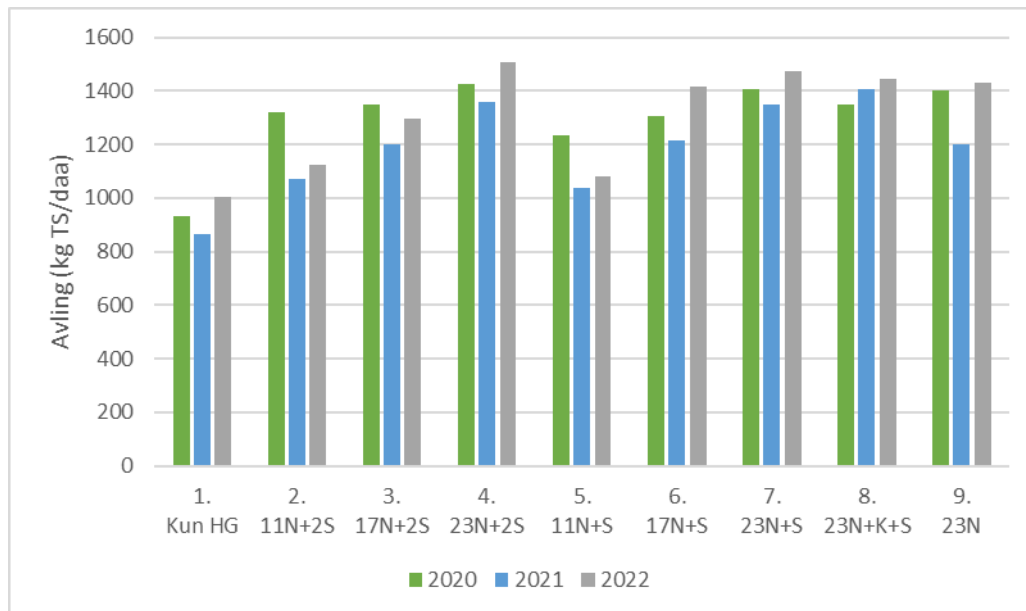
Tabell 12: Gjennomsnittlig TS-avling (kg/daa) og TS % for hvert ledd og slått (H1 = 1. slått osv.) i Leknes, 2021. Signifikans P viser P-verdi (med unik bokstav i aktuell gruppe) eller ns (ingen signifikans).

Leknes 2021					
Gjødselbehandling (Ledd)	Kg TS/daa			TS %	
	H1	H2	Totalt	H1	H2
1. Kun husdyrgjødsel	533 c	330 b	863 c	28,8	18,4 ab
2. HG + 9 kg N +2S	586 bc	486 ab	1073 bc	28,2	18,7 ab
3. HG + 13 kg N +2S	710 abc	488 ab	1198 ab	26,8	18,1 ab
4. HG + 18 kg N +2S	801 a	558 a	1359 a	25,6	16,2 b
5. HG + 9 kg N + S	542 bc	496 ab	1037 bc	26,2	18,8 ab
6. HG + 13 kg N + S	734 abc	479 ab	1213 ab	27,6	17,9 ab
7. HG + 18 kg N + S	743 ab	607 a	1351 a	27,3	19,2 a
8. HG + 18 kg N + K + S	736 abc	671 a	1408 a	26,0	17,8 ab
9. HG + 18 kg N	716 abc	483 ab	1199 ab	26,8	18,4 ab
Signifikans P	0,002	<0,001	<0,001	ns	0,046

Tabell 13: Gjennomsnittlig TS-avling (kg/daa) og TS % for hvert ledd og slått (H1 = 1. slått osv.) i Leknes, 2022. Signifikans P viser P-verdi (med unik bokstav i aktuell gruppe) eller ns (ingen signifikans).

Leknes 2022					
Gjødselbehandling (Ledd)	Kg TS/daa			TS %	
	H1	H2	Totalt	H1	H2
1. Kun husdyrgjødsel	630 c	373	1003 c	26,8	14,8
2. HG + 9 kg N +2S	698 bc	426	1124 bc	27,4	14,7
3. HG + 13 kg N +2S	874 ab	424	1298 abc	28,0	14,3
4. HG + 18 kg N +2S	967 a	538	1505 a	27,3	14,4
5. HG + 9 kg N + S	705 bc	377	1081 c	27,6	12,4
6. HG + 13 kg N + S	908 a	508	1416 ab	27,6	15,7
7. HG + 18 kg N + S	913 a	558	1471 a	27,5	15,0
8. HG + 18 kg N + K + S	930 a	516	1446 a	27,8	15,6
9. HG + 18 kg N	884 ab	547	1431 a	27,1	14,8
Signifikans P	<0,001	0,036	<0,001	ns	ns

I figur 13 ser man gjennomsnittlig totalavling (kg TS/daa) basert på tallene fra tabellene 11 til 13 fra feltet i Leknes. En trend hvor økt N-tilførsel gir økt avling for ledd 1 til 4, samt fra ledd 5 til 7 er tydelig. Leddene med tilførsel av 2S (2 – 4) kan også se ut til å gi noe høyere avling sammenlignet med leddene som har fått 1S (5 – 7), men det er ingen signifikant forskjell.



Figur 13: Gjennomsnittlig totalavling (kg TS/daa) for hvert behandlingsledd på feltet i Leknes for alle tre år.

I tabell 14 er gjennomsnittlig energiverdi (Fem/kg TS), råproteininnhold (% av TS) og fordøyeligheten (% av TS) av graset i Levanger 2020 vist. Det er ingen tydelig sammenheng mellom N- og S-tilførsel på energi eller råproteiner. Fordøyeligheten er relativt lik for alle behandlingsleddene.

Tabell 14: Gjennomsnittlig energiverdi (FEm/kg TS), råprotein og fordøyelighet av graset i Levanger, 2020, sortert etter behandlingsledd og slåtenr. (H1 og H2).

Gjødsel-ledd	Levanger 2020					
	FEm/kg TS		Råprot (% av TS)		Fordøyelighet (% av TS)	
	H1	H2	H1	H2	H1	H2
1. Kun HG	0,82	0,83	11,1	10,2	69,9	71,2
2. 9 kgN + 2S	0,84	0,84	12,2	12,0	70,6	70,7
3. 13 kgN + 2S	0,86	0,85	12,2	13,7	71,5	70,7
4. 18 kgN + 2S	0,87	0,85	14,5	14,1	71,7	70,1
5. 9 kgN + S	0,83	0,83	11,5	11,1	70,3	70,9
6. 13 kgN + S	0,85	0,81	13,7	11,9	70,3	68,8
7. 18 kgN + S	0,86	0,83	14,0	12,7	71,3	69,7
8. 18 kgN + K + S	0,85	0,81	13,4	13,7	70,7	68,1
9. 18 kgN	0,85	0,84	13,8	13,6	70,2	70,1

I tabell 15 kan man se at andreslått i Levanger har noe dårligere energiverdi, råproteininnhold og fordøyelighet enn første- og tredjeslått. I tillegg var næringsverdien i første- og tredjeslått høyere i 2021 enn i 2020. Man kan også se at økt N-tilførsel gir økt råproteininnhold, og mer svovel (2S) gir også noe mer råprotein enn 1S.

Tabell 15: Gjennomsnittlig energiverdi (FEm/kg TS), råprotein og fordøyelighet av graset i Levanger, 2021, sortert etter behandlingsledd og slått nr. (H1 = 1. slått osv.).

Gjødsel-ledd	Levanger 2021								
	FEm/kg TS			Råprot (% av TS)			Fordøyelighet (% av TS)		
	H1	H2	H3	H1	H2	H3	H1	H2	H3
1. Kun HG	0,92	0,84	0,94	13,8	15,3	16,3	76,0	69,5	77,4
2. 11 kgN + 2S	0,90	0,81	0,95	14,9	13,8	16,9	73,7	67,9	77,2
3. 17 kgN + 2S	0,92	0,81	0,96	16,7	15,2	18,9	74,8	67,0	77,1
4. 23 kgN + 2S	0,93	0,82	0,99	18,7	16,0	19,2	74,6	67,6	78,9
5. 11 kgN + S	0,93	0,81	0,95	16,3	14,5	16,4	75,6	67,6	77,4
6. 17 kgN + S	0,92	0,83	0,92	17,5	14,2	17,2	74,1	68,9	74,6
7. 23 kgN + S	0,95	0,81	0,93	17,7	14,5	18,7	76,0	67,1	74,6
8. 23kgN + K + S	0,91	0,81	0,95	17,6	14,8	19,1	73,4	67,0	76,6
9. 23 kgN	0,95	0,83	0,93	18,2	15,7	19,4	75,6	68,2	74,9

I tabell 16 ser man at næringsverdien i 2022 er enda høyere enn i de to foregående årene. I 2022 skiller også andreslått seg ut med lavest energiinnhold, råprotein og fordøyelighet sammenlignet med første- og tredjeslått. Målet om en energikonsentrasjon på over 0,85 FEm/kg TS nås i første- og tredje slått, men ikke i andreslått.

Tabell 16: Gjennomsnittlig FEm/kg TS, råprotein og fordøyelighet av graset i Levanger, 2022, sortert etter behandlingsledd og slått nr. (H1 = 1. slått osv.).

Gjødsel-ledd	Levanger 2022								
	FEm/kg TS			Råprot (% av TS)			Fordøyelighet (% av TS)		
	H1	H2	H3	H1	H2	H3	H1	H2	H3
1. Kun HG	1,02	0,80	0,88	20,0	15,7	17,7	80,7	65,8	71,7
2. 11 kgN + 2S	1,01	0,86	0,86	20,1	17,2	13,6	80,1	70,1	71,2
3. 17 kgN + 2S	0,97	0,81	0,90	18,8	16,5	17,4	77,5	66,7	73,4
4. 23 kgN + 2S	1,00	0,84	0,88	20,2	17,5	18,9	78,5	68,5	72,0
5. 11 kgN + S	1,02	0,80	0,89	20,4	18,0	17,2	80,5	65,6	72,7
6. 17 kgN + S	1,02	0,80	0,88	21,8	16,1	16,3	79,9	66,1	72,0
7. 23 kgN + S	1,03	0,81	0,90	20,8	16,0	17,2	80,9	66,6	73,2
8. 23kgN + K + S	1,00	0,80	0,85	19,1	15,8	13,5	79,7	66,7	70,9
9. 23 kgN	1,01	0,81	0,85	20,6	15,7	16,6	79,8	66,8	70,3

5. Diskusjon

Problemstillingen for denne oppgaven var om det er mulig å øke proteininnholdet i grovfôr, hovedsakelig bestående av timotei, med økt gjødsling med nitrogen og svovel.

5.1 Nitrogen- og Svovelregnskapet

Av S-regnskapet (Tabell 4 og 5) ses det at mengden S ført bort med graset i 2020 var høyere i de to leddene som hadde fått tilført S, enn i leddene som ikke hadde fått S (Figur 7). Svoveltilførsel gir signifikant høyere S-innhold i graset. Differansen mellom tilført S og kjemisk målt S i graset er også større for ledd tilført S enn de uten. Målingene fra 2021 og 2022 bekreftet dette. Den økte differansen viser at det må være noe tilført S som har havnet andre steder enn i planta. Ut fra dette skulle man forventet at man kunne finne igjen mer S i jorda på ledd tilført S. Innholdet av sulfat-S og S-AL i jorda (Tabell 6) støtter forventningen. På leddene tilført S ble det målt gjennomsnittlig 14,3 kg S-AL/daa som er høyere enn på leddene med lavere S-tilførsel (12,8 kg S-AL/daa). Utnyttelsesgraden av S er høyest på leddene med tilført minst S (Tabell 6), og utnyttelsesgraden går ned med økende S-tilførsel, noe som betyr økt fare for utvasking.

For 2. slått i 2022 var det en tydelig høy utnyttelsesgrad. Dette gjenspeiler den lave S-tilførselen når man kun tar hensyn til gjødslingen etter førsteslått. I beregningen er det kun sett på S-tilførsel fra HG og mineralgjødsla tilført etter førsteslått. I praksis vil dette graset trolig også nyttiggjøre seg av S fra HG som ble spredt på våren. Siden mineraliseringen av S fra HG tar tid, og spesielt med lave temperaturer på våren, er det sannsynlig at plantene har fått tilførsel av S mineralisert fra OM som ble spredt på våren.

For N (Tabell 5) var det ikke like tydelige forskjeller, siden alle hadde lik N-tilførsel. At leddet med kun HG hadde minst N ført bort med graset er derfor ingen overraskelse. Utnyttelsesgraden for HG-leddet er imidlertid høyt (Tabell 7). Dette tyder på at graset har tatt til seg mye av det nitrogenet som ble mineralisert fra HG, likt som for S.

Av jordanalysene (2022) ser man heller ingen klare forskjeller i NO_3^- - og NH_4^+ -innhold mellom leddene. Man kunne forventet at leddet uten tilførsel av mineralsk-N (ledd 1) skulle hatt minst NO_3^- , men verdiene er ikke lavere der enn i andre ledd. Mineralisering av N fra jordas OM kan være årsaken til at det ble målt høyere verdier. Ved uttak ble jordprøvene for analyse av NO_3^- og NH_4^+ slått sammen til en samleprøve. Eventuell variasjon innen feltet, variasjonen i innhold av OM, kommer da ikke frem i analysetallet.

Innholdet av NO_3^- og SO_4^{2-} i jord varierer i løpet av en vekstsesong og påvirkes lett av mineralisering og utvasking. En av grunnene til at verken N eller S er med i standard jordanalyser er fordi det er vanskelig å tolke og bruke målt innhold. På våren skjer en aktiv mineralisering/immobilisering og utvasking, og målte verdier kan raskt endre seg. For beregning av utnyttelsesgrad hadde det nok likevel vært bedre å basere beregningene på analyser av N og S i jord på våren for å vite innholdet i jorda før gjødsling. Andre feilkilder i dette regnskapet er verdiene for 2022. Pga. en uheldig feilgjødsling ved tildeling av mineralgjødsel etter første- og andreslått i 2022 ble ikke jorda tilført samme type og mengde gjødsel gjennom hele forsøksperioden (kap. 5.7). Det ble imidlertid gjødslet likt etter første- og andreslått i 2022 og derfor ble målingene likevel tatt med i vurderingene. Langtidsvirkningen kan være ulik den som ville vært om det hadde vært lik gjødsling gjennom alle tre årene.

I 2021 ble det ikke tatt egen HG-prøve av det som ble kjørt ut. Beregnet N og S i regnskapet er ikke basert på måleverdi dette året og er litt usikre. Av de tre prøvene som er tatt ser man at det er forskjeller mellom prøvene som kan skyldes endringer i husdyrbesetningen eller type fôr. Prøve av HG før gjødselplanlegging hadde gjort budsjettet mer nøyaktig. Virkningsgraden av N i HG ved spredning er ikke beregnet her i dette regnskapet. Selv om det ble brukt stripelegger vil noe N fordampe, og mengden N brukt i regnskapet er antakelig noe høyere enn mengden som har gått ned i jorda.

Faren for utvasking av næringsstoffer øker dersom det gjødsles ut over hva plantene klarer å ta opp, som ved lav utnyttelsesgrad. Overskudd av næringsstoffer som verken absorberes av plantene eller adsorberes til kolloidene vil bli liggende i jordvæsken. Ved regn blir de transportert lengre ned i jorda, og kan bli ført bort med drenering eller nå helt ned til grunnvannet. Siden overflateladningen hovedsakelig er negativ vil anionene lettere vaskes ut. Avrenning av SO_4^{2-} og NO_3^- kan forurense grunnvann eller andre vannkilder og gi oppblomstring av algevekst. Nitrat kan også reduseres til NO_2^- som er giftig (Weil & Brady, 2017). Man burde derfor ikke gjødsle mer enn nødvendig. I et forsøk fant Aspel et al. (2022) at S-tilførsel reduserte NO_3^- -avrenning i jorda med 46% i forhold til ingen S-tilførsel, noe man ikke kan se i dette forsøket (Tabell 7).

Andelen S i HG kan variere fra 0,15 – 0,7 kg/m^3 (Eriksen et al., 1995). Dvs. at S-innholdet i dette forsøket (0,29-0,53 kg/m^3) er gjennomsnittlig. Hvorvidt S fra HG er nok til å dekke plantenes behov er det uenigheter om. Lloyd (1994) fant i et forsøk i England at HG med et S-innhold på 0,35 kg/m^3 ikke var nok til å dekke S-behovet i grovfôret som ble produsert i

områder med S-mangel. Han fant også at effektiviteten til S i HG kun var 55% i forhold til ledd gjødslet med kalsiumsulfat. At S fra HG ikke var nok til å dekke behovet fant også Aspel et al. (2022) i et forsøk på flerårig raigras på sandjord i Irland.

For å beregne langtidsvirkningen av S fra HG må også C/S-forholdet vurderes. I følge Eriksen (2008) vil andelen S mineralisert fra HG være fra 50 til 75% når C/S-forholdet er under 100. I Eriksens beregningen er det ikke tatt hensyn til stråinnblanding, som da vil øke C/S-forholdet og redusere graden av S-mineralisering (Eriksen, 2008). Siden OM i HG er tilsvarende TS-innholdet, og 50% av tørrstoffet inneholder C, kan man beregne C/S-forholdet i HG som ble spredt i dette forsøket. Husdyrgjødsla spredt i Levanger hadde et gjennomsnittlig C/S-forhold på 4,7, og mengden S-mineralisering fra HG kan derfor være opptil 75%. Hvor raskt S blir tilgjengelig vil derimot avhenge av forholdene til mineralisering. Siden mikroorganismene trenger 10°C, nok luft og fuktighet i jorda vil antagelig mineraliseringen øke utover sommeren når jordtemperaturen øker. På høsten er som regel temperaturene høye nok, men da kan mye nedbør gi vannfylte porer og tilgangen på oksygen kan dermed være den begrensende faktoren. Når forholdene er gode kan man altså regne med en del plantetilgjengelig S fra husdyrgjødsla, men om dette er nok til å dekke behovet til den intensive grovfôrproduksjonen er ikke like sikkert.

5.2 S-innhold i jorda

Det plantetilgjengelige svovelet målt i dette forsøket er beregnet med AL-løsning (S-AL). Utbyttbar sulfat-S ble også målt (KH_2PO_4), og den er også plantetilgjengelig og inngår som en del av S-AL-fraksjonen. Derav den gode korrelasjonen mellom disse i figur 5. Det var ingen signifikante forskjeller på S-innhold i jorda etter mengde S-tilførsel (Figur 5). Ryant & Skládanka (2009) fant ingen korrelasjon mellom tilførte S-mengder og vannløselig-S i jorda. Leddene med mest S-tilførsel gav likevel de høyeste verdiene av S i jorda. Man kunne også forventet at ledd med lite S i graset (ledd 1) hadde mye S i jorda, men dette stemmer ikke. Årsaken til variasjonen mellom ledd kan være variasjoner i netto mineralisering pga. flere sulfatestere som lettere mineraliseres, eller utvasking.

Plantetilgjengelig innhold av næringsstoffene P, K, Mg, Na og Ca, i jorda (Figur 6), var ikke påvirket av gjødselbehandling. Innholdet var generelt stort, og Ca varierte mest mellom behandling. Årsaken til lavere verdi på leddet som hadde fått tilført mest S kan skyldes at noe Ca er blitt felt ut som gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). I forsøket til Ryant & Skládanka (2009) ble det heller ikke funnet noen endringer i jordas innhold av makronæringsstoffer etter ulik S-

tilførsel. En pH på 6 sikrer jevnt over en god tilgjengelighet av næringsstoffene og også på godt nivå for mineralisering. I følge Scherer (2001), og basis jordlære, er adsorpsjon av SO_4^{2-} i jorda negativt korrelert med pH ide kolloidoverflater med variabel ladning protoneres og blir positiv når pH synker, og ved pH høyere enn 6,5 vil lite adsorberes. På feltet i Leknes, med en pH på 5,7, er det en større sjanse for adsorpsjon av SO_4^{2-} enn på feltet i Levanger. Feltet i Leknes har også et høyere innhold av OM (glødetap på 15,3) enn i Levanger (7,1 og 9,6), som kan bety at totalinnholdet av S kan være større i Leknes enn i Levanger.

5.3 S-innhold i planta

Økt S-tilførsel gav økning i S-innhold i graset (Figur 7). Dette bekreftes også i Figur 8, både i første- og andreslått. Forventningen om lavest S-innhold på leddene med ingen S eller kun fra HG stemte bra i Levanger. Tredjeslått skiller seg ut ved å ha et høyere totalinnhold av S, og i den slåttten var det også en negativ korrelasjon med N-tilførsel på leddene med S-tilførsel. Samme resultat fikk også Murphy & Boggan (1988) da de undersøkte effekten av en svak S-gjødsling mot ingen S fra 1974 – 1984 i Irland. Utnyttelsesgraden av S i flerårig raigras økte med slåttenummer når de tok fire slåtter (Murphy & Boggan, 1988). Forklaringen på dette kan være at andelen blader er høyere i tredjeslått. I september blir det kortere fotoperiode og plantene vil derfor buske seg mer og produsere mer blader (Nordheim-Viken et al., 2009). Siden S inngår i proteiner og gjerne blir sendt til bladene etter opptak i rota kan man finne mest S i bladene. Dette fordi det er i bladene man finner mest ferredoksin som trengs til reduksjon av SO_4^{2-} . Totalinnholdet av S i % av TS kan derfor bli høyere når andelen blader blir høyere.

Det ble funnet økning av S-innholdet i graset fra Levanger for hvert år. Det samme fant også Ryant & Skládanka (2009) i deres forsøk, hvor S-innholdet økte fra 0,17 til 0,29 % over en treårsperiode. Dette kan kanskje skyldes at råproteininnholdet i graset også ble høyere for hvert år. Med gode forhold for proteindannelse trengs det også mer S til de svovelholdige aminosyrene, og dermed et større opptak av S. Det kan også være at S-innholdet i jorda gradvis økte og mer S ble tilgjengelig for hvert år. For å bekrefte dette burde man se på en lengre forsøksperiode og inkludere prøver av det totale S-innholdet i jorda.

5.4 N/S-forholdet

Økt N-tilførsel (11 - 23 kg N/daa) gir høyere N/S-forhold, og 23 kg N uten S-tilførsel gav det høyeste N/S-forholdet, som forventet. Forskjellen mellom leddene som har fått mye og lite S er ikke stor, men forholdet er noe lavere på leddene som har fått Sulfan-gjødsel. Ved bruk av

høye N-mengder kan det være enda viktigere med god S-forsyning for å få optimalt N/S-forhold. Alle leddene, med unntak av leddet med kun N-tilførsel (ledd 9), har et N/S-forhold under 13 som Martinussen et al. (2018) mener er grenseverdien for god mikrobevekst i vom. Hvelplund & Nørgaard (2003) opererer med grenseverdi på 15.

Selv om N/S-forholdet er lavt i dette graset må man huske på at forholdet vil endre seg dersom man blander inn kraftfôr, og spesielt urea, i fôrmiksen. Melkebønder med fôrmikser kan blande ulike fôrtyper for å lage optimerte fôrrasjoner til dyrene. Dersom det er lite proteiner i grovfôret må dette suppleres med kraftfôr eller andre fôrmidler. Ved å tilsette urea, et rent nitrogenprodukt, vil N/S-forholdet bli høyere og det kan bli for lite S til mikrobene. Istedenfor å måtte tilsette evt. kalsiumsulfat i fôrmiksen kan det være mer lønnsomt å velge en gjødseltype med mer S, uten at dette blir beregnet ytterligere i denne oppgaven (Underwood & Suttle, 1999).

5.5 Proteininnhold

Mengde råprotein i graset i Levanger ble høyere for hvert år (Tabell 14 - 16). I 2020 er det tydelig at økt N-tilførsel gir økt råprotein, men denne behandlingseffekten blir mindre i 2021 og er ikke til stede i 2022. Dette kan også være årsaken til at det ikke ble funnet noen signifikant effekt av N-tilførsel på råproteininnhold (Figur 10). Feilgjødslingen i 2022 kan være en forklaring på at man ikke ser denne sammenhengen (Tabell 16). Dataene er likevel tatt med her for å vise den totale næringsverdien dette året. Fra litteraturen vet man at proteinene er bygd opp av nitrogenholdige komponenter og derfor er N-tilførsel viktig for å få høyt proteininnhold. Det er godt kjent fra tidligere forsøk at det er en positiv korrelasjon mellom N-tilførsel og råproteininnhold i gras (Lunnan & Nesheim, 2002; Sheaffer et al., 1998; Syrjälä-Qvist et al., 1984).

Man kan derimot se en tydelig trend i råproteininnhold avhengig av mengde S-tilførsel (Figur 10), og at Sulfan-gjødsel (2S) gir høyere råproteininnhold enn ledd gjødslet med Opti-NS (1S). Forskjellen mellom gjødseltyper vises best ved høye N-mengder (18 og 23 kg N/daa). Det kan ha en sammenheng med at behovet for S øker med opptaket av N, nødvendig for å få bygd de svovelholdige proteinene. En slik sammenheng fant også Gierus et al. (2005) hvor de konkluderte med at det var behov for 2,5 kg S/daa ved bruk av 30 kg N/daa, men at det ikke trengtes ekstra S når N-tilførselen var lavere. Det var til tross for at det i dette forsøket bare var 3% OM og jordarten en sandig silt.

Siden økt S i planta gir økt råproteininnhold (Figur 12) kan det se ut som at S tatt opp i planta blir brukt til proteindannelse, og vil derfor være viktig for å sikre nok protein i graset. Forsøket til Gierus et al. (2005) viste også at andelen renprotein økte fra 87%, uten ekstra S-tilførsel, opptil 93% renprotein med 5 kg S/daa. Dette skyldes nok økningen i innhold av de svovelholdige aminosyrene. I tillegg viste grasanalysene at selen (Se)-innholdet ble lavere ved høy S-tilførsel, og de mente at SO_4^{2-} hemmet (utkonkurrerte) opptak av Se. I Norge gjødsles det ikke med Se da det tilsettes dyreføret direkte. Selen er ikke et nødvendig næringsstoff for plantene (Gierus et al., 2005).

5.6 Avling og kvalitet på graset

I grovfôrproduksjon ønsker man både kvantitet og kvalitet, noe som ikke alltid enkelt lar seg kombinere. I Levanger var det ingen signifikante forskjeller på avlingsmengde i 2020, men avlingen varierte likevel fra 478 til 677 kg. Det kan forklares med stor variasjon mellom gjentakene. Graset i Leknes responderte bedre på S-tilførsel enn i Levanger. Totalavlingen i Leknes økte med økende S-tilførsel (Figur 13). Å velge gjødseltypen Sulfan fremfor Opti-NS og ren N-gjødsel kan derfor gi meravling i Leknes, men har lite å si for avlingsmengde i Levanger.

Forsøk utført av andre har i varierende grad fått økt avling med økt S-tilførsel. Murphy & Boggan (1988) tilførte bare 0,05 kg S/daa men fikk doblet avlingen i slutten av sesongen i Irland. I et annet forsøk, også i Irland, økte avlingen ved å tilføre opptil 4,8 kg S/daa (Aspel et al., 2022). Ryant & Skládanka (2009) fikk kun økte avlinger i førsteslått, og tilføre 4,5 kg S/daa. Motsatt av hva Murphy & Boggan (1988) observerte, men forskjellen i mengde S tilført var stor mellom de to forsøkene. Gierus et al. (2005) fikk bare meravling ved bruk av S-gjødsel når N-mengden var større enn 30 kg/daa. Det er tydelig at resultatene varierer avhengig av sted, jordart og høsteregime. Jordas bidrag med S gjennom mineralisering kan være en viktig faktor som påvirker om S-tilførsel er nødvendig eller ikke. I tillegg vil ofte økte N-gjødselmengder også føre til et ekstra behov for S-tilførsel. Dette er vist i figur 10, samt i forsøket til Gierus et al. (2005).

I Levanger ble den laveste avlingen, totalt sett, målt i 2022, men denne avlingen hadde til gjengjeld høyest næringsverdi. Varmesummen til hver slått var mindre i 2022 enn de to forrige årene (Tabell 1) noe som kan tyde på at graset ble slått på et tidligere utviklingsstadium dette året. Når graset høstes på et tidligere vekststadium kan dette gi et høyere celleinnhold, og derav høyere proteininnhold og fordøyelighet. I 2022 var det også

lavere gjennomsnittstemperatur og mer nedbør sammenlignet med de foregående årene (Figur 4). Den lave temperaturen, kombinert med mer nedbør har trolig bremset utviklingen av graset og stimulerte til mer busking og bladmasse (Nordheim-Viken et al., 2009).

Optimal dag/natt-temperatur for timotei er ifølge Bertrand et al. (2008) 21/15°C. Graset høstet til andreslått kan bli utsatt for høyere temperaturer enn dette, noe som kan føre til varmestress. Forsøk viser økt andel av NDF og lignifisering i både blad og stengel ved høye temperaturer. Vekstforhold over optimal temperatur er vist å gi dårligere næringsverdi enn timotei dyrket ved optimalt, eller kaldere klima (Bertrand et al., 2008; Sheaffer et al., 1998). Energiverdien i andreslått når ikke målet om 0,85 FEm, slik som første og tredjeslått gjør. I andreslått ligger gjennomsnittlig fordøyelighet på 68,3%, og skulle vært høyere.

Proteininnholdet i 2022 blir liggende over anbefalt grenseverdi på 16 - 17 % i førsteslått. Det høye proteininnholdet er imidlertid uproblematisk da proteininnholdet i fôrrasjonen kan bli lavere om man blander inn andre fôrtyper eller kraftfôr, slik som beskrevet under kapitlet om N/S-forholdet. Med dette graset som produseres i Levanger blir det større muligheter for å velge norske kraftfôrtyper med mindre protein og dermed oppnå et billigere fôr. Man må samtidig passe på å ikke gjødsle over grasetes evne til å ta opp næringsstoffene tilført, og øke utvaskingsfaren. Kostnaden av ekstra N og S tilført må kunne gjenspeile seg i fôrverdien man får ut.

5.7 Feilkilder og videre forskning

Det var planlagt å anlegge feltet på tvers av kjøreretningen på skiftet, men pga. en misforståelse ble feltet i Levanger lagt samme vei. Noen forsøksledd er derfor ikke høstet i tredjeslått i 2022 da det var tydelige så-striper gjennom enkelte ruter etter vedlikeholdssåingen som da ble gjennomført på våren. Det mangler også noe avlingsdata for andreslått i 2020 og 2021 da feltvert høstet noen av rutene på forsøksfeltet samtidig som området rundt ble slått. Det ble også en misforståelse knyttet til gjødslingen etter første og andre slått i 2022. Misforståelsen førte til at første- og tredje gjentak på disse gjødsleddene ble gjødslet noe annerledes med mineralgjødsel enn de to forrige årene. Det betyr at jordprøvene som er tatt ut fra ledd 1, 4, 7 og 9 representerer denne nye gjødselbehandlingen de to siste gjødslingene før jordprøvene ble tatt, og at jorda da hadde fått tilført en annen mengde og type gjødsel de andre årene.

Siden resultatene her viser en trend i retning av at S-innholdet i planene økte for hvert år ville det vært interessant å undersøke effekten av S-tilførsel over en lengre periode og samlet mer data. Hadde man fått ytterligere økning dersom man hadde fortsatt forsøket i flere år? Man kunne også tatt flere kvalitetsanalyser av graset, f.eks. se på endringer i aminosyresammensetning. Det hadde også vært interessant å undersøke forholdene i jorda nærmere ved å inkludere jordprøver på våren, og før og etter hver slått, for bedre å kunne beregne utnyttelsesgraden av S gjennom sesongen. I videre studier kunne man også inkludert data fra melkerobot og dermed sett på hvordan dette fôret ville påvirket melkeproduksjonen.

6. Konklusjon

Resultatene viser at økt S-tilførsel gir noe økning i plantetilgjengelig S (S-AL) og utbyttbar S (Sulfat-S) i jorda. Svoveltilførsel har ingen påvirkning på jordas innhold av plantetilgjengelig P, K, Mg, Na, Ca, pH eller OM. Økt S-tilførsel gir økt S-innhold i graset og økningen er godt korrelert med økt innhold av råprotein. Analysetall fra Levanger og Leknes viser sammenlagt økt innhold av råprotein ved økt N-tilførsel. Råproteinet ble ikke signifikant høyere ved økt S-tilførsel, men det var en tydelig positiv trend. Med hensyn på N/S-forholdet var det ingen behandling som gav et forhold større enn 15, men behandlingsledd uten S-tilførsel og høyeste N-mengde hadde signifikant høyere N/S-forhold enn de andre. Yaras Sulfangjødsel gav noe lavere N/S-forhold enn Opti-NS-gjødsel. Svoveltilførsel gav noe meravling i Leknes, men ikke i Levanger. Bidraget av S fra HG varierer mellom år og prøve bør tas. Husdyrgjødsel hadde lavt C/S-forhold som indikerer stor mineralisering, men ved høye N-mengder (23kg/daa) burde ekstra S tilføres for å dekke behovet til avling og proteinsyntese.

Referanseliste

- Aspel, C., Murphy, P. N. C., McLaughlin, M. J., & Forrestal, P. J. (2022). Sulfur fertilization strategy affects grass yield, nitrogen uptake, and nitrate leaching: A field lysimeter study. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 185(2), 209–220.
<https://doi.org/10.1002/jpln.202100133>
- Bakken, A. K., Lunnan, T., & Svoldal, B. T. (2007). Grovfôravlning og -kvalitet med bruk av stigande mengd mineralgjødsel med og utan svovel. *Bioforsk FOKUS*, 2(7), 35–39.
- Bélanger, G., & Ziadi, N. (2008). Phosphorus and Nitrogen Relationships during Spring Growth of an Aging Timothy Sward. *Agronomy Journal*, 100(6), 1757–1762.
<https://doi.org/10.2134/agronj2008.0132>
- Bertrand, A., Tremblay, G. F., Pelletier, S., Castonguay, Y., & Bélanger, G. (2008). Yield and nutritive value of timothy as affected by temperature, photoperiod and time of harvest. *Grass and Forage Science*, 63(4), 421–432. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2008.00649.x>
- Bjørnå, F. (2015a). *Engsvingel*. Felleskjøpet. <https://www.felleskjopet.no/planteproduksjon-oversikt/slik-velger-du-riktig-grovfor/engsvingel/>
- Bjørnå, F. (2015b). *Flerårig raigras*. Felleskjøpet.
<https://www.felleskjopet.no/planteproduksjon-oversikt/slik-velger-du-riktig-grovfor/flerarig-raigras/>
- Bjørnå, F. (2015c). *Rødkløver*. Felleskjøpet. <https://www.felleskjopet.no/planteproduksjon-oversikt/slik-velger-du-riktig-grovfor/rodklover/>
- Bjørnå, F. (2015d). *Timotei*. Felleskjøpet. <https://www.felleskjopet.no/planteproduksjon-oversikt/slik-velger-du-riktig-grovfor/timotei/>
- Blanco, M., & Villarroya, I. (2002). NIR spectroscopy: A rapid-response analytical tool. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 21(4), 240–250. [https://doi.org/10.1016/S0165-9936\(02\)00404-1](https://doi.org/10.1016/S0165-9936(02)00404-1)
- Brady, N. C. (1974). *The nature and properties of soils* (8. utg.). MacMillan Publishing Company.
- Eriksen, J. (2008). Soil Sulfur Cycling in Temperate Agricultural Systems. I J. Jez (Red.), *Sulfur: A missing link between soils, crops, and nutrition*. American society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil science Society of America.

- Eriksen, J., Mortensen, J. V., Kjellerup, V. K., & Kristjansen, O. (1995). Forms and plant-availability of sulfur in cattle and pig slurry. *Zeitschrift Für Pflanzenernährung Und Bodenkunde*, 158(1), 113–116. <https://doi.org/10.1002/jpln.19951580125>
- Eurofins Agro. (2022). *Analyse av jord*. Eurofins Scientific. <https://www.eurofins.no/agro-testing/analysetjenester/analyse-av-jord/>
- Fystro, G., & Lunnan, T. (2006). *Analyser av grovfôrkvalitet på NIRS*. 1(3), 180–181. <https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/bitstream/handle/11250/2505524/Bioforsk-FOKUS-2006-01-03.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Geno. (u.å.). *Avlsarbeid*. Geno. Hentet 10. februar 2023, fra <https://www.geno.no/fagstoff-og-hjelpemidler/fagstoff/avl-og-avlsteori/avlsarbeid/>
- Gierus, M., Jahns, U., Wulfes, R., Wiermann, C., & Taube, F. (2005). Forage quality and yield increments of intensive managed grassland in response to combined sulphur-nitrogen fertilization. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science*, 55(4), 264–274. <https://doi.org/10.1080/09064710500368228>
- Gjefsen, T. (2020). *Fôringslære* (3. utg.). Fagbokforlaget.
- Grønnerød, B. (1992). Grasarter—Notater til forelesninger om Eng- og beitedyrking i PPK230/231. I *Grovfôr dyrking* (Bd. 2). Institutt for plantekultur, Norges landbrukshøgskole.
- Hay, R., & Porter, J. (2006). *The physiology of crop yield* (2. utg.). Blackwell publishing.
- Hopkins, W. G. (1995). *Introduction to plant physiology*. John Wiley & Sons inc.
- Hvelplund, T., Madsen, J., & Weisbjerg, M. R. (2003). Proteinverdning. I P. Nørgaard (Red.), *Kvægets ernæring og fysiologi Bind 1—Næringsstoffomsætning og fodervurdering* (s. 583–600). Danmarks JordbrugsForskning.
- Hvelplund, T., & Nørgaard, P. (2003). Drøvtyggenes karakteristika. I P. Nørgaard (Red.), *Kvægets ernæring og fysiologi Bind 1—Næringsstoffomsætning og fodervurdering* (s. 11–34). Danmarks JordbrugsForskning.
- Kjos, A.-K., Nafstad, O., Odden, H., Ruud, T. A., Saltnes, T., & Ytterdahl, M. (2020). *Kjøttets tilstand 2020* [Statusrapport]. Animalia AS. <https://www.animalia.no/no/animalia/aktuelt/kjottets-tilstand-2020/>
- Kraftfôrstatistikk*. (u.å.). Landbruksdirektoratet. Hentet 13. februar 2023, fra <https://www.landbruksdirektoratet.no/nb/statistikk-og-utviklingstrekk/utvikling-i-jordbruket/kraftforstatistikk>
- Krogstad, T. (2009). *Laboratoriemetoder til emnet JORD212—Jordanalyse*. Institutt for plante- og miljøvitenskap, UMB.

- Landbruksdirektoratet. (2021). *Bruk av norske fôrressurser—Utrekning av forbedring av virkemidler med sikte på økt produksjon og bruk av norsk fôr* (Nr. 10/2021). Landbruksdirektoratet.
<https://www.landbruksdirektoratet.no/nb/nyhetsrom/rapporter/bruk-av-norske-forressurser>
- Landbruks-og matdepartementet. (2022, juni 8). *Norsk matproduksjon og totalberedskapen* [Taleartikkel]. Regjeringen.no; regjeringen.no.
<https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/norsk-matproduksjon-og-totalberedskapen/id2917921/>
- Leksen, M. M. (2023, januar 25). *Markedsutsikter for hvetesesongen 2022-2023*. Landbruksdirektoratet.
<https://www.landbruksdirektoratet.no/nb/nyhetsrom/nyhetsarkiv/markedsutsikter-for-hvete-sesongen-2022-2023>
- Leonardi, C., Stevenson, M., & Armentano, L. E. (2003). Effect of Two Levels of Crude Protein and Methionine Supplementation on Performance of Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 86(12), 4033–4042. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)74014-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)74014-4)
- Lloyd, A. (1994). Effectiveness of cattle slurry as a sulphur source for grass cut for silage. *Grass and Forage Science*, 49(2), 203–208. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1994.tb01993.x>
- Forskrift om husdyrgjødsel, Kap II §7, FOR-2002-02-11-337 (2002).
<https://lovdata.no/dokument/LTI/forskrift/2002-02-11-337>
- Lunnan, T. (2021). *Sterk nitrogengjødsling til eng* (Vol. 7, Nr. 133). NIBIO.
<https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/handle/11250/2762685>
- Lunnan, T., & Nesheim, L. (2002). Response to Different Nitrogen Application Patterns on Grassland in a Two-cut System. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science*, 52(1), 1–7. <https://doi.org/10.1080/090647102320259983>
- Martinussen, H., Spleth, P., Thøgersen, R., & Aaes, O. (2018). *Kvægets fodring* (L. Majgaard, Red.; 3. utg.). SEGES.
- McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F. D., Morgan, C. A., Sinclair, L. A., & Wilkinson, L. A. (2022). *Animal nutrition* (8. utg.). Pearson Education.
- McDonald, P., Henderson, N., & Heron, S. J. E. (1991). *The biochemistry of silage* (2. utg.). Chalcombe publications.
- Mo, M. (2005). *Surfôrboka*. Landbruksforlaget.

- Moksnes, A. M. (2021, juni 15). *Rekordhøye råvarepriser kan gi høyere pris på kraftfôr*. Landbruksdirektoratet.
<https://www.landbruksdirektoratet.no/nb/nyhetsrom/nyhetsarkiv/rekordhoye-ravarepriser-kan-gi-hoyere-pris-pa-kraftfor>
- Murphy, M. D., & Boggan, J. M. (1988). Sulphur Deficiency in Herbage in Ireland: 1. Causes and Extent. *Irish Journal of Agricultural Research*, 27(1), 83–90.
<https://www.jstor.org/stable/25556208>
- Nedlasting av værdata—LandbruksMeteorologisk Tjeneste (LMT)*. (u.å.). Hentet 17. april 2023, fra
https://lmt.nibio.no/agrometbase/getweatherdata_new.php?weatherStationId=34
- Nordheim-Viken, H., Volden, H., & Jørgensen, M. (2009). Effects of maturity stage, temperature and photoperiod on growth and nutritive value of timothy (*Phleum pratense* L.). *Animal Feed Science and Technology*, 152(3), 204–218.
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2009.04.012>
- Ryant, P., & Skládanka, J. (2009). The effect of applications of various forms of sulfur on the yields and quality of grass forage. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Plant Soil Science*, 59(3), 208–216. <https://doi.org/10.1080/09064710802011526>
- Satter, L. D., & Roffler, R. E. (1975). Nitrogen Requirement and Utilization in Dairy Cattle1. *Journal of Dairy Science*, 58(8), 1219–1237. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(75\)84698-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(75)84698-4)
- Scherer, H. W. (2001). Sulphur in crop production—Invited paper. *European Journal of Agronomy*, 14(2), 81–111. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(00\)00082-4](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(00)00082-4)
- Schoenau, J. J., & Malhi, S. S. (2008). Sulfur Forms an Cycling Processes in Soil and Their Relationship to Sulfur Fertility. I J. Jez (Red.), *Sulfur: A missing link between soils, crops, and nutrition*. American society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil science Society of America.
- Sheaffer, C. C., Seguin, P., & Guomo, G. J. (1998). Sward Characteristics and Management Effects on Cool-season Grass Forage Quality. I J. H. Cherney & D. J. R. Cherney (Red.), *Grass for dairy cattle*. CABI Publishing.
- Solomon, D., Lehmann, J., de Zarruk, K. K., Dathe, J., Kinyangi, J., Liang, B., & Machado, S. (2011). Speciation and Long- and Short-term Molecular-level Dynamics of Soil Organic Sulfur Studied by X-ray Absorption Near-Edge Structure Spectroscopy. *Journal of Environmental Quality*, 40(3), 704–718.
<https://doi.org/10.2134/jeq2010.0061>

- Soybeans Front Month Futures price information—FT.com.* (u.å.). Financial times. Hentet 13. februar 2023, fra <https://markets.ft.com/data/commodities/tearsheet/summary?c=Soybeans>
- Stevenson, F. J. (1986). *Cycles of soil—Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients* (1. utg.). John Wiley & Sons.
- Syrjälä-Qvist, L., Pekkarinen, E., & Setälä, J. (1984). Effect of nitrogen fertilization on the protein quality of timothy grass and silage. *Agricultural and Food Science*, 56(3), 193–198. <https://doi.org/10.23986/afsci.72171>
- Søegaard, K., Hansen, H. H., & Weisbjerg, M. R. (2003). Fodermidlernes karakteristika. I P. Nørgaard (Red.), *Kvægets ernæring og fysiologi Bind 1—Næringsstofomsætning og fodervurdering* (s. 39–65). Danmarks JordbrugsForskning.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2010). *Plant physiology* (5. utg.). Sinauer Associates INC.
- Underwood, E. J., & Suttle, N. F. (1999). *The mineral nutrition of Livestock* (3. utg.). CABI Publishing.
- VIPS - Varmesum og nedbør.* (u.å.). VPS- Varsling innen planteSkadegjørere. Hentet 17. april 2023, fra <https://gamlevips.nibio.no/weather/we707s.jsp?klimastasjonId=34&fraDato=01.09.2022&basisTemperatur=5.0&tilDato=15.09.2022&BUTTON=ok>
- Weil, R. R., & Brady, N. C. (2017). *The nature and properties of soil* (15. utg.). Pearson Education Limited.
- Whitehead, D. C. (1995). *Grassland nitrogen* (1. utg.). CAB International.
- Yara (Red.). (2020). *Gjødselhåndbok*. Yara Norge AS. https://www.yara.no/siteassets/crop-nutrition/gjodslingsrad/yara_gjodselhandbok_2020.pdf
- Zhao, F., & McGrath, S. P. (1994). Extractable sulphate and organic sulphur in soils and their availability to plants. *Plant and Soil*, 164(2), 243–250. <https://doi.org/10.1007/BF00010076>

Vedlegg

Vedlegg 1. Feltkart

Rute		301	302	303	304	305	306	307	308	309	
Gjentak 3	Kant										Kant
Ledd		2	5	6	8	7	4	1	3	9	
Rute		201	202	203	204	205	206	207	208	209	
Gjentak 2	Kant										Kant
Ledd		1	4	8	5	9	3	6	7	2	
Rute		101	102	103	104	105	106	107	108	109	
Gjentak 1	Kant										Kant
Ledd		7	3	5	9	4	2	8	6	1	
	Avlingsveg										

Vedlegg 2. Innholdet i mineralgjødslertypene brukt i forsøket

Tabell 17: Innhold (%) i mineralgjødslertypene brukt i forsøket, hvor S forekommer som anhydritt (CaSO₄) (Yara, 2020).

Gjødsel	N	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	S	K	Ca	Mg	Andre
	totalt							
YaraBela SULFAN	24	12	12	6		8,6	0,6	
YaraBela OPTI-NS	27	13,5	13,5	3,7		6	0,7	
OPTI-NK	22	9,9	12,1	3	11,6		0,6	Cl, B og Zn
CAN 27-0-0	27	13,5	13,5			4	1	

Vedlegg 3. Innhold i husdyrgjødsel fra Levanger

Prøve nr.	Brukt	TS %	Nitrogen kg/t	Ammonium kg/t	P kg/t	K kg/t	S kg/t	pH
1.HG m/biorest	Vår 20							
	Vår 21	5,1	2,55	2,05	0,4	3,5	0,3	6,9
	1. slått 21							
	1. slått 22							
2.HG m/biorest	1. slått 20	5,4	3,3	1,73	0,43	2,9	0,26	7
3. HG u/biorest	Vår 22	6,6	4,1	1,98	0,64	3,7	0,53	7,7

Vedlegg 4. Gjødselmengder til hvert ledd

Ledd	Vårgjødsling pr. daa	Etter 1. slått pr. daa	Etter 2. slått pr. daa
1	3 tonn husdyrgjødsel (HG)	2t HG	
2	3t HG + 20,4 kg Sulfan	2t HG + 15,3 kg Sulfan	10,2 kg Sulfan
3	3t HG + 31,5 kg Sulfan	2t HG + 23,6 kg Sulfan	15,8 kg Sulfan
4	3t HG + 42,5 kg Sulfan	2t HG + 32 kg Sulfan	21,3 kg Sulfan
5	3t HG + 18,1 kg Opti-NS	2t HG + 13,6 kg Opti-NS	9 kg Opti-NS
6	3t HG + 28 kg Opti-NS	2t HG + 21 kg Opti-NS	14 kg Opti-NS
7	3t HG + 37,8 kg Opti-NS	2t HG + 28,4 kg Opti-NS	18,9 kg Opti-NS
8	3t HG + 46,4 kg Opti-NK	2t HG + 34,9 kg Opti-NK	23,2 kg Opti-NK
9	3t HG + 37,8 kg CAN	2t HG + 28,4 kg CAN	18,9 kg CAN

Vedlegg 5. Tilførte næringsstoffer med mineralgjødning i kg/daa

Ledd	Vår				Etter 1. slått				Etter 2. slått				Totalt til 3. slåtter			
	N	P	K	S	N	P	K	S	N	P	K	S	N	P	K	S
1																
2	4,89			1,22	3,67			0,92	2,44			0,61	11	0	0	2,75
3	7,56			1,89	5,67			1,42	3,78			0,95	17	0	0	4,25
4	10,2			2,55	7,67			1,92	5,11			1,28	23	0	0	5,75
5	4,89			0,67	3,67			0,5	2,44			0,33	11	0	0	1,51
6	7,56			1,04	5,67			0,78	3,78			0,52	17	0	0	2,34
7	10,2			1,4	7,67			1,05	5,11			0,7	23	0	0	3,15
8	10,2		5,38	1,39	7,67		4,04	1,05	5,11		2,69	0,7	23	0	12,1	3,14
9	10,2				7,67				5,11				23	0	0	0



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway