



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave våren 2023 30 stp

Institutt for plantevitenskap

Fakultet for biovitenskap

Analyse av avling og næringsverdi i helgrøde av bygg og hvete ved bruk av NIRS

Analysis of yield and nutritional value of whole crop
barley and wheat using NIRS

Olav Havn

Master i plantevitenskap

Forord

Denne masteroppgaven markerer slutten på en toårig master i plantevitenskap ved NMBU, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Masteroppgaven har vært interessant og spennende, og gitt meg nyttige kunnskaper som jeg kommer til å dra nytte av i min etterfølgende arbeidskarriere.

Interessen for planter og grovfôr har vært til stede lenge og produksjon av fôr til husdyr er et viktig interesseområde for meg. Arbeidet har vært lærerikt og samtidig bydd på utfordringer. Læringskurven har vært bratt for både RStudio og NIRS analysering.

En ekstra stor takk rettes til hovedveileder Tomas Persson ved NIBIO Særheim som har vært sentral både i prosessen rundt utførelsen av forsøket, analysering og skriving. Jeg vil også takke veileder Åshild Gunilla Ergon ved NMBU. Videre vil jeg takke øvrig ansatte ved Særheim for muligheten jeg fikk til å være med på forsøket, diskusjoner, hjelp og opplæring. Andre involverte personer til forsøkene ved Apelsvoll, Steinkjer og Stjørdal takkes også.

Min svoger, Torodd F. Ottestad, fortjener en stor takk for hjelp i RStudio til å lage oversiktlige og fine figurer.

Miljøet på lesesalen i Husdyrfagbygget ved NMBU har vært veldig bra. Med felles lunsj, diskusjoner og bordtennisbord har dagene gått fort og jeg kan se tilbake på en travel, men fin tid som student ved NMBU.

Institutt for plantevitenskap, NMBU

Ås, 15. mai 2023

Olav Havn

Sammendrag

Helgrøde av korn er en fiber- og stivelsesrik fôrressurs til drøvtyggere, der hele planten med stengel, blader og kornkjerner utnyttes samlet som et ensilert grovfôr. I dyrkingssystemer kan helgrøde dyrkes alene eller i kombinasjon med gjenlegg. Dyrking av helgrøde kan også være en strategi ved sviktende engavlinger.

En viktig faktor som påvirker avling og næringsinnhold er plantenes utviklingsstadium ved høsting. I denne studien ble avling og innhold av aske, råprotein, fiber, stivelse og fordøyelighet av organisk materiale undersøkt ved fire utviklingsstadier for bygg og hvete i 2021 og 2022. På totalt 6 lokasjoner ble helgrøde dyrket i fullstendige blokkforsøk med fire gjentak. Prøver à 0,25m² ble tatt ut ved full aksskyting, melkematning, tidlig og sein deigmatning. Deler av prøvene ble klippet opp i aks og stengel med blader, og videre tørket. Næringsanalysen ble analysert ved bruk av NIRS, med kalibreringsmodeller basert på 235 prøver av helgrøde av bygg fra Sverige.

Avlingene økte fra 541 kg TS/daa til 1103 kg TS/daa fra skyting til sein deigmatning for hvete. Tilsvarende økte avlingene fra 604 kg TS/daa til 1054 kg TS/daa for bygg.

Ved økende utviklingstrinn gikk konsentrasjonen av aske og fiber ned. Konsentrasjonen av råprotein gikk ned fra skyting til melkematning og holdt seg deretter stabil. Innholdet av stivelse økte, mens fordøyeligheten av organisk materiale målt som VOS forandret seg lite, foruten en liten numerisk økning for bygg.

I stengel fraksjonen sank konsentrasjonen av aske, råprotein og fordøyelighet ved økende utviklingsstadium. Konsentrasjonen av fiber økte og for stivelse var det tilnærmet ingenting i stengel frem til sein deigmatning. For aks-fraksjonen sank konsentrasjonen av aske og fiber, mens stivelse og fordøyelighet økte i løpet av vekstsesongen. Innholdet av råprotein i aks gikk ned fra skyting til melkematning og holdt seg deretter stabilt for bygg, mens det økte litt for hvete.

Resultater fra denne studien viste også en høyere konsentrasjon av stivelse og fordøyelighet for bygg sammenlignet med hvete.

Abstract

Whole crop cereal silage (WCCS) is a fiber and starch-rich feed resource for ruminants, where the entire plant with stem, leaves, and grain kernels are utilized collectively as ensiled roughage. In cultivation systems, WCCS can be grown alone or in combination with reseeded grass. WCCS can also be a strategy in case of failed grass yields.

One important factor affecting yield and nutrient content is the plant's developmental stage at harvest. In this study, yield and content of ash, crude protein, fiber, starch, and organic matter digestibility were examined at four developmental stages for barley and wheat in 2021 and 2022. WCCS was grown at six locations in complete block trials with four replicates. Samples of 0.25m² were harvested at full heading, milk maturity, early- and late dough maturity. Parts of the samples were cut into ears and stem with leaves, and further dried. The nutritional analysis was performed using NIRS, with calibration models based on 235 samples of whole crop barley from Sweden.

Yields increased from 541 kg DM/daa to 1103 kg DM/daa from heading to late dough maturity for wheat. Similarly, yields increased from 604 kg DM/daa to 1054 kg DM/daa for barley.

As developmental stages progressed, the concentration of ash and fiber decreased. The concentration of crude protein decreased from heading to milk maturity and then remained stable. The starch content increased, while the organic matter digestibility measured as VOS changed little, except for a slight numerical increase for barley.

In the stem fraction, the concentration of ash, crude protein, and digestibility decreased with increasing developmental stage. The concentration of fiber increased, and for starch, there was almost none in the stem until late dough maturity. For the ear fraction, the concentration of ash and fiber decreased, while starch and digestibility increased during the growing season. The crude protein content in the ear decreased from heading to milk maturity and remained stable for barley, while it increased slightly for wheat.

The results from this study also showed a higher concentration of starch and digestibility of barley compared to wheat.

Innholdsfortegnelse

Forord	I
Sammendrag	II
Abstract	III
1.0 Innledning	1
2.0 Teori	3
2.1 <i>Helgrøde</i>	3
2.1.1 Definisjon.....	3
2.1.2 Dyrkingsomfang.....	3
2.1.3 Valg av arter, sorter og mikser.....	3
2.1.4 Jord og dyrkingsforhold	4
2.1.5 Såmengde, dyrking og høsting.....	5
2.1.6 Avling og avlingskomponenter.....	6
2.1.7 Næringsinnhold og fôrverdi	7
2.1.8 Ensilering	10
2.1.9 Produksjonsrespons av helgrøde som fôrmiddel	11
2.1.10 Klimaets påvirkning på dyrking av helgrøde.....	12
2.2 <i>Fenologisk utvikling og modning av helgrøde</i>	13
2.2.1 Zadoks skala.....	13
2.2.2 Påvirkning av temperatur og varmesum	14
2.2.3 Utvikling av aks og kornkjerner.....	14
2.3 <i>NIRS analyser</i>	15
2.3.1 Virkemåte og teknologi.....	15
2.3.2 Kalibreringsmodeller	16
3.0 Metode og material	18
3.1 <i>Organisering av forsøk</i>	18
3.2 <i>Utviklingsstadier og høstetidspunkt</i>	19
3.3 <i>Prøveuttaking</i>	20
3.4 <i>Utførelse av NIR-analyse</i>	21
3.5 <i>Statistiske beregninger</i>	22
4.0 Resultater	23
4.1 <i>Avlingsdata og tørrstoff</i>	23
4.2 <i>Næringsinnhold</i>	29
4.3 <i>Næringsinnhold i aks og stengel</i>	35
4.4 <i>Varmesum og prognoser</i>	42
5.0 Diskusjon	44
6.0 Konklusjon	55
Referanser	56

1.0 Innledning

«Helgrøde av korn er den nordiske varianten maisensilasje» (Schärer, 2015). Fôret høstes mellom melkemedning og gulmodning der hele planten med både stengel, blad og kornkjerner utnyttes samlet (Schärer, 2015). Grønnefôr skiller seg fra helgrøde ved at planten her høstes på et tidligere stadium enn melkemedning når planten er i grønn og saftig tilstand (SNL, 2018). Selv om det er økende interesse for dyrking av helgrøde, er det ikke veldig vanlig kost for norske kyr. En del av forklaringen har grunnlag i utfordringer til å oppnå ønsket stivelsesinnhold. I tillegg til store avlinger, vil ofte innblanding av helgrøde i rasjonen gi et større fôropptak, men det er ikke alltid dette viser seg igjen i økt avdrått i melkeproduksjon eller økt tilvekst i kjøttproduksjon (Randby et al., 2019).

Helgrøde utgjør en fleksibel fôrressurs som kan være et aktuelt supplement i fôrrasjonen. Ved ensidig grovfôrbaserte dyrkingsstrategier i husdyrtette områder kan helgrøde av korn og belgvekster gi et positivt vekstskifte. I forbindelse med gjenlegg vil helgrøde som dekkvekst kunne bidra med høyere avling i såingsåret og være et tiltak mot flerårig ugras (Mæland, 2021). Avlingen høstes i et fleksibelt tidsvindu, der hele avlingen høstes på en gang i motsetning til eng som høstes flere ganger (Powell, 2008). De ulike artene av korn og belgvekster har ulike egenskaper som påvirker dyrking, avling og næringsinnhold. Ettersom tidlige sorter av bygg (*Hordeum vulgare*) er de kornsortene som krever kortest vekstsesong gir dette et større dyrkingsområde sammenlignet med hvete (*Triticum aestivum*), både når det kommer til høyde over havet og breddegrad (Holtet, 2021).

I løpet av de siste årene har flere vekstsesonger vært krevende som følge av vær og klima. Frem til år 2100 er jordas gjennomsnittstemperatur forventet å øke med 2,4 – 4,5°C, som følge av en økning i utslippet av klimagasser (Farooq et al., 2023). For jordbruket i Norge blir temperaturøkning og økt nedbør de endringene som vil skape størst effekt (Bardalen, 2018). Det norske jordbruket vil måtte forberede seg på å håndtere en økende mengde ekstremvær med påfølgende utfordringer. Ved sviktende eng-avlinger kan helgrøde erstatte en vesentlig del av fôrrasjonen. Dette kan innebære dårlig overvintring eller ugunstige vekstforhold som gjør at mer av gårdens arealer må tas i bruk for å produsere fôr til vinteren. For gårdsbruk med både husdyr og kornproduksjon kan det i en fôrmangelsituasjon bli aktuelt å høste kornet som helgrøde istedenfor tresking av modent korn.

Både avling og næringsinnhold i helgrøde vil være avhengig av flere faktorer som plantenes utviklingstrinn, art- og sortsvalg, gjødsling samt jord- og værforhold. Økt kunnskap om dette vil kunne gi større mulighet for å oppnå ønsket avling og fôrkvalitet av helgrøde, som kan øke det økonomiske utbyttet. I den sammenheng skal jeg i denne oppgaven undersøke følgende problemstillinger:

1. Hvordan endres avling og innholdet av aske, fiber, protein, stivelse og fordøyelighet i bygg og hvete fra blomstring til gulmodning?
2. Hvordan skiller innholdet av aske, fiber, protein, stivelse og fordøyelighet seg mellom aks og blad/stengel av bygg og hvete ved ulike utviklingsstadier?
3. Hvor vel kan man prognostisere aske, fiber, protein, stivelse og fordøyelighet i bygg og hvete fra blomstring til gulmodning under ulike vær-, jord- og dyrkingsforhold?

2.0 Teori

2.1 Helgrøde

2.1.1 Definisjon

Helgrøde omtales ofte som «Whole-crop cereal silage» (WCCS) internasjonalt, og baserer seg på kornvekster som høstes før full modning og ensileres (Rustas, 2009). I denne definisjonen legges det til grunn at både kornkjerner og stengel med blader høstes som en miks og lagres under anaerobiske forhold. Mais (*Zea mays*) ekskluderes vanligvis fordi man ofte snakker om småkornet arter (Rustas, 2009). Dette til tross for at mais brukes på samme måte, men omtales da som maisensilasje. Tilsvarende blir helgrøde definert som en ettårig vekst eller en blanding av ettårig vekster som høstes og konserveres (Powell, 2008). Med ettårige vekster menes også her kornarter eller belgvekster.

2.1.2 Dyrkingsomfang

Helgrøde utgjør en liten andel av planteproduksjonen i Europa, mens det i Nord-Amerika og spesielt Canada dyrkes mye helgrøde av bygg og maisensilasje som fôr til storfe og melkeproduksjon (Rustas, 2009; Addah et al., 2011; Nair et al., 2018). I vestlige deler av Europa er det bare Tyskland, Danmark og Storbritannia som har en betydelig produksjon av helgrøde. I sørligere strøk, som Tyrkia og Israel, er derimot helgrøde av hvete en viktig fôrressurs som dyrkes om vinteren i et to-avligns system (Filya, 2003; Weinberg & Chen, 2013).

Interessen for dyrking av alternative fôrvekster beskrives som stigende, motivert av å redusere bruk av innkjøpt kraftfôr ved å lage en god fôrmasjon (Mæland, 2021). Forsøk fra Jæren har dessuten vist gode erfaringer i prosjektet «Korn som vekstskifte» (Møgedal, 2019). I Storbritannia ble det gjort gode erfaringer på 90-tallet som økte bruken av helgrøde i fôrmasjonene til melkekyr (Anil et al., 1998). Dette gav en stivelsesrik rasjon med et økt innhold av protein i melka.

I flere dyrkingsstrategier er det også vanlig at korn eller belgvekster såes i forbindelse med etablering av ny eng for å øke avling i såingsåret og konkurrere bedre mot ugras (Rustas, 2009; Møgedal, 2019). Utover dette finnes det lite statistikk over dyrkingsomfanget av helgrøde i Norge.

2.1.3 Valg av arter, sorter og mikser

De mest vanlige artene til dyrking av helgrøde er hvete og bygg, men alle vår- og høstkornarter kan brukes (Powell, 2008). Til dyrking av helgrøde i Sverige brukes i de fleste tilfeller

havre (*Avena sativa*), bygg, rug (*Secale cereale*), hvete og triticale/rughvete (*X Triticosecale* Wittmack) (Wallsten, 2008). Av disse dyrkes bygg og havre i størst omfang, ofte i samdyrking med erter (*Pisum sativum*) eller åkerbønner (*Vicia faba*) (Rustas, 2009). I Danmark var det tidligere sagt at vårbygg, alene eller i kombinasjon med erter var de viktigste artene (Powell, 2008). Hvete ble i mindre grad dyrket på grunn av at det optimale høstetidspunktet kom senere i sesongen, til tross for en økning i tørrstoffavling. Under norske forhold ensileres helgrøde av to- og seks-rads bygg, hvete, havre, rug og rughvete, samt erter og åkerbønner (Johansen, 2016). Det har også blitt vanlig med samdyrking av to eller flere helgrødevekster. I mange tilfeller blandes en kornart med en belgvekst for å øke innholdet av protein. Erter har lenge vært dominerende, men i senere tid har også åkerbønner blitt prøvd ut i Norge, med gode erfaringer (Mæland, 2021). Til tross for en lang vekstsesong ved dyrking av åkerbønner til modning kan høstetidspunktet i større grad tilpasses. Samdyrking kan gi fordeler som bedre utnytting av ressurser, mindre konkurranse om lys, bedre bekjempelse av ugras og lavere smittepress (Mæland, 2021). Stor andel belgvekster kan derimot være vanskelig å ensilere.

Innen artene er det også foredlet fram sorter med ulike egenskaper. Dette kan være egenskaper som proteininnhold, sykdomsresistens, strå lengde, kornvekt og avling. Planteforedlingen av kornartene som tilbys på markedet er derimot i stor grad basert korn som dyrkes fram til modning, der kornavling står veldig sentralt (Powell, 2008). Når det er sagt vil egenskaper som påvirker kornavling og innhold også påvirke artene og sortenes egenskaper som helgrøde. Et høyere forhold mellom aks og stengel for bygg sammenlignet med havre er en forklaring på et høyere stivelseinnhold og lavere fiberinnhold for bygg (Nadeau, 2007).

2.1.4 Jord og dyrkingsforhold

Kornarter kan dyrkes på de fleste jordtyper, men fruktbarheten og dreneringstilstanden vil påvirke utfallet. En viktig faktor i jorda som påvirker plantevekst er pH. I mineraljord ligger optimalintervallet for dyrking av bygg og hvete i Norge mellom 6,0 - 6,5, avhengig av jordart og innhold av organisk materiale (Nesheim, 2014). Tilsvarende tåler havre noe lavere pH og passelig intervall ligger mellom 5,8 til 6,3. Inkluderes belgvekster bør gjerne pH være i øvre sjiktet eller høyere enn pH for bygg og hvete for å sikre god N-fiksering fordi *Rhizobium*-bakteriene er sensitive til sur jord (Slattery et al., 2001).

Mineraljord består av større eller mindre fraksjoner av sand, silt og leire bestående av mineraler. Andelen av sand, silt og leire gir jorda fysiske, kjemiske og agronomiske egenskaper. På samme

måte vil mineralogien og forvittringsgrad påvirke innhold av næringsstoffer. I tillegg inneholder jorda mer eller mindre organisk materiale som påvirker omsetning av næringsstoffer og innhold av vann. Valg av jordarbeidingsmetode vil variere etter forgrøde, jordtype og tid (Powell, 2008).

2.1.5 Såmengde, dyrking og høsting

Anbefalingene rundt såtetthet baserer seg mye på ønsket plantetthet, kostnad på innsatsfaktorer, såtidspunkt og 1000-korn vekt. I følge Valério et al. (2013) er anbefalt såtetthet for hvete i intervallet 250 – 400 levedyktige frø per kvadratmeter. I prosjektet «KornFUTH» hadde 6-radssortene Heder og Brage av bygg og hvetesorten Zebra ei tusenkornvekt på rundt 40g (Russenes, 2020). Med denne tusenkornvekta vil 250-400 levedyktige frø per m² tilsvare såmengder på 11,8 til 18,8 kg/daa med en spireprosent på 85 (Unikorn, u.å). I et forsøk fra Pakistan ble såmengdene 125 kg/ha, 150 kg/ha og 175 kg/ha testet opp mot vekst og avling for hvete (Soomro et al., 2009). Ved høyere såtetthet ble det registrert høyere planter, færre buskingsskudd, færre aks per plante, færre korn per aks og lavere 1000 korn-vekt. I et annet forsøk under norske forhold ble det sådd 240 kg av vårhvete til dyrking av helgrøde (Randby et al., 2019). Dette var nesten dobbelt så mye som ble sådd i et lignende eksperiment i Australia der det ble brukt 130 kg/ha for høsthvete, havre og rughvete (Jacobs et al., 2009). Ved bruk av helgrøde som en dekkvekst til undersådd eng bør derimot såmengden reduseres med 15% av normale anbefalinger for å gi bedre vilkår for grasfrøene (Powell, 2008).

Avhengig av hvilken art eller sort som nyttes sår man veksten om våren eller høsten. Faktorer som sådybde, jordstruktur, temperatur og aggregatstørrelse vil påvirke spiring og etablering av plantene (Powell, 2008). Frøet, som på grunn av en imbibisjon, vil trekke til seg vann som starter enzymaktivitet og stoffomsetning av opplagsnæring i embryoet etterfulgt av at kimroten trenger seg gjennom frøskallet (Bernier jr., 2020). Er derimot jordtemperaturen under 4°C vil spiringsprosessen være treg, som normalt sett er gjennomført i løpet av 10 dager ved temperaturer mellom 10-20°C (Powell, 2008).

Korn til helgrøde dyrkes på mer eller mindre samme måte som korn til modning, unntatt når det gjelder høstetidspunkt. Av forskjeller kan stråforkorting og delt nitrogengjødsling for økt proteininnhold i hvete til full modning nevnes. Sistnevnte gjøres ofte som en strategi for å oppnå matkornklassifisering, men er en vurdering mellom økonomisk utbytte og kostnad av

innsatsfaktorer. I en studie av helgrøde av bygg ble det undersøkt effekter av delt tildeling av husdyrgjødsel fra gris (Lee et al., 2010). Næringsopptaket og avling viste seg å være høyere for kontrolleddet behandlet med kjemisk gjødsel og ved delt fordeling av husdyrgjødsel, sammenlignet med én tildeling av husdyrgjødsel. Ugrasbekjempelsen skiller seg lite mellom helgrøde og korn til modning, men det tidligere høstetidspunktet kan ha betydning for modenheten og spiredyktigheten til noen typer ugras (Powell, 2008). På grunn av den tidligere høstingen ved dyrking til helgrøde må tidspunkt for eventuelle sprøytinger også vurderes opp mot behandlingsfrist for det aktuelle plantevernmiddelet.

Høstingen av helgrøde skiller seg tydelig fra tresking. Plantene har et høyere vanninnhold før modning enn ved full modning. Dette gjør at helgrøde ikke er lagringsstabil ved høsting og må konserveres. Plantemassen konserveres som surfôr på samme måte som gras ved bruk av finsnitter og lessevogn i en plansilo eller slåmaskin og rundballepresse (Schärer, 2015). Ved økende modenhet av kornkjernene vil disse bli fastere og faren for redusert fordøyelighet øker. Selvgående finsnittere brukt til mais og gras kan utstyres med såkalt «corn-cracker» for å redusere problemet. I en studie om helgrødesurfôr av hvete fra Ås (sørøst i Norge) ble effekten av valsing undersøkt (Randby et al., 2019). Valsing kan gi bedre fordøyelighet av kornkjernene fordi kjernen klemmes og knuses. Det ble konkludert med at stivelse i hvetekjerner høstet ved stadiene myk- til hard deigmodning eller før, i kombinasjon med en tørrstoffkonsentrasjon lavere enn 43% ble totalt fordøyd i melkekyr uten behov for valsing. I en annen studie, riktignok ved bruk av ureabehandlet helgrøde av hvete høstet ved vekststadium 87 i Zadoks skala (60,3% TS), ble det observert mye hele kornkjerner passere vomma (Abdalla et al., 1999). Dette resulterte i lav fordøyelse av stivelse.

Ved høsting av helgrøde kan stubbehøyden påvirke andelen strå og aks i surfôret, som også vil ha betydning for fordøyelighet, fiberinnhold og konsentrasjon av andre næringsstoffer. I tillegg vil høy stubbehøyde redusere den totale avlingen og det stilles spørsmål til om dette har en effekt ved fôring av storfe (Rustas, 2009; Walsh et al., 2008). I prosjektet «Korn som vekstskifte» ble det også registrert en nedgang i avling ved økt stubbehøyde, som gav høyere andel aks og lavere fiberinnhold (Møgedal, 2019).

2.1.6 Avling og avlingskomponenter

Avlingskomponentene til kornarter er antall aks per arealenhet, antall korn per aks og kornvekt (Hay & Porter, 2006). Antall aks kan videre påvirkes av antall planter og graden av busking. I

større eller mindre grad kan avlingskomponentene kompensere hverandre gjennom sesongen når andre avlingskomponenter svikter. Evnen til å kompensere foregår ved ulike stadier for komponentene (Hay & Porter, 2006). Ved høsting av helgrøde brukes derimot hele planten og avlingen påvirkes av mengden av både stengel, blader og aks med kornkjerner.

Tørke og vannmangel kan gi stress hos plantene og påvirke avlingskomponentene negativt (Akram, 2011). Opptaket av vann styres av flere faktorer der stomata spiller en viktig rolle i plantenes opptak av vann og CO₂ (Hay & Porter, 2006). Hvor mye CO₂ planta fikserer ut ifra hvor mye vann som tapes angir effektiviteten av vannforbruket (WUE).

På samme måte er gjødsling med nitrogen en viktig faktor for avling. Biomasseavlingen øker ganske lineært ved økende tilførsel av nitrogen opp til et nivå, hvor avlingen flater ut eller synker litt (Hay & Porter, 2006). Avlingen er derfor avhengig av hvor mye nitrogen som finnes tilgjengelig og hvor mye bladmasse som dannes per enhet nitrogen.

Avling av helgrøde varierer en del etter art, lokasjon, vekstsesongen og høstetidspunkt. I en studie av Wallsten (2008) fra Sverige lå avlingene for bygg og havre i intervallet 583-640 kg TS/daa ved melkemedning og 836 – 906 kg/daa ved deigmodning. Rughvete og rug gav derimot vesentlig høyere avling ved henholdsvis 1019 og 1233 kg TS/daa ved melkemedning og 1290 og 1349 kg TS/daa ved deigmodning. I studien av Randby et al. (2019) ble det høstet helgrødeavlinger av hvete på 730 kg TS/daa ved tidlig deigmodning og 678 kg TS/daa ved mjuk til hard deigmodning. I en britisk studie ble det registrert avlinger så høye som 1500-1810 kg TS/daa for høstkorn av hvete, bygg, havre og rughvete, der rughvete gav høyest og bygg lavest avling (Tetlow, 1992). Tilsvarende gav helgrøde av vårkorn avlinger på 1000-1200 kg TS/daa. Det finnes flere studier som dokumenterer avlinger på under og over 1000 kg TS/daa for de ulike kornartene med tydelig variasjoner (Powell, 2008). I et forsøk fra Jæren med samdyrking av hvete, flerårig raigras og åkerbønner ble det oppnådd en avling på 746-845 kg TS/daa (Mæland, 2021).

2.1.7 Næringsinnhold og fôrverdi

Helgrøde blir i utgangspunktet sett på som et stivelses- og fiberrikt fôr. Innholdet av råprotein er forholdsvis lavt og helgrøde må derfor suppleres med annet proteinrikt grovfôr eller kraftfôr. I flere forsøk er innholdet av råprotein funnet til å ligge i intervallet 45-104 g/kg TS (Ghanbari-Bonjar & Lee, 2003; Nadeau, 2004; Randby et al., 2019). I en annen studie lå råproteininnholdet

i intervallet 60-120 g/kg TS (Wilkins & Kirilov, 2003). Ved innblanding av åkerbønner og flerårig raigras til hvete ble det i forsøket til Mæland (2021) oppnådd et proteininnhold på 131 g/kg TS. Av plantedelene har bladene høyest proteininnhold, etterfulgt av akset og stengelen har lavest (Rustas, 2009). Konsentrasjonen synker raskt i bladene og holdes mer konstant i akset.

Fiber i plantene kan uttrykkes som NDF (Neutral Detergent Fibre) der innholdet av cellulose, hemicellulose og lignin estimeres (Van Soest et al., 1991). Innholdet av NDF var i studien til Randby et al. (2019) 454-480 g/kg TS for hvete ved deigmodning. Wallsten (2008) fant i sin studie et mye likt fiberinnhold for bygg og rughvete høstet ved deigmodning. For rug og havre var innholdet høyere med henholdsvis 540 og 521 g/kg TS. Ved melkmodning var derimot fiberinnholdet høyere med verdier nærmere 600 g/kg TS for bygg og havre. En tilsvarende studie av Nadeau (2007) viste et fiberinnhold i bygg, rughvete, havre og vårhvete ved tidlig melkmodning på 518 – 582 g/kg TS av ferske planter. Ved tidlig deigmodning var innholdet 447-513 g/kg TS.

I samme studie var innholdet av stivelse i de samme artene 27-52 g/kg TS ved tidlig melkmodning, lavest for vårhvete og høyest for havre (Nadeau, 2007). Ved tidlig deigmodning var derimot innholdet 238 for bygg, 157 for rughvete, 194 for havre og 196 g/kg TS for vårhvete. Også Wallsten (2008) fant lavt innhold av stivelse ved melkmodning, men en betydelig økning ved deigmodning. Rug og rughvete hadde her 29% og 27% stivelse, mens bygg hadde et innhold rett over og under 20%. I forsøket utført på Ås fant Randby et al. (2019) en økning fra 110 til 266 g/kg TS fra tidlig til mjuk til hard deigmodning i vårhvete. Økningen kan forklares av at plantene inneholder mer vannløselige karbohydrater (WSC) ved tidlig modenhet som senere blir lagret som stivelse ved kornfylling (Bergen et al., 1991; Nadeau, 2007). Nadeau (2007) fant en gjennomsnittlig økning i stivelsesinnholdet i bygg, rughvete, havre og vårhvete fra tidlig melkmodning til tidlig deigmodning på 403%.

Stivelse er et polysakkarid som består av lange kjeder med glukose. Basert på bindingene mellom glukosemolekylene kan stivelse deles inn i amylose og amylopektin (Bernatek, 2022). Førstnevnte består av lineære kjeder av glukose med alfa-1-4-bindinger. Sistnevnte har en mer forgreinet struktur der det i tillegg er alfa-1-6-bindinger. Andelen av disse komponentene i helgrøde kan variere med planteart og ha påvirkning på nedbrytningshastigheten av stivelse i vom. Stivelse som brytes ned i vom hos drøvtyggere gir flyktige fettsyrer (VFA), mens stivelse

som når tynntarmen tas opp som glukose (Stevnebø et al., 2009). Produksjonen av flyktige fettsyrer senker pH i vom og påvirker flere fysiologiske faktorer negativt og gir høy vom-belastning dersom vomma blir veldig sur (Hunt, 1996). Glukose absorbert fra tarmen antas derimot å ha en bedre energieffektivitet og positiv effekt på produksjonen av melkeprotein (Stevnebø et al., 2009). Kornartene har generelt sett en raskere nedbrytningshastighet av stivelse enn mais. I en studie som etterlignet forholdene i vomma hadde havre størst nedbrytningsgrad i vom, etterfulgt av hvete, bygg og enda lavere for mais (Herrera-Saldana et al., 1990). I tillegg til forholdet mellom amylose og amylopektin vil også molekylvekten til stivelseskorn og den molekylære strukturen påvirke fysiske og kjemiske egenskaper hos stivelse (Lindeboom et al., 2004).

Fordøyelighet av organisk materiale (OMD) er en viktig egenskap ved helgrøde når det kommer til husdyrnæring og angir hvor mye av det organiske materialet som er fordøyelig i prosent eller g/kg. Det finnes flere metoder for å bestemme fordøyeligheten basert på ulike metoder, der *in vivo*, *in vitro* og *in sacco* brukes (Åkerlind et al., 2011). Sammenhengen mellom VOS (fordøyelighet av organisk materiale) som er en *in vitro* metode og OMD som er en *in vivo* metode kan uttrykkes ved følgende formel (Åkerlind et al., 2011):

$$\text{OMD} = -2,0 + 0,90 * \text{VOS}$$

I studien fra Randby et al. (2019) hadde helgrødesurfôr av hvete høstet ved tidlig og myk til hard deigmodning en VOS-fordøyelighet på 0,676 og 0,659. Normalt sett fører et senere høstetidspunkt av planter til redusert fordøyelighet på grunn av økning i lignin. For hvete, havre og bygg var det derimot ingen forskjell i fordøyelighet fra tidlig melkmodning til deigmodning (Nadeau, 2007). I samme studie hadde bygg den høyeste VOS-fordøyeligheten på 795 g/kg, deretter rughvete med 787 g/kg, så hvete med 720 g/kg og til slutt havre med 647 g/kg. Studien til Wallsten (2008) viste en *in vitro* fordøyelighet på 705 – 760 g/kg for bygg og havre ved melkmodning og deigmodning.

Den metaboliserbare energien fra helgrøde regnes for å ligge i intervallet 8,0 – 10,0 MJ / kg TS. Til sammenligning regnes surfôr av gras til å ligge mellom 8,5 – 12,0 og maisensilasje mellom 10-12 MJ / kg TS. (Wilkins & Kirilov, 2003)

Tørrstoffkonsentrasjonen i helgrøde ved høsting øker med økende utviklingsstadium, med en raskere økning i løpet av de tre siste ukene før deigmodning (Khorasani et al., 1997). Ved

melkematning var konsentrasjonen 196 – 227 g/kg for havre og bygg, og 323 – 345 g/kg for rughvete og rug (Wallsten, 2008). Ved deigmatning økte tørrstoffkonsentrasjonen til 261 - 443 g/kg for havre og bygg, og 384 – 456 g/kg for rughvete og rug i den samme studien.

Aske er fraksjonen som blir igjen etter forbrenning og kan si noe om mineraler i planten. Et høyt innhold av aske i fôr er ofte forbundet med jordinnblanding under høsting (Wallsten, 2008). I tilfellene hvor man har sådd gjenlegg i tillegg kan enga motvirke jordinnblanding. En annen metode for å motvirke jordinnblanding er å kjøre med riktig stubbehøyde på slåtteutstyret.

Andelen av de ulike plantedelene forandrer seg etter hvert som planten utvikler seg (Rustas, 2009). I tidlige stadier vil andelen av selve stengelen øke sett i forhold til blader, mens etter skyting vil mer tørrstoff fordeles i akset under matingen og dermed synker den relative andelen av stengel med blad fraksjonen (Cherney & Marten, 1982b). Den relative økningen for akset øker videre på grunn av en nedgang i massen for stengel og blader (Rustas, 2009). Aks:stengel forholdet går tydelig opp fra tidlig melkematning til tidlig deigmatning (Nadeau, 2007). Bygg hadde det høyeste forholdet med 1,85 i tidlig deigmatning. Deretter havre, hvete og til slutt rughvete. En annen studie fant andelen til aks for helgrøde av bygg høstet ved mykdeigmatning til å utgjøre 48,9% (Khorasani et al., 1997).

2.1.8 Ensilering

Ettersom høsting av helgrøde foregår på samme måte som ved gras, der plantemassen ikke er tilstrekkelig tørr til å sikre lagringsstabilitet blir fôret ensilert i rundballer, tårnsilo eller plansilo. Ensileringsprosessen kan deles inn i fire faser; den aerobe fasen, fermenteringsfasen, den stabile fasen og til slutt utfôringsfasen (Mo, 2005). I første fase vil oksygen som er igjen i plantemassen holde i gang respirasjonen til plantene, mikroorganismer og enzymer. Fasen bør være så kort som mulig for å redusere nedbryting av næringsstoffer. I fermenteringsfasen vil ulike bakterier og mikroorganismer bryte ned næringsstoffer og danne syrer og andre restprodukter. Forholdene for ensilering avgjør resultatet der det er ønskelig med melkesyregjæring og rask pH nedgang. Når pH etter hvert har nådd en lav nok verdi vil de fleste prosessene opphøre og plantemassen inntar den stabile fasen. Kritisk verdi for pH vil være avhengig av tørrstoffkonsentrasjon der surfôr med 20% TS trenger en pH på 4,2, mens surfôr på 50% TS er stabilt ved pH 5. Kun enzymene med høyest syreterskel vil være aktive og kan hydrolysere strukturdannende karbohydrater som hemicellulose. I utfôringsfasen utsettes fôret for luft igjen

som kan føre til uønsket vekst av mikroorganismer. Tiden fra åpning til utfôring, temperatur og innhold av ensileringsmidler eller syreprodukter er faktorer som har betydning for den aerobe stabiliteten. (Mo, 2005)

Egenskapene for ensilering av helgrøde varierer med utviklingsstadium fordi dette påvirker innholdet av vannløselige karbohydrater og tørrstoffkonsentrasjonen (Cherney & Marten, 1982a). En høyere tørrstoffkonsentrasjon vil gi en mindre pakkevillig plantemasse som inneholder mer uønsket luft. For bygg og havre gav ensilering av helgrøde ved melkematning mer melkesyreproduksjon og sukkerutnyttelse enn ved deigmatning (Bergen et al., 1991). Bruken av ensileringsmidler kan påvirke gjæringskvaliteten i riktig retning (Jacobs et al., 2009)

2.1.9 Produksjonsrespons av helgrøde som fôrmiddel

Behovet av energi og næringsstoffer i fôrrasjonen til drøvtyggere vil være avhengig av faktorer som dyregruppe, rase, melkeproduksjon, tilvekst, drektighet og stadium i laktasjonen. I første del av laktasjonen vil melkekyr ha en negativ energibalanse, mens senere i laktasjonen kan energibalansen ofte bli positiv om ikke fôrrasjonen tilpasses. Den metaboliserbare energien i fôret uttrykkes ofte som «netto energi laktasjon» (NEL) i MJ/kg TS (Van Es, 1975; Volden, 2011). NEL₂₀ brukes ofte til å beskrive metaboliserbar energi i fôrmidler fordi denne tar høyde for et fôropptak på 20 kg TS. Helgrøde av bygg og høstvetete i Danmark regnes for å ha en NEL₂₀ verdi på 5,41 og 5,48 MJ/kg TS (Martinussen, 2018). Til sammenligning regnes maisensilasje å ha en energiverdi på 6,2-6,4 MJ/kg TS (Martinussen, 2018) og gras rundt skyting har gjerne en NEL₂₀ rundt 6,37 MJ/kg TS omregnet fra 0,90 Fem/kg TS med faktoren 7,075 (Mo, 2005).

Karbohydrater, i form av NDF, sukker og stivelse, utgjør rundt 75% av det organiske materialet i fôrrasjonen til melkekyr (Martinussen, 2018). Forholdet mellom NDF og de lettfordøyelige komponentene sukker og stivelse må balanseres for å unngå for høy og rask produksjon av flyktige fettsyrer i vomma. Stivelse og sukker påvirker melkemengde fordi det blir produsert en høyere andel propionsyre i vomma som omdannes til glukose og brukes videre til dannelsen av laktose (Martinussen, 2018). Tilsvarende vil mer eddiksyre fra nedbrytelsen av NDF fremme dannelsen av melkefett. Innholdet av råprotein i totalrasjonen til melkekyr bør være rundt 15-18% (Martinussen, 2018).

I likhet med surfôr av gras kan fôropptaket av helgrødesurfôr påvirkes av faktorer som tørrstoffkonsentrasjon, gjæringskvalitet, innhold av NDF, fordøyeligheten av organisk stoff og fordøyeligheten av NDF (Steen et al., 1998). Det er flere studier som har funnet en økning i

tørrstoffopptak hos melkekyr ved å legge til helgrøde av korn i rasjonen til melkekyr (Huhtanen et al., 2007; Keady, 2005). En forklaring på dette kan være en kombinasjon av at helgrøde ofte har høyere tørrstoffinnhold i kombinasjon med lavere NDF innhold sammenlignet med gras (Keady, 2005). Å fastslå næringsverdien i en sammensatt fôrrasjon til drøvtyggere er komplisert fordi utnyttelsen ikke nødvendigvis er summen av fôrmidlene (Wallsten, 2008). I studien av Wallsten (2008) gav for eksempel helgrødesurfôr av bygg ved tidlig deigmodning en lavere fordøyelighet av organisk materiale og NDF for de andre fôrmidlene i rasjonen. Selv om det er funnet en økning i tørrstoffopptak ved å inkludere helgrøde korresponderer denne økningen dårlig for melk (Keady, 2005). Både melkemengde, energikorrigert melkemengde og proteininnhold i melk gikk ned når kyr ble fôret med helgrødesurfôr av bygg ved økende utviklingsstadium (Wallsten & Martinsson, 2009). Denne sammenhengen er derimot ikke funnet i andre studier (Sinclair et al., 2003). Andre faktorer med påvirkning av opptaket av helgrøde kan være høsteteknikk som påvirker kuttelengde og tyggetid, og innholdet av agner og snerp (Rustas, 2009).

I en studie som undersøkte forskjeller i produksjonsrespons for okser ble dyrene fôret med helgrøde av bygg og hvete høstet ved normal og høy stubbehøyde i tillegg til litt grassurfôr og sammenlignet med maisensilasje og kraftfôr etter appetitt (Walsh et al., 2008). Fôrrasjonene gav ingen forskjeller i tørrstoffopptak, vomfermenterings-egenskaper sett bort fra innhold av ammoniakk, eller fordøyelighet av organisk materiale. Kraftfôr etter appetitt gav derimot høyest tilvekst, men det ble ikke funnet forskjeller blant de andre. Det ble derfor ikke funnet noen forskjell mellom stubbehøyder, men det var en positiv numerisk økning ved høy stubbehøyde.

2.1.10 Klimaets påvirkning på dyrking av helgrøde

Frem til år 2100 er jordas gjennomsnittstemperatur spådd til å øke med 2,4 – 4,5 grader celsius, som følge av en økning i utslippet av klimagasser (Farooq et al., 2023). En slik temperaturendring er spådd til å kunne gi store klimaendringer og påvirkning av jordas økosystemer. På generell basis vil områder rundt ekvator ha et negativt påvirket avlingspotensial, mens regioner på høy breddegrad kan oppleve både negativ og positiv avlingsendring, det senere som følge av et mildere klima og lengre vekstsesong. Samtidig er det anslått at periodevis med økt ekstremvær, som tørke og regn, kan gi store tap i viktige matproduserende regioner (Farooq et al., 2023). En positiv effekt vil være at vekstsesongen

forlenges ettersom temperaturøkningen i størst grad vil skje om vinteren (Bardalen, 2018). Det norske jordbruket vil måtte forberede seg på å håndtere en økende mengde ekstremvær med påfølgende utfordringer. Den våte sommeren/høsten 2017 etterfulgt av en rekordtørr vekstsesong i 2018 er allerede eksempler på klimaendringenes fremtidige utfordringer. I slike tilfeller kan blant annet helgrøde være med på å dekke fôrbehovet ved sviktende engavlinger. Enten ved at mer areal legges om til helgrøde eller at kornareal høstes som helgrøde istedenfor å bli tresket. Ved såing av korn om våren har man nemlig mulighet til å vurdere utvikling og behov av fôrsituasjonen i vekstsesongen og ta en avgjørelse om kornet skal treskes eller høstes som helgrøde (Wallsten, 2008).

2.2 Fenologisk utvikling og modning av helgrøde

2.2.1 Zadoks skala

I livssyklusen til plantene foregår det mange forandringer som kan forklares av vekst, differensiering og utvikling (Hopkins, 2009). Vekst beskriver en irreversibel kvantitativ økning i størrelse og masse, ofte reflektert av en økning i celleantall og cellediameter. For planter egner friskvekt seg dårlig som et mål på vekst på grunn av et høyt innhold av vann i plantevev, og derfor brukes heller tørrvekt. Differensiering skiller seg fra vekst og handler om endringer i celler, vev og organer, istedenfor forandring av størrelse (Hopkins, 2009). Slike forandringer kan for eksempel være når uspesialiserte celler deler seg og blir til mer spesialiserte celler. Utvikling blir beskrevet som summen av vekst og differensiering (Hopkins, 2009). Utviklingen er summen av de forandringene som skjer i celler, vev, organer og organismer, som endrer plantens strukturer og funksjoner. Dette kan være dannelsen av et nytt blad eller at planten blomstrer.

Det er laget flere modeller og skalaer til bestemmelse av planters utviklingsstadium for enklere å kunne tilpasse gjødsling, sprøyting og andre agronomiske tiltak til riktig tid. En mye brukt skala er Zadoks skala som er en desimal kode for vekststadiene til planter (Zadoks et al., 1974). Skalaen er universell og har ei generell ramme som utvides med spesifikke skalaer for de fleste plantearter innen kategorien landbruksvekster (Lancashire et al., 1991). Zadoks skala strekker seg fra 00-99, der første desimal angir det prinsipielle utviklingsstadiet, mens neste siffer deler opp dette stadiet mellom 0 og 9 (Simmons et al., 1985). De prinsipielle stadiene er frøspiring, vekst av frøplante og plante, busking, strekning, holk og flaggblad, skyting, blomstring,

melkemosning, deigmosning og mosning. Det sekundære sifferet vil eksempelvis angi antall buskingsskudd eller fasthet av kornkjerner ved deigmosning (Simmons et al., 1985).

2.2.2 Påvirkning av temperatur og varmesum

Lys, vann og temperatur er de mest kritiske faktorene i planters miljø (Hopkins, 2009). Temperaturen i plantevevet styres i stor grad av miljøets temperatur fordi planter ikke har en metabolsk konstant regulering. Det medfører at enzymatiske reaksjoner, metabolske prosesser og fysiologiske prosesser har sine optimale verdier når det kommer til temperatur (Hopkins, 2009). Utvikling hos planter som hvete er i hovedsak påvirket av temperatur, men andre faktorer som vernalisering og fotoperiode kan også legges til (Salazar-Gutierrez et al., 2013). Basert på dette kan utviklingen predikeres med bakgrunn i varmesum (sum av daglig gjennomsnittstemperatur over basetemperatur) fordi den angir energien mellom fenologiske stadier. I en slik beregning må det legges til grunn en basetemperatur som angir den nedre temperaturen hvor vekst og utvikling stopper opp (Salazar-Gutierrez et al., 2013). Basetemperaturen vil variere mellom ulike utviklingsstadier, men 0°C er vanligvis brukt for hvete uansett stadium (Undersander & Christiansen, 1986). En annen studie fant en basetemperatur for hvete på 4°C frem til skyting og 9,5°C etter (Slafer & Savin, 1991). Det finnes også studier som finner en økt utviklingshastighet frem mot mosning for kornarter ved tilgang på for lite vann og nitrogen, selv om temperatur oftest er avgjørende for utviklingshastighet (Strand, 1987).

2.2.3 Utvikling av aks og kornkjerner

Proessen der assimilater fra fotosyntesen omdannes til sukrose eller stivelse kalles karbonallokering (Hopkins, 2009). Overskudds-assimilater fra bladene transporteres til andre organer og vev i planten. Ved lang transport skjer den via silvev og kalles translokasjon.

Planter som hvete, bygg og havre lagrer litt stivelse umiddelbart, mens store mengder sukrose lagres midlertidig i vakuolen (Hopkins, 2009). I tillegg kan kornarter allokere karbon som fruktaner i vakuolen. Begrepet «source to sink» beskriver flyten av assimilater i planter, der «source» referer til plantedelen som har en netto overskuddsproduksjon av assimilater til «sink», plantedelen som har et underskudd (Hay & Porter, 2006; Hopkins, 2009). En plantedel kan både være «source» og «sink» i ulike faser av livssyklusen. For kornvekster forandrer transporten av assimilater seg i overgangen fra vegetativ til generativ utvikling (Hay & Porter, 2006). Frem til blomstring fordeles assimilatene til tre steder, blader som ikke er fullt utviklet,

stengel og vev under utvikling samt lagring av reserver i stengel og vev. Etter blomstring er det gjenstående blader med fotosyntese og det grønne akset som fungerer som «source», mens «sink» blir kornkjerner og stengelen. Ved senere utviklingsstadier vil derimot også assimilater fra stengel og blader assimileres i kornkjernene. Konkurransen mellom flere typer «sink» er lite kjent og avhenger av deres relative «sink strenght» (Hay & Porter, 2006). Hvete utsatt for varmemstress vil redusere translokasjonen av assimilater til akset. Når translokasjonen begrenses vil kornkjernene bli mindre, det vil bli en kortere kornfyllings-periode som reduserer akkumulering av stivelse og protein på grunn av nedsatt enzymaktivitet og dårligere transport fra stengel og flaggblad (Ullah et al., 2022).

I størrelsesorden vil 70-90% av kornavlingen for hvete dannes fra assimilater fra fotosyntesen under kornfyllingen, der flaggbladet og akset bidrar mest (Simmons et al., 1985). Kornfyllingsprosessen kan deles inn i tre deler. I første del, som foregår før og under melkemosning etableres antallet celler i endospermen. Disse cellene fylles raskt opp med stivelse og protein ettpar uker etter blomstring, og kornavlingen øker betydelig. Etter hvert avtar veksten av kornkjernene som blir harde og modner. (Simmons et al., 1985)

Biosyntese av stivelse i kornkjernenes endosperm er avhengig av enzymatisk aktivitet, der flere enzymer inngår (Jeon et al., 2010). I endospermen lagres stivelse som amylose og amylopektin i ikke-fotosyntetiske plastider, kalt amyloplaster (Seung & Smith, 2019). Størrelsen og antall stivelseskorn i amyloplastene varierer mellom arter og sorter, i likhet med prosessen for granulatinitiering (Seung & Smith, 2019). Amyloplastene kan deles inn i to typer, type A som er store granulater og type B som er mindre i størrelse (Williams & Duffus, 1977). I hovedsak dannes type A på et tidligere tidspunkt etter blomstring og vokser raskt. Forholdet mellom type A og B varierer mellom plantearter og sorter. Innholdet av amylose og amylopektin i de to granulat typene har også vist seg å variere (Williams & Duffus, 1977).

2.3 NIRS analyser

2.3.1 Virkemåte og teknologi

I løpet av de siste årene har bruken av NIRS (Nær infrarød spektroskopi) økt betraktelig for analyse av næringssammensetning av fôrmidler. Analysemetoden er ikke destruktiv, presis, gjøres på kort tid og billig sammenlignet med våt-kjemiske analyser (Evangelista et al., 2021). Prinsippet for NIRS analyse baserer seg på at når en prøve utsettes for elektromagnetisk stråling

med bølgelengder i området på ca 800 – 2500nm vil det skape molekulære vibrasjoner som kan absorberes (Soriano-Disla et al., 2014). Bindinger som lett vibrerer er C-H, N-H og O-H, etterfulgt av C-O, C-N, N-O og C-C som alle finnes i organiske molekyler i større eller mindre grad (Soriano-Disla et al., 2014). I tillegg kan blant annet bindingene Al-O, Fe-O og Si-O i mineraler gi vibrasjoner. Energiabsorpsjonen i organiske molekyler som følge av bindingsvibrasjoner i form av strekking eller bøyning danner et spekter (Manley, 2014). Spektrene er derimot veldig komplekse på grunn av overlappende topper og brede bånd. En stor del av utfordringen til NIRS ligger i å tolke informasjonen man får fra spekteret. For å kunne gjøre dette kreves avanserte matematiske og statistiske beregninger, samt mange referanseprøver med kjent verdi til verifisering (Manley, 2014). Gode kalibreringsmodeller er derfor sentralt for bruken av NIRS analyser.

Forbehandling av prøver varierer mellom NIRS apparater. Noen er beregnet på tørket og oppmalte prøver for å skape like forhold, i tillegg til at vann gir mye reflektans. Andre apparater baserer seg på våt-NIR og kan til og med analysere fortløpende under høsting, eksempelvis John Deere sin HarvestLab 3000.

2.3.2 Kalibreringsmodeller

Kalibreringsmodeller må lages for hver type prøvemateriale som skal analyseres. På samme måte finnes det mange leverandører som har sine systemer og produkter. Fremgangsmåte kan derfor variere, men prinsippene baserer seg i stor grad på de samme. En kalibreringsmodell krever først et sett med representative prøver der innholdet varierer innenfor normale verdier for å lage en godt tilpasset modell. Disse prøvene må både skannes og ha en tilhørende analyse med kjente verdier, ofte fra våt-kjemisk analyse (Marchesini et al., 2018).

Til tolking av spekteret og informasjon fra NIRS analysen brukes ofte en PCA-analyse (Principal components analysis). Dette er et analyseverktøy som kan identifisere den viktigste variasjonen i en slik multivariat datamatrise, i tillegg til å fremstille resultatene grafisk (Destefanis et al., 2000). I analysen gjøres de originale variablene om til hovedkomponenter (Principal components) som er et sett med ukorrelerte faktorer. Disse uttrykker så mye som mulig av variasjonen ved kun bruk av noen få hovedkomponenter. På den måten er PCA et avansert analyseverktøy som forenkler og gjør det lettere å tolke avanserte datasett med mange variabler. I tillegg kan analysen brukes til å identifisere outlier-data og informasjon til å lage modeller og prediksjoner.

En tilsvarende statistisk analysemodell som brukes er PLS (Partial least-squares regression) eller en modifisert modell av denne (mPLS). Denne typen analysemodeller er mye brukt til fôranalyser (Deaville & Flinn, 2000). En forskjell mellom PCA og PLS/mPLS er at sistnevnte bruker både referanseprøver fra laboratoriet og spektraldata for å beregne faktorene som brukes i regresjonen (Deaville & Flinn, 2000). I slike tilfeller har mPLS vist seg å være et godt verktøy for multippel lineær regresjon (Shenk & Westerhaus, 1991).

For å vurdere en kalibreringsmodell finnes det også statistiske metoder. Evnen en kalibreringsmodell har til å predikere resultater fra en NIRS analyse kan uttrykkes ved hjelp av RMSEP (root mean square error of prediction) (Faber, 1999). Denne beregningen angir kvadratroten av gjennomsnittet av kvadratet av differansen mellom den observerte og predikerte verdien. På generelt grunnlag vil en lav verdi indikere at det er en bra modell, men dette må sees i sammenheng med variansen i datasettet. Det finnes flere versjoner av RMSEP, der det blant annet brukes kryss-validering. R-kvadrat (R^2) vil også kunne gi si noe om modellens prediksjonsevne. Verdien ligger mellom 0 og 1 og sier noe om hvor mye variasjon responsvariabelen kan forklare av modellen. Modellen passer bedre dess nærmere R^2 kommer 1.

3.0 Metode og material

3.1 Organisering av forsøk

Forsøksfelt med helgrøde av bygg og hvete ble dyrket ved NIBIO sine forskningsstasjoner ved henholdsvis Apelsvoll, Særheim, Steinkjer og NLR Stjørdal i 2021 og 2022. I 2022 ble det i tillegg tatt ut prøver av bygg fra to forsøksfelt i regi av NLR Rogaland på Sola og Voll i Rogaland.

Forsøket ble designet som et fullstendig blokkforsøk med fire gjentak og én randomisert faktor. Hver anleggstrute hadde en størrelse på $1,5\text{m} \times 8\text{m} = 12\text{ m}^2$.

Forsøksfeltene ble anlagt på områder med homogene jordforhold, med tanke på tekstur, næring og organisk materiale.

Forsøksfeltet til NLR Trøndelag i Stjørdal ble designet som et 2×4 faktorielt forsøk med fire gjentak.

For feltene på Sola og Voll ble prøvene tatt av kantruter tilhørende et sortsforsøk av NLR Rogaland. Det var her 8 kantruter egnet til prøvetaking i hvert felt.

Feltene ble sådd så snart betingelsene for såing var til stede om våren, med anbefalte såmengder for respektiv region og sådato, justert for tusenkornvekt og spiringsprosent.

For vårhvete ble sorten Krabat brukt i 2021 på Særheim, Apelsvoll og Steinkjer, mens Stjørdal brukte Cares. I 2022 brukte alle lokasjoner Krabat.

For bygg ble 6-rads sorten Brage brukt på alle lokasjoner i 2021. I 2022 ble det brukt 6-rads Heder på Særheim, Brage på Apelsvoll, Steinkjer og Stjørdal, og to-rads sorten Bente på Sola og Voll.

Forsøket ble gjødslet i tråd med anbefalinger for de gjeldene geografiske regionene. Det ble gitt lik gjødsling over hele feltet med tildeling av 12 kg N/daa ved såing. Mengden fosfor og kalium ble justert i forhold til anbefalinger til gjeldende P-AL og K-AL klasser.

Ved NLR i Stjørdal ble det gitt en grunnjødsling på 8 kg N/daa av Fulljødsel 20-4-11, etterfulgt av en overjødsling med 2-3 kg N/daa av Opti-NS 27-0-0.

Sprøyting mot ugras, sopp og insektangrep ble gjort etter behov. Det ble ikke gjort noen form for vekstregulering.

3.2 Utviklingsstadier og høstetidspunkt

Videre ble det tatt ut prøver fra hver forsøksrute ved 4 forskjellige utviklingsstadium.

1. prøvetaking: Full skyting – hele akset er kommet frem Zadoks 59
2. prøvetaking: Melkematning – medium til sein melkematning Zadoks 75-77
3. prøvetaking: Deigmatning – tidlig til bløt deig Zadoks 83-85
4. prøvetaking: Sein deigmatning – hard deig/gulmatning Zadoks 89-91

Å treffe eksakt på riktig utviklingsstadium kan være vanskelig, og det er derfor lagt inn litt slingring for høsting. For oversiktligheits skyld blir de fire stadiene vidare omtalt som Z59, Z75, Z83 og Z89.

Tabell 1: Sådato, høstedata og varmesum målt som døgngrader etter de fire utviklingsstadiene Z59, Z75, Z83 og Z89, inndelt etter år og sted for bygg

Sådato, høstedata og varmesum		1		2		3		4	
Bygg		Z59	Z59	Z75	Z75	Z83	Z83	Z89	Z89
Sted	Sådato	Høstedata	Varmesum	Høstedata	Varmesum	Høstedata	Varmesum	Høstedata	Varmesum
2021									
Særheim	20.apr	30.jun	735	13.jul	941	21.jul	1058	11.aug	1388
Apelsvoll	20.apr	01.jul	797	08.jul	923	13.jul	1009	13.aug	1519
Steinkjer	10.mai	09.jul	860	23.jul	1066	05.aug	1275	19.aug	1488
Stjørdal*	09.mai	-		-		-		-	
2022									
Særheim	09.mai	06.jul	711	19.jul	888	03.aug	1097	16.aug	1306
Apelsvoll	28.apr	01.jul	793	12.jul	955	19.jul	1059	08.aug	1367
Steinkjer	22.mai	15.jul	738	08.aug	1062	12.aug	1121	30.aug	1392
Stjørdal*	24.mai	15.jul	709	02.aug	955	12.aug	1097	30.aug	1371
Sola	26.apr	30.jun	778	15.jul	995	21.jul	1096	10.aug	1387
Voll	04.mai	11.jul	844	21.jul	996	04.aug	1193	16.aug	1390

Tabell 2: Sådato, høstedata og varmesum målt som døgngrader etter de fire utviklingsstadier Z59, Z75, Z83 og Z89, inndelt etter år og sted for hvete.

Sådato, høstedata og varmesum		1		2		3		4	
Hvete		Z59	Z59	Z75	Z75	Z83	Z83	Z89	Z89
Sted	Sådato	Høstedata	Varmesum	Høstedata	Varmesum	Høstedata	Varmesum	Høstedata	Varmesum
2021									
Særheim	20.apr	04.jul	797	22.jul	1071	02.aug	1249	23.aug	1539
Apelsvoll	20.apr	02.jul	816	13.jul	1009	20.jul	1136	30.aug	1758
Steinkjer	10.mai	13.jul	932	26.jul	1124	13.aug	1411	30.aug	1613
Stjørdal	15.mai	-	-	30.jul	1153	05.aug	1227	23.aug	1477
2022									
Særheim	09.mai	13.jul	803	11.aug	1212	16.aug	1306	09.sep	1671
Apelsvoll	28.apr	04.jul	838	22.jul	1115	02.aug	1279	22.aug	1611
Steinkjer	22.mai	26.jul	887	15.aug	1172	19.aug	1237	21.sep	1624
Stjørdal	24.mai	19.jul	757	10.aug	1069	22.aug	1254	12.sep	1517

Varmesum er beregnet i programmet Eana Skifte (skifte.eana.no), med basetemperatur lik 0. Beregningen baserer seg på data fra meteorologisk institutt. For Særheim, Apelsvoll og Sola er varmesum basert på de lokale værstasjonene som ligger inne i programmet. Værstasjonen ved Særheim og Apelsvoll tilhører Landbruksmeteorologisk tjeneste. Varmesum fra Steinkjer er basert på værstasjon på Mære, mens for Stjørdal er Kvithamar brukt. Skiftet på Voll er derimot beregnet ved funksjonen «interpolert til skifte» som beregner temperatur basert på flere nærliggende værstasjoner.

3.3 Prøveuttaking

Ved hvert stadium ble det tatt ut 0,5 x 0,5 m (0,25 m²) av forsøksruta som ble klippet av på 5 cm stubbehøyde. Til dette ble det benyttet en firkantet mal av stålstring som ble tredd over plantene og ei elektrisk saks. Kantsoner ble unngått for å ekskludere eventuelle kantsoneeffekter.

Videre ble plantene lagt utover en benk hvor det ble tilfeldig plukket ut planter tilsvarende ca ¼ av plantene fra hver rute. Disse ble klippet opp i aks og stengel/blader. Alle blader hørte med stengel. Fra hver forsøksrute fikk man da en mengde aks med tilhørende stengel/blad og en mengde hele planter. De tre plantefraksjonene ble lagt i perforerte plastposer, veid og tørket i tørkeskap på 60°C i minimum 48 timer. Deretter ble prøvene på nytt veid. Vekter ble korrigerert for perforert pose, strikk og etikett. Disse dataene danner grunnlaget for avling,

tørrestoffkonsentrasjoner og relative avlinger mellom aks og stengel, samt NIR-analyser. Fraksjonen stengel/blad er videre kun omtalt som stengel.

3.4 Utførelse av NIR-analyse

På et senere tidspunkt ble prøvene hakket opp og malt ved bruk av maskinene Wintersteiger Hege 44 og Foss Cyclotec™. Dette ble gjort som en grunnbehandling før analyse med nærinfrarød-spektroskopi. Etter behandlingen skal prøvene ha en teoretisk partikkelstørrelse på 0,1mm.

Til å utføre den næringsmessige analysen ble det benyttet et FOSS NIRStm DS 2500 F apparat fra FOSS Analytics (fossanalytics.com, Danmark). De malte og hakkede prøvene av helgrøde ble fylt i en sylindrisk prøveholder og scannet i apparatet ved bruk av programmet ISIScan Nova™, software versjon 8.10.2.12. Referanseprøver (235 stk) av bygg fra SLU (Sveriges lantbruksuniversitet, slu.se) med tilhørende kjemisk analyse ble lagt inn i programmet FossCalibrator™, versjon 3.4.0.698, hvor det ble laget kalibreringsmodeller for aske, råprotein, NDF, stivelse og VOS fordøyelighet. Kalibreringsmodellene ble videre lastet inn i FossManager, Versjon 8.11.9.1. Outliers ble tatt bort etter programmets anbefalinger, og det ble brukt et mPLS analyseverktøy i prosessen fordi dette bruker både spektrale data og referanser prøver i regresjonsanalysene.

Tabell 3 viser modellene som ble laget.

Tabell 3: Kalibreringsmodeller med tilhørende statistiske beregninger. RMSEP angir kvadratrotten av gjennomsnittet av kvadratet av differansen mellom den observerte og predikerte verdien. Bias refererer til en systematisk feil tilhørende modellens gjennomsnittlige forskyving i prediksjonen. Slope angir stigningen og intercept er et konstantledd. Factors refererer til variabler som påvirker spektrale data og responsvariabelen.

Kalibreringsmodeller	RMSEP _{cal}	RMSEP _{val}	Slope/intercept	Bias	Factors	R ²
Bygg aske	0,281	0,292	1,02 / -0,09	0,033	12	0,97
Bygg råprotein	0,383	0,354	1,05 / -0,41	0,097	8	0,98
Bygg NDF	1,383	1,465	0,95 / 2,54	-0,027	3	0,95
Bygg stivelse	0,726	0,676	1,00 / -0,01	-0,08	8	1,0
Bygg VOS	1,043	1,131	0,99 / 1,08	-0,05	12	0,92

Ettersom alle prøvene var scannet i ISIScan Nova™ før kalibreringsmodellene var laget måtte prøvene lagres som «nir» filer, og lastes opp i FossCalibrator™ for tolkning med gjeldende kalibreringsmodeller. Verdiene ble deretter lastet over og organisert i Microsoft Excel.

3.5 Statistiske beregninger

Videre ble statistikk og analyser gjort i Microsoft Excel for mac, versjon 16.71, og RStudio, versjon 2023.03.0+386. Organisering av data, samt tabeller ble laget i Excel, mens statistiske analyser og tilhørende figurer ble gjort og laget i RStudio.

For å undersøke statistiske forskjeller mellom avlingsdata har jeg kjørt toveis-anova med interaksjoner i RStudio, ved bruk av funksjonen «aov». Jeg har sett på avling, tørrstoffkonsentrasjoner og relative avlinger opp mot utviklingsstadier, steder og art. For å avdekke hvor det var eventuelle signifikante forskjeller ble det kjørt en post-hoc test, i form av «TukeyHSD». Signifikansnivået er satt til 0,05 der, P-verdier $\leq 0,05$ vurderes som signifikante.

Bokstavsetting for signifikans er organisert ved bruk av funksjonen «multcompLetters4»

På samme måte er næringsinnhold i form av aske, råprotein, NDF, stivelse og VOS undersøkt opp mot utviklingsstadier, plantedel, art og år.

Beregning av prognoser og utvikling i næringsinnhold er gjort ved bruk av lineær regresjonsmodell i RStudio, «lm». Næringsinnhold er analysert opp mot døgngader.

For avling, tørrstoffkonsentrasjoner og relative avlinger av hvete ligger det til grunn 124 prøver, med unntak for tørrstoffkonsentrasjon av aks som har 120 prøver. Tilsvarende for bygg er analyser basert på 176 prøver.

Analysene av næringsinnhold med døgngader baserer seg på 100 prøver av hvete og 146 prøver av bygg. Samlet for aks og stengel av hvete og bygg ligger det 205 prøver til grunn.

Av avlingsdata inngår det ingen prøver fra Stjørdal for bygg fra 2021 på grunn av feil høstetidspunkt. Det er heller ikke brukt noen prøver fra Stjørdal i NIR målingene av hele planter, men for aks og stengel. Utenom dette inneholder NIR-målingene et representativt utvalg med prøver.

I noen tilfeller gav NIR-analysen negative verdier for stivelse, i stengel. Disse er korrigert til 0 istedenfor.

Figurer er laget som boksploott. Boksen i plottet representerer dataene som ligger i midtre 50%. Den horisontale streken i boksen viser til medianen og i tillegg viser boksen 1. og 3. kvartil. Linjene som strekker seg utenfor boksen indikerer spredning i dataene, og punkter utenfor linjene betegnes som outliere.

4.0 Resultater

4.1 Avlingsdata og tørrstoff

Jeg fant signifikant økning i avling av bygg ved økende utviklingsstadium ($F_{3, 152} = 81,19$, $P < 0,001$) (Tabell 4) og høyere avling ved Sola og Voll samlet sett i forhold til de andre stedene ($F_{5, 152} = 20,148$, $P < 0,001$). Det var ingen signifikant interaksjon mellom utviklingsstadier og sted ($P = 0,08$).

Tabell 4: Gjennomsnittlig avling for helgrøde av bygg i kg tørrstoff per dekar ved fire utviklingsstadier: skyting (Z59), melkematning (Z75), tidlig- (Z83) og sein deigmatning (Z89) på seks steder i følge Zadoks skala. Avlinger som ikke deler samme bokstav, er signifikant forskjellige med signifikansnivå α satt til 0,05. Bokstaver tilhørende stedsnavn viser til forskjeller mellom stedene samlet sett.

Bygg	1	2	3	4
Utviklingsstadium	Z59	Z75	Z83	Z89
Avling - kg ts/daa				
Særheim ^b	537 ⁱ	765,1 ^{efghi}	948,4 ^{bcdefg}	851,1 ^{cdefg}
Apelsvoll ^b	570,1 ^{hi}	869,5 ^{cdefg}	934,4 ^{bcdefg}	1061,7 ^{bc}
Steinkjer ^b	549 ^{hi}	821,4 ^{cdefgh}	869,3 ^{cdefg}	953,6 ^{bcdefg}
Stjørdal ^b	472,1 ⁱ	721 ^{defghi}	817,3 ^{cdefghi}	1048,7 ^{abcdef}
Sola ^a	704,5 ^{ghi}	1033,6 ^{bcde}	1200 ^{ab}	1351,3 ^a
Voll ^a	725 ^{fghi}	932,4 ^{bcdefg}	1154,9 ^{ab}	1053,2 ^{bcd}

På samme måte, fant jeg en økning i avling for hvete ved økende utviklingsstadium ($F_{3, 108} = 72,594$, $P < 0,001$) vist i Tabell 5 og høyere avling samlet sett ved Apelsvoll enn ved Stjørdal ($F_{3, 108} = 3,241$, $P = 0,025$), men heller ikke her noen signifikant interaksjon mellom utviklingsstadier og sted ($P = 0,539$).

Tabell 5: Gjennomsnittlig avling for helgrøde av hvete i kg tørrstoff per dekar ved fire utviklingsstadier; skyting (Z59), melkematning (Z75), tidlig- (Z83) og sein deigmatning (Z89) på fire lokasjoner. Avlinger som ikke deler samme bokstav, er signifikant forskjellige med signifikansnivå α satt til 0,05.

Hvete	1	2	3	4
Utviklingsstadium	Z59	Z75	Z83	Z89
Avling - kg ts/daa				
Særheim ^{ab}	520,4 ^f	894,4 ^{bcd}	970,7 ^{abcd}	1138,4 ^{ab}
Apelsvoll ^a	543,6 ^f	866,9 ^{cd}	1059,1 ^{abc}	1189,4 ^a
Steinkjer ^{ab}	594,7 ^{ef}	865,3 ^{cde}	980,4 ^{abcd}	1015,6 ^{abc}
Stjørdal ^b	467,6 ^f	715,5 ^{def}	921,4 ^{abcd}	1068,9 ^{abc}

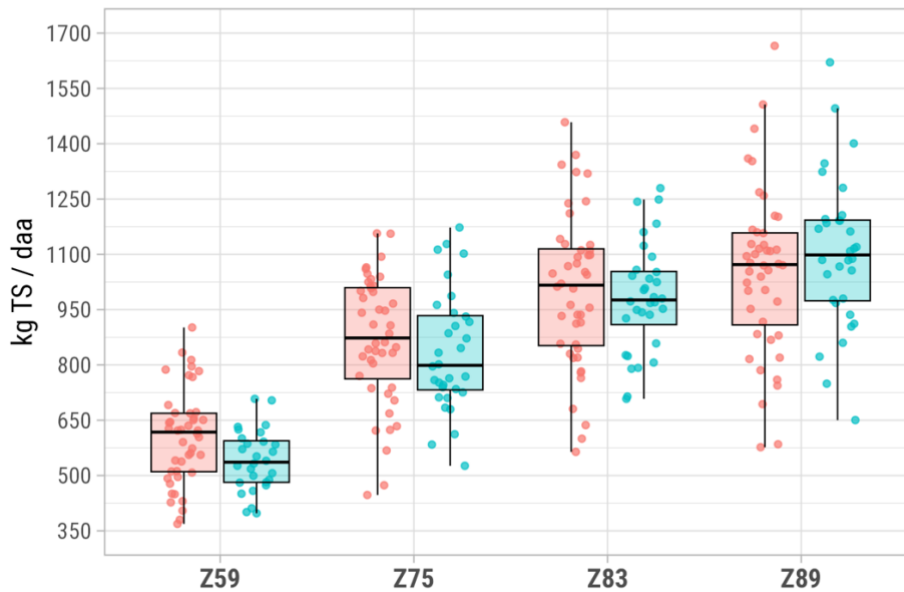
Tabell 6: Gjennomsnittlig avling, tørrstoffkonsentrasjon og relativ avling i helgrøde av hvete og bygg høstet ved skyting (Z59), melkemoedning (Z75), tidlig (Z83) og sein deigmoedning (Z89) etter Zadoks skala. Ulik bokstav indikerer signifikans og gjelder parvis for bygg og hvete horisontalt innen linjene med signifikansnivå α satt til 0,05.

Avling og tørrstoff		1	2	3	4
Art	Utviklingsstadium	Z59	Z75	Z83	Z89
Bygg	Avling kg ts/daa	603,9 ^d	869,5 ^{bc}	1002,8 ^a	1053,7 ^a
		Hvete	540,7 ^d	835,5 ^c	982,9 ^{ab}
Bygg	TS %	21,4 ^f	27,1 ^{de}	32,8 ^c	52,1 ^b
		Hvete	21,7 ^{ef}	31,5 ^{cd}	37,6 ^c
Bygg	TS Aks %	30,5 ^c	35,0 ^c	43,6 ^b	66,5 ^a
		Hvete	24,5 ^d	33,3 ^c	43,1 ^b
Bygg	TS Stengel %	20,5 ^d	24,1 ^d	25,4 ^d	38,0 ^b
		Hvete	21,7 ^d	31,9 ^c	33,8 ^{bc}
Bygg	Relativ avling aks	0,26 ^f	0,43 ^d	0,57 ^b	0,68 ^a
		Hvete	0,20 ^g	0,35 ^e	0,49 ^c
Bygg	Relativ avling stengel	0,74 ^b	0,57 ^d	0,43 ^f	0,32 ^g
		Hvete	0,80 ^a	0,65 ^c	0,51 ^e

I gjennomsnitt for steder og år var det en signifikant økning i avling ved økende utviklingsstadier ($F_{3, 292} = 111,729$, $P < 0,001$), men ingen signifikant forskjell mellom bygg- og hveteavling ($F_{1, 292} = 0,601$, $P = 0,439$), og ingen signifikant interaksjon mellom utviklingsstadier og planteart ($F_{3,292} = 1,326$, $P = 0,266$) (Tabell 6 og Figur 1). Splittes bygg og hvete var det derimot ikke signifikant forskjell fra Z83 til Z89, som Tabell 6 viser.

Avling fra bygg og hvete

Målt som kg TS / daa fra bygg og hvete etter de ulike vekststadiene

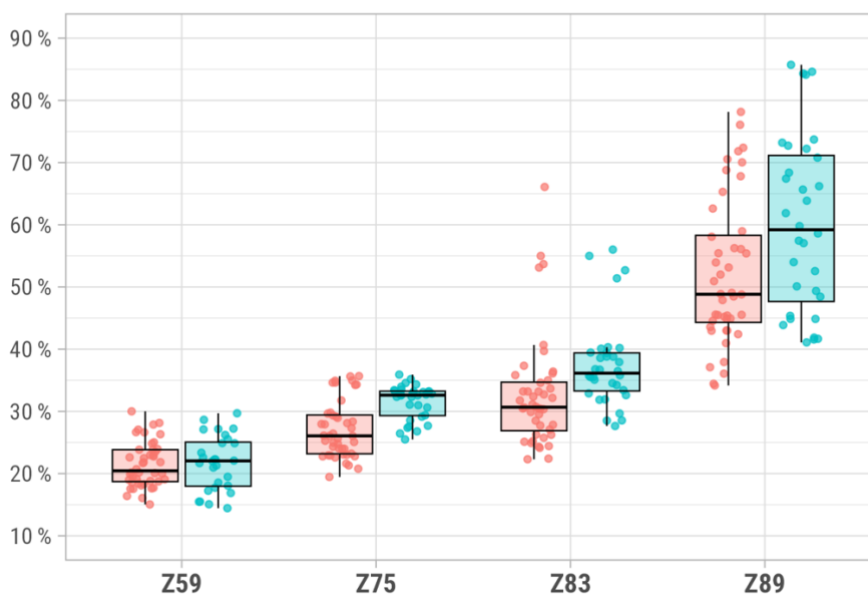


Figur 1: Avling i kg TS/daa for helgrøde av bygg og hvete høstet ved skyting (Z59), melkemedning (Z75), tidlig (Z83) og sein deigmodning (Z89).

Det var en signifikant økning i tørrstoffkonsentrasjon ved økende utviklingsstadier ($F_{3, 292} = 238,737$, $P < 0,001$), signifikant høyere tørrstoffkonsentrasjon i hvete ($F_{1, 292} = 21,961$, $P < 0,001$) og signifikant interaksjon mellom utviklingsstadier og planteart ($F_{3, 292} = 2,719$, $P = 0,0448$) (Tabell 6 og Figur 2).

Tørrstoff (TS) i bygg og hvete

Målt som % i bygg og hvete etter de ulike vekststadiene

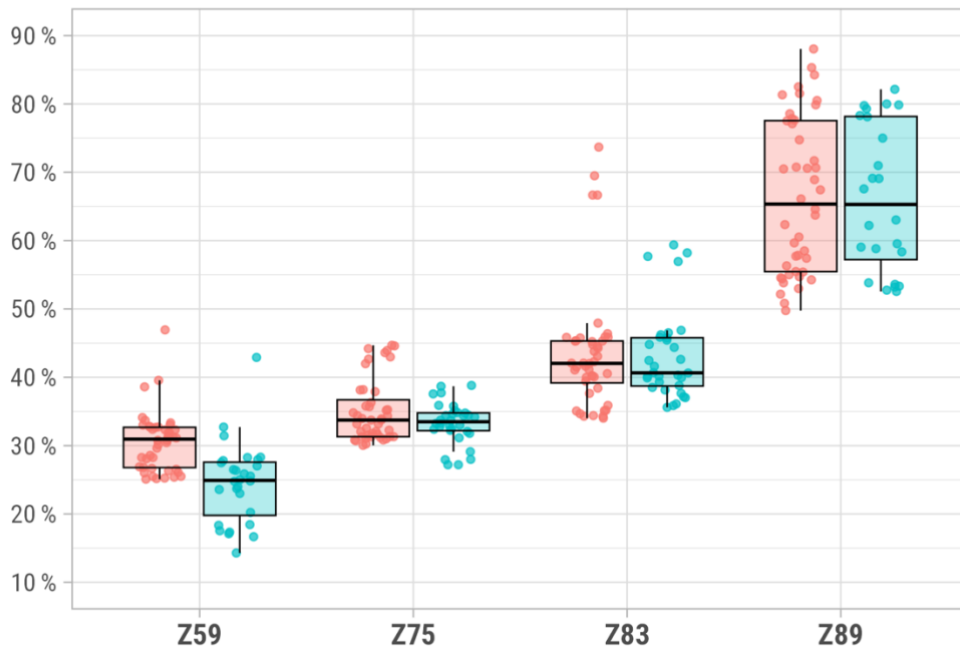


Figur 2: Konsentrasjon av tørrstoff, målt som %, for helgrøde av bygg og hvete høstet ved skyting (Z59), melkemedning (Z75), tidlig (Z83) og sein deigmodning (Z89).

Også i akset økte tørrstoffkonsentrasjonen ved økende utviklingsstadium ($F_{3, 288} = 348,527$, $P < 0,001$), men det var ingen signifikant forskjell mellom tørrstoffkonsentrasjonen i aksfraksjonen for bygg og hvete ($F_{1, 288} = 1,745$, $P = 0,188$) (Tabell 6 og Figur 3). Det var derimot en signifikant interaksjon mellom utviklingsstadier og planteart ($F_{3, 288} = 3,906$ $P = 0,0093$).

Tørrstoff (TS) - aks i bygg og hvete

Målt som % i bygg og hvete etter de ulike vekststadiene

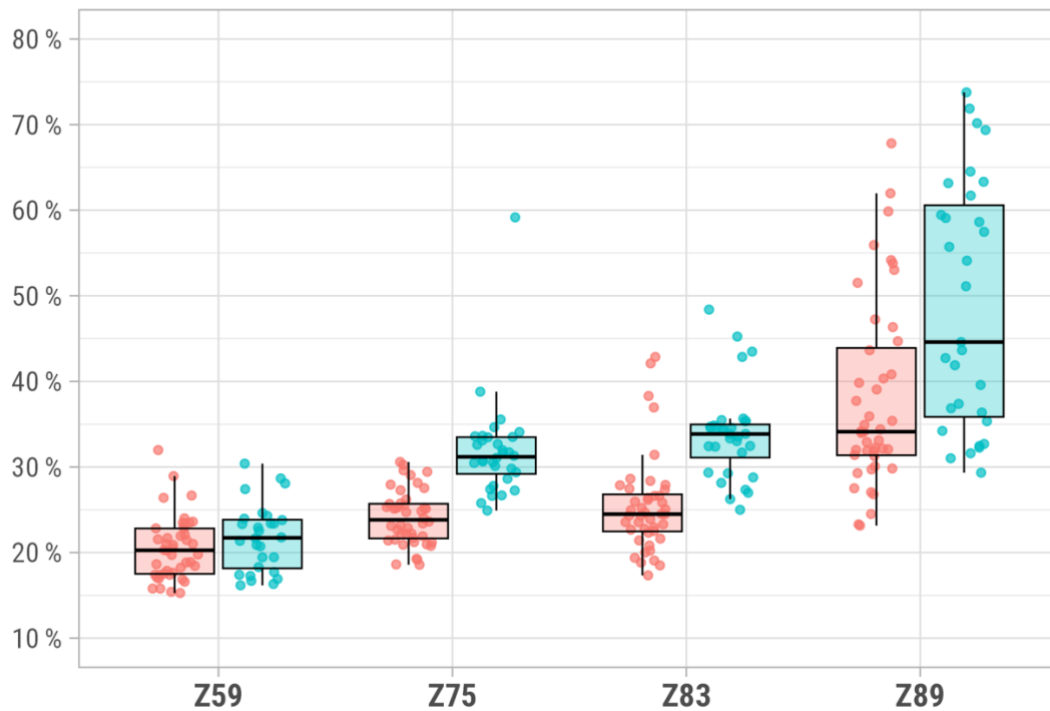


Figur 3: Konsentrasjon av tørrstoff målt som % i aks for helgrøde av bygg og hvete høstet ved skyting (Z59), melkemosning (Z75), tidlig (Z83) og sein deigmosning (Z89).

I stengel økte tørrstoffkonsentrasjonen ved økende utviklingsstadium ($F_{3, 292} = 110,98$, $P < 0,001$), men det var ikke signifikant forskjell mellom utviklingsstadium Z75 og Z83 (Tabell 6 og Figur 4). Det var også signifikant forskjellig tørrstoffkonsentrasjon i stengel mellom bygg og hvete ($F_{1, 292} = 69,046$, $P < 0,001$), der hvete hadde høyest. Jeg fant signifikant interaksjon mellom utviklingsstadier og planteart ($F_{3, 292} = 5,911$ $P < 0,001$).

Tørrstoff (TS) - stengel i bygg og hvete

Målt som % i bygg og hvete etter de ulike vekststadiene

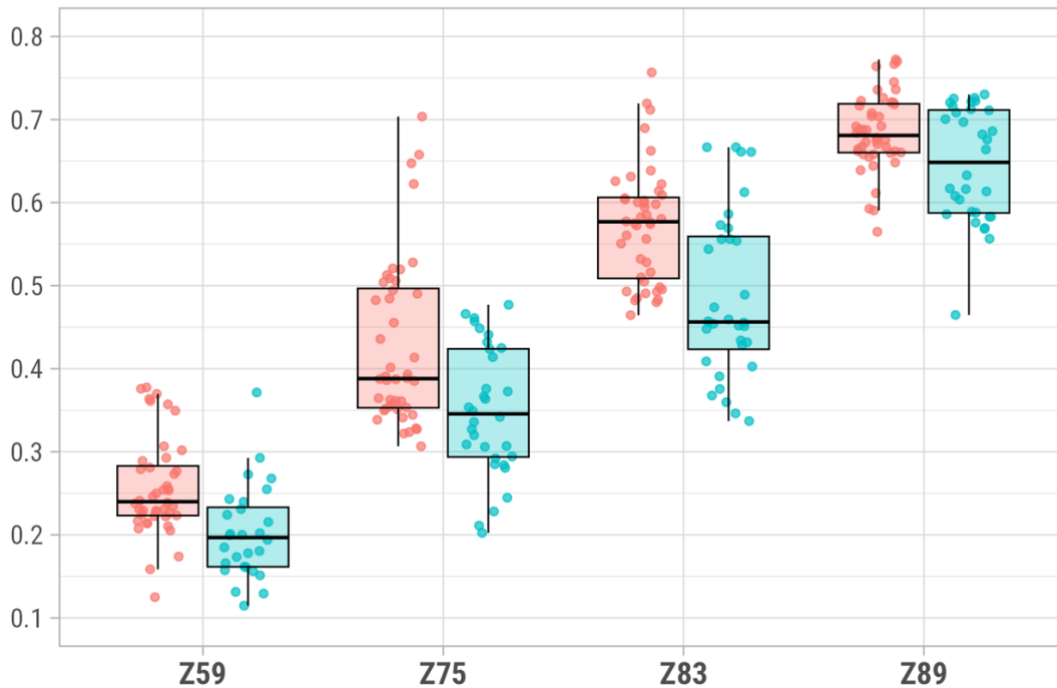


Figur 4: Konsentrasjon av tørrstoff, målt som %, i stengel for helgrøde av bygg og hvete høstet ved skyting (Z59), melkemedning (Z75), tidlig (Z83) og sein deigmodning (Z89).

Jeg fant en signifikant økende relativ avling av aks i forhold til totalavling ved økende utviklingsstadium ($F_{3, 292} = 467,13$, $P < 0,001$) og signifikant høyere relativ avling av aks for bygg, foruten stadium Z89, sammenlignet med hvete ($F_{1, 292} = 55,03$, $P < 0,001$) (Tabell 6 og Figur 5). Det var ingen signifikant interaksjon mellom utviklingsstadier og planteart ($F_{3, 292} = 1,46$, $P = 0,226$).

Aks - relativ avling, bygg og hvete

Relativ avling av bygg og hvete etter de ulike vekststadiene

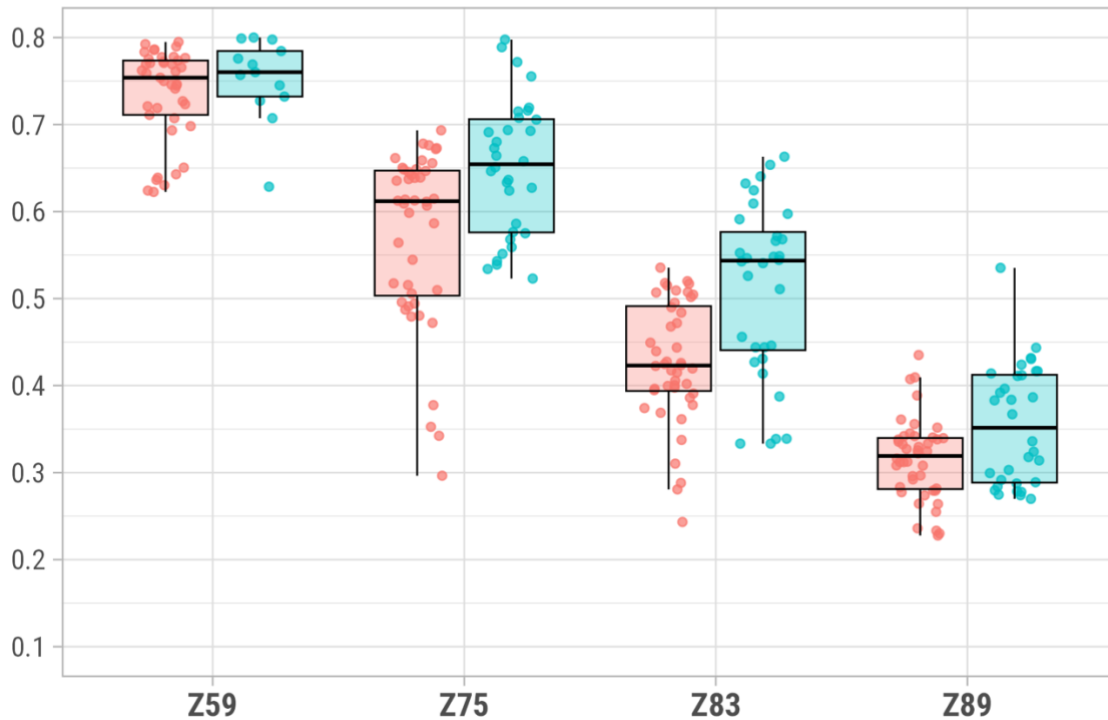


Figur 5: Relativ avling av aks i forhold til totalavling for helgrøde av bygg og hvete høstet ved skyting (Z59), melkemosning (Z75), tidlig (Z83) og sein deigosning (Z89).

For stengel derimot, fant jeg signifikant lavere relativ avling i forhold til totalavling ved økende utviklingsstadium ($F_{3, 292} = 467,13$, $P < 0,001$), signifikant høyere relativ avling av stengel for hvete sammenlignet med bygg, foruten stadium Z89 ($F_{1, 292} = 55,03$, $P < 0,001$) og ingen signifikant interaksjon mellom utviklingsstadier og plantart ($F_{3, 292} = 1,46$, $P = 0,226$) (Tabell 6 og Figur 6). Den relative avlingen av stengel var motsatt av relativ avling aks.

Stengel - relativ avling, bygg og hvete

Relativ avling av bygg og hvete etter de ulike vekststadiene



Figur 6: Relativ avlinga av stengel i forhold til totalavling for helgrøde av bygg og hvete høstet ved skyting, melkemedning, tidlig- og sein deigmodning.

4.2 Næringsinnhold

Innholdet av aske ($F_{1, 230} = 64,411$, $P < 0,001$) og råprotein ($F_{1, 230} = 4,733$, $P = 0,0306$) var høyere i 2021 enn i 2022. For NDF var det også signifikant forskjell mellom år ($F_{1, 230} = 12,841$, $P < 0,001$), der samlet sett 2022 gav høyest NDF-innhold. Stivelsesinnholdet var høyest i 2021 ($F_{1, 230} = 22,228$, $P < 0,001$), i likhet med VOS-fordøyelighet ($F_{1, 230} = 33,241$, $P < 0,001$). I tillegg til dette fant jeg en signifikant interaksjon mellom utviklingsstadium og år der både konsentrasjonen av aske ($P < 0,001$) og råprotein ($P = 0,036$) sank raskere i 2022, konsentrasjonen av NDF ($P = 0,0016$) sank raskere i 2021, mens konsentrasjonen av stivelse ($P < 0,001$) og VOS ($P = 0,0023$) hadde en raskere økning i 2021. Resultatene er vist i Tabell 7.

Tabell 7: Næringsinnhold i helgrøde av bygg og hvete høstet ved skyting (Z59), melkemoending (Z75), tidlig (Z83) og sein deigmoending (Z89), inndelt etter år. Ulik bokstav indikerer signifikans og gjelder parvis innen utviklingsstadier og år for bygg og hvete med signifikansnivå α satt til 0,05.

Næringsinnhold		1	1	2	2	3	3	4	4
Art	Utviklingsstadium	Z59	Z59	Z75	Z75	Z83	Z83	Z89	Z89
Art	År	2021	2022	2021	2022	2021	2022	2021	2022
Bygg	Aske % av TS	6,6 ^a	6,2 ^a	5,6 ^{ab}	4,7 ^{bc}	5,0 ^{bc}	3,0 ^{ef}	3,5 ^{de}	2,3 ^f
		Hvete	6,3 ^a	6,6 ^a	5,1 ^{bc}	4,7 ^{bcd}	4,5 ^{cd}	4,3 ^{cd}	4,2 ^{cd}
Bygg	Råprotein % av TS	13,0 ^a	12,6 ^a	10,0 ^{bc}	8,8 ^{bc}	9,7 ^{bc}	8,6 ^c	9,0 ^{bc}	9,0 ^{bc}
		Hvete	12,7 ^a	14,0 ^a	10,1 ^{bc}	9,2 ^{bc}	9,9 ^{bc}	9,1 ^{bc}	10,4 ^b
Bygg	NDF % av TS	55,3 ^{ab}	55,5 ^{ab}	42,7 ^{cde}	44,6 ^c	36,0 ^{def}	41,3 ^{cde}	34,1 ^f	36,7 ^{ef}
		Hvete	58,5 ^{ab}	59,8 ^a	51,8 ^b	49,8 ^{bc}	42,7 ^{cd}	53,6 ^{ab}	42,9 ^{cd}
Bygg	Stivelse % av TS	1,0 ^{ef}	0,7 ^f	21,5 ^c	10,1 ^d	34,0 ^{ab}	25,6 ^{bc}	41,1 ^a	38,7 ^a
		Hvete	1,2 ^{ef}	0,4 ^{ef}	7,4 ^{def}	7,6 ^{def}	22,6 ^c	10,4 ^{de}	32,3 ^{ab}
Bygg	VOS %	77,1 ^{abc}	76,0 ^{bc}	80,2 ^{ab}	75,4 ^{bcd}	83,7 ^a	76,6 ^{bc}	84,0 ^a	78,7 ^{ab}
		Hvete	73,5 ^{bcdde}	72,5 ^{cde}	70,4 ^{de}	70,9 ^{cde}	76,0 ^{bcd}	66,3 ^e	71,8 ^{cde}

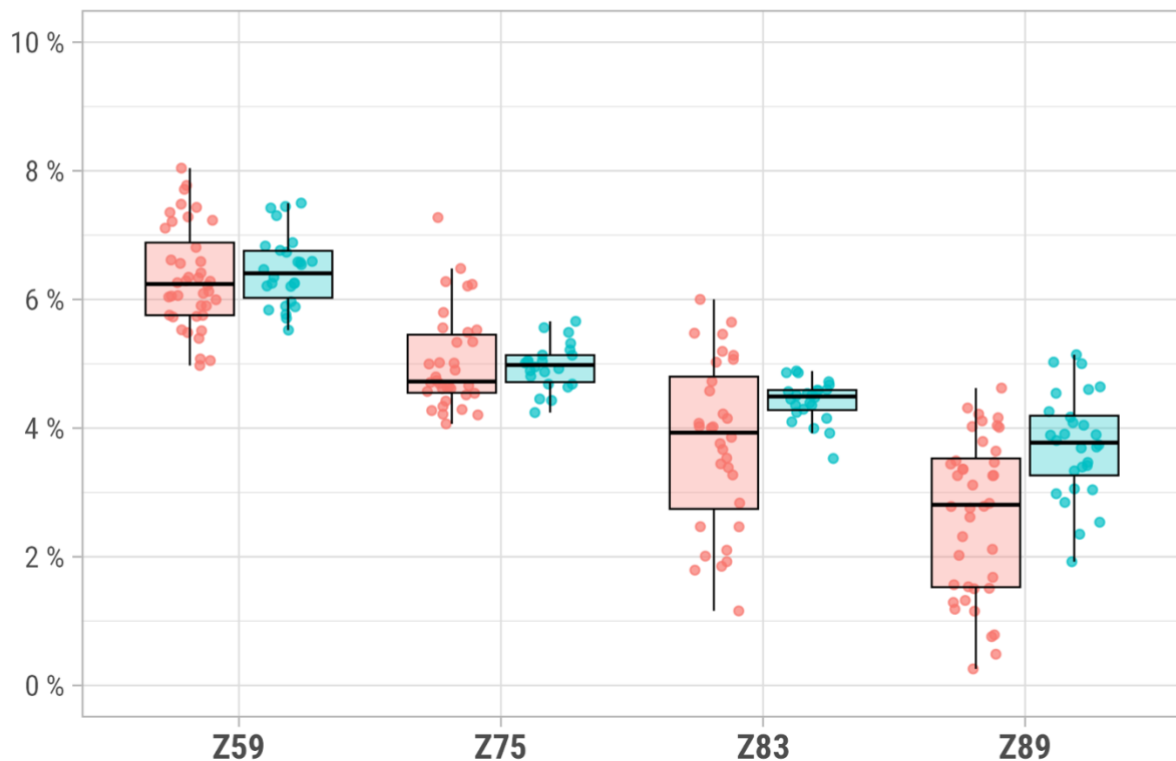
Tabell 8: Gjennomsnittlig næringsinnhold i helgrøde av bygg og hvete høstet ved skyting (Z59), melkemoending (Z75), tidlig (Z83) og sein deigmoending (Z89) over to år, 2021 og 2022. Ulik bokstav indikerer signifikans og gjelder parvis innen utviklingsstadier for bygg og hvete med signifikansnivå α satt til 0,05.

Næringsinnhold		1	2	3	4
Art	Utviklingsstadium	Z59	Z75	Z83	Z89
Bygg	Aske % av TS	6,3 ^a	5,0 ^b	3,8 ^c	2,7 ^d
		Hvete	6,5 ^a	5,0 ^b	4,4 ^{bc}
Bygg	Råprotein % av TS	12,7 ^a	9,2 ^{bc}	9,1 ^{bc}	9,0 ^c
		Hvete	13,3 ^a	9,9 ^{bc}	9,7 ^{bc}
Bygg	NDF % av TS	55,4 ^{ab}	43,9 ^d	39,3 ^{ef}	35,9 ^f
		Hvete	59,1 ^a	51,2 ^{bc}	46,3 ^{cd}
Bygg	Stivelse % av TS	0,8 ^e	14,1 ^c	28,7 ^b	39,4 ^a
		Hvete	0,8 ^e	7,4 ^d	18,5 ^c
Bygg	VOS %	76,3 ^{bc}	77,1 ^{abc}	79,3 ^{ab}	80,3 ^a
		Hvete	73,1 ^{cd}	70,5 ^d	72,8 ^{cd}

Jeg fant et signifikant synkende askeinnhold ved økende utviklingsstadium ($F_{3, 238} = 167,694$, $P < 0,001$), signifikant høyere innhold av aske i hvete sammenlignet med bygg ($F_{1, 238} = 16,811$, $P < 0,001$) og signifikant interaksjon mellom utviklingsstadier og planteart ($F_{3, 238} = 5,336$, $P = 0,0014$) (Tabell 8 og Figur 7).

Aske i bygg og hvete

Målt som % i **bygg** og **hvete** etter de ulike vekststadiene

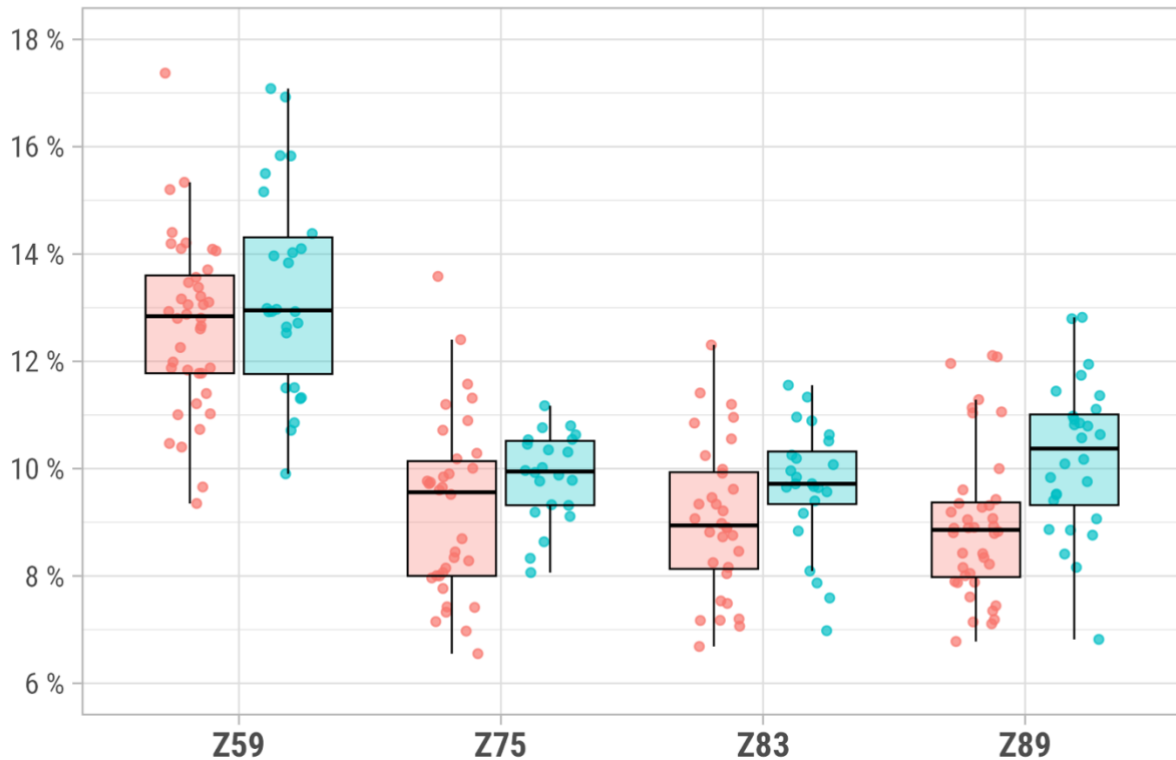


Figur 7: Innhold av aske, målt som % av TS, i helgrøde av bygg og hvete høstet ved skyting (Z59), melkemosning (Z75), tidlig (Z83) og sein deigmosning (Z89).

På samme måte var det en signifikant nedgang i proteininnholdet ($F_{3, 238} = 90,697$, $P < 0,001$), men nedgangen var kun fra stadium Z59 til Z75 (Tabell 8 og Figur 8). Jeg fant også en signifikant forskjell mellom bygg og hvete, der hvete hadde høyere proteininnhold i stadium Z89 ($F_{1, 238} = 16,886$, $P < 0,001$). Det var derimot ingen signifikant interaksjon mellom utviklingsstadier og planteart ($F_{3, 238} = 0,709$, $P = 0,547$).

Råprotein i bygg og hvete

Målt som % i bygg og hvete etter de ulike vekststadiene

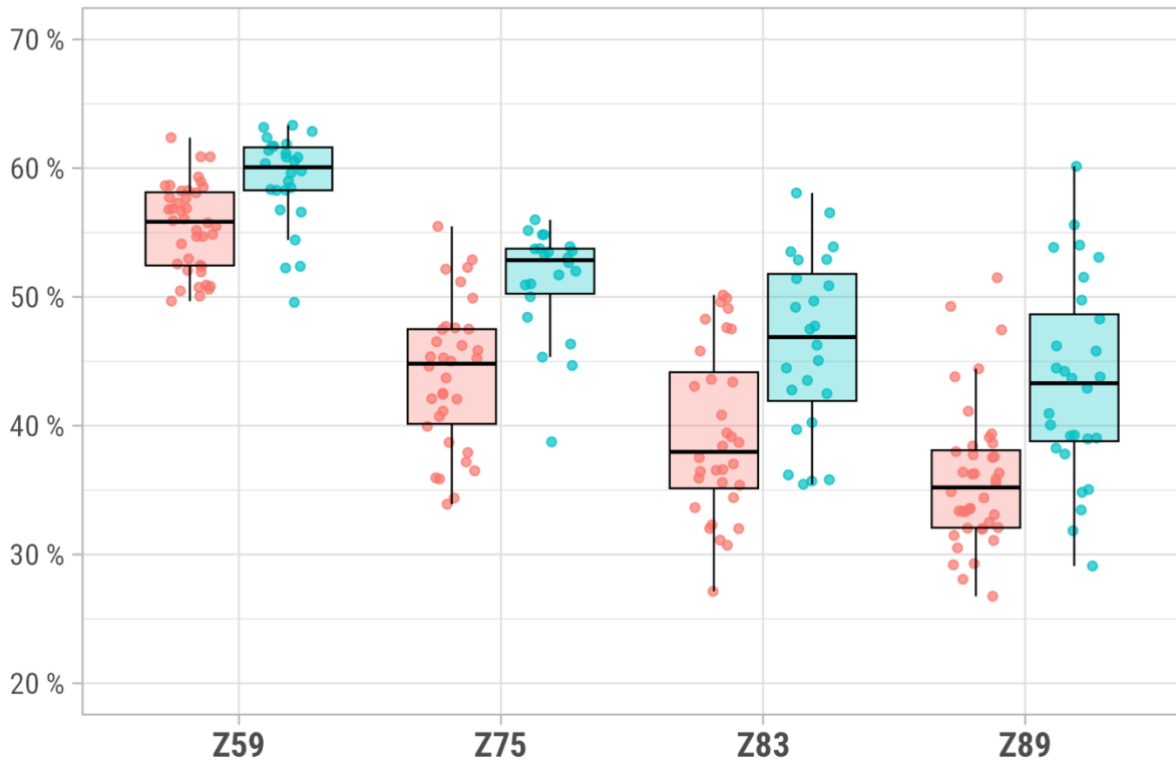


Figur 8: Innhold av råprotein, målt som % av TS, i helgrøde av bygg og hvete høstet ved skyting (Z59), melkemosning (Z75), tidlig (Z83) og sein deigmosning (Z89).

NDF-innholdet fant jeg til å gå nedover ved økt utviklingsstadium for alle stadier ($F_{3, 238} = 127,801$, $P < 0,001$) (Tabell 8 og Figur 9). Det var også her signifikant forskjell mellom planteart der hvete hadde et høyere innhold ($F_{1, 238} = 76,204$, $P < 0,001$). Jeg fant ingen signifikant interaksjon mellom utviklingsstadier og planteart ($F_{3, 238} = 1,659$, $P = 0,177$).

NDF i bygg og hvete

Målt som % i **bygg** og **hvete** etter de ulike vekststadiene

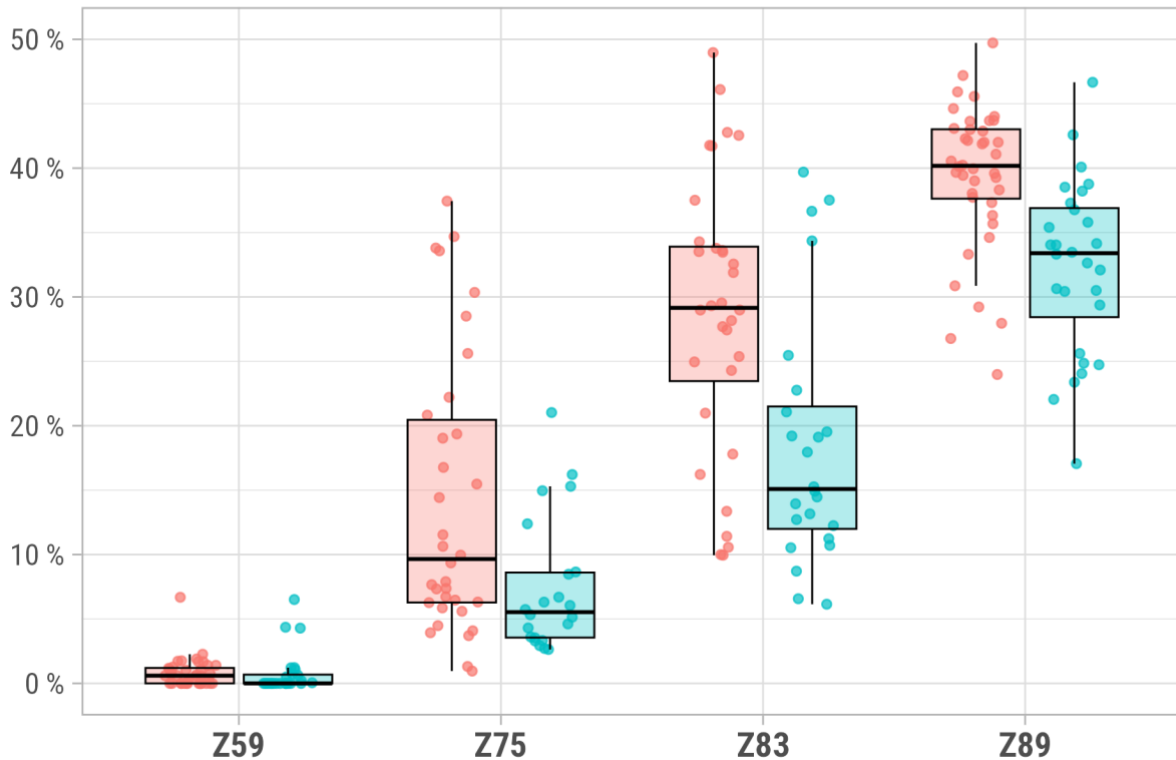


Figur 9: Innhold av NDF målt som % av TS, i helgrøde av bygg og hvete høstet ved skyting (Z59), melkemedning (Z75), tidlig (Z83) og sein deigmodning (Z89).

Jeg fant en signifikant økning av stivelse mellom alle stadier ($F_{3, 238} = 293,307$, $P < 0,001$) (Tabell 8 og Figur 10). Det var også signifikant forskjell mellom bygg og hvete, der bygg hadde høyere stivelsesinnhold ($F_{1, 238} = 37,407$, $P < 0,001$). I tillegg var det signifikant interaksjon mellom utviklingsstadier og plantearter ($F_{3, 238} = 5,159$, $P = 0,00179$).

Stivelse i bygg og hvete

Målt som % i **bygg** og **hvete** etter de ulike vekststadiene

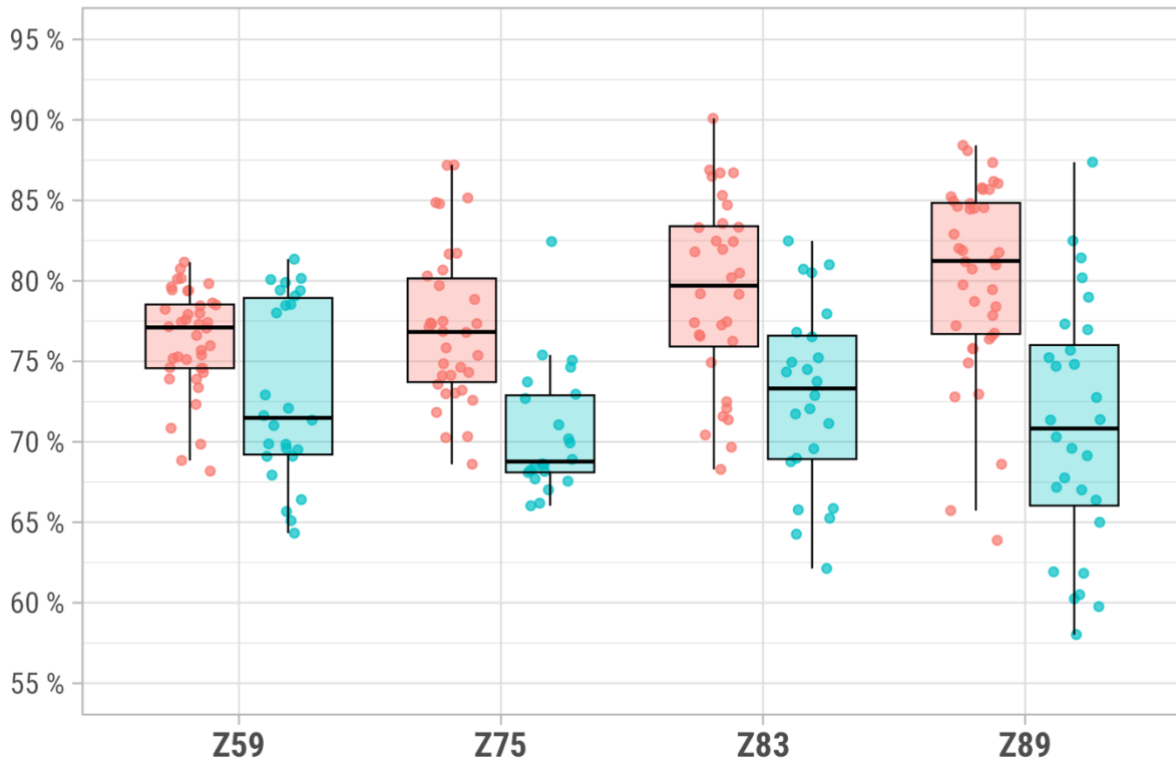


Figur 10: Innhold av stivelse, målt som % av TS, i helgrøde av bygg og hvete høstet ved skyting (Z59), melkemedning (Z75), tidlig (Z83) og sein deigmodning (Z89).

VOS-fordøyeligheten hadde ingen signifikant forskjell ved økende utviklingsstadium ($F_{3, 238} = 1,992$, $P = 0,1158$) (Tabell 8 og Figur 11). Det var derimot en signifikant forskjell mellom plantearter med høyere fordøyelighet i bygg ($F_{1, 238} = 83,546$, $P < 0,001$) og signifikant interaksjon mellom utviklingsstadier og plantearter ($F_{3, 238} = 3,429$, $P = 0,0178$).

VOS hos bygg og hvete

Målt som % i bygg og hvete etter de ulike vekststadiene



Figur 11: VOS-fordøyelighet av organisk materiale, målt som % av TS, i helgrøde av bygg og hvete høstet ved skyting (Z59), melkemosning (Z75), tidlig (Z83) og sein deigmosning (Z89) etter Zadoks skala..

4.3 Næringsinnhold i aks og stengel

Tabell 9: Næringsinnhold i aks og stengel av bygg høstet ved skyting (Z59), melkemosning (Z75), tidlig (Z83) og sein deigmosning (Z89) etter Zadoks skala. Ulik bokstav i samme rad indikerer statistisk signifikans, med signifikansnivå α satt til 0,05. Bokstaver er organisert synkende, der «a» hører til største verdi.

Bygg	1		2		3		4	
	Z59	Z59	Z75	Z75	Z83	Z83	Z89	Z89
Utviklingsstadium	Z59		Z75		Z83		Z89	
Plantedel	Aks	Stengel	Aks	Stengel	Aks	Stengel	Aks	Stengel
Aske % av TS	4,8 ^{bc}	6,6 ^a	4,5 ^b	4,8 ^b	3,0 ^d	3,3 ^{cd}	1,8 ^e	4,3 ^b
Råprotein % av TS	11,3 ^{ab}	12,3 ^a	9,7 ^b	8,3 ^{cd}	9,6 ^b	7,0 ^{de}	9,4 ^{bc}	6,5 ^e
NDF % av TS	65,0 ^b	54,1 ^d	39,0 ^f	49,6 ^e	29,8 ^g	58,0 ^c	26,5 ^g	73,1 ^a
Stivelse % av TS	4,1 ^{de}	0 ^e	20,3 ^c	0,1 ^e	44,1 ^b	0,5 ^e	49,3 ^a	4,1 ^d
VOS %	78,9 ^{bc}	75,2 ^c	85,3 ^{ab}	69,2 ^d	88,0 ^a	60,2 ^e	89,6 ^a	45,5 ^f

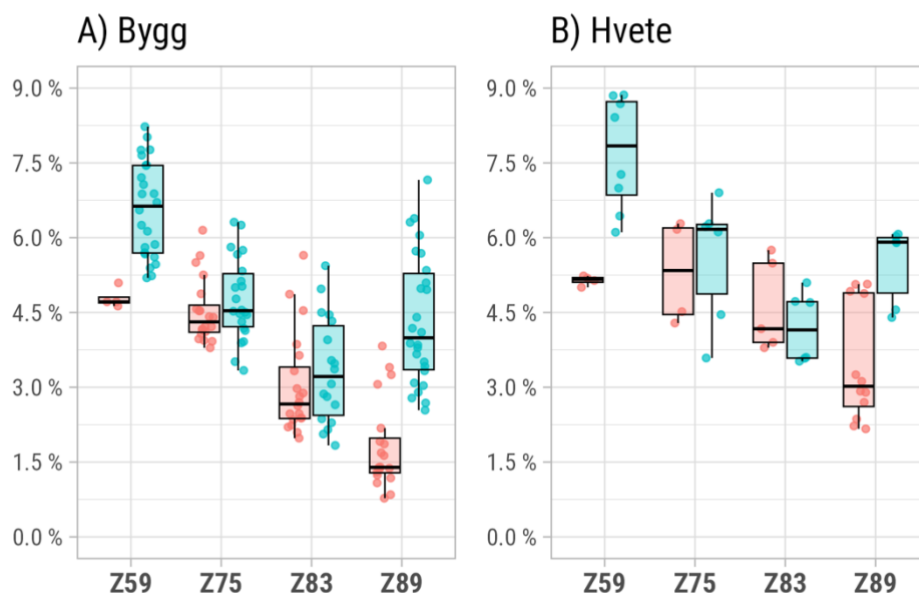
Tabell 10: Næringsinnhold i aks og stengel i hvete høstet ved skyting (Z59), melkemoeding (Z75), tidlig (Z83) og sein deigmoeding (Z89). Ulik bokstav i samme rad indikerer statistisk signifikans, med signifikansnivå α satt til 0,05. Bokstaver er organisert synkende, der «a» hører til største verdi.

Hvete	1	1	2	2	3	3	4	4
Utviklingsstadium	Z59	Z59	Z75	Z75	Z83	Z83	Z89	Z89
Plantedel	Aks	Stengel	Aks	Stengel	Aks	Stengel	Aks	Stengel
Aske % av TS	5,1 ^{bc}	7,7 ^a	5,3 ^{bc}	5,6 ^b	4,6 ^{bc}	4,2 ^{bc}	3,5 ^c	5,5 ^b
Råprotein % av TS	11,7 ^{bc}	15,2 ^a	9,9 ^{cde}	9,9 ^d	11,3 ^{cd}	8,1 ^{ef}	12,9 ^b	7,6 ^f
NDF % av TS	63,5 ^b	60,9 ^b	47,8 ^d	55,1 ^c	36,1 ^e	59,5 ^{bc}	29,2 ^f	72,3 ^a
Stivelse % av TS	0,6 ^{de}	0 ^e	13,0 ^c	0,5 ^{de}	34,4 ^b	2,1 ^{de}	45,4 ^a	5,4 ^d
VOS %	82,5 ^{ab}	72,3 ^c	77,9 ^{bc}	62,7 ^d	83,9 ^{ab}	57,7 ^d	86,3 ^a	41,1 ^e

Jeg fant signifikant forskjell i innhold av aske mellom aks og stengel der både bygg ($F_{1, 146} = 48,9$, $P < 0,001$) (Tabell 9 og Figur 12) og hvete ($F_{1, 146} = 48,9$, $P < 0,001$) (Tabell 10 og Figur 12) hadde høyest innhold i stengel. Konsentrasjonen gikk nedover ved økt utviklingsstadium, men i størst grad i aks og i den sammenheng var det signifikant interaksjon mellom utviklingsstadier og plantedel for bygg ($F_{3, 146} = 13,29$, $P < 0,001$) og hvete ($F_{3, 43} = 5,382$, $P = 0,0031$).

Aske i bygg og hvete

Innhold i % av TS i aks og stengel etter de ulike vekststadiene

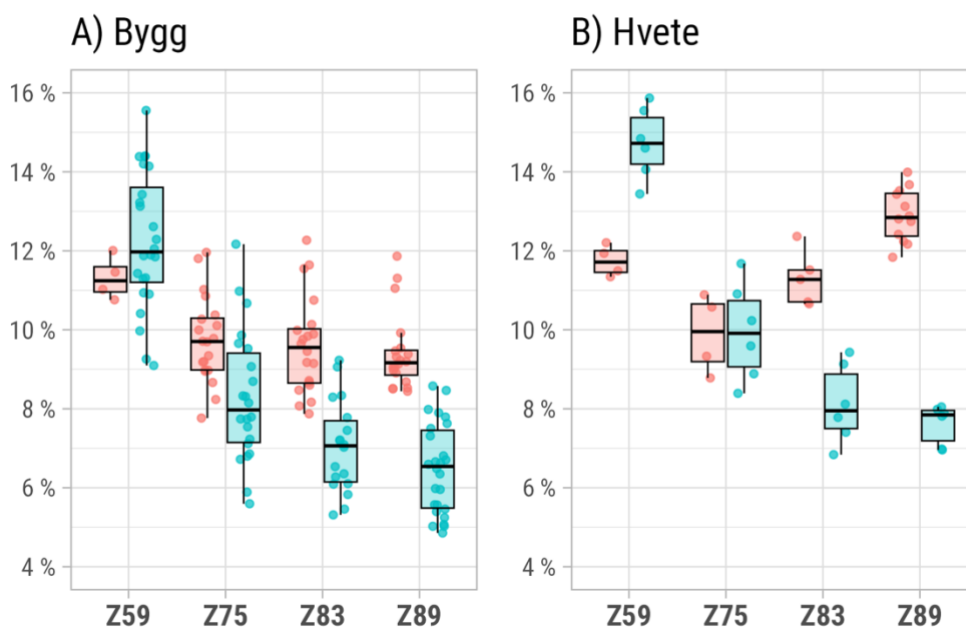


Figur 12: Innhold av aske, målt som % av TS, i aks og stengel i helgrøde av bygg og hvete høstet ved skyting (Z59), melkemoeding (Z75), tidlig (Z83) og sein deigmoeding (Z89) etter Zadoks skala.

For både bygg (Tabell 9 og Figur 13) og hvete (Tabell 10 og Figur 13) var det samlet sett høyest konsentrasjon av råprotein i akset ($F_{1, 146} = 79,783$, $P < 0,001$), ($F_{3, 43} = 58,91$, $P < 0,001$), men konsentrasjon i stengel ved Z59 var høyest, spesielt for hvete. For bygg gikk konsentrasjonen nedover, men i akset holdt den seg mer stabil. For hvete gikk konsentrasjonen nedover i stengel, mens i akset gikk den nedover fra Z59 til Z75 før den gikk oppover og dermed signifikant interaksjon mellom utviklingsstadier og plantedel i bygg ($F_{3, 146} = 8,717$, $P < 0,001$) og hvete ($F_{3, 43} = 58,91$, $P < 0,001$).

Råprotein i bygg og hvete

Innhold i % av TS i **aks** og **stengel** etter de ulike vekststadiene

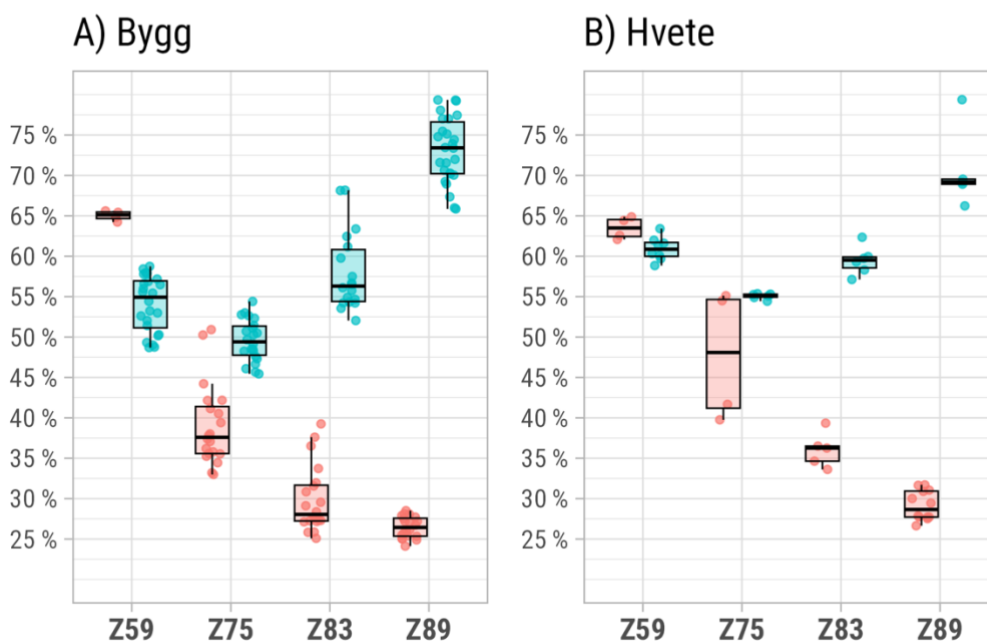


Figur 13: Innhold av råprotein, målt som % av TS, i aks og stengel i helgrøde av bygg og hvete høstet ved skyting (Z59), melkemosning (Z75), tidlig (Z83) og sein deigmosning (Z89) etter Zadoks skala.

Konsentrasjonen av NDF var signifikant høyere i stengel sammenlignet med aks for både bygg ($F_{1, 146} = 1545,29$, $P < 0,001$) (Tabell 9 og Figur 14) og hvete ($F_{1, 43} = 465,04$, $P < 0,001$) (Tabell 10 og Figur 14), men i stadium Z59 for bygg var konsentrasjonen signifikant høyere i akset. I stengelen sank konsentrasjonen fra Z59 til Z75 før den økte. I akset derimot, sank konsentrasjonen ved økende utviklingsstadium, hvilket innebar en signifikant interaksjon mellom utviklingsstadier og plantedel for både bygg ($F_{3, 146} = 285,52$, $P < 0,001$) og hvete ($F_{3, 43} = 117,11$, $P < 0,001$).

NDF i bygg og hvete

Innhold i % av TS i **aks** og **stengel** etter de ulike vekststadiene

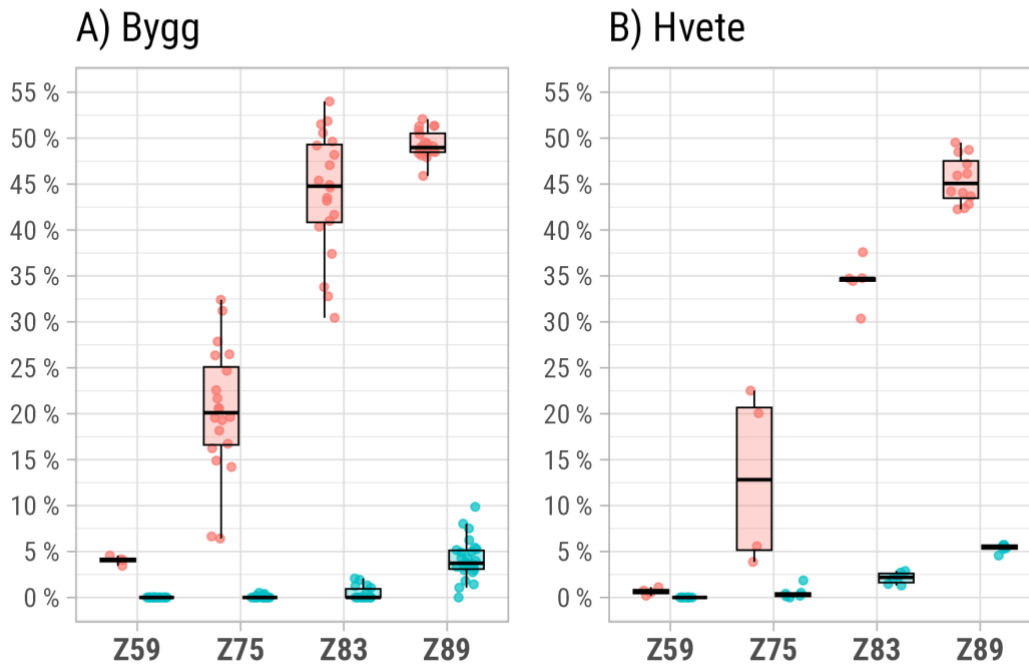


Figur 14: Innhold av NDF, målt som % av TS, i aks og stengel i helgrøde av bygg og hvete høstet ved skyting (Z59), melkematning (Z75), tidlig (Z83) og sein deigmatning (Z89) etter Zadoks skala.

Jeg fant en signifikant høyere konsentrasjon av stivelse i akset sammenlignet med stengel for både bygg ($F_{1, 146} = 2916,4$, $P < 0,001$) (Tabell 9 og Figur 15) og hvete ($F_{1, 43} = 742,5$, $P < 0,001$) (Tabell 10 og Figur 15). Stivelse i stengel var nesten fraværende frem til stadium Z89, mens konsentrasjonen økte ved økende utviklingsstadium i akset. Også her var det signifikant interaksjon mellom utviklingsstadier og plantedel for bygg ($F_{3, 146} = 186,7$, $P < 0,001$) og hvete ($F_{3, 43} = 111,4$, $P < 0,001$).

Stivelse i bygg og hvete

Innhold i % av TS i **aks** og **stengel** etter de ulike vekststadiene

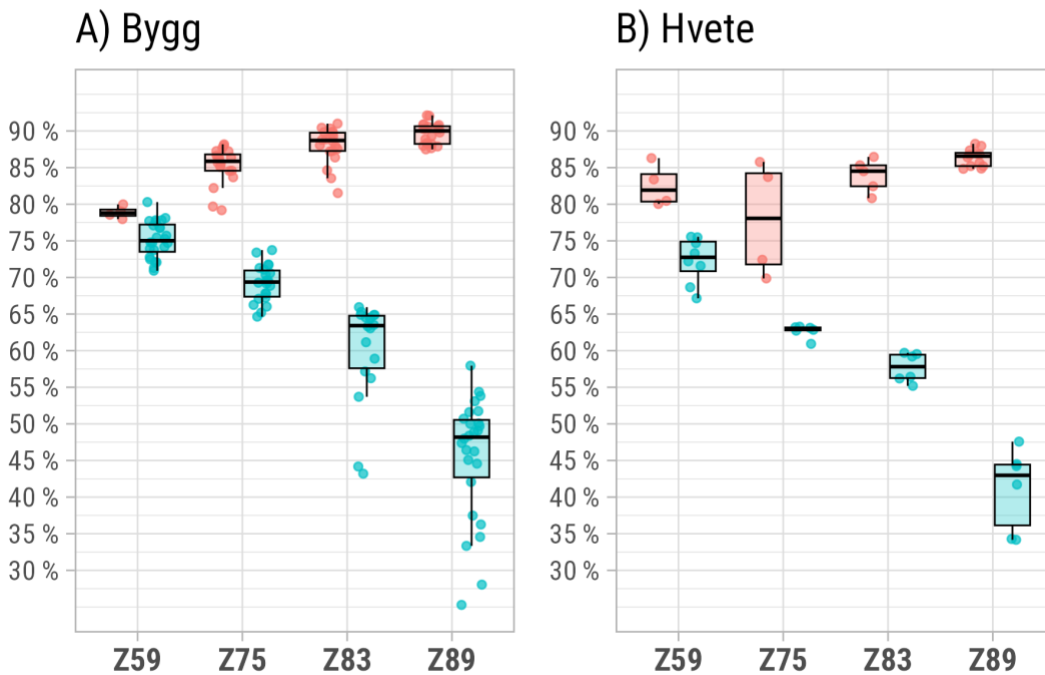


Figur 15: Innhold av stivelse, målt som % av TS, i aks og stengel i helgrøde av bygg og hvete høstet ved skyting (Z59), melkemedning (Z75), tidlig (Z83) og sein deigmodning (Z89) etter Zadoks skala.

Det var signifikant høyere VOS-fordøyelighet i aks sammenlignet med stengel for bygg ($F_{1, 146} = 1217,52$, $P < 0,001$) (Tabell 9 og Figur 16) og hvete ($F_{1, 238} = 728,083$, $P < 0,001$) (Tabell 10 og Figur 16). Fordøyeligheten i stengel gikk nedover ved økende utviklingsstadium. I akset var det en numerisk svak økning ved økende stadium, som var signifikant fra Z59 til Z83 og fra Z59 til Z89 for bygg. For hvete var det signifikans fra Z75 til Z89. Jeg fant også signifikant interaksjon mellom utviklingsstadier og plantedel for både bygg ($F_{3, 146} = 101,33$, $P < 0,001$) og hvete ($F_{3, 238} = 69,126$, $P < 0,001$).

VOS hos bygg og hvete

Målt som % i **aks** og **stengel** etter de ulike vekststadiene



Figur 16: VOS-fordøyelighet, målt som % av TS, i aks og stengel i helgrøde av bygg og hvete høstet ved skyting (Z59), melkemoedning (Z75), tidlig (Z83) og sein deigmoedning (Z89) etter Zadoks skala.

Tabell 11: Gjennomsnittlig næringsinnhold i stengel og aks av bygg og hvete høstet ved skyting (Z59), melkemoedning (Z75), tidlig (Z83) og sein deigmoedning (Z89) etter Zadoks skala. Ulke bokstav indikerer signifikans og gjelder horisontalt, parvis for bygg og hvete med signifikansnivå α satt til 0,05.

Næringsinnhold		1	1	2	2	3	3	4	4
Utviklingsstadium		Z59	Z59	Z75	Z75	Z83	Z83	Z89	Z89
Art	Plantedel	Aks	Stengel	Aks	Stengel	Aks	Stengel	Aks	Stengel
Bygg	Aske % av TS	4,8 ^{bcd}	6,6 ^{ab}	4,5 ^{cd}	4,8 ^c	3,0 ^f	3,3 ^{ef}	1,8 ^g	4,3 ^{cde}
Hvete	Aske % av TS	5,1 ^{bcd}	7,7 ^a	5,3 ^{bcd}	5,6 ^{bc}	4,6 ^{cdef}	4,2 ^{cdef}	3,5 ^{def}	5,5 ^{bc}
Bygg	Råprotein % av TS	11,3 ^{bcd}	12,3 ^b	9,7 ^{cde}	8,3 ^{fg}	9,6 ^{cdef}	7,0 ^{gh}	9,4 ^{def}	6,5 ^h
Hvete	Råprotein % av TS	11,7 ^{bc}	15,2 ^a	9,9 ^{cdef}	9,9 ^{cdef}	11,3 ^{bcd}	8,1 ^{efgh}	12,9 ^b	7,6 ^{efgh}
Bygg	NDF % av TS	65,0 ^{bc}	54,1 ^{fg}	39,0 ⁱ	49,6 ^h	29,8 ^{jk}	58,0 ^{def}	26,5 ^k	73,1 ^a
Hvete	NDF % av TS	63,5 ^{cd}	60,9 ^{cde}	47,8 ^{gh}	55,1 ^{efgh}	36,1 ^{ij}	59,5 ^{cdef}	29,2 ^k	72,3 ^{ab}
Bygg	Stivelse % av TS	4,1 ^{fg}	0 ^g	20,3 ^d	0,1 ^g	44,1 ^b	0,5 ^{fg}	49,3 ^a	4,1 ^f
Hvete	Stivelse % av TS	0,6 ^{fg}	0 ^{fg}	13,0 ^e	0,5 ^{fg}	34,4 ^c	2,1 ^{fg}	45,4 ^{ab}	5,4 ^{efg}
Bygg	VOS %	78,9 ^{bcd}	75,2 ^{cd}	85,3 ^{ab}	69,2 ^{ef}	88,0 ^a	60,2 ^g	89,6 ^a	45,5 ^h
Hvete	VOS %	82,5 ^{abc}	72,3 ^{de}	77,9 ^{bcd}	62,7 ^{fg}	83,9 ^{ab}	57,7 ^g	86,3 ^{ab}	41,1 ^h

Samlet sett fant jeg et høyere innhold av aske i stengel i hvete enn i bygg ($F_{1, 108} = 17,94$, $P < 0,001$). Det samme var tilfellet i aks ($F_{1, 81} = 36,957$, $P < 0,001$). For råprotein var konsentrasjonen også høyere i stengel av hvete enn bygg ($F_{1, 108} = 33,122$, $P < 0,001$) og i akset ($F_{1, 81} = 71,428$, $P < 0,001$).

Jeg fant en høyere konsentrasjon av NDF i stengel av hvete sammenlignet med bygg ($F_{1, 108} = 18,137$, $P < 0,001$). I akset var det også høyere konsentrasjon av NDF i hvete ($F_{1, 81} = 22,46$, $P < 0,001$).

For stivelse derimot, var det også signifikant forskjell mellom artene i stengel-fraksjonen, der hvete hadde høyest konsentrasjon ($F_{1, 108} = 10,093$, $P = 0,0019$). I akset fant jeg en høyere konsentrasjon av stivelse i bygg ($F_{1, 81} = 21,825$, $P < 0,001$).

VOS-fordøyeligheten fant jeg til å være høyere for stengel av bygg enn av hvete ($F_{1, 108} = 11,449$, $P < 0,001$). Det samme var tilfellet for akset som hadde en høyere fordøyelighet i bygg ($F_{1, 81} = 31,03$, $P < 0,001$). Resultat er vist i Tabell 11.

4.4 Varmesum og prognoser

Tabell 12: Varmesum, målt som døgngader (°C) med basetemperatur lik 0°C og tilhørende standardavvik for bygg og hvete høstet ved skyting (Z59), melkemedning (Z75), tidlig (Z83) og sein deigmodning (Z89) etter Zadoks skala. Døgngader er beregnet fra sådato til høstedataer. «Antall» representerer antall høstinger ved hvert utviklingsstadium som danner grunnlaget for gjennomsnittet.

Varmesum	Z59			Z75			Z83			Z89		
	Antall	Døgngader	Stdav	Antall	Døgngader	Stdav	Antall	Døgngader	Stdav	Antall	Døgngader	Stdav
Hvete	7	833	59	8	1116	65	8	1262	78	8	1601	90
Bygg	9	774	55	9	976	60	9	1112	79	9	1401	64

Tabell 13: Statistikk fra regresjonsanalyser der næringsinnhold er vurdert opp mot døgngader (°C) for hvete. Signifikansnivå α er satt til 0,05.

Statistikk regresjon						
Hvete	Fg	F-verdi	Std. Error	Stigning	P-verdi	R ²
Aske	1, 98	260,9	0,0002	-0,0033	<0,001	0,7269
Råprotein	1, 98	34,59	0,000594	-0,0035	<0,001	0,2609
NDF	1, 98	114,3	0,00194	-0,0208	<0,001	0,5384
Stivelse	1, 98	474,8	0,00195	0,0425	<0,001	0,8289
VOS	1, 98	0,2289	0,00202	-0,00097	0,6394	0,0023

Tabell 14: Statistikk fra regresjonsanalyser der næringsinnhold er vurdert opp mot døgngader (°C) for bygg. Signifikansnivå α er satt til 0,05.

Statistikk regresjon						
Bygg	Fg	F-verdi	Std.error	Stigning	P-verdi	R ²
Aske	1, 144	312,2	0,00034	-0,0061	< 0,001	0,6844
Råprotein	1, 144	100,7	0,000588	-0,0059	< 0,001	0,4115
NDF	1, 144	275,2	0,00188	-0,0312	< 0,001	0,6565
Stivelse	1, 144	566,1	0,00266	0,06317	< 0,001	0,7972
VOS	1, 144	22,75	0,00168	0,008	< 0,001	0,1364

I analysen fant jeg at stivelse er det næringsstoffet som best kunne predikeres ved bruk av en lineær regresjonsmodell for både bygg (Tabell 13 og Figur 17) og hvete (Tabell 14 og Figur 18), med en forklaringsvariabel på henholdsvis 0,80 og 0,83.

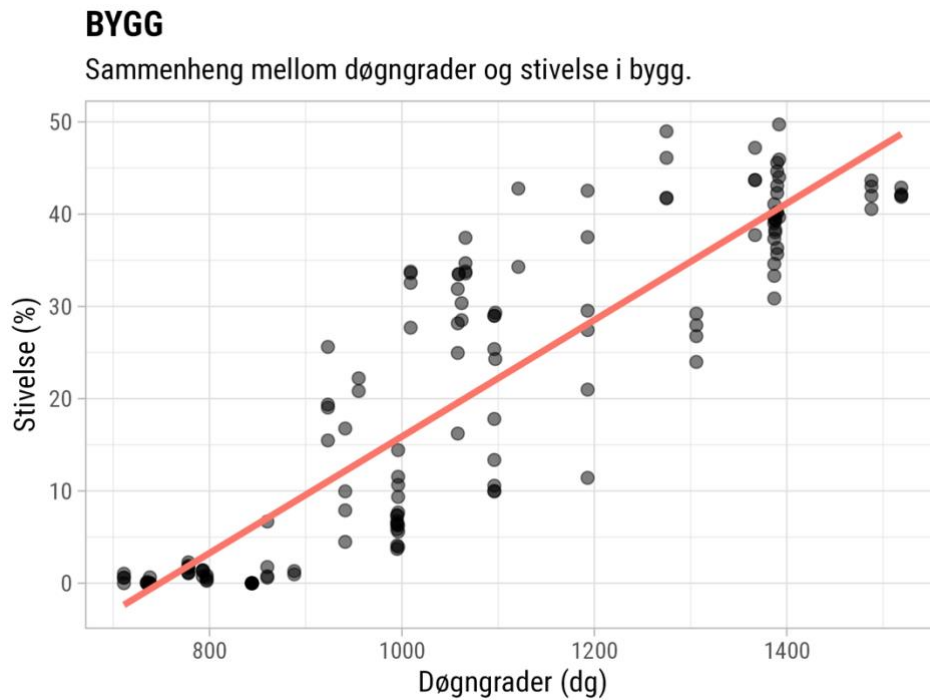
Til prediksjon av stivelse:

$$\text{Stivelse}_{\text{bygg}} = -47,27 + 0,06317 * \text{døgngader}$$

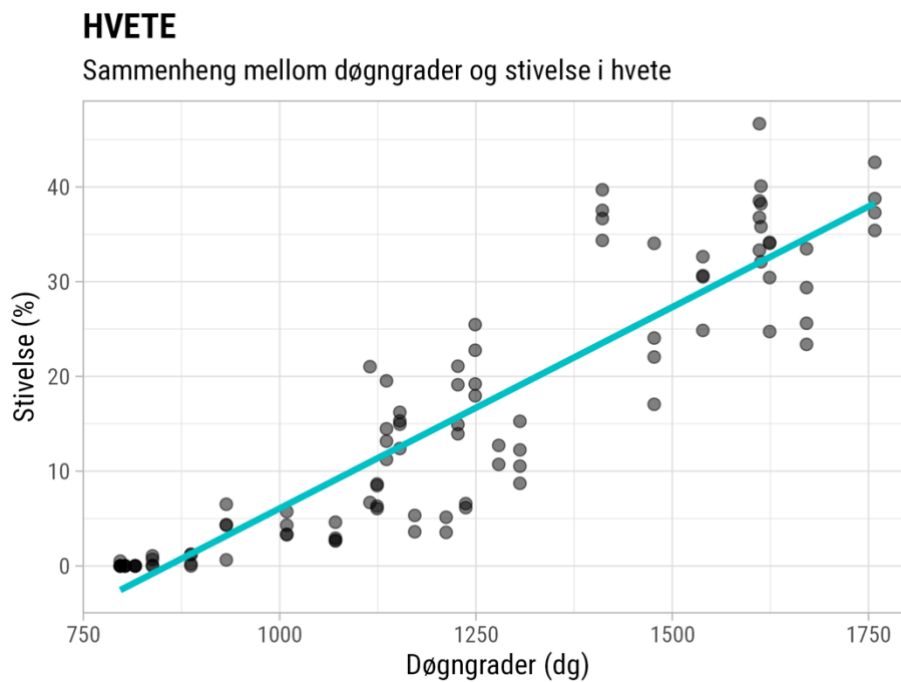
$$\text{Stivelse}_{\text{hvete}} = -36,41 + 0,04248 * \text{døgngader}$$

For aske kan 68% av innholdet i bygg og 73% i hvete forklares av døgngader, etterfulgt av NDF med henholdsvis 66% og 54%. Innholdet av råprotein har derimot mindre sammenheng med døgngader, hverken for hvete (0,26) og litt bedre for bygg (0,41). Prediksjon av VOS-

fordøyelighet samsvarer dårlig med døgngader. For hvete er det heller ikke signifikant forskjell, og en lav forklaringsvariabel. Det var signifikant forskjell for bygg, men lav forklaringsvariabel.



Figur 17: Lineær regresjon av konsentrasjon av stivelse, målt som % av tørrstoff, mot døgngader med basetemperatur på 0 °C for helgrøde av bygg.



Figur 18: Lineær regresjon av konsentrasjonen av stivelse, målt som % av tørrstoff, mot døgngader med basetemperatur på 0 °C for helgrøde av hvete.

5.0 Diskusjon

Tørrstoffavlingene av helgrøde av bygg fulgte samme utvikling alle steder med en økning i avling ved økende utviklingsstadium, foruten ved Særheim og Voll. På disse stedene var det en numerisk lavere avling på ca 100 kg TS/daa i siste høsting, ved sein deigmodning (Z89), sammenlignet med høsting nummer 3 ved tidlig deigmodning (Z83). En mulig forklaring kan være variasjoner i plantetetthet og avling innad i forsøksrutene. På Voll kan det i tillegg ha en sammenheng med en del ugras som påvirket forsøksrutene i de siste høstingene. Dette kan ha gitt større konkurranse om vann, næring og lys seint i sesongen sammenlignet med tidlig. En lignende avlingsreduksjon ble derimot funnet i studien til (Randby et al., 2019) fra tidlig deigmodning til myk-til-hard deigmodning, men ved bruk av hvete. Andre årsaker til denne avlingsreduksjonen kan være fysiologiske endringer, værforhold som skaper stress eller angrep av skadedyr, sopp eller sykdommer, men dette ble ikke registrert. Mellom stedene ble det høstet høyest avling ved Sola og Voll. Disse feltene ble derimot bare høstet i 2022, men til gjengjeld var det 8 gjentak til forskjell fra 4. Det er også verdt å nevne at det ble dyrket to-radsbygg og ikke seks-radsbygg som på de andre plassene. To-radsbygg har vanligvis noe høyere avling enn 6-radsbygg under gunstige betingelser.

Trenden ($P = 0,08$) til at effekten av utviklingsstadium på avling var avhengig av stedet kan ha sammenheng med at det var en reduksjon i avling fra Z83 til Z89 ved Særheim og Voll.

Grunnen til at det var forskjell i avling mellom Apelsvoll og Stjørdal for hvete kan være relatert til varmesum ved høsting eller sådato. Varmesummen ved de ulike høstetidspunktene varierte litt i begge retninger mellom de to stedene, men ved siste høsting ble avlingene høstet ved høyere varmesum på Apelsvoll. Sådato for Stjørdal var også flere uker senere enn for Apelsvoll både i 2021 og 2022, som kan ha påvirket busking og andre faktorer for vekst og utvikling, for eksempel en høyere gjennomsnittstemperatur. De statistiske beregningene viste ingen interaksjon og effekten av utviklingsstadium var derfor ikke avhengig av sted.

Sammenlignet med studien til (Randby et al., 2019) som dyrket helgrøde av hvete i Ås, sørøst i Norge, var avlingene i denne studien betydelig høyere og stemmer bedre med avlingene fra nordlige halvdel av Sverige (Wallsten, 2008) i deigmodning. I melkmodning var det høyere avling for bygg i denne studien, med 869,5 kg TS/daa mot 640-583 kg TS/daa i forsøkene til Wallsten (2008). Avlingene høstet i denne studien er derfor ganske høye, men innenfor normale verdier for helgrøde av bygg og hvete. Ved storskala dyrking av helgrøde vil derimot

totalavlingen på et skifte påvirkes av faktorer som variasjoner i jord og dyrkingsforhold, helling, kantsoner, vendeteiger og drenering med flere innen skiftet. Avlingen fra forsøk som prøver å utelukke disse faktorene kan derfor avvike litt fra praktisk dyrking av helgrøde, men likevel anses avlingsregistreringene å gi en god indikasjon på avlingspotensialet.

Å vente med å høste avlingene viste seg å gi en stor økning i tørrstoffavling allerede fra skyting (Z59) til melkematning (Z75) for begge arter. Økningen er også betydelig fra melkematning (Z75) til tidlig deigmatning (Z83), men mindre økning til sein deigmatning (Z89). For hvete var det en dobling av avling fra skyting (Z59) til sen deigmatning (Z89). Slike resultater kan være nyttige når behovet for avlingsmengde er med i vurderingen av høstetidspunkt, men må også sees i sammenheng med næringsinnholdet. Det skal likevel nevnes at Figur 1 viser en stor variasjon i avlingsnivået for de ulike utviklingsstadiene. Variasjonen kan skyldes forskjeller mellom forsøksruter og innad i forsøksruter eller være relatert til uttaket av prøver. Prøvetakingen er forsøkt å gjøre så likt som mulig for å minimere dens effekt på resultatene. Avlingsforskjellene kan også skyldes forskjell i vær og andre dyrkingsbetingelser. Sårkornet ble sådd i rader, hvilket vil ha betydning når malen ble tredd over plantene. I noen tilfeller kan malen ha fått med ei ekstra rad med planter, som dermed påvirker den målte avlingsmengden. Etter hvert begynte aksene å bøye seg litt som også gjorde det vanskeligere å tre malen over. Heller ikke her var det en signifikant interaksjon og effekten av utviklingsstadium på avling var derfor ikke avhengig av planteart.

Randby et al. (2019) høstet helgrøde av hvete i stadium tidlig deigmatning med en tørrstoffkonsentrasjon på 33,5% og myk-til-hard deigmatning (Z85-87) på 42,2%, som samsvarer greit med gjennomsnittlig konsentrasjon av hvete høstet i tidlig deigmatning (Z83) i denne studien på 37,6%. Sammenlignet med Wallsten (2008) stemmer resultatene i dette forsøket bra med tørrstoffkonsentrasjonene for rughvete og rug ved melke- og deigmatning, men mindre bra for bygg ved melkematning. Tørrstoffkonsentrasjonen ved sein deigmatning (Z89) var ganske høy i dette forsøket. Dette skyldes trolig at kornkjernene hadde begynt å bli harde og mye vann var allerede fjernet i modningsprosessen. I forbindelse med ensilering og lagring vil dette være ugunstig, spesielt i plansilo, på grunn av mindre pakkevillighet og mer luftrom i og mellom plantene. Det er vesentlig mindre variasjon blant målingene for tørrstoffkonsentrasjon (Figur 2) sammenlignet med avling, foruten ved siste høsting og noen målinger ved Z83. Variasjonen kan skyldes været før og under høsting. I tillegg kan det skyldes ujevn modning i forsøksfeltene og mellom feltene.

Tørrstoffkonsentrasjonen i akset økte også ved økende utviklingsstadium, og var samtidig høyere enn tørrstoffkonsentrasjonen i hele planten. Dette kan ha sammenheng med at akset er et lagringsorgan, som lagrer næringsstoffer som stivelse og protein og dermed inneholder mindre vann. I tillegg går tørrstoffkonsentrasjonen opp som en naturlig del av modningsprosessen. I aks-fraksjonen var det derimot ikke forskjell mellom bygg og hvete.

Grunnen til at det var forskjell i tørrstoffkonsentrasjon i hele planten mellom bygg og hvete skyldes trolig forskjeller i stengel-fraksjonen. Her hadde bygg en tydelig lavere tørrstoffkonsentrasjon enn hvete, i tillegg til at konsentrasjonen var lavere enn for aks-fraksjonen. En lavere tørrstoffkonsentrasjon her kan skyldes at stengelen har en strukturell funksjon i planten bestående av mye fiber som også krever vann for å opprettholde cellestrukturen. I tillegg foregår det mye transport av vann og næringsstoffer via transportsystemene i stengelen. I bladene foregår det dessuten transpirasjon og fotosyntese, og cellene er avhengig av å være saftspente for å fungere best mulig. Ved siste høsting var derimot tørrstoffkonsentrasjonen nokså høy i stengel også, spesielt for hvete. Dette tyder på at planten var på veg i modningsprosessen.

Variasjon i tørrstoffkonsentrasjonen for både aks og stengel i siste høsting kan også her skyldes ujevn modning.

En signifikant interaksjon for hele planten, aks og stengel viser til at økningen i tørrstoffkonsentrasjon ikke bare skyldes utviklingsstadium, men også en effekt av planteart. Dette kommer blant annet frem ved at tørrstoffkonsentrasjonen økte fortere for hvete enn bygg. Forskjellen i økning i tørrstoffkonsentrasjon kan skyldes ulike utviklingsprosesser for modning og ulik fysiologi blant de to artene. Hvete har på generelt grunnlag lenger veksttid enn bygg og burde kanskje hatt en langsommere økning. Uten at det blir påpekt noe interaksjon i studien til Nadeau (2007) hadde vårhvete allerede ved tidlig melkematning en høyere tørrstoffkonsentrasjon enn bygg, men omtrent lik økning fra tidlig melkematning til tidlig deigmatning.

Den relative avlingen av aks- og stengel-fraksjonen i forhold til totalavlingen fulgte motsatt utvikling av hverandre. I forsøket hadde bygg en betydelig høyere relativ avling av aks enn hvete frem til siste høsting, sein deigmatning. Dette er i tråd med andre studier som også viser til høyere aks-andel for bygg (Khorasani et al., 1997; Nadeau, 2007). I sistnevnte studie hadde

bygg et aks:stengel forhold på hele 1,85. Dette tilsvarer de relative avlingene som ble oppnådd i sein deigmodning i denne studien for bygg. I diskusjonen rundt relativ avling av plantedelene kunne det vært interessant og sammenlignet to- og seks-rads bygg. Også for relativ avling var det en del spredning i resultatene. Dette kan skyldes ujevn modning eller forskjeller i lengden av stengel og mengden blader som videre påvirker vekta.

En praktisk metode for å øke forholdet i den høstede avlingen er å justere opp stubbehøyden på slåtteutstyret. Dette vil derimot medføre lavere totalavling, men endrer nærings sammensetningen. I prosjektet «Korn som vekstskifte» fra Jæren ble det beregnet en avlingsnedgang på omtrent 1% for hver cm stubbehøyden økte over 5 cm (Møgedal, 2019). En av forsøksvertene i prosjektet som høstet helgrøden ved 30cm rapporterte derimot behov for mer fiber i rasjonen når helgrøde ble blandet med tidlig høstet raigras. Dette viser til at fôr rasjonen må balansere mellom innholdet av lettfordøyelige karbohydrater mot innholdet av fiber for å unngå høy vombelastning. I en studie som undersøkte effekten av stubbehøyde på melkeytelse sammenlignet med surfôr av gras ble det ikke funnet noe signifikant forskjell mellom behandlingene (Sinclair et al., 2003). Dette til tross for at konsentrasjonen av stivelse økte og konsentrasjonen av NDF gikk ned ved høy stubbehøyde.

Bruker man resultatene for gjennomsnittlig avling, relative avlinger (Tabell 6) og næringsinnhold i aks og stengel (Tabell 11) fra denne studien kan endringen av avling og konsentrasjonen av stivelse og fiber beregnes. Dersom stubbehøyden økes slik at den relative avlingen av stengel-fraksjonen halveres vil bygg ved stadium Z83, tidlig deigmodning, få en avlingsnedgang fra 1003 kg TS/daa til 787 kg TS/daa. Konsentrasjon av stivelse vil øke fra 25,3% til 32,1% og det blir en nedgang i NDF-konsentrasjon fra 41,9% til 37,5%. Tilvarende for hvete, vil avlingen reduseres fra 982,9 kg TS/daa til 732 kg TS/daa, konsentrasjonen av stivelse øke fra 17,9% til 23,4% og NDF-konsentrasjonen reduseres fra 48% til 44,1%. Ved å ta ut prøver i forkant av høsting kan slike beregninger brukes til å tilpasse stubbehøyde til avlingsnivå og næringsinnhold. I Danmark praktiseres også det som kalles «ribbehøsting», der kun akset og de øverste bladene blir med i ensilasjen (Martinussen, 2018). Dette gir enda høyere energiverdi og fordøyelighet, men går på bekostning av avlingen. Når det er sagt var effekten i produksjonsrespons hos kjøttfe ikke signifikant bedre når stubbehøyden ble økt i en irsk studie (Walsh et al., 2008).

Det høyere innholdet av aske, råprotein, stivelse og fordøyelighet i 2021 enn 2022 kan i kombinasjon med at det var en interaksjon mellom utviklingsstadium og år tyde på at det vil være års-variasjoner i næringsinnholdet i helgrøde. Disse variasjonene kan skyldes vær og vekstforhold gjennom sesongen slik som temperatur, lys og vann, de viktigste faktorene for vekst og utvikling (Hopkins, 2009). I forbindelse med lys vil ikke fotoperiode ha forskjeller mellom år. Lysintensitet og plantenes evne til å nyttiggjøre seg energien via fotoreseptorer kan derimot ha betydning. Tidspunktet for såing var i 2022 senere enn i 2021 for alle steder. Dette kan ha betydning for temperaturen i plantenes morfologiske stadier som videre påvirker vekst og utvikling.

Askeinnholdet sank ved økende utviklingsstadium og var høyere for hvete. I utgangspunktet er innholdet lavt, og dette tyder på at det har vært lite innblanding av jord i prøvene. Nedgangen i askeinnhold viser at innholdet av mineraler gikk ned ved økende modning.

Askeinnholdet var høyere i stengelen enn i akset for begge arter og gikk nedover. Aske representerer mineraler og andre uorganiske forbindelser som ikke forbrennes. Forskjellen kan derfor være relatert til ulike egenskaper for de to plantedelene som gir en ulik konsentrasjon av mineraler som inngår i plantedelens funksjon. Akset er for eksempel et lagringsorgan til forskjell fra stengel og blader. Innholdet av mineraler i planter påvirkes av jordforhold, gjødsling, værforhold og modenhet (Ekholm et al., 2007). Opptaket av mineraler skjer i røttene og transporten skjer via vedvevet i planten (Hopkins, 2009). Mineralene er i de fleste tilfeller næringsstoffer som inngår plantenes metabolske funksjoner. Derfor kan det tenkes at innholdet er høyere i stengel og blader fordi det her foregår mer fotosyntese og respirasjon som involverer mer mineraler. Ved økt modenhet vil også denne aktiviteten avta. Korn av bygg og hvete inneholder derimot relativt mye fosfor og lite kalsium (Martinussen, 2018).

Innholdet av råprotein var tydelig høyere ved skyting (Z59) enn seinere. En medvirkende faktor til dette kan skyldes et høyt proteininnhold i bladene som fremdeles var grønne og friske på dette tidspunktet. I bladene foregår det mye fotosyntese som blant annet involverer enzymer bestående av proteiner, deriblant rubisco. Ved økende utviklingsstadier ble derimot mer og mer av bladene gule og brune, samtidig som transporten av N-rike næringsstoffer økte til akset. Proteininnholdet gikk ned fra skyting (Z59) til melkematning (Z75), men holdt seg mer eller mindre konstant ved videre modning, og var litt høyere for hvete. Når proteinkonsentrasjonen holdes konstant samtidig som den relative avlingen av aks og stengel endrer seg viser dette at akset inneholder mer og mer av plantens totale proteininnhold. Konsentrasjon av råprotein kan

nok derfor også påvirkes av stubbehøyde, men i mindre grad. I dette forsøket lå verdiene på 9-10% av tørrstoffet fra melkemedning til sein deigmodning, noe som samsvarer med andre forsøk (Ghanbari-Bonjar & Lee, 2003; Nadeau, 2004; Randby et al., 2019). En strategi for å øke proteininnholdet i dyrking av mathvete er å gjødsle med mer nitrogen og ofte flere tildelinger. Dette vil nok være overførbart til dyrking av helgrøde, men kostnader må vurderes opp mot gevinsten. Helgrøde av korn vil nok ikke være et proteinrikt fôr uansett, men en økning i råproteininnholdet vil kunne redusere bruk av proteinrike fôrmidler i totalrasjonen. Det er gjort flere forsøk med nitrogengjødsling til vårhvete i Norge som oppnår en konsentrasjon helt opp i 16% i kornkjernene fra ca 15,5 kg N/daa (Kristoffersen, 2022).

Enzymet Rubisco er den dominerende nitrogenholdige forbindelsen og nitrogen innholdet i blader har derfor en lineær sammenheng med rubisco konsentrasjonen (Hay & Porter, 2006). Interaksjonen mellom utviklingsstadium og plantedel viser at konsentrasjonen av råprotein utvikler seg forskjellig ved økende utviklingsstadium. Dette har sammenheng med hvor mye nitrogen som tas opp av planten og hvor mye av det som lokaliseres i kornkjernene, også kalt nitrogenhøstings-indeks, H_N (Hay & Porter, 2006). Akkumulering av nitrogen i kornfyllingen styres av to prosesser, translokasjon av protein fra andre plantedeler som blader og stengel, samt direkte transport. Her kan sen gjødsling påvirke nitrogen tilførsel til kornkjernene fordi røttene tømmes for assimilater etter blomstring (Hay & Porter, 2006).

Helgrøde blir ofte betegnet som et fiberrikt fôr sammenlignet med andre typer grovfôr til drøvtyggere. Ved skyting utgjorde NDF innholdet 50-60 % av tørrstoffet, høyest for hvete. Ved økt utviklingsstadium er det vanlig at planter som grasarter får et høyere fiberinnhold som følge av en grovere stengel for å holde planten oppreist. I dette forsøket gikk fiberinnholdet ned ved økende utviklingsstadium. Nedgangen har nok sammenheng med at den relative avlingen av akset, som inneholder mindre fiber, øker og dermed synker konsentrasjonen av NDF. Innholdet av NDF forklarer derimot ikke alt om fiberinnhold og sammensetning. Fordøyeligheten av NDF synker ved økt utviklingsstadium som følge av økt innhold av lignin og lignifisering av cellulose og hemicellulose (Cherney & Marten, 1982b). Dette gjør at fiber utgjør mindre av den fordøyelige energien i fôret ved økt utviklingsstadium. Et mål på iNDF (indigestible neutral detergent fibre) kunne vist en eventuell nedgang i fordøyeligheten av NDF.

Konsentrasjonen av NDF var også forskjellig mellom aks og stengel i bygg og hvete. Ved skyting (Z59) var derimot konsentrasjonen høyere i akset enn stengelen. Dette kan ha

sammenheng med at akset har dannet sine strukturelle former som et lagringsorgan, slik at det er klart for å danne endosperm og fylle kornkjernene. NDF utgjør derfor en stor andel. Denne andelen går nedover etter hvert som kornkjernene fylles. For stengel fraksjonen var det motsatt og en økning, foruten en liten nedgang ved melkemedning (Z75). Ved økt modning vil blader redusere sin aktivitet og dermed brytes en del stoffer ned. I tillegg vil stengelen måtte bære en større andel vekt fra akset som krever fiber og stive strukturer for å holde seg oppreist. Forskjellen i utvikling for plantedelene henger sammen med interaksjonen mellom utviklingsstadium og plantedel. Totalt sett gikk NDF konsentrasjonen ned selv om den økte i stengel og ble redusert i akset. Dette henger sammen med at den relative avlingen økte for akset og ble redusert for stengelen.

Innholdet av stivelse var nesten helt fraværende ved skyting (Z59), og økte ved økende utviklingsstadium. En interessant forskjell var en betydelig høyere konsentrasjon for bygg enn hvete, spesielt i melkemedning (Z75) og tidlig deigmodning (Z83). Denne forskjellen kan ha grunnlag i at bygg har et høyere aks:stengel forhold. En annen forklaring kan ha sammenheng med prosessene rundt syntese av vannløselige karbohydrater til stivelse i amyloplastene. Bygg har på generell basis ei kortere veksttid og lavere krav til veksttemperatur enn hvete (Sveinsson & Hermannsson, 2018). Dette kan gi hvete lengre tid til å syntetisere mer stivelse enn bygg. Samtidig krever hvete høyere veksttemperatur. I denne studien var denne effekten heller motsatt, men må sees i sammenheng med at planten høstes før kornkjernene er helt modne. Derfor kan det diskuteres om hastigheten for syntese av stivelse kan forklare noe av disse forskjellene. En signifikant interaksjon mellom utviklingsstadium og planteart på stivelsesinnholdet underbygger dette, og viste til at bygg hadde en raskere økning etter skyting. Selve syntesen er dessuten avhengig av enzymer som igjen påvirkes av forhold som temperatur. Ettersom type A granulater dannes først (Williams & Duffus, 1977) kan forskjellene mellom bygg og hvete være relatert til et ulikt forhold mellom type A og B. Uansett, stivelsesinnholdet for hvete ved tidlig deigmodning (Z83) lå mellom Randby et al. (2019) sine resultater for tidlig deigmodning og myk-til-hard deigmodning. Resultatene for hvete stemmer også bra med det Nadeau (2007) fant. For bygg lå konsentrasjonen godt over det Wallsten (2008) fant i sine studier, og litt over Nadeau (2007) sine resultater. I sistnevnte studie ble det også funnet en høyere konsentrasjon av stivelse for bygg sammenlignet med hvete, men forskjellene var ikke like store som i dette tilfellet.

Det er også viktig å være klar over at resultatene i dette forsøket baserer seg på analyse av fersk og tørket helgrøde. I praksis vil plantemassen være ensilert. I studien til Nadeau (2007) var stivelseinnholdet lavere i ensilerte prøver sammenlignet med fersk plante.

Stor spredning i resultatene ved melkematning (Z75) og tidlig deigmatning (Z83) kan skyldes forhold som små prøver (0,25 m²), ujevn matning og stedsforskjeller.

Forskjellen mellom konsentrasjonen av stivelse i aks og stengel var tydelig. I stengel-fraksjonen var stivelse nesten helt fraværende frem til siste høsting (Z89) hvor stengelen inneholdt 4-5% stivelse. Stivelse i stengel og blader knyttes først og fremst til innhold i flaggbladet, området rundt flaggbladskjeden og nest siste internode (Scofield et al., 2009). En annen forklaring kan være energibehov i stengel. Akset fulgte en lignende utvikling som for hele planten, med lite stivelse ved skyting (Z59) og deretter en markant økning. I likhet med resultatene fra hele planten har bygg også her et høyere stivelsesinnhold enn hvete og en raskere økning. Dette henger nok sammen med forhold knyttet til syntese av stivelse i amyloplastene som nevnt før, og underbygger forskjellene beskrevet tidligere. Det var også en tydelig interaksjon mellom utviklingsstadium og plantedel fordi de to plantedelene fulgte forskjellig utvikling.

Det var ikke signifikant endring av VOS-fordøyeligheten samlet sett. Bygg hadde derimot en høyere fordøyelighet ved sen deigmatning (Z89) sammenlignet med skyting (Z59). En vesentlig forskjell er derimot at bygg hadde høyere fordøyelighet enn hvete. Fordøyeligheten vil være avhengig av forhold knyttet til dyrets fordøyelsesevne og egenskaper ved fôret. Sistnevnte påvirkes av mengden av hvert næringsstoff og dets fordøyelighet. Forskjellen mellom bygg og hvete kan derfor være relatert til forskjellene i stivelsesinnhold og fiberinnhold. Stivelse er ganske lettfordøyelig og brytes ned raskt i vomma (Herrera-Saldana et al., 1990). Fordøyeligheten av NDF påvirkes derimot av fordelingen av cellulose, hemicellulose og lignin, og synker ved økende utviklingsstadium (Cherney & Marten, 1982b). En høyere konsentrasjon av stivelse i bygg i kombinasjon med høyere konsentrasjon av NDF i hvete som potensielt var mindre fordøyelig kan derfor forklare forskjellen i fordøyelighet. Fordøyelighet og konsentrasjon av råprotein antas å ha mindre betydning på den totale fordøyeligheten på grunn av nokså likt innhold i begge arter. Interaksjonen mellom utviklingsstadium og plantearter kan for eksempel tilknyttes den raskere økningen av stivelse i bygg.

VOS-fordøyeligheten var høyere i aks enn stengel, og høyere i bygg enn i hvete i begge plantedeler. I akset var det en numerisk økning, som gjenspeiler akkumulering av stivelse og

lettfordøyelige næringsstoffer. I stengel var det en betydelig reduksjon i løpet av sesongen som har sammenheng med økt ligninkonsentrasjon. Fordøyeligheten av stengel ved spesielt sein deigmodning (Z89) var veldig lav og dyret vil kunne ta ut lite energi av dette fôret. Til tross for veldig lav fordøyelighet av stengelfraksjonen holdes fordøyeligheten konstant eller med en liten numerisk økning for hele planten samlet. Dette skyldes den høye fordøyeligheten av akset som fikk en større og større relativ avling.

Når det kommer til prognoser for bestemmelse av næringsinnhold i helgrøde basert på varmesum viste det seg å være en del variasjon. Askeinnholdet samsvarte greit, men er uinteressant å basere høstetidspunkt etter. Konsentrasjonen av råprotein samsvarte dårligere mot varmesum, noe som underbygger en stabil konsentrasjon fra og med melkemosning (Z75). I helgrøde av korn er konsentrasjonen forholdsvis lav uansett, men ved innblanding av belgvekster kunne proteininnholdet være mer interessant å predikere. Mye av det samme gjelder VOS-fordøyeligheten. For hvete er det heller ikke signifikant forskjell og varmesum forklarer veldig lite av forskjellene ellers. Det viste seg å være bedre sammenheng mellom varmesum og NDF for bygg med en forklaringsvariabel på 0,66, sammenlignet med hvete (0,54). På samme måte er kanskje ikke fiberinnholdet det som er mest interessant, men absolutt nyttig. Stivelse hadde best forklaringsvariabel med henholdsvis 0,80 og 0,83 for bygg og hvete, noe som viser til at varmesum kan inngå i en prediksjonsmodell for å prognostisere konsentrasjonen av stivelse i helgrøde. En utfordring vil nok være at det kan forekomme variasjoner mellom år slik Tabell 7 viser, mellom steder og kanskje mellom sorter i forhold til veksttid. Dette kan løses ved å lage egne modeller for både sorter og steder. I beregningen er det lagt til grunn en basetemperatur på 0°C. En årsak til dette er at det er mye lettere å forholde seg til i praktisk bruk av varmesum. Samtidig kan det diskuteres om denne burde vært noen grader høyere for å sette et nullpunkt mer likt plantenes nullpunkt for vekst. En undersøkelse av dette kunne inngått i fortsatte studier. Varmesummen er beregnet fra sådato til høstedataene. Hastigheten for spiring vil variere ved ulike forhold der temperatur og fuktighet spiller stor rolle. Dette kan ha påvirket beregningene for varmesum. En annen mulighet kunne vært å beregne varmesum med startpunkt ved skyting, men dette ville forutsatt riktig fastsettelse av tidspunkt for skyting.

Når skal helgrøde høstes? Hva egner seg best av bygg og hvete? Når skal man dyrke helgrøde? Det er mange faktorer som må legges til grunn for å svare på disse spørsmålene, og flere av dem er undersøkt i denne studien. Basert på energiinnhold målt som NEL₂₀ har helgrøde av bygg og hvete litt lavere innhold enn både mais og gras (Martinussen, 2018). Fordøyeligheten,

målt som OMD, av gras høstet in Norge ligger i snitt rundt 72%, men kan økes ved å høste graset tidligere (Øksendal & Brodshaug, 2022). For bygg som hadde høyest fordøyelighet i denne studien lå fordøyeligheten omregnet til OMD ved tidlig deigmodning (Z83) på 69,4%. Konsentrasjonen av råprotein i helgrøde ligger også betydelig under det man tar ut i gras, men kan økes ved delt og økt tildeling av N-gjødsel. Av disse grunnene bør det derfor være andre fordeler av å dyrke helgrøde.

En av disse fordelene er stor avling. Mellom bygg og hvete skilte det lite i avling, men bygg ble høstet ved lavere varmesum, altså tidligere enn hvete. Dette kan bety at det kan tas en ekstra slått dersom det også ble sådd gjenlegg sammen med bygg. Selv om avlingen økte frem til sein deigmodning (Z89) var tørrstoffkonsentrasjonen så høy at det kan gi fare for dårlig pakking i silo/rundball og dårligere gjæring på grunn av mindre vannløselige karbohydrater tilgjengelig. I tillegg øker faren for harde kornkjerner som passerer ufordøyd.

En annen fordel med helgrøde er innhold av stivelse, fordi det er en kilde til lettløselige karbohydrater som kan påvirke melkemengde positivt. Mer stivelse fra grovfôret kan dessuten redusere behovet for stivelse fra kraftfôret. Det var lite stivelse å hente ved skyting (Z59) og frem til melkemosning (Z75). Mye tyder derfor på at et høstetidspunkt rundt tidlig deigmodning (Z83) vil være mest fornuftig basert på avling, tørrstoffkonsentrasjon, innhold av stivelse, råprotein, NDF og fordøyelighet fra denne studien.

På grunn av varierende produksjonsrespons av helgrøde i fôrrasjonen til storfe (Wallsten & Martinsson, 2009; Walsh et al., 2008; Sinclair et al., 2003) kan man stille spørsmål til om helgrøde bør dyrkes i stort omfang. Likevel høster man én stor avling til forskjell fra engvekster som høstes 2-5 ganger, noe som gir muligheter for et billig fôr. En del dyrker helgrøde i forbindelse med gjenlegg, og det er kanskje her helgrøde har et potensiale. I områder uten lett tilgjengelig halm kan også helgrøde være aktuell i fôrrasjonen sammen med tidlig høstet gras i et intensivt dyrkingssystem. Med økende ekstremvær og utfordringer i vekstsesongen bør også helgrøde kunne være en god løsning ved fôrmangel, sviktende engavlinger eller dårlig overvintring. Med dette menes forhold før eller under vekstsesongen som begrenser avlingsmengden, og gjør det nødvendig å iverksette tiltak for å sikre nok fôr til vinteren. Vårkorn har ikke nødvendigvis bedre egenskaper enn engvekster under dårlige vekstbetingelser, men det kan bli nødvendig å bruke mer av gårdens arealer til fôrproduksjon. Her kan helgrøde være et godt supplement i fôrrasjonen.

I gjennomføringen av forsøket er det flere faktorer som kan ha påvirket resultatene. Over to år ble det høstet helgrøde på 4 og 6 steder, som dermed har involvert flere personer. Selv om uttaksbeskrivelsen var lik, kan det ha blitt gjort forskjeller i uttaket og særlig i bestemmelsen av riktig stadium. Her var det lagt inn litt slingring, men utviklingsstadium kan være vanskelig å fastsette, i tillegg til at høstingen skal passe inn med andre gjøremål. Dette kan forklare noe av variasjonen som vises i en del figurer. Det var også tilfeller med ujevn modning i forsøksrutene som gjorde det vanskelig å fastslå riktig utviklingsstadium, i tillegg til at det kan ha påvirket analysen av næringsinnhold.

Hele analysen av næringsinnhold baserte seg på kalibreringsmodellene til NIRS-analysen. For stivelse, råprotein og aske viste R-kvadratet en god sammenheng mellom predikert verdi og verdi målt i kjemisk analyse, men for NDF og VOS var den litt lavere med henholdsvis 0,95 og 0,92. Dette kan ha gitt noe avvik. Den samme tendensen vises av RMSEP verdiene som er høyere for NDF og VOS. Dette viser til noe mer spredning i forhold til regresjonslinja. Kalibreringsmodellene er basert på 235 prøver fra Sverige av bygg. Disse modellene er også brukt i analysen av hvete, og kan jo ha påvirket resultatene. Det burde kanskje vært tatt ut noen kontrollprøver og sendt til analyse hos et laboratorium for å verifisere kalibreringsmodellene. Uansett har NIRS-analysene gitt muligheten til å analysere mange prøver raskt og billig og mye tyder på at dette kan bli et godt verktøy for analyse av næringsverdi i helgrøde. Flere referanseprøver burde derimot legges til grunn og gjerne fra norske forsøk for å lage pålitelige kalibreringsmodeller.

6.0 Konklusjon

Resultatene fra denne studien viste en avlingsøkning fra 541 kg TS/daa til 1103 kg TS/daa fra skyting til sein deigmodning for helgrøde av hvete. Tilsvarende økte avlingene fra 604 kg TS/daa til 1054 kg TS/daa for bygg.

NIRS analysene viste at ved økende utviklingsstadium gikk konsentrasjonen av aske og fiber ned, konsentrasjonen av råprotein holdt seg konstant fra og med melkemedning, fordøyeligheten endret seg lite og konsentrasjonen av stivelse økte. Både fordøyeligheten og konsentrasjonen av stivelse var høyere for bygg enn hvete.

I fraksjonene aks og stengel gikk konsentrasjonen av fiber ned for aks og økte for stengel ved økende utviklingsstadium. Konsentrasjonen av råprotein gikk nedover i stengel og hadde mindre forandringer fra og med melkemedning for aks. For stivelse økte innholdet i aks, men det var tilnærmet helt fraværende i stengel. Fordøyeligheten gikk kraftig ned i stengel, men økte litt i aks, spesielt fra skyting til melkemedning for bygg.

Innhold av stivelse egnest seg best til prediksjon basert på varmesum med et R-kvadrat på 0,83 for hvete og 0,80 for bygg. Sammenhengen mellom askeinnhold og varmesum var på 0,73 og 0,68 for bygg og hvete, og 0,54 og 0,66 for NDF. Fordøyelighet og konsentrasjon av råprotein forklart lite av varmesum.

Referanser

- Abdalla, A. L., Sutton, J., Phipps, R., & Humphries, D. (1999). Digestion in the rumen of lactating dairy cows given mixtures of urea-treated whole-crop wheat and grass silage. *Animal Science*, 69(1), 203-212. <https://doi.org/10.1017/S1357729800051249>
- Addah, W., Baah, J., Groenewegen, P., Okine, E., & McAllister, T. (2011). Comparison of the fermentation characteristics, aerobic stability and nutritive value of barley and corn silages ensiled with or without a mixed bacterial inoculant. *Canadian Journal of Animal Science*, 91(1), 133-146. <https://doi.org/10.4141/CJAS10071>
- Akram, M. (2011). Growth and yield components of wheat under water stress of different growth stages. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 36(3), 455-468. <https://doi.org/10.3329/bjar.v36i3.9264>
- Anil, L., Park, J., Phipps, R., & Miller, F. (1998). Temperate intercropping of cereals for forage: a review of the potential for growth and utilization with particular reference to the UK. *Grass and forage science*, 53(4), 301-317. https://www.researchgate.net/profile/Julian-Park-5/publication/227650126_Temperate_intercropping_of_cereals_for_forage_A_review_of_the_potential_for_growth_and_utilization_with_particular_reference_to_the_UK/links/5d3bf9e592851cd0468a1fc5/Temperate-intercropping-of-cereals-for-forage-A-review-of-the-potential-for-growth-and-utilization-with-particular-reference-to-the-UK.pdf
- Bardalen, A. (2018). Klimarisiko og norsk matproduksjon. *NIBIO Rapport*. <https://core.ac.uk/download/pdf/285994531.pdf>
- Bergen, W., Byrem, T., & Grant, A. (1991). Ensiling characteristics of whole-crop small grains harvested at milk and dough stages. *Journal of Animal Science*, 69(4), 1766-1774. <https://doi.org/10.2527/1991.6941766x>
- Bernatek, E. R. (2022, 12. april). *stivelse*. <https://snl.no/stivelse>. <https://snl.no/stivelse>
- Berner jr., E. A., Halvor. (2020, 3. desember). *spiring*. [snl.no. https://snl.no/spiring](https://snl.no/spiring)
- Cherney, J., & Marten, G. (1982a). Small Grain Crop Forage Potential: I. Biological and Chemical Determinants of Quality, and Yield 1. *Crop Science*, 22(2), 227-231. <https://doi.org/10.2135/cropsci1982.0011183X002200020007x>
- Cherney, J., & Marten, G. (1982b). Small grain crop forage potential: II. Interrelationships among biological, chemical, morphological, and anatomical determinants of quality 1. *Crop Science*, 22(2), 240-245. <https://doi.org/10.2135/cropsci1982.0011183X002200020010x>
- Deaville, E., & Flinn, P. C. (2000). Near infrared (NIR) spectroscopy: an alternative approach for the estimation of forage quality and voluntary intake. *Forage evaluation in ruminant nutrition*, 301-320. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.1079/9780851993447.0301>
- Destefanis, G., Barge, M. T., Brugiapaglia, A., & Tassone, S. (2000). The use of principal component analysis (PCA) to characterize beef. *Meat science*, 56(3), 255-259. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(00\)00050-4](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(00)00050-4)
- Ekholm, P., Reinivuo, H., Mattila, P., Pakkala, H., Koponen, J., Happonen, A., Hellström, J., & Ovaskainen, M.-L. (2007). Changes in the mineral and trace element contents of cereals, fruits and vegetables in Finland. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20(6), 487-495. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2007.02.007>

- Evangelista, C., Basiricò, L., & Bernabucci, U. (2021). An overview on the use of near infrared spectroscopy (NIRS) on farms for the management of dairy cows. *Agriculture*, *11*(4), 296. <https://doi.org/10.3390/agriculture11040296>
- Faber, N. K. M. (1999). Estimating the uncertainty in estimates of root mean square error of prediction: application to determining the size of an adequate test set in multivariate calibration. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, *49*(1), 79-89. [https://doi.org/10.1016/S0169-7439\(99\)00027-1](https://doi.org/10.1016/S0169-7439(99)00027-1)
- Farooq, A., Farooq, N., Akbar, H., Hassan, Z. U., & Gheewala, S. H. (2023). A Critical Review of Climate Change Impact at a Global Scale on Cereal Crop Production. *Agronomy*, *13*(1), 162. <https://doi.org/10.3390/agronomy13010162>
- Filya, I. (2003). Nutritive value of whole crop wheat silage harvested at three stages of maturity. *Animal Feed Science and Technology*, *103*(1-4), 85-95. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(02\)00284-5](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(02)00284-5)
- Ghanbari-Bonjar, A., & Lee, H. (2003). Intercropped wheat (*Triticum aestivum* L.) and bean (*Vicia faba* L.) as a whole-crop forage: effect of harvest time on forage yield and quality. *Grass and forage science*, *58*(1), 28-36. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2494.2003.00348.x>
- Hay, R. K., & Porter, J. R. (2006). *The physiology of crop yield*. Blackwell publishing.
- Herrera-Saldana, R., Huber, J., & Poore, M. (1990). Dry matter, crude protein, and starch degradability of five cereal grains. *Journal of dairy science*, *73*(9), 2386-2393. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(90\)78922-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(90)78922-9)
- Holtet, E. K. (2021, 21. desember). bygg. snl.no. <https://snl.no/bygg>
- Hopkins, G. W. (2009). *Introduction to plant physiology*. John Wiley & Sons, Inc.
- Huhtanen, P., Rinne, M., & Nousiainen, J. (2007). Evaluation of the factors affecting silage intake of dairy cows: a revision of the relative silage dry-matter intake index. *animal*, *1*(5), 758-770. <https://doi.org/10.1017/S175173110773673X>
- Hunt, C. W. (1996). Factors affecting the feeding quality of barley for ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, *62*(1), 37-48. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(96\)01004-8](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(96)01004-8)
- Jacobs, J., Hill, J., & Jenkin, T. (2009). Effect of stage of growth and silage additives on whole crop cereal silage nutritive and fermentation characteristics. *Animal Production Science*, *49*(7), 595-607. <https://doi.org/10.1071/EA08244>
- Jeon, J.-S., Ryoo, N., Hahn, T.-R., Walia, H., & Nakamura, Y. (2010). Starch biosynthesis in cereal endosperm. *Plant physiology and Biochemistry*, *48*(6), 383-392. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.03.006>
- Johansen, A. (2016). *Produksjon og utnytting av heilgrøde som fôr Del 1: Produksjon*. <http://docplayer.me/25822505-Produksjon-og-utnytting-av-heilgrøde-som-for-del-1-produksjon-astrid-johansen-nibio-kvithamar-stjordan.html>
- Keady, T. (2005). Ensiled maize and whole crop wheat forages for beef and dairy cattle: effects on animal performance. *Silage production and utilization*, 65-82.
- Khorasani, G., Jedel, P., Helm, J., & Kennelly, J. (1997). Influence of stage of maturity on yield components and chemical composition of cereal grain silages. *Canadian Journal of Animal Science*, *77*(2), 259-267. <https://doi.org/10.4141/A96-034>
- Kristoffersen, A. Ø. (2022). Nitrogengjødsling til Betong vårhvete. *Jord-og Plantekultur 2022 Forsøk i korn, olje-og belgvekster, engfrøavl og potet 2021*.
- Lancashire, P. D., Bleiholder, H., Boom, T. V. D., Langelüddeke, P., Stauss, R., Weber, E., & Witzemberger, A. (1991). A uniform decimal code for growth stages of crops and

- weeds. *Annals of applied Biology*, 119(3), 561-601. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1991.tb04895.x>
- Lee, S., Baik, N., Yoo, J., Kim, S., Cho, K., Oh, Y., Park, T., Kim, T., Kim, K., & Kim, C. (2010). Effects of split application of pig liquid fertilizer on yield of spring whole-crop barley and subsequent soil quality in reclaimed land. *The Journal of the Korean Society of International Agriculture*. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=KR2011001286>
- Lindeboom, N., Chang, P. R., & Tyler, R. T. (2004). Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches: a review. *Starch-Stärke*, 56(3-4), 89-99. <https://doi.org/10.1002/star.200300218>
- Manley, M. (2014). Near-infrared spectroscopy and hyperspectral imaging: non-destructive analysis of biological materials. *Chemical Society Reviews*, 43(24), 8200-8214. <https://doi.org/10.1039/C4CS00062E>
- Marchesini, G., Serva, L., Garbin, E., Mirisola, M., & Andrighetto, I. (2018). Near-infrared calibration transfer for undried whole maize plant between laboratory and on-site spectrometers. *Italian Journal of Animal Science*, 17(1), 66-72. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2017.1345660>
- Martinussen, H. S., Per; Thøgersen, Rudolf; Aaes, Ole. (2018). *Kvægets fodring*. SEGES Forlag.
- Mo, M. (2005). Surfôrboka. 1. utg. Oslo: Landbruksforlaget.
- Mæland, T. (2021). Helgrøde med åkerbønner. *NIBIO Rapport*.
- Møgedal, I. A., Andres. (2019). *Korn som vekstskifte 2015-2019*. N. I. Rogaland.
- Nadeau, E. (2004). *Effekt av spannmålsgröda, skördetidpunkt och tillsatsmedel på foderkvaliteten hos helsäd*. Institutionen för husdjurens miljö och hälsa, Sveriges lantbruksuniversitet.
- Nadeau, E. (2007). Effects of plant species, stage of maturity and additive on the feeding value of whole-crop cereal silage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(5), 789-801. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2773>
- Nair, J., Beattie, A. D., Christensen, D., Yu, P., McAllister, T., Damiran, D., & McKinnon, J. J. (2018). Effect of variety and stage of maturity at harvest on nutrient and neutral detergent fiber digestibility of forage barley grown in western Canada. *Canadian Journal of Animal Science*, 98(2), 299-310. <https://doi.org/10.1139/cjas-2017-0060>
- Nesheim, L. (2014). Kalking til gras og korn. *Bioforsk Tema*.
- Powell, D. (2008). The role and management of whole-crop forage for organic ruminants.
- Randby, Å. T., Johansen, A., Rønning, L., & Karlson, L. (2019). *Helgrødesurfôr av hvete til mjølkekyr*. Buskap. [https://www.buskap.no/journal/2019/5/m-1778/Helgr%C3%B8desurf%C3%B4r av hvete til mj%C3%B8lkekyr](https://www.buskap.no/journal/2019/5/m-1778/Helgr%C3%B8desurf%C3%B4r%20av%20hvete%20til%20mj%C3%B8lkekyr)
- Randby, Å. T., Nadeau, E., Karlsson, L., & Johansen, A. (2019). Effect of maturity stage at harvest and kernel processing of whole crop wheat silage on digestibility by dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 253, 141-152. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.04.016>
- Russenæs, A. L. A., Unni; Strand, Einar. (2020, 29. mars 2021). *Sammenligning av kornarter og sorter*. Norsk landbruksrådgivning. <https://kornforum.nlr.no/fagartikler/korn/sorter/korn/sammenligning-av-kornarter-og-sorter>
- Rustas, B.-O. (2009). *Whole-crop cereals for growing cattle* (Vol. 2009).

- Salazar-Gutierrez, M., Johnson, J., Chaves-Cordoba, B., & Hoogenboom, G. (2013). Relationship of base temperature to development of winter wheat. *International Journal of Plant Production*, 7(4), 741-762.
- Schärer, J. (2015, 27. 08). *Helgrøde - superfôr til kua?* Norsk institutt for bioøkonomi. <https://www.nibio.no/nyheter/helgrde-superfr-til-kua>
- Scofield, G. N., Ruuska, S. A., Aoki, N., Lewis, D. C., Tabe, L. M., & Jenkins, C. L. (2009). Starch storage in the stems of wheat plants: localization and temporal changes. *Annals of botany*, 103(6), 859-868. <https://doi.org/10.1093/aob/mcp010>
- Seung, D., & Smith, A. M. (2019). Starch granule initiation and morphogenesis—progress in Arabidopsis and cereals. *Journal of experimental botany*, 70(3), 771-784. <https://doi.org/10.1093/jxb/ery412>
- Shenk, J., & Westerhaus, M. (1991). Population definition, sample selection, and calibration procedures for near infrared reflectance spectroscopy. *Crop Science*, 31(2), 469-474. <https://doi.org/10.2135/cropsci1991.0011183X003100020049x>
- Simmons, S., Oelke, E., & Anderson, P. (1985). Growth and development guide for spring wheat.
- Sinclair, L., Wilkinson, R., & Ferguson, D. (2003). Effects of crop maturity and cutting height on the nutritive value of fermented whole crop wheat and milk production in dairy cows. *Livestock Production Science*, 81(2-3), 257-269. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(02\)00261-0](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(02)00261-0)
- Slafer, G., & Savin, R. (1991). Developmental base temperature in different phenological phases of wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of experimental botany*, 42(8), 1077-1082. <https://doi.org/10.1093/jxb/42.8.1077>
- Slattery, J., Coventry, D., & Slattery, W. (2001). Rhizobial ecology as affected by the soil environment. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 41(3), 289-298. <https://doi.org/10.1071/EA99159>
- SNL. (2018, 25. oktober). *grønnfôr*. Store norske leksikon. <https://snl.no/gr%C3%B8nnf%C3%B4r>
- Soomro, U. A., Rahman, M. U., Odhano, E. A., Gul, S., & Tareen, A. Q. (2009). Effects of sowing method and seed rate on growth and yield of wheat (*Triticum aestivum*). *World Journal of Agricultural Sciences*, 5(2), 159-162.
- Soriano-Disla, J. M., Janik, L. J., Viscarra Rossel, R. A., Macdonald, L. M., & McLaughlin, M. J. (2014). The performance of visible, near-, and mid-infrared reflectance spectroscopy for prediction of soil physical, chemical, and biological properties. *Applied spectroscopy reviews*, 49(2), 139-186. <https://doi.org/10.1080/05704928.2013.811081>
- Steen, R., Gordon, F., Dawson, L., Park, R., Mayne, C., Agnew, R., Kilpatrick, D., & Porter, M. (1998). Factors affecting the intake of grass silage by cattle and prediction of silage intake. *Animal Science*, 66(1), 115-127. <https://doi.org/10.1017/S1357729800008894>[Opens in a new window]
- Stevnebø, A., Seppälä, A., Harstad, O. M., & Huhtanen, P. (2009). Ruminal starch digestion characteristics in vitro of barley cultivars with varying amylose content. *Animal Feed Science and Technology*, 148(2-4), 167-182. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2008.03.011>
- Strand, E. (1987). Base temperature levels in heat sum calculations. *Acta Agriculturae Scandinavica*, 37(3), 279-286. <https://doi.org/10.1080/00015128709436558>
- Sveinsson, S., & Hermannsson, J. (2018). Handbok om byggdyrking i Nord-Norge.

- Tetlow, R. (1992). A decade of research into whole-crop cereals at Hurley. *Whole-crop cereals*, 1-19.
- Ullah, A., Nadeem, F., Nawaz, A., Siddique, K. H., & Farooq, M. (2022). Heat stress effects on the reproductive physiology and yield of wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 208(1), 1-17. <https://doi.org/10.1111/jac.12572>
- Undersander, D., & Christiansen, S. (1986). Interactions of water variables and growing degree days on heading phase of winter wheat. *Agricultural and Forest Meteorology*, 38(1-3), 169-180. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(86\)90056-0](https://doi.org/10.1016/0168-1923(86)90056-0)
- Unikorn, S. (u.å). *Så Korn*. Strand Unikorn. <https://plantekultur.no/savarer/sakorn>
- Valério, I. P., Carvalho, F. I. F. d., Benin, G., Silveira, G. d., Silva, J. A. G. d., Nornberg, R., Hagemann, T., Luche, H. d. S., & Oliveira, A. C. d. (2013). Seeding density in wheat: the more, the merrier? *Scientia Agricola*, 70, 176-184. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162013000300006>
- Van Es, A. (1975). Feed evaluation for dairy cows. *Livestock Production Science*, 2(2), 95-107. [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(75\)90029-9](https://doi.org/10.1016/0301-6226(75)90029-9)
- Van Soest, P. v., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of dairy science*, 74(10), 3583-3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- Volden, H. (2011). *NorFor-: The Nordic feed evaluation system* (Vol. 30). Springer Science & Business Media.
- Wallsten, J. (2008). *Whole-crop cereals in dairy production* (Vol. 2008).
- Wallsten, J., & Martinsson, K. (2009). Effects of maturity stage and feeding strategy of whole crop barley silage on intake, digestibility and milk production in dairy cows. *Livestock Science*, 121(2-3), 155-161. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2008.06.004>
- Walsh, K., O'kiely, P., Moloney, A., & Boland, T. (2008). Intake, digestibility, rumen fermentation and performance of beef cattle fed diets based on whole-crop wheat or barley harvested at two cutting heights relative to maize silage or ad libitum concentrates. *Animal Feed Science and Technology*, 144(3-4), 257-278. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.10.018>
- Weinberg, Z., & Chen, Y. (2013). Effects of storage period on the composition of whole crop wheat and corn silages. *Animal Feed Science and Technology*, 185(3-4), 196-200. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.08.009>
- Wilkins, R., & Kirilov, A. (2003). Role of forage crops in animal production systems. Optimal forage systems for animal production and the environment. Proceedings of the 12th Symposium of the European Grassland Federation, Pleven, Bulgaria, 26-28 May 2003,
- Williams, J. M., & Duffus, C. M. (1977). Separation and some properties of large and small amyloplasts throughout development in barley endosperm. *Plant Physiology*, 59(2), 189-192. <https://doi.org/10.1104/pp.59.2.189>
- Zadoks, J. C., Chang, T. T., & Konzak, C. F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed research*, 14(6), 415-421.
- Øksendal, H. & Brodshaug, E. (2022). *Lønner det seg å høste tidligere og ta en ekstra slått?* Buskap. [https://www.buskap.no/journal/2022/3/m-1369/L%C3%B8nner det seg %C3%A5 h%C3%B8ste tidligere og ta en ekstra sl %C3%A5tt?](https://www.buskap.no/journal/2022/3/m-1369/L%C3%B8nner%20det%20seg%20%C3%A5%20h%C3%B8ste%20tidligere%20og%20ta%20en%20ekstra%20sl%C3%A5tt?)
- Åkerlind, M., Weisbjerg, M., Eriksson, T., Tøgersen, R., Udén, P., Ólafsson, B., Harstad, O., & Volden, H. (2011). Feed analyses and digestion methods. *NorFor-The Nordic feed*

evaluation system, 41-54. https://link.springer.com/chapter/10.3920/978-90-8686-718-9_5



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway